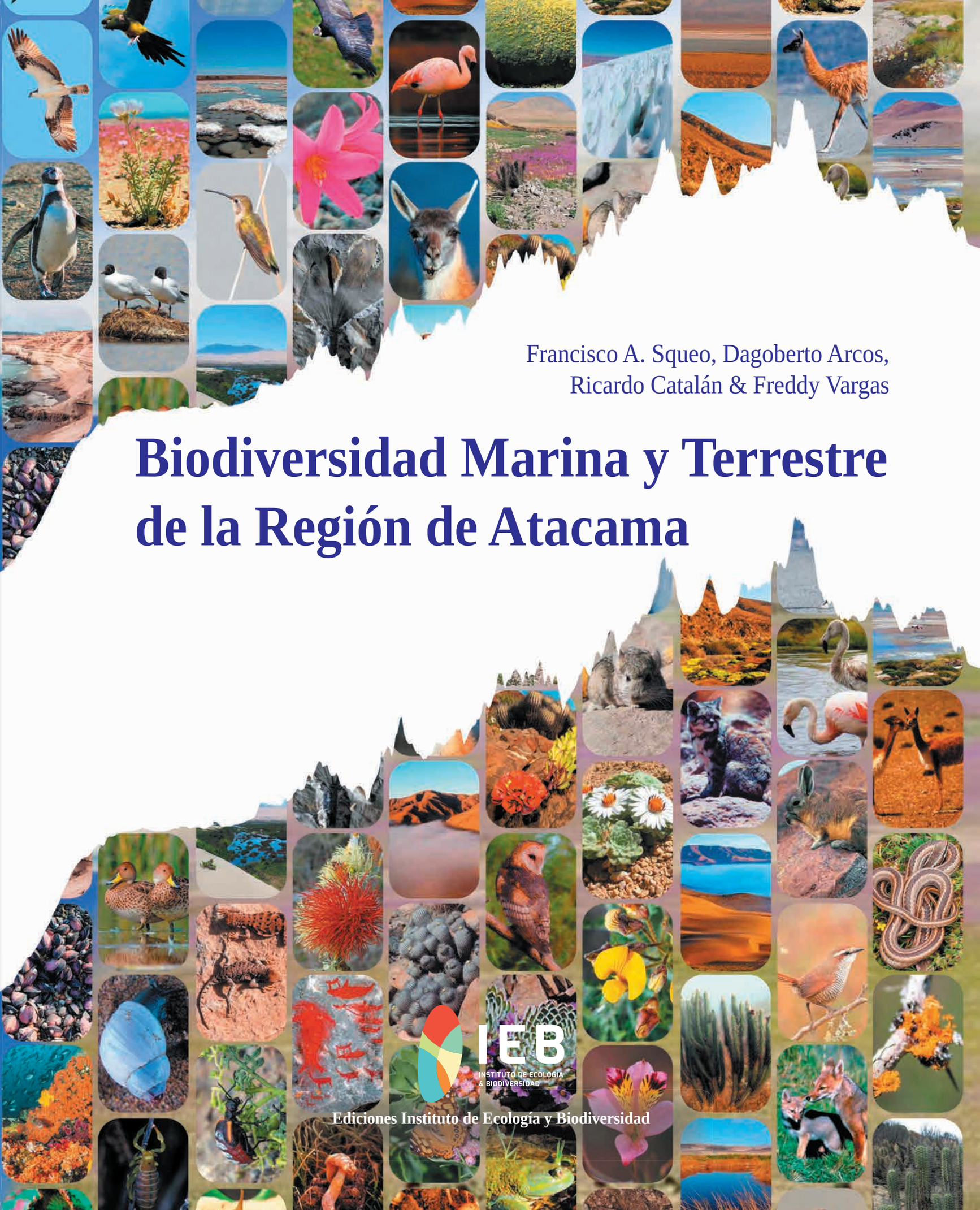


Francisco A. Squeo, Dagoberto Arcos,
Ricardo Catalán & Freddy Vargas

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama

IEB
INSTITUTO DE ECOLOGÍA & BIODIVERSIDAD
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama

Francisco A. Squeo, Dagoberto Arcos, Ricardo Catalán & Freddy Vargas
Editores

2024

Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama (Primera Edición)

Editores: Francisco A. Squeo, Dagoberto Arcos, Ricardo Catalán & Freddy Vargas

Asistente de Edición: Karina Martínez Tillería

Diagramación y diseño: Marco A. Figueroa y Francisco A. Squeo

Portada: Mauricio Álvarez

La elaboración del presente libro ha sido posible gracias a los recursos aportados por la Compañía Minera del Pacífico (CMP) y el proyecto ANID FB 210006 del Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), como una contribución al conocimiento de la biodiversidad de la región de Atacama.

© 2024, Instituto de Ecología y Biodiversidad

Registro de propiedad intelectual N° 2024-A-844 del 22 de enero de 2024

ISBN 978-956-8907-12-9
416 pp; 29,7 x 24 cm
Tiraje: 5.000 ejemplares

Esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente y de cualquier forma, sólo para propósitos educacionales y no comerciales, mencionando la fuente de origen y los editores.

Impreso en Chile por Andros Impresores, Santa Elena 1955, Santiago, Chile.
www.andros.cl

Contenido

Autores y Colaboradores vi

Presentación CMP ix

Presentación MMA x

Prólogo. Biodiversidad terrestre y marina de la región de Atacama: de las cumbres más altas hasta las fosas más profundas. Francisco A. Squeo, Dagoberto Arcos, Ricardo Catalán & Freddy Vargas xi

UNIDAD I. Espacio y Tiempo: Ecosistemas de la región de Atacama 1

Capítulo 1 Geología y relieve de la región de Atacama. José Enrique Novoa Jerez 3

Recuadro 1.1 Perfiles altitudinales de la región de Atacama: un gradiente vertical de 14 kilómetros. Francisco A. Squeo & David López 10

Recuadro 1.2 Historias de un geólogo en Atacama. Mario Rojo 12

Capítulo 2 Clima y Oceanografía de la región de Atacama. José A. Rutllant, Marcel Ramos, Eduardo Flores & Jorge Oyanadel 13

Recuadro 2.1 Glaciares del desierto de Atacama. Shelley MacDonell 21

Recuadro 2.2 Clima futuro en la región de Atacama. Álvaro Salazar 23

Recuadro 2.3 Productividad marina: de plancton a ballenas. Marcel Ramos, Eduardo Flores & Jorge Oyanadel 25

Capítulo 3 Paleodiversidad de Atacama. Martín F. Chávez Hoffmeister, Leandro Ledezma, Matías González-Tejos & Marcelo M. Rivadeneira 27

Recuadro 3.1 Paleontología: una ventana a la biodiversidad pasada de Atacama. Nelson Pereira 33

Recuadro 3.2 Manejo del patrimonio paleontológico: compatibilizando fósiles con proyectos de inversión en Atacama. Martín Chávez Hoffmeister 36

Recuadro 3.3 Fascinante estudio descubre plantas fósiles de entre 380 y 200 millones de años en Chile. Philippe Moisan 38

Recuadro 3.4 Cuaternario en Atacama. Antonio Maldonado 39

Capítulo 4 Ecosistemas terrestres y marinos de la región de Atacama. Karina Martínez-Tilleria, Ricardo Catalán Garrido & Francisco A. Squeo 41

Recuadro 4.1 Fosa de Atacama: conociendo el océano profundo. Carolina González & Igor Fernández-Urruzola 50

Recuadro 4.2 Sistema de humedales costeros de la región de Atacama. Elier Tabilo & Álvaro Parra 53

Recuadro 4.3 Servicios Ecosistémicos de Atacama. Claudia Cerda & Alexandra Stoll 56

UNIDAD II. Diversidad Biológica: el Árbol de la Vida 59

Capítulo 5 El origen de la vida y la diversidad microbiana. Jeimy Moscote & Alexandra Stoll 61

Capítulo 6 Algas de la región de Atacama. Fadia Tala & Julio A. Vásquez 69

Capítulo 7 Las plantas terrestres de la región de Atacama. Francisco A. Squeo & Gina A. Arancio 77

Recuadro 7.1 Briófitas presentes en la región de Atacama. Felipe Osorio, Roy Mackenzie & Antonia Astorga 104

Recuadro 7.2 La región de Atacama, un micro-hotspot de Alstroemerias. Andrés Moreira-Muñoz & Mélica 107

Muñoz-Schick

Recuadro 7.3 Las añañucas de Atacama: emblemas del desierto florido. Nicolás García 109

Recuadro 7.4 Violas de Atacama. Anita F. Flores & John M. Watson 111

Recuadro 7.5 Cactáceas de la región de Atacama. José Angel García-Beltrán & Pablo C. Guerrero 113

Capítulo 8 Hongos y Líquenes en Atacama: estrategias de sobrevivencia en un ambiente extremo. Iris Pereira, Sandra Troncoso, Götz Palfner & Laura Sánchez Jardón 117

Recuadro 8.1 Los hongos formadores de micorrizas. Lorgio E. Aguilera & Cristian Delpiano 125

Capítulo 9 Ascendiendo por el tronco del árbol de la vida animal en la región de Atacama: de las esponjas a los tardígrados. Javier Sellanes, Matthias Gorny & Jorge Avilés 127

Recuadro 9.1 Biodiversidad marina y terrestre en Atacama: situación de los nemátodos. Carol Krausz B. 133

Capítulo 10 Moluscos de Atacama: tesoro malacológico desconocido de Chile. Ricardo Catalán Garrido & Juan Francisco Araya 135

Capítulo 11 Biodiversidad de artrópodos de Atacama (Chile): un grupo hiperdiverso. Jaime Pizarro-Araya, Fermín M. Alfaro, Andrés A. Ojanguren-Affilastro, María de los Ángeles Gallardo, Jorge Perez-Schultheiss & Martin Thiel 153

Capítulo 12 Equinodermos de Atacama: más allá de las estrellas de mar. Juan Francisco Araya 175

Recuadro 12.1 Hemicordados de la región de Atacama. Juan Francisco Araya 184

Capítulo 13 Los primeros cordados de la región de Atacama: Cephalochordata y Tunicata. Julio Vásquez 185

Capítulo 14 Biodiversidad y ecología de los peces de Atacama. Vladimir Garmendia, Ítalo Fernández-Cisternas, Juan Siñuela, Valentina C. Romagnoli, Brian Dyer & Alejandro Pérez-Matus 189

Recuadro 14.1 Peces de arrecifes mesofóticos en Puerto Viejo, región de Atacama. Valentina C. Romagnoli, Vladimir Garmendia & Alejandro Pérez-Matus 200

Recuadro 14.2 Grandes peces pelágicos de la región de Atacama: generalidades, pesca y conservación. Naití Morales 205

Capítulo 15 Anfibios de la región de Atacama: un grupo amenazado que sobrevive en el desierto. Pablo Fibla, Paola Sáez & Marco A. Méndez 209

Capítulo 16 Reptiles de la región de Atacama: el mayor endemismo nacional. Jorge E. Mella Ávila 213

Capítulo 17 Historia evolutiva de las aves de Atacama. Myriam Ramírez-Herranz & Felipe A. Méndez 223

Recuadro 17.1 Aves de Atacama: riqueza de especies y riqueza funcional. Pamela Núñez, Guillermo Luna-Jorquera, Roberto Aguilar & Alejandro Simeone 235

Recuadro 17.2 El loro del desierto. Myriam Ramírez-Herranz 241

Recuadro 17.3 Golondrinas de mar, una vida en el océano después de una vida en el desierto. Rodrigo Silva C. 245

Recuadro 17.4 El Pingüino de Humboldt, un buceador experto. Guillermo Luna-Jorquera 248

Capítulo 18 Mamíferos de Atacama. Agustín Iriarte & Pablo Valladares-Faúndez 251

Recuadro 18.1 Las chinchillas de Atacama, dos roedores en Peligro de Extinción. Pablo Valladares-Faúndez, Agustín Iriarte, Katherine Ramirez-Meza, César Pizarro Gacitúa, Ignacio Collín, Guillermo Cubillos & Daniel Hilliard 256

Recuadro 18.2 Guanaco en la región de Atacama: habitante de cordillera a mar. Solange Vargas & Mara Espinosa 258

Recuadro 18.3 Cetáceos del Archipiélago de Humboldt, al sur de la región de Atacama. Carlos Olavarría & Susannah Buchan 261

UNIDAD III. Conservación y el Ser Humano 265

Capítulo 19 Pueblos originarios: los hijos de Atacama. Ricardo Catalán Garrido 267

Recuadro 19.1 Flora nativa con alto valor etnobotánico para las comunidades indígenas Colla. Claudio P. González Gómez & Valeska Guevara Torrejón 275

Recuadro 19.2 El pueblo Chango. Luis A. Véliz 277

Capítulo 20 Estado de conservación de la biota de la región de Atacama. Francisco A. Squeo, Reinaldo Avilés, Jaime Pizarro-Araya, Laura Sánchez Jardón & Myriam Ramírez-Herranz 279

Capítulo 21 Áreas protegidas y sitios prioritarios de la región de Atacama: Patrimonio transicional desértico de Chile. Ricardo Catalán, Francisco A. Squeo, Karina Martínez-Tillería, Álvaro Parra & Carlos Gaymer 287

Capítulo 22 Amenazas y oportunidades para la biodiversidad en la región de Atacama: Desafíos y estrategias para la conservación. Freddy Vargas Parra & Claudio Valdovinos Zarges 305

Recuadro 22.1 Amenazas de la agricultura a la biodiversidad. Carmen Jorquera-Jaramillo 313

Recuadro 22.2 Especies exóticas, una amenaza creciente sobre Atacama. Rafael A. García, Eduardo Fuentes-Lillo & Aníbal Pauchard 315

Recuadro 22.3 Plantas Desalinizadoras ¿Una amenaza a la biodiversidad costera?. Dagoberto Arcos Rojas 318

Recuadro 22.4 Pesquería de algas pardas en Atacama y amenazas a su sustentabilidad. JM Alonso Vega, Nicole Piaget & Helmo Pérez 320

Capítulo 23 Turismo en Atacama, tierra de contrastes. Daniel Díaz 323

Recuadro 23.1 Montañas de Atacama. Marcela Cortés 331

Recuadro 23.2 El geoturismo en Atacama como herramienta de conservación. Manuel Abad, Philippe Moisan & Tatiana Izquierdo 333

Recuadro 23.3 Maravilla del Desierto Florido. Marcela Cortés 337

Recuadro 23.4 Turismos Orca: un ejemplo de turismo de avistamiento en Atacama. Luis A. González 339

Recuadro 23.5 Mar de Dunas, un paisaje olvidado. Rodrigo Arcos Castro 341

Recuadro 23.6 Turismo de buceo, Atacama submarina. Ricardo Catalán Garrido & Gustavo Duarte 344

Capítulo 24 La Conservación de la biodiversidad marina y terrestre en la región de Atacama: un desafío ético para la educación científica. Geraldo R. Brown & Brayan O. Castillo 349

Recuadro 24.1 Reconstruyendo el concepto de biodiversidad. Nancy C. Olivares 359

Recuadro 24.2 Tecnologías digitales como oportunidad de enriquecer los aprendizajes. Fancisco López-Cortés 361

Capítulo 25 Enrique Ernesto Gigoux Vega: visionario naturalista atacameño y férreo divulgador de las Ciencias Naturales. Pablo Valladares-Fáundez & Pablo Marcos Espinoza-Concha 363

UNIDAD IV 365

Anexo 1 del Capítulo 20 Estado de conservación de la biota de la región de Atacama. Francisco A. Squeo, Reinaldo Avilés, Jaime Pizarro-Araya, Laura Sánchez Jardón & Myriam Ramírez-Herranz 377

Literatura Citada 381

Listado de Autores

Manuel Abad. Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España

Roberto Aguilar. Corporación Cultam, Estudios Culturales y Ambientales, Antofagasta, Chile

Fermín M. Alfaro. Laboratorio de Entomología Ecológica, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias; Grupo de Artrópodos, Sistema Integrado de Monitoreo y Evaluación de Ecosistemas Forestales Nativos (SIMEF) & Instituto de Investigación Multidisciplinar en Ciencia y Tecnología, Universidad de La Serena, Casilla 554, La Serena, Chile.

Gina A. Arancio. Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB) & Herbario ULS, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena, Avenida Raúl Bitran 1305, La Serena, Chile.

Dagoberto Arcos Rojas. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile

Rodrigo Arcos Castro. @GeoturismoAtacama +56956471513 - rodrigo.arcos@gmail.com

Antonia Astorga. Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Juan Francisco Araya. Programa de Doctorado en Sistemática y Biodiversidad, Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción.

Jorge Avilés. Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte,Larrondo 1281, Coquimbo, Chile.

Reinaldo Avilés. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago, Chile.

Geraldo R. Brown. Consultor en Educación en Ciencias, La Serena, Chile.

Susannah Buchan. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Center for Oceanographic Research COPAS COASTAL y Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción.

Brayan O. Castillo. Consultor en Educación en Ciencias; Programa ICEC (Indagación Científica para la Enseñanza de las Ciencias), ULS-MINEDUC, La Serena, Chile.

Ricardo Catalán Garrido. Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente Atacama, Portales 830, Copiapó, Chile.

Claudia Cerda. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), La Serena, Chile.

Ignacio Collín. Programa de Educación e Investigación para la Conservación, Zoológico Nacional Parque Metropolitano de Santiago, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile.

Marcela Cortés. Malvilla Expediciones, Caldera, Chile. turismomcd@gmail.com

Guillermo Cubillos. Programa de Educación e Investigación para la Conservación, Zoológico Nacional Parque Metropolitano de Santiago, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile.

Daniel Díaz. Consultor de Turismo, Copiapó, Chile.

Gustavo Duarte. Instructor de buceo y fotógrafo submarino, @fotosub.cl

Brian Dyer. Centro de Estudios Generales, Universidad de los Andes, Av. Mons. Álvaro del Portillo 12.455, Las Condes, Santiago

Mara Espinosa. Facultad de Ciencias Liberales, Universidad Adolfo Ibáñez. Santiago, Chile.

Pablo Marcos Espinoza-Concha. Departamento de Español, Facultad de Educación y Humanidades, Universidad de Tarapacá, Av. 18 de Septiembre N° 2222, Arica, Chile.

Ítalo Fernández-Cisternas. Estación Costera de Investigaciones Marinas (ECIM), Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 114-D, Santiago y Millennium Nucleus for the Ecology and Conservation of Temperate Mesophotic Reef Ecosystem (NUTME), Las Cruces, Valparaíso, Chile.

Igor Fernández-Urruzola. Instituto Milenio de Oceanografía, Universidad de Concepción, Chile.

Pablo Fibla. Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Las Palmeras 3425, Ñuñoa, Santiago.

Anita E. Flores. Botánica y taxónoma, Los Andes, Región de Valparaíso.

Eduardo Flores. Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo.

Eduardo Fuentes-Lillo. Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB), Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción & Instituto de Ecología y Biodiversidad, Concepción, Chile.

Martín Chávez Hoffmeister. Director Científico, Corporación de Investigación y Avance de la Paleontología e Historia Natural de Atacama (CIAHN Atacama).

María de los Ángeles Gallardo. Sala de Colecciones Biológicas, Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar y Centro de Ecología y Manejo Sustentable de Islas Oceánicas (ESMOI), Universidad Católica del Norte, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile.

Nicolás García. Herbario EIF & Laboratorio de Evolución y Sistemática, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Rafael A. García. Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB), Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción & Instituto de Ecología y Biodiversidad, Concepción, Chile.

José Angel García-Beltrán. Laboratorio BIOMAS, Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción & Instituto de Ecología y Biodiversidad, Concepción, Chile.

Vladimir Garmendia. Estación Costera de Investigaciones Marinas (ECIM), Departamento de Ecología, Facultad de

Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 114-D, Santiago y Millennium Nucleus for the Ecology and Conservation of Temperate Mesophotic Reef Ecosystem (NUTME), Las Cruces, Valparaíso, Chile.

Carolina González. Instituto Milenio de Oceanografía, Universidad de Concepción, Chile.

Claudio P. González Gómez. Comunidad Sinchi Wayra, Copiapó, Región de Atacama, Chile.

Luis A. González. Turismos Orca, Caleta Chañaral de Aceituno, Chile. turismosorca@gmail.com

Matías González-Tejos. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Coquimbo, Chile.

Matthias Gorny. Consultor Senior en Ciencias Marinas y experto en ROV (remotely operated vehicle), Chile.

Pablo C. Guerrero. Laboratorio BIOMAS, Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción; Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB) & Millennium Institute Biodiversity of Antarctic and Subantarctic Ecosystems (BASE), Santiago, Chile.

Valeska Guevara Torrejón. Comunidad Sinchi Wayra, Copiapó, Región de Atacama, Chile.

Daniel Hilliard. Zoo Conservation Outreach Group (ZCOG), 8403 Colesville Road, Suite 710 Silver Spring, MD 20910, USA.

Agustín Iriarte. Flora & Fauna Chile Ltda. Magnere 1540, Oficina 506, Providencia, Santiago, Chile.

Tatiana Izquierdo. Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España.

Carmen Jorquera-Jaramillo. Departamento de Agronomía, Universidad de La Serena, Campus Limarí, Avda. La Paz 1108, Ovalle, Chile.

Carol Krausz B. Departamento de Agronomía, Universidad de La Serena, Campus Limarí, Avda. La Paz 1108, Ovalle, Chile.

Leandro Ledezma. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Coquimbo, Chile.

David López. Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB) y Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena, Avenida Raúl Bitran 1305, La Serena, Chile.

Fancisco López-Cortés. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena, Avenida Raúl Bitran 1305, La Serena, Chile.

Guillermo Luna-Jorquera. Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar; Centro de Ecología y Manejo Sustentable de Islas Oceánicas (ESMOI), Universidad Católica del Norte y Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Larrondo 1281, Coquimbo, Chile.

Shelley MacDonell. Waterways Centre for Freshwater Management, Lincoln University & University of Canterbury, New Zealand & Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), La Serena, Chile.

Antonio Maldonado. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), La Serena, Chile.

Roy Mackenzie. Centro Internacional Cabo de Hornos (CHIC), Universidad de Magallanes, Puerto Williams & Instituto Milenio Biodiversidad de Ecosistemas Antárticos y Subantárticos (BASE), Santiago, Chile.

Karina Martínez-Tilleria. Consultora en Medio Ambiente, La Serena, Chile.

Marco A. Méndez. Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Las Palmeras 3425, Ñuñoa, Santiago.

Felipe A. Méndez. Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB) y Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena, Avenida Raúl Bitran 1305, La Serena, Chile.

Jorge E. Mella Ávila. Consultor independiente, Santiago. jorgeemellaavila@vtr.net

Philippe Moisan. Departamento de Química y Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Atacama, Copayapú 485, Copiapó, Chile.

Naití Morales. Centro de Ecología y Manejo Sustentable de Islas Oceánicas (ESMOI), Universidad Católica del Norte, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile.

Andrés Moreira-Muñoz. Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile.

Jeimy Moscote. Universidad de La Serena, Avenida Raúl Bitran 1305, La Serena, Chile.

Mélica Muñoz-Schick. Curadora Emérita del Museo Nacional de Historia Natural de Chile

José Enrique Novoa Jerez. Universidad de La Serena, Avenida Raúl Bitran 1305, La Serena, Chile.

Pamela Núñez. Departamento de Biología Marina, Facultad Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile.

Carlos Olavarría. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), La Serena, Chile.

Nancy C. Olivares. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena, Avenida Raúl Bitran 1305, La Serena, Chile.

Felipe Osorio. Instituto de Conservación, Biodiversidad y Territorio, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

Jorge Oyanadel. Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo.

Andrés A. Ojanguren-Affilastro. División Aracnología, Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, CONICET, Buenos Aires, Argentina.

Götz Palfner. Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

Alvaro Parra. Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente Atacama, Portales 830, Copiapó.

Aníbal Pauchard. Laboratorio de Invasiones Biológicas, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción & Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Concepción, Chile.

Iris Pereira. Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Talca, Talca, Chile.

Nelson Pereira. Corporación de Investigación y Avance de la Paleontología e Historia Natural de Atacama (CIAHN

Atacama).

Alejandro Pérez-Matus. Estación Costera de Investigaciones Marinas (ECIM), Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 114-D, Santiago y Millennium Nucleus for the Ecology and Conservation of Temperate Mesophotic Reef Ecosystem (NUTME), Las Cruces, Valparaíso, Chile.

Helmo Pérez. HPMAR Servicios y Asesorías, Coquimbo, Chile.

Jorge Pérez-Schultheiss. Área Zoología de Invertebrados, Museo Nacional de Historia Natural, Casilla 787, Correo Central, Santiago, Chile.

Nicole Piaget. Centro de Estudios Avanzados en Ambientes Marinos Ltda. (CEAMAR), La Serena, Chile.

Jaime Pizarro-Araya. Laboratorio de Entomología Ecológica, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena; Grupo de Artrópodos, Sistema Integrado de Monitoreo y Evaluación de Ecosistemas Forestales Nativos (SIMEF) & Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Casilla 554, La Serena, Chile.

César Pizarro Gacitúa. Corporación Nacional Forestal (CONAF) Juan Martinez 55, Copiapó, Chile

Carlos Gaymer. Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar; Centro de Ecología y Manejo Sustentable de Islas Oceánicas (ESMOI), Universidad Católica del Norte y Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Larrondo 1281, Coquimbo, Chile.

Marcel Ramos. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) y Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo.

Katherine Ramírez-Meza. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Tarapacá, Av. General Velásquez 1775, Arica, Chile.

Myriam Ramírez Herranz. Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Universidad de La Serena y Gothenburg Global Biodiversity Centre (GGBC); investigadora postdoctoral de la Universidad Católica de la Santísima Concepción

Marcelo M. Rivadeneira. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Coquimbo, Chile.

Mario Rojo. Geólogo, La Serena, Chile.

Valentina C. Romagnoli. Estación Costera de Investigaciones Marinas (ECIM), Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 114-D, Santiago y Millennium Nucleus for the Ecology and Conservation of Temperate Mesophotic Reef Ecosystem (NUTME), Las Cruces, Valparaíso, Chile.

José A. Rutllant. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), La Serena.

Álvaro Salazar. Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB) y Universidad de La Serena, Avenida Raúl Bitran 1305, La Serena, Chile.

Paola Sáez. Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Las Palmeras 3425, Ñuñoa, Santiago.

Laura Sánchez Jardón. Centro Universitario Coyhaique y Centro Internacional Cabo de Hornos (CHIC, BASAL FB210018), Universidad de Magallanes, Puerto Williams, Chile.

Javier Sellanes. Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar; Centro de Ecología y Manejo Sustentable de Islas Oceánicas (ESMOI), Universidad Católica del Norte y Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Larrondo 1281, Coquimbo, Chile.

Rodrigo Silva C. Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile (ROC)

Alejandro Simeone. Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile

Juan Siñuela. Estación Costera de Investigaciones Marinas (ECIM), Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 114-D, Santiago, Chile

Francisco A. Squeo. Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) & Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena, Avenida Raúl Bitran 1305, La Serena, Chile.

Alexandra Stoll. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), La Serena, Chile.

Elier Tabilo. Programa de doctorado en Biología y Ecología Aplicada, Universidad de La Serena-Universidad Católica del Norte.

Fadia Tala. Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Algas y otros Recursos Biológicos (CIDTA), Instituto Milenio de Socioecología Costera (SECOS), Universidad Católica del Norte, Coquimbo.

Martin Thiel. Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar; Centro de Ecología y Manejo Sustentable de Islas Oceánicas (ESMOI), Universidad Católica del Norte y Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Larrondo 1281, Coquimbo, Chile.

Sandra Troncoso. ONG Micófilos Chile y Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

Claudio Valdovinos Zarges. Centro EULA, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Pablo Valladares-Faúndez. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Tarapacá, Av. General Velásquez 1775, Arica, Chile.

Freddy Vargas Parra. AMVAR SpA, Concepción, Chile.

Solange Vargas. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Atacama, Copiapó, Chile; Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), La Serena, Chile; IUCN SSC South American Camelid Specialist Group.

Julio A. Vásquez. Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Algas y otros Recursos Biológicos (CIDTA), Instituto Milenio de Socioecología Costera (SECOS), Universidad Católica del Norte, Coquimbo.

JM Alonso Vega. Centro de Estudios Avanzados en Ambientes Marinos Ltda. (CEAMAR), La Serena, Chile. avega@ceamar.cl

Luis A. Véliz. Antropólogo social, consultor independiente, Chile.

John M. Watson. Botánico, Los Andes, región de Valparaíso, Chile.

Presentación CMP



Paulina Andreoli Celis

Gerente de Medio Ambiente y Cambio Climático

Compañía Minera del Pacífico

“Desde el corazón de nuestros procesos, creamos una minería diferente, para el desarrollo sostenible, del territorio y de su gente”.

Este es el propósito de Compañía Minera del Pacífico (CMP) y lo que nos moviliza para crear una minería respetuosa con su entorno. Para cumplirlo, hemos desarrollado una estrategia basada en 4 focos principales, Personas, la Excelencia, la Sustentabilidad y el Desarrollo Futuro. En línea con nuestro propósito y el de crear una minería diferente, buscamos potenciar el desempeño medio ambiental a través de la gestión de riesgos en los procesos y así, fortalecer la interacción entre los diferentes actores con el objetivo de poner a disposición información de interés y que, por medio de trabajo colaborativo, se desarrollen acciones con una mirada integrada y de largo plazo.

En el marco de la estrategia de la Compañía y sus planes de desarrollo, se han priorizado iniciativas para disminuir la huella de carbono, con proyectos en articulación con el sector público y privado, y con validación de la academia. Una permanente colaboración que ha tenido CMP con especialistas nacionales expertos en biodiversidad, científicos y académicos para elaborar documentación relevante sobre áreas sensibles y medidas de protección. Es en este contexto que, hace un par de años, en conjunto con autoridades regionales y académicos, nace la idea de elaborar este libro sobre biodiversidad de la región de Atacama, un gran desafío, ya que en primer lugar la idea era consolidar, en un solo documento, la biodiversidad marina y terrestre; en segundo lugar, que el libro pudiese ser una herramienta de utilidad y de fácil entendimiento para la comunidad general y, específicamente, la estudiantil; y en tercer lugar, que éste tuviese una base científica sólida.

En sus manos hoy está este libro que no sólo se titula “***Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama***”, sino que además hace un recorrido “desde las más altas cumbres andinas hasta las profundidades de la fosa de Atacama”, ilustrando la gran variedad de paisajes y especies que se encuentran en esta maravillosa región.

Como CMP nos enorgullecemos de entregar conocimiento de la biodiversidad de la región donde vivimos y trabajamos día a día, además de agradecer y felicitar a todas y todos quienes contribuyeron con su experiencia y conocimiento para concretar este tremendo aporte. Esperamos que les sea de la utilidad que imaginamos cuando nos embarcamos en este proyecto y los invitamos a conocer más sobre la querida región de Atacama.



Natalia Penroz Acuña

Bióloga

Seremi del Medio Ambiente de la región de Atacama

Atacama… ¡Qué regalo poder conocerte!

Pese a ser foránea, ésta siempre fue una región que llamó mi atención. Había algo en el ambiente que despertaba mi curiosidad. Luego, con el desarrollo de mi aprendizaje y de mi profesión, entendí que ésto se debía a la gran biodiversidad de especies y ecosistemas que podemos encontrar asociados, por ejemplo, a los ya cuatro Parques Nacionales, la Reserva Nacional, la Reserva Marina, dos Áreas Marinas de Conservación de Múltiples Usos y cuatro Santuarios de la Naturaleza, donde destaca un fenómeno único en nuestro país: el Desierto Florido, que con su belleza sorprende, encanta y cautiva a cada visitante como ocurrió conmigo cuando tuve la oportunidad de conocer en el Parque Nacional Llanos de Challe a la esquiva Garra de León, endémica de nuestra región y considerada la reina del desierto florido.

Desde hace seis años Atacama es mi hogar. He tenido la suerte y felicidad de poder recorrerla, desde sus más altas cumbres hasta su zona costera, y pude ir descubriendo la riqueza y el gran patrimonio que existe ante nuestros ojos, en muchos casos de importancia mundial. Por ejemplo, tenemos la fortuna de avistar ballenas y, si la suerte es mayor, podemos tener un encuentro con la colosal Ballena Azul, el mamífero vivo más grande del planeta.

Atacama no decepciona, solo enamora al visitante que se encuentra con su impactante geología y latente gran biodiversidad de flora, fauna y otros grupos; actuales, pero también de tiempos pretéritos, con un gran registro fósil en diferentes puntos de la región, coronados magistralmente por especies icónicas como el Megalodón o el Pelagornis.

Desde ese conocimiento y apreciación hemos desarrollado el trabajo desde la Seremi del Medio Ambiente. Buscamos contribuir a potenciar nuestra región y a proteger ecosistemas insignes, por medio del nuevo Parque Nacional Desierto Florido, además de ampliar la protección de un ecosistema marino considerado internacionalmente como un “Sitio de Esperanza”: la nueva Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos Archipiélago de Humboldt, la primera birregional del país. Ambos avances son un legado de nuestro gobierno para las futuras generaciones.

Aún nos queda mucho por avanzar, pero la información contenida en este libro es, sin duda, un gran aporte para que podamos conocer lo que tenemos, lo importante que fue y es nuestra región y con ello valorarla. Alguien dijo alguna vez: “No se puede amar lo que no se conoce, ni cuidar lo que no se ama”. Es clave que cada uno de nosotros aporte desde nuestro quehacer a conocerla y cuidarla. La invitación está hecha.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) xi-xvi



Prólogo

Biodiversidad terrestre y marina de la región de Atacama: de las cumbres más altas hasta las fosas más profundas

Francisco A. Squeo, Dagoberto Arcos, Ricardo Catalán & Freddy Vargas

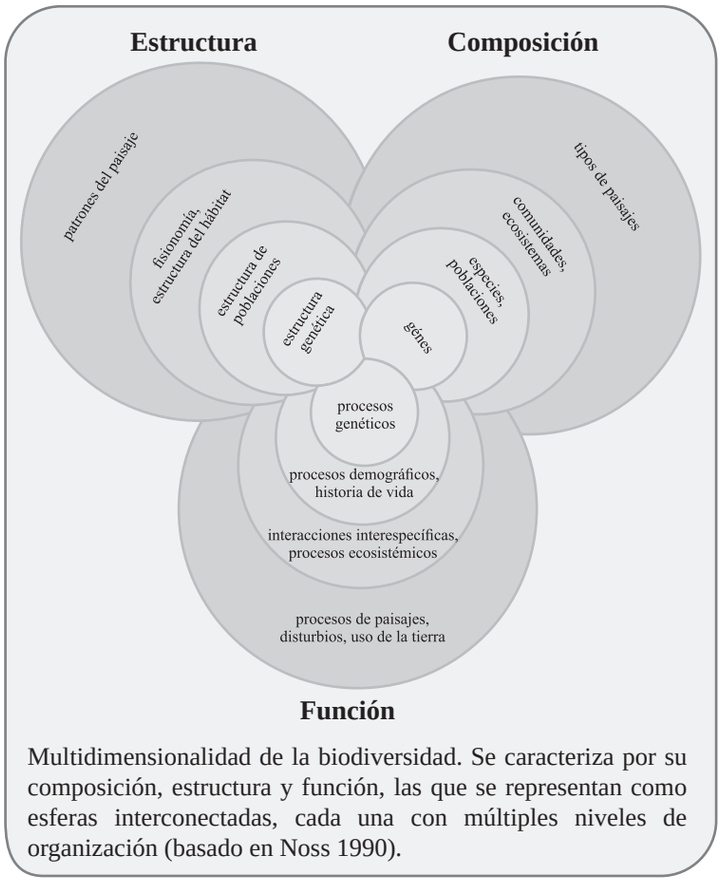
Este libro fue concebido, desde sus inicios, como un instrumento de divulgación, de la biodiversidad de Atacama, para la comunidad en general, para los estudiantes de enseñanza básica y media, así como para la comunidad universitaria. También es un instrumento de información actualizada para aquellas empresas y consultoras de la región que deben realizar estudios ambientales. Si bien su objetivo primordial es de divulgación, nos preocupamos que tuviese una sólida base científica, donde los autores de cada uno de los capítulos y/o recuadros son especialistas en sus temas.

Biodiversidad

La biodiversidad es un concepto que se popularizó hace poco más de 30 años, con la firma del Convenio de Diversidad Biológica (CBD 1992), el acuerdo internacional más importante para el mantenimiento y la conservación de la biodiversidad. En la literatura científica anterior a los años 80, la diversidad biológica aludía sólo a la diversidad de especies como característica estructural de los ecosistemas (Núñez et al. 2003). Según la CBD (1992), por diversidad biológica se entiende la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.

Chile firmó la Convención de Biodiversidad en 1994. La Ley 19300 (Ley sobre bases generales del medio ambiente, de 1994) adoptó una versión más corta pero en la misma dirección, indicando que la biodiversidad es "la variabilidad de los organismos vivos, que forman parte de todos los ecosistemas terrestres y acuáticos, incluyendo la diversidad dentro de una misma especie, entre especies y entre ecosistemas".

A pesar de esta definición, todavía muchas personas piensan que la biodiversidad es sólo un listado de especies. Por lo tanto, hay que reconstruir el concepto de biodiversidad, como se invita en el Capítulo 24, buscar la manera de hacerlo enseñable, motivador y atractivo para las personas, a la vez que les sirva para la vida personal y en sociedad. La diversidad biológica incluye toda la variación desde genes hasta ecosistemas.



Multidimensionalidad de la biodiversidad. Se caracteriza por su composición, estructura y función, las que se representan como esferas interconectadas, cada una con múltiples niveles de organización (basado en Noss 1990).

Con este concepto de biodiversidad más integrador, aceptado por la comunidad científica y acorde con los acuerdos internacionales, la misma CBD (1992) surge en respuesta a la preocupación por reducir la pérdida de biodiversidad. Tres décadas después, y a pesar de los esfuerzos, estamos lejos de frenar el mayor evento de extinción planetario desde la extinción de los dinosaurios hace 65 Millones de años (Ma). El último Informe Planeta Vivo (WWF 2022) mostró el crudo panorama del estado de la biodiversidad y advierte urgentemente a los gobiernos, las empresas y a las personas en general a tomar medidas transformadoras que reviertan su destrucción. La velocidad y la escala del impacto negativo de las actividades humanas en la naturaleza se manifiesta en el descenso promedio del 69% en la abundancia poblacional de mamíferos, reptiles, aves, peces y anfibios de todo el mundo.

Estrategias de conservación de la biodiversidad

Las estrategias de conservación de la biodiversidad han cambiado desde la creación de la primera área protegida en Chile hace 115 años (RN Malleco en 1909), pasando de proteger bellezas escénicas y especies carismáticas a conservar con el enfoque de ecosistema (Petit et al. 2018, Carranza et al. 2020). Una estrategia de conservación moderna debe tender a mantener los procesos evolutivos normales trabajando en un escenario ecológico en funcionamiento (Metáfora de Hutchinson: "mantener el teatro ecológico para que se desarrolle el guión evolutivo") (Groom et al. 2006).

En el año 2003, la entonces Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) genera un listado de sitios prioritarios para ser incorporados en la primera Estrategia Nacional de Biodiversidad, los que después de más de 20 años continúan vigentes. La actual Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030, es el instrumento de política pública que establece los principales lineamientos estratégicos y metas nacionales en materia de conservación y uso sustentable de la biodiversidad al 2030.

En la décima Conferencia de las Partes (COP10) se establecieron las metas Aichi (CBD 2010), y en Chile fueron recogidas por la Estrategia Nacional de Biodiversidad. Entre otras, la meta 11 era que "Para 2020, al menos el 17 por ciento de las zonas terrestres y de aguas continentales y el 10 por ciento de las zonas marinas y costeras, especialmente aquellas de particular importancia para la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas, se conservan por medio de sistemas de áreas protegidas administrados de manera eficaz y equitativa, ecológicamente representativos y bien conectados y otras medidas de conservación eficaces basadas en áreas, y están integradas en los paisajes terrestres y marinos más amplios".

Las áreas protegidas en la región de Atacama son muy recientes. La unidad más antigua es el Parque Nacional (PN) Pan de Azúcar (1985), los PN Llanos de Challe y Nevado Tres Cruces recién fueron creados en 1994, el mismo año que Chile firmó la CBD. Un par de años antes, se creó la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt (1990), que en Atacama está representada por la Isla Chañaral. Las restantes unidades terrestres y todas las marinas, son de este siglo. Las más recientes, del año 2023, son el PN Desierto Florido y el Área Marina y Costera Protegida de Múltiples Usos (AMCP-MU) Archipiélago de Humboldt (Capítulo 21).

En la región de Atacama surgió a su vez la Estrategia Regional de Biodiversidad 2010-2017, instancia que reconoció los sitios prioritarios definidos en Squeo et al. (2008), ampliando el portafolio de conservación, aunque sólo en el territorio. En Squeo et al. (2015) se definieron 3 áreas de alto valor para la conservación en las costas de Atacama.

En la COP15 de la CBD (2022) se estableció, entre otras medidas destinadas a reducir esta pérdida de biodiversidad, la meta 3 (meta 30x30): "Garantizar y hacer posible que, para el año 2030, al menos un 30% de las zonas terrestres y de aguas continentales y de las zonas marinas y costeras, especialmente las zonas de particular importancia para la biodiversidad y las funciones y los servicios de los ecosistemas, se conserven y gestionen eficazmente mediante sistemas de áreas protegidas ecológicamente representativos, bien conectados y gobernados equitativamente y otras medidas de conservación eficaces basadas en áreas, reconociendo, cuando proceda, los territorios indígenas y tradicionales, y que estén integradas a los paisajes terrestres, marinos y oceánicos más amplios, garantizando al mismo tiempo que toda utilización sostenible, cuando proceda en dichas zonas, sea plenamente coherente con la obtención de resultados de conservación, reconociendo y respetando los derechos de los pueblos indígenas y las comunidades locales, incluidos aquellos relativos a sus territorios tradicionales". En el Capítulo 21 se proponen formas de avanzar hacia esa meta. La superficie actualmente protegida alcanza sólo al 2,52% terrestre y el 1,27% marino.

Chile es responsable de conservar su biodiversidad en todo el territorio y maritorio nacional, tanto en Chile continental como insular. Desde los 59°52'S (cerca del monte submarino Sars, en el extremo sur del Parque Marino Islas Diego Ramírez - Paso Drake, región de Magallanes y Antártica Chilena), hasta los 17°30'S (11 km al norte de Visviri, en la cordillera de Los Andes, región de Arica y Parinacota); desde las altas cumbres de la cordillera de Los Andes hasta las 200 mn desde la línea de costa (= 370,4 km), pasando por la fosa de Atacama; y más hacia el oeste en los territorios y maritorios de Chile insular. Chile se extiende sobre la placa Sudamericana, la placa de Nazca y la placa Antártica desde Aysén al Sur. La Isla Rapa Nui se encuentra en el borde oeste de la placa de Nazca (en la Dorsal Medio-Oceánica). Destacan en el relieve submarino las cordilleras de Salas y Gómez y Nazca, que además de islas, poseen abundantes montes submarinos en el Pacífico Sur.

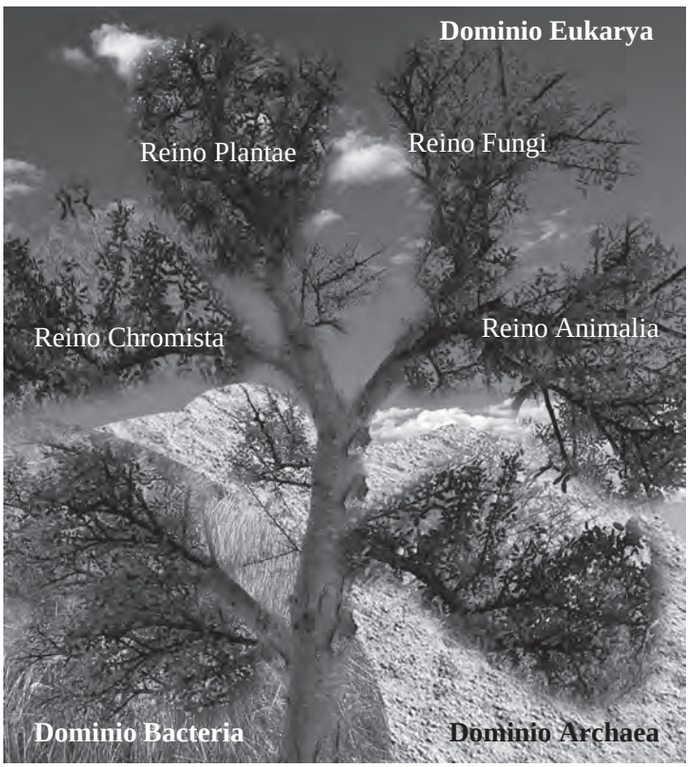
A continuación los invitamos a revisar brevemente los contenidos de este libro, con la finalidad de que luego se "sumerjan" en cada uno de sus capítulos y recuadros, donde encontrarán mayor detalle de la biodiversidad, bellas fotografías de paisajes y especies de las que podemos observar a ojo desnudo, así como de aquellas que nuestra limitada vista no puede admirar. Esperamos que se sorprendan con la diversidad que encontramos en nuestra región de Atacama.

Biodiversidad de Atacama

La gran diversidad de ambientes marinos y terrestres que ofrece la región de Atacama, que en parte explica una interesante diversidad de ecosistemas, comunidades, especies y diversidad genética, ha inspirado la obra que presentamos "Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama". En un esfuerzo por reunir por primera vez en un texto todos los componentes de la biodiversidad de los ambientes marinos y terrestres, hemos dividido este libro en tres unidades principales.

En la primera unidad “espacio y tiempo, los ecosistemas de Atacama” visitamos el origen geológico y las características geomorfológicas, el clima y la oceanografía regional, la paleodiversidad de los últimos 200 Ma y, finalmente, los ecosistemas terrestres y marinos de la región. Este es el escenario ecológico donde evolucionó la biodiversidad actual de Atacama.

En la segunda unidad “Diversidad biológica, el árbol de la vida”, nos esforzamos por dar un enfoque filogenético de la diversidad. El árbol de la vida, es una metáfora que representa las relaciones de parentesco entre todos los organismos vivos y su tronco común. Incluimos a todos los organismos, desde los procariontes de los dominios Bacteria y Archaea, y el dominio Eukarya (organismos cuyas células poseen un núcleo diferenciado, incluyendo las ramas de los reinos Chromista y Plantae, y la rama de los reinos Fungi y Animalia). En los distintos capítulos de está unidad se refleja el desarrollo del guión evolutivo.



En la tercera unidad “Conservación y el ser humano”, analizamos los pueblos originarios, el estado de conservación de la biota regional, las áreas protegidas y las amenazas a la biodiversidad. Además, incluímos turismo de intereses especiales focalizados en la biodiversidad, y algunas estrategias educativas para el sistema formal. Terminamos esta unidad con un reconocimiento al naturalista copiapino Enrique Gigoux. En estos capítulos reafirmamos que los humanos son parte del libreto (i.e., la presencia del hombre debe ser incluida en la planificación de la conservación).

Por último, en una cuarta unidad, incluimos un anexo de especies clasificadas en una categoría de conservación y la bibliografía citada en este libro.

Unidad I. Espacio y tiempo, ecosistemas de la región de Atacama

Geología y relieve. La placa Sudamericana sobre la que está la región de Atacama, se encontraba en el borde occidental del continente Gondwana hace 290 millones de años (Ma). Hacia el Triásico medio a superior (200 Ma) comienzan a predominar los ambientes continentales y presencia de rocas sedimentarias en la cordillera costera y precordillera andina (al poniente del sistema de salares) (Capítulo 1). La Cordillera de Los Andes es mucho más reciente, alcanzando la altura actual hace sólo unos 4 Ma. Entre 70 y 75 km desde la línea de costa se encuentra la fosa de Atacama, donde la placa de Nazca subducciona bajo la placa Sudamericana. A los 27°S, la fosa de Atacama y el Nevado Ojos del Salado están a 149 km de distancia horizontal, y un gradiente vertical de 14,3 km (Recuadro 1.1).

Clima y Oceanografía. El clima de la región está modulado por la cordillera de Los Andes que regula el paso de masas de aire desde el Este, la Alta del Pacífico que frena la entrada de frentes polares desde el suroeste y la influencia de la corriente fría de Humboldt (como se le denomina a la rama costera del gran giro subtropical del pacífico sur oriental) que produce un descenso de las temperaturas a lo largo de la costa. En la costa es frecuente la ocurrencia de Camanchaca, que en ocasiones provoca lloviznas. Este clima desértico es ocasionalmente interrumpido una a dos veces por década por Eventos El Niño - Oscilación del Sur (ENOS), con un desplazamiento hacia el norte de la Alta del Pacífico que facilita la entrada de frentes polares que provocan inusuales lluvias invernales, la entrada desde el norte de la corriente El Niño que genera un aumento de las temperaturas del océano Pacífico, y el debilitamiento de las surgencias costeras ricas en nutrientes (Capítulo 2). En las altas cumbres destacan inusuales glaciares de zonas áridas, que a pesar de ser pequeños, su aporte de agua puede ser significativo en períodos de sequía (Recuadro 2.1). Sin embargo, los modelos climáticos permiten predecir que a finales de siglo la precipitación disminuirá hasta un 30% y la temperatura aumentará hasta 5°C; esto resultará en una menor acumulación de nieve y aumento en el riesgo de aluviones frente a lluvias torrenciales (Recuadro 2.2). Las surgencias costeras, ricas en nutrientes, entre las que destacan las ubicadas cerca de Chañaral de Aceituno y de Pan de Azúcar, son aprovechadas por el fitoplancton, que a su vez dan sustento a organismos más grandes, como los copépodos (pequeños crustáceos del plancton), peces, aves marinas e incluso grandes mamíferos como las ballenas (Recuadro 2.3).

Paleodiversidad. Esta región, con un rico acervo de biodiversidad fósil, se localiza en una de las zonas con mayor riqueza paleontológica del país y es un punto de interés científico a nivel internacional (Capítulo 3). Los fósiles más antiguos de la zona se encuentran en las cercanías del Salar de Maricunga, los que datan del Carbonífero (359-323 Ma) y corresponden a las huellas de vertebrados más antiguas del país, asignadas a anfibios; además de la presencia de peces, estromatolitos, moluscos y plantas, hasta los registros de

polen del Cuaternario, que describen la vegetación después del último evento de glaciación (Recuadros 3.1 a 3.4).

Ecosistemas. El estudio de los ecosistemas es fundamental para comprender los procesos que sustentan la biodiversidad y el manejo de los recursos biológicos del planeta con una meta de sustentabilidad, debido a que aborda las interacciones entre los sistemas bióticos, los sistemas económico-sociales, y el sistema físico del cual ambos dependen (Capítulo 4, Recuadro 4.3). Ecosistemas como la Fosa de Atacama, un gran reservorio de biodiversidad en la zona hadal, permiten la existencia del endémico anfípodo marino *Eurythenes atacamensis* y de pequeños nemátodos encontrados en sus sedimentos (Recuadro 4.1). También importantes focos de biodiversidad son los humedales costeros, eslabones fundamentales para las aves migratorias a través del desierto de Atacama (Recuadro 4.2). Valorar la contribución de la naturaleza a las personas, de cómo los servicios ecosistémicos mejoran la calidad de vida de los humanos, parte por reconocerlos en el entorno que habitamos (Recuadro 4.3).

Unidad II. Diversidad biológica, el árbol de la vida

El origen de la vida y la diversidad microbiana. Los árboles de la vida actuales dividen los seres vivos en tres dominios: bacterias (Bacteria), arqueas (Archaea) y eucariotas (Eukarya). Los dominios Bacteria y Archaea, que abarcan a todos los organismos procariontes (organismos cuyas células no contienen un núcleo celular diferenciado), estuvieron solos en el planeta por 3.000 millones de años, y fueron los responsables de crear el oxígeno que respiramos, los suelos que labramos, las redes alimenticias que sostienen nuestros océanos. Aún hoy, los microorganismos participan en los ciclos biogeoquímicos y son importantes reguladores del clima, productores de oxígeno y actúan como sumideros de gases de efecto invernadero (CO_2, NO_3, CH_4), contribuyendo a la mitigación del calentamiento global (Cavicchioli et al. 2019). Comparado con plantas y animales, los procariotes contribuyen con una mayor concentración de nitrógeno y carbono del suelo. Participan en la formación de costras biológicas que favorecen la estabilización de los suelos (Capítulo 5). Recientemente se describió una nueva bacteria, *Pseudomonas atacamensis*, la que tendría una relación benéfica con raíces de plantas del Desierto Florido (Poblete-Morales et al. 2020). Desde los estromatolitos en el Salar de Pedernales (Capítulo 5) hasta en la Fosa de Atacama (Recuadro 4.1), albergan una asombrosa biodiversidad microbiana.

Algas. La evolución de organismos nucleados que establecen relaciones simbiontes con organismos procariontes, dando origen a organelos como las mitocondrias (simbiosis con una bacteria aeróbica, Capítulo 5) y cloroplastos simples (provenientes de cianobacterias o algas verde-azules), o complejos (como en las algas pardas, Capítulo 6). En el reino Chromista se encuentran las algas pardas (huiros) y además de organismos unicelulares como las diatomeas, dinoflagelados y las algas doradas. En el reino Plantae encontramos a las algas rojas (división Rhodophyta), como el luche, el pelillo y la chicoria de mar, y las algas verdes (división Chlorophyta), como la lechuga de mar.

Flora terrestre. De la división Chlorophyta surgieron, hace 485 Ma, las plantas terrestres con embrión (Embriofitas), las que en la región de Atacama alcanzan cerca de 1.200 especies. Las briófitas son un grupo diverso de plantas no vasculares, con una historia evolutiva asociada a la colonización de los ambientes terrestres en un clima pasado más húmedo. En Atacama están presentes dos linajes: musgos y hepáticas, pero aún no se han registrado antocerotes (Recuadro 7.1). El siguiente salto evolutivo fue el desarrollo de tejido vascular especializado en la conducción de agua, de allí el nombre de Traqueofita o plantas vasculares. Las plantas vasculares son, sin duda, las más diversas en la región de Atacama (Capítulo 7). Las Traqueofitas incluyen a las plantas vasculares sin semilla (como los helechos), a las plantas vasculares con semilla (como los pingo-pingo) y a las plantas vasculares con flores. Algunos grupos emblemáticos de la región lo constituyen las alstroemerias, las añañucas, las violas y las cactáceas (Recuadros 7.2 a 7.5).

Líquenes y hongos. El reino Fungi, más cercano al reino Animalia que a los reinos Plantae y Chromista, posee en la región de Atacama muchos representantes, notablemente diversos en términos de especies así como de estrategias funcionales (Capítulo 8). La alimentación de los hongos es de tipo heterótrofa, es decir, a base de materia orgánica como en los animales, ya que no pueden fabricarla por sí mismos. Existen tres tipos de alimentación: saprofítica (los nutrientes proceden de materia orgánica en descomposición), parasítica (sobre animales, plantas y otros hongos) y mutualista (como los líquenes y micorrizas). Destacan los hongos formadores de líquenes (i.e., asociación simbiótica mutualista entre un hongo y un alga verde y/o una cianobacteria) que son grandes formadores de sustrato en zonas áridas. En los hongos formadores de micorrizas, las hifas del hongo se extienden desde la raíz hacia el suelo circundante, donde absorben agua y nutrientes, que son transportados a la planta. Nuevos estudios muestran importante presencia de hongos micorrícicos en plantas nativas de Atacama (Recuadro 8.1). Al conectar raíces de distintas especies, el conjunto se comporta como un “súper organismo”.

Animalia. El último reino en analizar es Animalia, representadas en la región de Atacama desde los más basales como las esponjas, las medusas y los corales de aguas frías (Capítulo 9), los protóstomos (superphyla Spiralia y Ecdysozoa) (Capítulos 9 al 11), y los deuteróstomos (equinodermos y cordados, incluídos los piures, reptiles, aves, anfibios y mamíferos) (Capítulos 12 al 18, y recuadros asociados). Dentro de los protóstomos, destacamos a los dos Phyla con la mayor diversidad taxonómica de Animalia y alta diversidad funcional: Mollusca (Capítulo 10) y Arthropoda (Capítulo 11), que por la rica información recopilada, es mejor ir directamente a sus capítulos.

Por el lado de los deuteróstomos, sorprende que el piure sea

un pariente ancestral de los vertebrados, así es, su larva de nado libre tiene un primordio de columna vertebral o notocorda y una faringe perforada, estructuras morfológicas que caracterizan a los vertebrados, y que se reabsorbe al momento de asentarse sobre rocas o cualquier superficie flotante (Capítulo 13). También que los peces (primeros vertebrados) son un grupo parafilético, desde la rama basal de Cyclostomata (peces sin mandíbula), seguida de Condrictios (peces de esqueleto cartilaginoso) y los peces actinopterigios (con aletas radiadas) (Capítulo 14, Recuadros 14.1 y 14.2). Aunque los ensambles de peces de Atacama presentan una baja riqueza de especies, la costa de Atacama es parte del productivo sistema de la corriente de Humboldt que sustenta altos niveles de biomasa. Sorprende también que los reptiles corresponden a dos grupos evolutivos separados con un origen hace 300 Ma, la primera rama corresponde a Archelosauria (que incluye a tortugas, cocodrilos, y a las aves) y la rama Lepidosauria (que incluye a lagartijas, gecos y serpientes). En cuanto al registro fósil de reptiles en la región (detalle en Capítulo 3), destaca el hallazgo de Ictiosaurios marinos que corresponden al Jurásico Inferior y Triásico Tardío (Otero et al. 2015), y Plesiosaurios en la cordillera asignados al Jurásico Medio (Otero et al. 2015). Finalmente, existen registros de Arcosaurios no avianos (dinosaurios) en localidades costeras correspondientes al Jurásico, Cretácico Inferior y Superior (Soto-Acuña et al. 2015). En Atacama, el suri o ñandú de la puna y la perdiz chilena pertenecen a la rama más antigua de las aves, poseen protoplumas, que estarían asociadas al control de la temperatura y no al vuelo, al igual que los dinosaurios bípedos emplumados que evolucionaron hace 160 Ma (Capítulo 17). Las aves también presentan una interesante diversidad funcional, evaluadas por su alimentación y estilo de vida, incluyendo nivel trófico, nicho trófico, estilo de vida y hábitat principal (Recuadro 17.1). Destacamos características de la historia natural del loro tricahue, la golondrina de mar y el pingüino de Humboldt (Recuadros 17.2 al 17.4).

Los primeros mamíferos verdaderos aparecieron hacia finales del periodo Triásico, hace unos 210 Ma desde un ancestro común a reptiles y aves (Iriarte 2008). Sin embargo, la verdadera explosión evolutiva de los mamíferos se produjo tras la extinción en masa del final del Cretácico, hace unos 65 Ma. En la región de Atacama están registradas 71 especies de mamíferos nativos que viven en el territorio y maritorio (Capítulo 18). Además, presentamos antecedentes más detallados de chinchillas, guanacos y cetáceos característicos de la región (Recuadros 18.1 a 18.3).

Unidad III. Conservación y el ser humano

Pueblos originarios. Desde la llegada de los primeros pueblos a la actual región de Atacama a fines de la última glaciación (ca. 12.000 años antes del presente), la calidad de vida de la población dependió, en gran medida, de los servicios ecosistémicos que proporcionó la biodiversidad, en especial de los alimentos proporcionados por el mar (Capítulo 19). También fueron parcialmente responsables de extinciones de megafauna como los gonfoterios (pariente extinto de los elefantes actuales) y del caballo americano. El conocimiento de la biodiversidad local aún se mantiene en el pueblo Colla (Recuadro 19.1) y en los descendientes de los Changos (Recuadro 19.2).

Estado de conservación de la biodiversidad. El porcentaje protegido y representado de cada uno de los diversos ecosistemas terrestres y marinos regionales están aún muy por debajo de las metas del 30% para el año 2030. Es urgente aumentar la superficie protegida de la región considerando herramientas de planificación ecorregional de apoyo a la toma de decisiones y el conocimiento de la biodiversidad regional, relevando las áreas de alto valor para la conservación (i.e., sitios prioritarios), lugares importantes para la conservación del patrimonio natural de la región de Atacama (Capítulo 21).

Amenazas a la biodiversidad. En Chile, se considera daño a la biodiversidad cuando existe una pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo de los organismos vivos o los ecosistemas (Capítulo 22). Chile ha implementado la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030 (en actualización), que fomenta la colaboración entre diversos sectores para la protección de la biodiversidad y la promoción de prácticas sustentables. Las amenazas a la biodiversidad, que abarcan desde la agricultura y ganadería hasta la minería, la generación de energía, el turismo y recreación, la sobreexplotación de recursos naturales, la propagación de especies invasoras y la desalinización de agua de mar, muestran la complejidad de preservar los frágiles ecosistemas de esta región única (Recuadros 22.1 a 22.4).

Turismo de intereses especiales. Desde excursiones a los Seismiles y otros ambientes de alta montaña, el desierto florido, geología y dunas, el avistamiento de cetáceos y el turismo submarino, son algunos de los ejemplos de turismos de intereses especiales tratados en el Capítulo 23 y Recuadros 23.1 al 23.6. Destacamos la invitación que nos hacen en el Recuadro 23.6 para explorar y capturar la riqueza de la biodiversidad marina en la región, a sumergirse en un compromiso profundo de conservación. Hay un reino submarino que deslumbra con su asombrosa biodiversidad y una belleza que desafía lo conocido.

Educación y Conservación. El propósito de la Política Nacional de Educación para el Desarrollo Sustentable (EDS) fundamenta las relaciones entre educación y conservación de la biodiversidad y debería ser tema central en la gestión ambiental regional (Capítulo 24). En el ámbito específico de la biodiversidad, la educación en ciencias propende al desarrollo de capacidades en los estudiantes para que tomen decisiones de manera fundamentada, dotándolos de competencias teóricas y prácticas que les permitan tomar decisiones en políticas públicas sobre conservación de la biodiversidad (García-Gómez & Martínez 2010). El diseño de las Secuencias de Enseñanza Aprendizaje presentadas en este libro consideró el currículo de los diferentes niveles

educativos, donde la biodiversidad y su conservación es un contenido transversal. En las secuencias didácticas que se proponen en el Capítulo 24 (y Recuadros 24.1 y 24.2), se inicia el diseño "reconstruyendo" el concepto biodiversidad, es decir, buscando la manera de hacerlo enseñable; motivador y atractivo para las y los estudiantes, a la vez que les sirva para la vida personal y en sociedad, y esté dentro del marco curricular vigente.

Naturalista Atacameño. Enrique Ernesto Gigoux Vega (Copiapó, julio 18 de 1863–Santiago de Chile, julio 26 de 1951) fue un multifacético amante de la naturaleza: observador, estudioso, inquisitivo e intelectualmente inquieto, al extremo. Desde muy joven recorrió valles, montañas, desiertos y costas de lo que hoy es la región de Atacama para describir en detalle su naturaleza; desde la geología, la paleontología y el clima, hasta su flora y su fauna (Capítulo 25).

Agradecimientos

Los editores de este libro agradecen a todos los autores de capítulos y recuadros. Su generosa contribución muestra la diversidad de enfoques con que se estudia la vida. También agradecemos a los revisores anónimos que aportaron su tiempo en mejorar la calidad de las contribuciones.

Agradecemos especialmente a la Dra. Karina Martínez-Tillería por su apoyo como asistente ejecutiva de la iniciativa, a Marco A. Figueroa por la excelente diagramación, a Mauricio Alvarez Abel por la confección de ilustraciones, y a los numerosos autores de fotografías que contribuyeron a embellecer con sus imágenes las páginas de este libro.

Los editores queremos expresar nuestros agradecimientos al Ministerio del Medio Ambiente y a la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de Atacama, por creer y apoyar este proyecto. Deseamos reconocer en forma especial, a los profesionales de la CONAF Atacama, Sernapesca Atacama, Museo Paleontológico de Caldera y al Tour operador de Chañaral de Aceituno Luis González, por su apoyo con textos y fotografías para los capítulos del libro. Un particular agradecimiento a Gustavo Duarte y Eduardo Sorensen por facilitar sus hermosas fotografías submarinas, las que embellecen y valorizan gráficamente esta publicación. Son muchas las personas que de alguna u otra forma participaron y alentaron la realización de este libro de biodiversidad para ser parte del saber de todos y todas, los y las habitantes de la región de Atacama. Para todos ellos vaya nuestro agradecimiento. De esta forma estamos seguros que podremos dar un gran paso en la conservación de los ecosistemas y el patrimonio atacameño, a la vez tan poderosamente hermoso, a la vez tan frágilmente vulnerable.

También destacamos el importante aporte de alumnos y graduados del doctorado en Biología y Ecología Aplicada, un programa colaborativo de las universidades de La Serena y Católica del Norte, con la participación de CEAZA e INIA-Intihasi.

No podemos terminar los agradecimientos, sin antes mencionar y agradecer la visión, gestión y determinación del área ambiental de CMP, en particular a Paulina Andreoli, Cynthia Orroño y Carol Vitali, que siempre creyeron en la viabilidad de este libro. También agradecer a David Videla quien, si bien ya no está en CMP, dio el punta pie inicial a este proyecto.

La elaboración del presente libro ha sido posible gracias a los recursos aportados por la Compañía Minera del Pacífico (CMP), una filial de la Compañía de Aceros del Pacífico (CAP), y el proyecto ANID FB210006 del Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), como una contribución al conocimiento de la biodiversidad de la región de Atacama.

Unidad I

Espacio y Tiempo: Ecosistemas de la región de Atacama

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 1:3-9



Capítulo 1 Geología y relieve de la región de Atacama

José Enrique Novoa Jerez

Introducción

Cuando se recorre la región de Atacama, nos encontramos frente a un relieve que recoge una historia geológica realmente impresionante, pocas veces vista en el planeta porque la sequedad actual de su paisaje permite visualizar con cierta facilidad la enorme cantidad de singularidades que se presentan ante nuestros ojos. Su conocimiento y comprensión son fundamentales para reconocer y valorar el patrimonio ante el cual nos enfrentamos. Su relieve, su geomorfología, su geología y recursos minerales se comienzan a construir desde hace más de 390 millones de años, cuando este territorio se encontraba ubicado muy próximo al Círculo Polar Antártico formando parte de la Pangea (en lo que ahora es el Pacífico Sur, al poniente de la Península Antártica). La deriva continental y la tectónica de placas permitieron su desplazamiento por más de 5.000 km hacia el noreste hasta la posición actual, proceso que se generó por compresión y deslizamientos laterales, su posterior plegamiento, alzamiento y erosión que explican la existencia de sedimentos y fósiles marinos en precordillera y cordillera, sistemas de salares altiplánicos y una actual dinámica de subducción que continúa elevando el relieve para facilitar una morfodinámica muy elevada de erosión, transporte y sedimentación que, durante períodos lluviosos, puede llegar a colapsar el ambiente humanizado, producto de sismos, tsunamis y aluviones.



Nevados Ojos del Salado, el volcán más alto del mundo con 6.893 msnm

Marco geológico de la región de Atacama

El marco geológico regional se caracteriza por la disminución del plano de inclinación de la Placa de Nazca bajo la Sudamericana, lo que permite la desaparición de vulcanismo activo en la cordillera. Las unidades geológicas se registran desde el Devónico medio cuando esta área se encontraba en el borde occidental de Gondwana en un ambiente oceánico y continental. Hacia el Triásico medio a superior comienzan a predominar los ambientes continentales y presencia de rocas sedimentarias en la cordillera costera y precordillera andina (al poniente del sistema de salares) (Álvarez 2015) (Figs. 1 y 2).

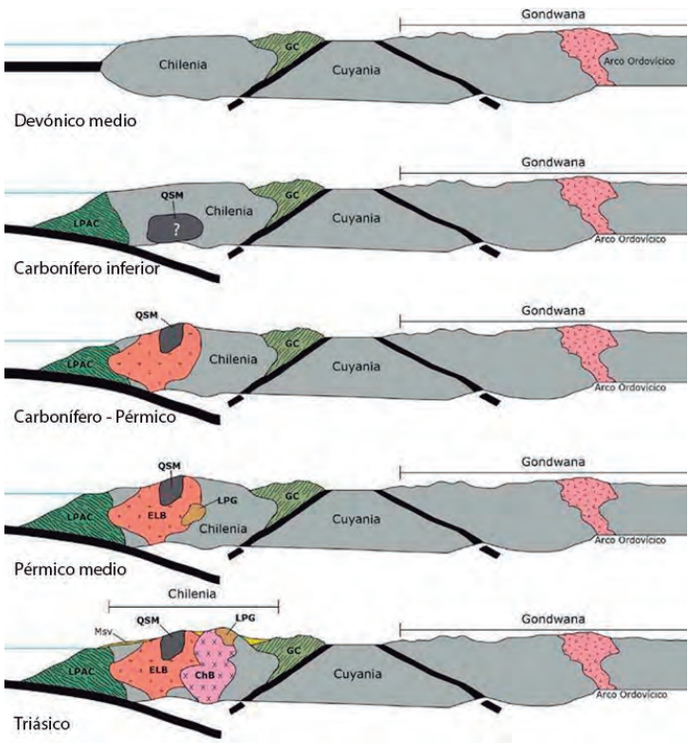


Figura 1. Paleogeografía paleozoica en la actual región de Atacama, desde el Devónico medio (ca. 393 a 382 Ma) hasta el Triásico (ca. 250 a 200 Ma) (Álvarez 2015).

Entre el Jurásico inferior y el Cretácico inferior, los depósitos continentales sedimentarios presentan intercalaciones de procesos volcánicos que comprime los antiguos sedimentos marinos y rellena las cuencas tectónicas con material de origen volcánico que da inicios a la elevación altiplánica (Corvalán 1974) (Fig. 2).

Durante el Cretácico superior y hasta el Paleógeno se produce el vulcanismo precordillerano (al este de El Salvador, Potrerillos, Inca de Oro y Copiapó) (Martínez et al. 2021) (Fig. 2), etapa en que comienza a disminuir el ángulo de subducción de la Placa de Nazca que se hará completamente evidente hacia el Mioceno y con ello la desaparición de la actividad volcánica en la sección meridional del territorio, no sin antes haber dejado emplazados los sistemas volcánicos que se aprecian en la actualidad con todos sus efectos sobre el área del Tres Cruces y al oriente de Maricunga con un vulcanismo que perdura muy disminuido hasta el Plioceno (Fig. 2).

Producto del empuje de la dorsal de Juan Fernández, es que se

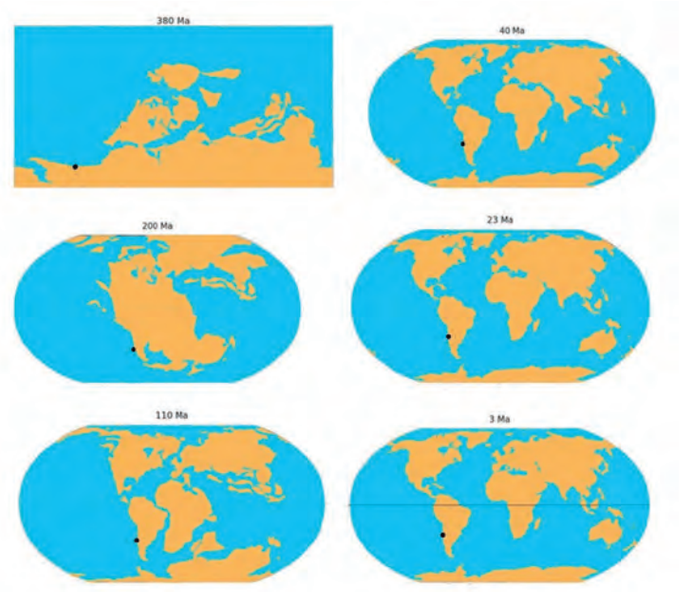


Figura 2. Ubicación de la región de Atacama en el tiempo geológico según el modelo Paleomap. La región se encuentra representada con el punto negro y Ma son millones de años. El Devónico (380 Ma), Triásico medio a superior (200 Ma), Jurásico inferior (hace unos 190 Ma) y el Cretácico inferior (hace unos 110 Ma), Cretácico superior y hasta el Paleógeno (entre 68 y 40 Ma), el Mioceno (23 Ma) y el Plioceno (3 Ma). Fuente: Modificado y simplificado de portal.gplates.org/map/ (Müller et al. 2018).

comienza a desplazar el área volcánica hacia el este desde la cordillera costera y se engrosa la corteza desde 30 a 50 km de profundidad (Litvak et al. 2018). Con ello, se alcanza la máxima expresión de altitud altiplánica regional para fines del Mioceno, cambio estructural de las pendientes que darán origen a las “gravas de Atacama” 23 millones de años atrás, que cubren gran parte del territorio regional desde la precordillera hacia aguas abajo.

Los depósitos litorales, se ubican a lo largo del borde costero regional, bajo la denominación de Formación sedimentaria Bahía Inglesa, que responde a una secuencia transgresiva-regresiva marina fosilífera con intercalaciones fluviales y aluviales que se habría formado entre el Mioceno medio al Plioceno tardío hace unos 2,5 millones de años (Fig. 2) (Godoy et al. 2003).

La geología submarina de la región de Atacama no queda ajena a los procesos descritos con anterioridad. Siguiendo a Folguera et al. (2018), la Placa de Nazca se formó desde la dorsal del Pacífico Este hace unos 38 Ma (Fig. 2), generando el posterior proceso de subducción que dará paso a la creación de la Fosa de Atacama, a una velocidad de conjunción que se ha calculado en 67 km por millón de años. El promedio de convergencia de los últimos 20 millones de años, alcanza los 85 km por millón de años y posee sedimentos de turbiditas menores a 500 metros de espesor, hace 22 Ma se produce el choque de esta sección de la placa de Nazca con la dorsal de Juan Fernández a unos 22°S, durante el proceso de subducción se ha estimado en hasta 50 km³/km de materiales que se introducen bajo la placa Sudamericana cada millón de años.

La fosa de Atacama ha sido formada por la exhumación de un arco magmático Mesozoico (250 a 60 Ma) que se superpuso a la fase de

subducción Nazca-Sudamericana (Fig. 1). Dado este proceso, se puede hipotetizar que el sustrato geológico del fondo marino entre la Fosa de Atacama y la cordillera costera presenta un basamento de rocas intrusivas paleozoicas y remanentes metamórficos de fines del Paleozoico, sujeto a dinámicas de un prisma de acreción, así como de rocas intrusivas Jurásico-Triásicas, que han facilitado la presencia de rocas sedimentarias de origen volcánico (SERNAGEOMIN 2003).

Geomorfología y relieve de la región de Atacama

Al caracterizar los rasgos generales del relieve de la región de Atacama, es posible establecer la presencia de algunas unidades que dominan el paisaje regional (Novoa et al. 2008) desde el sistema andino con la exuberancia de las lagunas y salares existentes en las cuencas altiplánicas, enmarcadas por la cordillera y precordillera que, en dirección a la costa, permite destacar una serie de pampas intermedias que en estas latitudes reemplaza la depresión central del país y, una cordillera costera que encierran las planicies fluviomarinas litorales. En el ambiente submarino, destacan luego del talud continental, que se precipita en abrupta caída hacia la fosa de Atacama (a 93 km de caleta Pajonales) e irregularidades estructurales bastante importantes, antes de proyectarse hacia la plataforma con 4 mil metros de profundidad. Estas unidades estructurales del relieve se pueden apreciar al trazar un perfil a los 27°40´S (ver Recuadro 1.1).

Sistema andino

El sistema andino, cuyas lagunas y salares se insertan en la cordillera y precordillera regional, representa una superficie muy cercana a la mitad del relieve regional (47,5%) con 35.563 km² (Novoa et al. 2008), condición que permite aseverar una impronta morfodinámica periglacial criogénica, donde prevalecen procesos de erosión y transporte de sedimentos desde la cordillera hacia cuencas andinas, los valles fluviales y la costa.

El área de Laguna Verde, sector de acumulación de aguas de deshielo y ocasionalmente de aguas lluvias estivales que ha sido afectada por desecamiento generalizado en períodos geológicos pasados (Amundson et al. 2012), como se aprecia en el primer plano de la imagen con un antiguo nivel de encostramiento salino en lo que fuera el paleo-nivel de esta laguna, encostramiento que se puede seguir en todo su borde a unos 70 metros de altura respecto del nivel de acumulación actual.



Laguna Verde, es un lago hipersalado de montaña conocido por su color esmeralda. Vista hacia el noreste a 4.370 msnm.



El Salar de Maricunga es una cuenca endorreica en los Andes de la región de Atacama. Vista hacia el sur a 3.758 msnm.



Sistema montañoso precordillerano, al poniente de las lagunas altiplánicas en el portezuelo a 3.500 msnm

En el área del Salar de Maricunga, con el nivel de acumulación de la salinización actual, en el fondo se alcanza a divisar la sección norte del Parque Nacional Nevado Tres Cruces, afloramiento montañoso desde el cual procede una parte importante de las sales minerales que se acumulan en este bolsón andino, mediante procesos de erosión nivo-pluvial y transporte pluvio-nival producto de dinámicas de deshielo en sus laderas, para alcanzar dinámicas de sedimentación pluvio-nivales en el actual nivel del salar, proceso derivado del transporte por escorrentía superficial en manto y pocas veces mediante escurrimiento concentrado a lo largo de algunas pequeñas quebradas circundantes.

En las estribaciones australes del sistema montañoso precordillerano, al poniente de las lagunas altiplánicas, se ejemplifica las morfodinámicas pluvio-nivales que permiten la erosión y transporte de sales minerales hacia el oriente y de sedimentos hacia el poniente. Destaca una serie de procesos morfodinámicos de ladera que son propios de estos ambientes áridos, permitiendo la identificación de depósitos de talud gravitacionales, en los cuales se inscriben dinámicas con descenso lento de pequeños conos de solifluxión y desprendimientos gravitacionales, desde los afloramientos rocosos que por su escaso desarrollo impiden la generación de abanicos depositacionales.

Pampas intermedias

Las pampas intermedias, reúnen a las pampas transicionales y a la pampa ondulada austral que en conjunto alcanzan una superficie de 24.657 km² (32,7%) del relieve regional (Novoa et al. 2008). En este caso, los procesos dominantes corresponden a dinámicas de transporte y depositación de los sedimentos provenientes del sistema andino desde el oriente y de la cordillera costera regional desde el poniente.

Los procesos predominantes se relacionan con los períodos de altas precipitaciones asociadas con el fenómeno de El Niño, *momentum* geomorfológico que favorece dinámicas de movimientos en masa, tales como deslizamientos y aluviones de gran extensión. Este transporte, que en algunos casos pueden ser catalogados como flujos rápidos, recubren una superficie importante del sistema pampino que, al llegar los períodos secos, facilitan una morfodinámica de origen eólica mediante la cual los sedimentos se ven desplazados por el viento, dejando en superficie los clastos que por su tamaño, no pueden ser movilizados por el flujo de aire, llegando a configurar un pavimento desértico. El retorno del ciclo lluvioso, permite desplazarlos aguas abajo y nuevamente se recubren con los sedimentos finos de los flujos en masa, generando un ciclo de erosión y transporte característico de los ambientes áridos y semiáridos.



Pampa ondulada austral al norte de la ciudad de Vallenar

Cordillera costera

La cordillera costera, responde a la distribución nacional de este relieve homónimo que a nivel regional (11,9%) corresponde a la tercera unidad según los 8.951 km² que posee (Novoa et al. 2008), ambiente en el cual predominan dinámicas de erosión que aportan sedimentos tanto a las pampas intermedias por el oriente, como a los sistemas litorales por el poniente.

La antigüedad de estos afloramientos altamente fracturados y diaclasados (Moscoso y Mpodozis 1988, Riquelme et al. 2003), favorece la generación de depósitos gravitacionales en sus laderas que permiten configurar conos de derrumbes e incluso de deyección, a partir de los cuales se estructuran superficies de regolito que permiten abastecer de minerales a los suelos incipientes que se forman en su base y en la superficie de las antiguas plataformas marinas con las cuales deslinda (Pfeiffer et al. 2021).



Cordillera Costera en Playa El Caleuche, 9 km al sur de Chañaral

Planicies fluviomarinas litorales

Según la superficie que poseen (7,1%), las planicies fluviomarinas litorales, con sus 5.338 km² (Novoa et al. 2008), corresponden a la unidad del relieve que se encuentra colindante con el Océano Pacífico y posee la particularidad de reunir procesos morfodinámicos de erosión, sedimentación y transporte, en virtud de la interacción que posee actualmente y que ha tenido en el pasado geológico. Este ambiente costero, con la superposición de procesos morfodinámicos fluviales y marinos, los primeros con una orientación poniente a oriente y los segundos de sur a norte conforme la deriva litoral predominante. Además, no por ello menos relevante, la acción del viento como agente morfodinámico que ha facilitado la configuración de amplios e impresionantes campos dunarios que recubren estas planicies

Una plataforma de abrasión marina en torno a los 120 msnm demuestra la variación del nivel del mar en tiempos pleistocénicos, pulsos marinos que facilitaron el desarrollo y evolución de campos dunares interiores que se emplazan entre las ciudades de Caldera y Copiapó (Araya 2001, Castro et al. 2013) y diversos emplazamientos a lo largo de la costa (Nash et al. 2018).

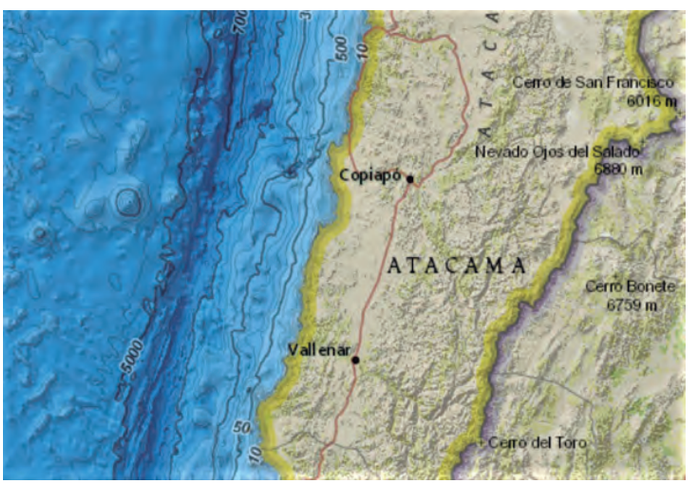


Planicies litorales en Carrizal Bajo, ubicada a 50 km al norte de Huasco

Relieve submarino regional

El relieve submarino regional incluye la plataforma continental, la Fosa de Atacama (ver Recuadro 4.1) y el fondo marino hasta las 200 millas naúticas (i.e., 370 km al oeste de la línea de costa). Es posible visualizar a escala regional el relieve submarino e incluso algún nivel de detalle en el área de las desembocaduras de los ríos Copiapó y Huasco. Esta cartografía muestra muy claramente la diferencia altitudinal de la región de Atacama que con un desnivel que supera los 11 km (al considerar la profundidad de la Fosa de Atacama y el Nevado Ojos del Salado), con un relieve submarino que se presenta prácticamente paralelo estructuralmente a la costa actual (ver Recuadro 1.1), sólo interrumpido por la proyección geomorfológica de los principales escurrimientos (ríos Copiapó y Huasco) al conectarse con la Fosa de Atacama, mediante cañones submarinos de varias decenas de kilómetros de ancho, que se orientan de oriente a poniente con desviaciones hacia el suroeste en el primer caso y hacia el noroeste en el segundo.

La irregularidad del fondo marino luego de la Fosa de Atacama, permite reconocer una serie de montañas que no alcanzan continuidad como para ser llamadas cordilleras pero que poseen alturas focalizadas de 2500 metros entre los 4000 y 1500 m de profundidad, rugosidad del fondo marino que posteriormente se aprecia regular en torno a los 4000 mbnm. Todas estas unidades geomorfológicas, son atribuibles a la tectónica que se ha producido por la placa de Nazca en su proceso de desplazamiento geológico desde que fuera parte del margen de Godwana hasta la actualidad.



Conclusiones

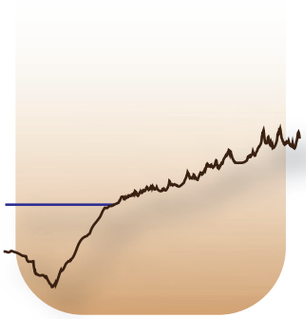
Lo descrito en las líneas previas, es una propuesta y desafío para recorrer la región de Atacama con una mirada diferente que facilite apreciar su patrimonio geológico y geomorfológico. Permite ejemplificar las interpretaciones realizadas para la evolución del relieve regional planteadas por Naranjo y Paskoff (1980), desde la configuración de una topografía madura durante el Cenozoico, seguida por el proceso de solevantamiento andino (Bissig y Riquelme 2010) en el Paleógeno, con la incisión vertical de los escurrimientos principales antes del Oligoceno, cambio de base sedimentaria que explica la presencia de antiguos depósitos detríticos durante el Mioceno y que finaliza con un rejuvenecimiento del drenaje en el Cuaternario.

Además, se abren nuevas perspectivas analíticas para el relieve y geomorfología en ambientes áridos y semiáridos como los que han sido abordados (Arenas-Díaz et al. 2022), relacionados con el comportamiento de las fuentes de sedimentos y los tiempos relativos necesarios para generar morfogénesis, morfodinámicas y pedogénesis en el marco del cambio climático (Novoa 2001).

Síntesis de los aspectos geológicos y geomorfológicos de la región de Atacama. Se muestra la presencia de las diferentes unidades geológicas en los sistemas geomorfológicos descritos (Modificado de Griem 2007 - 2020).

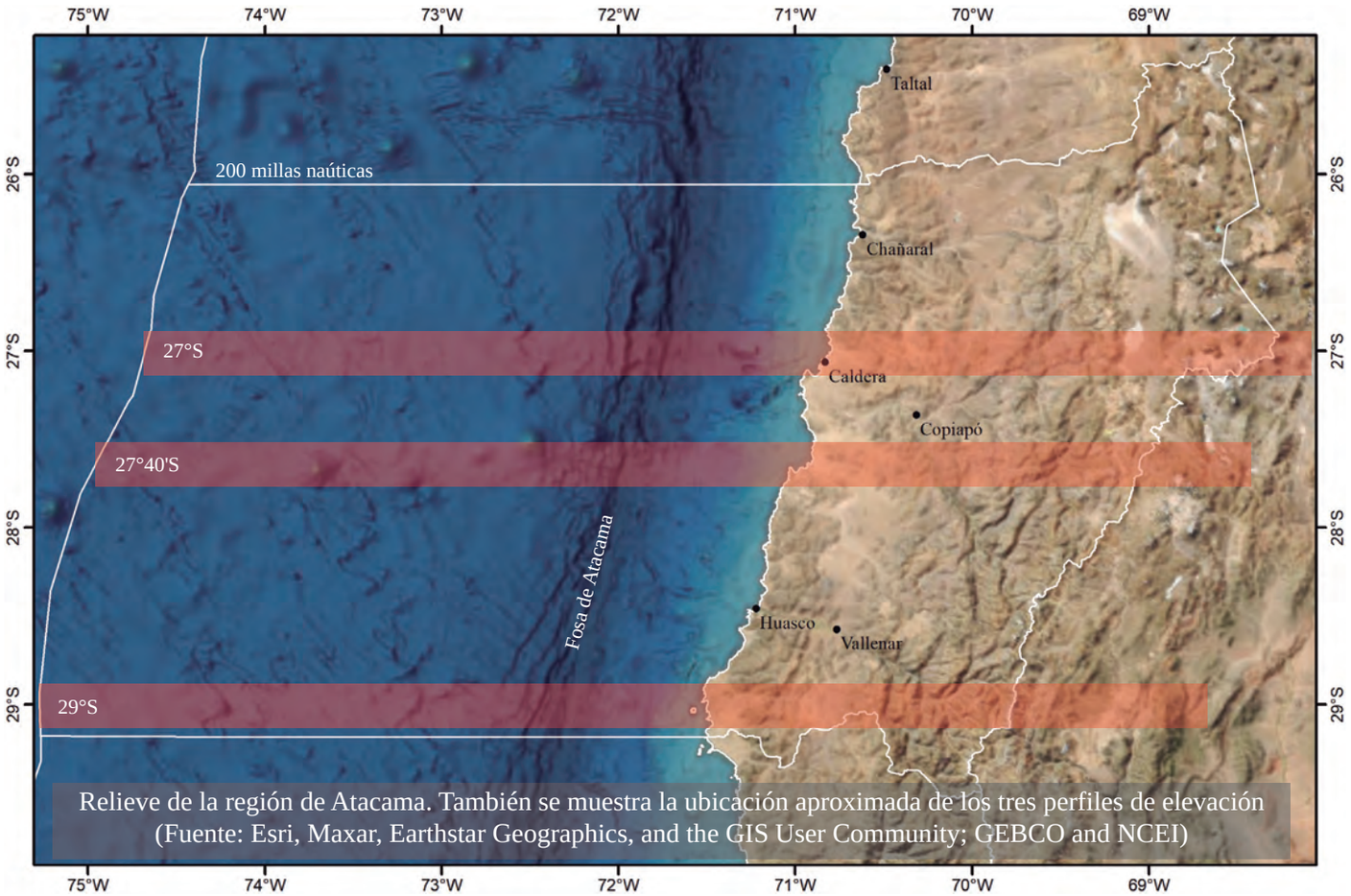
Período Geológico	Sistema	Tiempo	Sistema andino	Pampas intermedias	Cordillera costera	Relieve submarino
Cuaternario	Depósitos eólicos	25 mil años hasta la actualidad			x	
	Depósitos aluviales	25 mil años hasta la actualidad	x	x	x	
	Depósitos marinos	2,3 Ma hasta la actualidad			x	x
	Depósitos de evaporación	2,3 Ma hasta la actualidad	x			
Paleógeno y Neógeno (Terciario)	Gravas de Atacama	13 a 12 Ma		x		
	Depósitos Marinos	66 a 33,9 Ma			x	x
	Volcanismo terciario	68 a 6,9 Ma	x	x		
Jurásico	Formación Sierra Fraga	156 a 144 Ma		x		x
	Formación Lautaro	200 a 175 Ma	x	x		x
Triásico	Formación La Ternera	225 a 213 Ma	x	x		x
Pérmico	Granitos	hace unos 253 Ma	x	x		x
Pre-Pérmico	Formación La Tabla	hace unos 350 Ma		x	x	x

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 1.1:10-11



Recuadro 1.1 Perfiles altitudinales de la región de Atacama: un gradiente vertical de 14 kilómetros

Francisco A. Squeo & David López



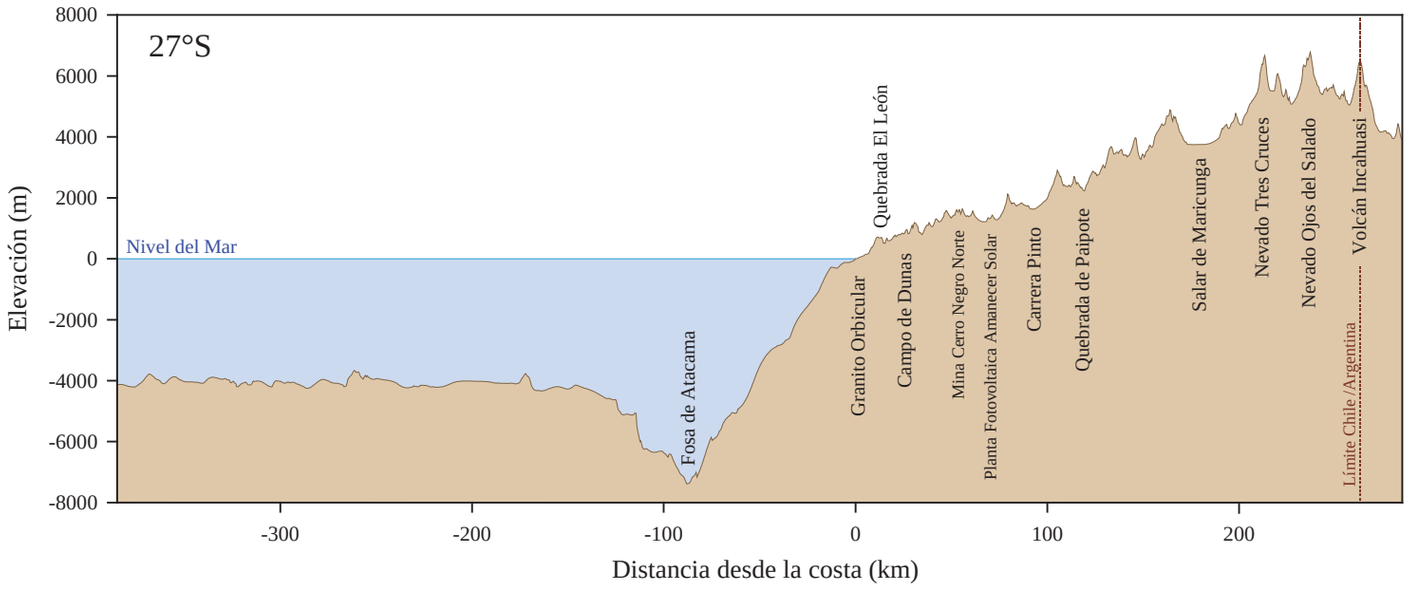
Relieve de la región de Atacama. También se muestra la ubicación aproximada de los tres perfiles de elevación (Fuente: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community; GEBCO and NCEI)

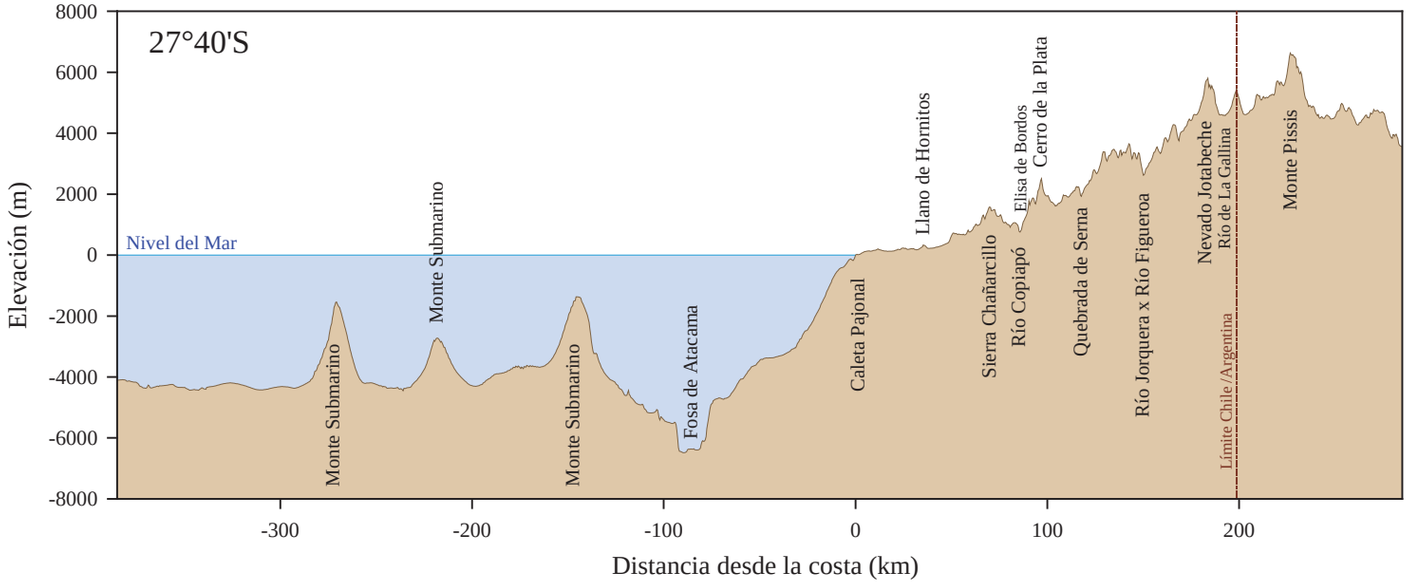
La región de Atacama posee una superficie terrestre de 75.672 km^2. Considerando las 200 millas náuticas de la zona económica exclusiva (i.e., 370,4 km desde la costa), el maritorio regional suma 136.085 km^2, lo que representa el 64% de la superficie total (211.757 km^2).

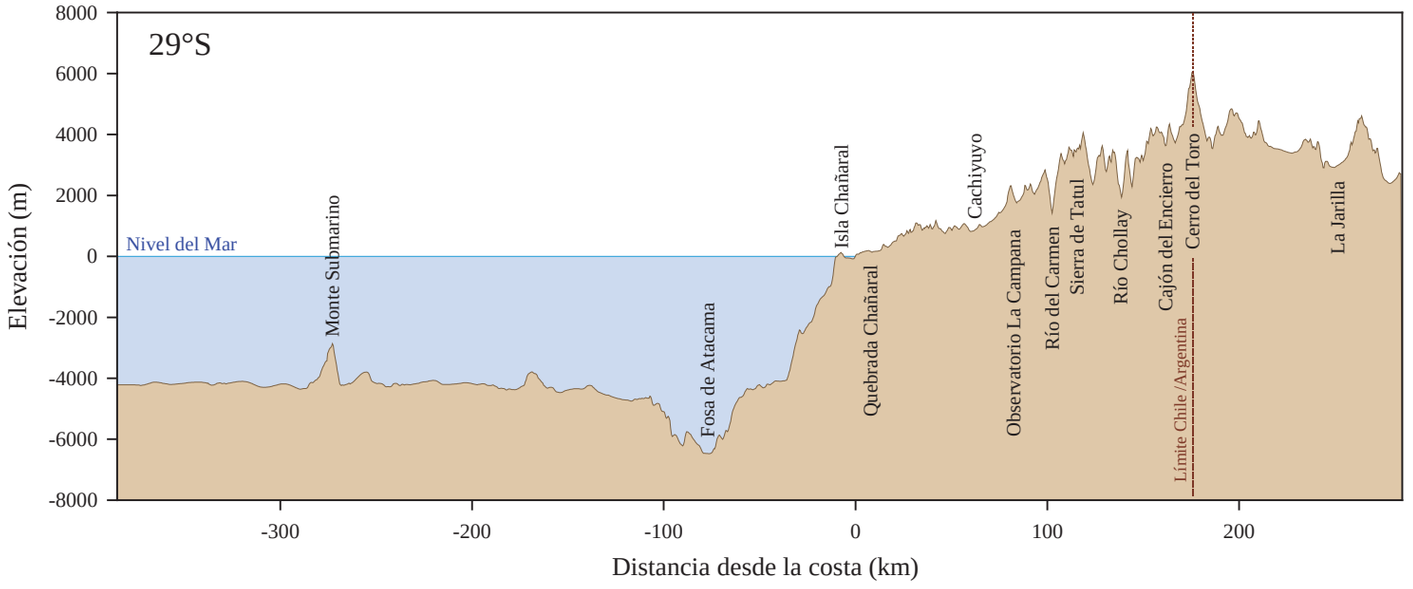
En la porción norte de la región (perfil E-O a los 27°S y de 647 km de longitud) destacan las cumbres del Volcán Incahuasi (6.638 msnm), el Nevado Tres Cruces (6.758 msnm) y el Nevado Ojos del Salado (6.891 msnm, el volcán más alto del planeta). Entre esta última cumbre y la Fosa de Atacama (7.388 mbnm a esta latitud) hay un gradiente vertical de 14,3 km en sólo 149 km horizontales (i.e., una pendiente del 10%).

En el segmento central de la región (perfil E-O a los 27°40’S y de 582 km de longitud) destacan la cumbre del Nevado Jotabeche (5.880 msnm), la Fosa de Atacama (6.490 mbnm) y tres montes submarinos ubicados al Oeste de la fosa, el más alto con cumbre submarina a 1.369 mbnm y a más de 2.300 m desde el fondo marino. El gradiente vertical en Atacama a esta latitud es de 12,4 km en 274 km horizontales. Al lado argentino, en un ramal de la cordillera de los Andes, sobresale el Monte Pissis con 6.792 msnm.

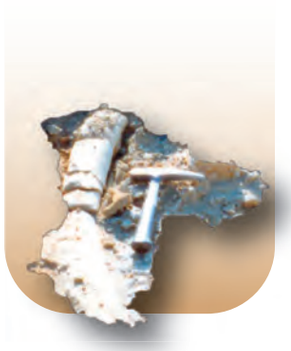
En la parte sur (perfil E-O a los 29°S y de 552 km de ancho), entre el cerro del Toro (6.168 msnm) y la Fosa de Atacama (6.477 mbnm) hay un gradiente vertical de 12,6 km en 252 km horizontales.


27°S
Elevación (m)
8000
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
-8000
Nivel del Mar
Fosa de Atacama
Granito Orbicular
Quebrada El León
Campo de Dunas
Mina Cerro Negro Norte
Planta Fotovoltaica Amanecer Solar
Carrera Pinto
Quebrada de Paipote
Salar de Maricunga
Nevado Tres Cruces
Nevado Ojos del Salado
Volcán Incahuasi
Límite Chile/Argentina
-300
-200
-100
0
100
200
Distancia desde la costa (km)


27°40'S
Elevación (m)
8000
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
-8000
Nivel del Mar
Monte Submarino
Monte Submarino
Monte Submarino
Fosa de Atacama
Caleta Pajonal
Llano de Hornitos
Sierra Chañarcillo
Río Copiapó
Elisa de Bordos
Cerro de la Plata
Quebrada de Serna
Río Jorquera x Río Figueroa
Nevado Jotabeche
Río de La Gallina
Límite Chile/Argentina
Monte Pissis
-300
-200
-100
0
100
200
Distancia desde la costa (km)


29°S
Elevación (m)
8000
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
-8000
Nivel del Mar
Monte Submarino
Fosa de Atacama
Quebrada Chañaral
Isla Chañaral
Observatorio La Campana
Río del Carmen
Cachiyuyo
Sierra de Tatul
Río Chollay
Cajón del Encierro
Cerro del Toro
Límite Chile/Argentina
La Jarilla
-300
-200
-100
0
100
200
Distancia desde la costa (km)

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 1.2:12



Recuadro 1.2 Historias de un geólogo en Atacama

Mario Rojo

Como muchos geólogos chilenos, sobre todo de generaciones anteriores a los 80, inicié mis trabajos de investigación aplicada en el norte chico. Tempranamente, me deslumbró una paleofauna exquisita del Jurásico e innumerables huellas de un pasado, sobre los 100 millones de años, que visitamos en un curso de geología de campo en la Sierra de Fraga, montañas ubicadas al este del antiguo campamento Carrera Pinto de ENAMI (hoy en ruinas en la ruta entre Paipote e Inca de Oro).

Mis primeras experiencias de trabajo, fueron por la Comisión Chilena de Energía Nuclear, en los alrededores de Copiapó y Tierra Amarilla, casualmente en las cercanías de minas de hierro Cerro Negro Norte, Adrianita/Raúl (con los japoneses de Mitsubishi haciendo labores de cierre), complejo de vetas de Bellavista y el distrito Cerro Imán, donde aún la CAP mantenía operaciones mineras a través de Santa Fe. La mayoría de los sectores mineralizados con magnetita, en parte oxidada a hematita, presentan anomalías radiactivas y de tierras raras livianas, en sí o en sus alrededores.

Emocionantes historias de mineras y mineros me tocó palpar en estas incursiones en la zona copiapina, donde se podía sentir el esfuerzo, la valentía y la inteligencia de pirquineros que trabajaban sin ningún apoyo técnico para extraer hierro, cobre y oro de innumerables laboreos semiderruidos y precarios. Sus solas historias de vida, transmitían el esfuerzo realizado y no bien compensado por los poderosos que manejaban el negocio minero, incluido el Estado.

Es importante notar que la presencia de las anomalías de uranio, torio y tierras raras detectadas en toda estas zonas ligadas a la Franja Ferrífera, desde Taltal por el norte a El Dorado por el sur en Ovalle, fueron un ingrediente desconocido a la hora de definir un "nuevo" tipo de yacimientos de Cu, Au y Fe, en donde Candelaria es el paradigma. A este tipo de yacimiento se les denominó IOCG (Iron Oxide Cooper Gold) o del tipo Olympic Dam, en alusión al yacimiento gigante australiano que contiene en su seno, prácticamente el sistema periódico completo.

Realizando trabajos de exploración de uranio en la costa de la región de Atacama, me topé con el depósito Neógeno de Bahía Inglesa, en donde destaca en su columna estratigráfica, la presencia de concreciones carbono-fosfatadas (fosforitas) con una abundante paleofauna que ha sido objeto de numerosos estudios. Esta formación la describí en el 1983 (Rojo 1983, 1985). Este valioso patrimonio paleontológico, que fue afectado por un saqueo sin control por muchos años, hoy tiene algunas medidas de protección (Recuadros 3.1 y 23.2).

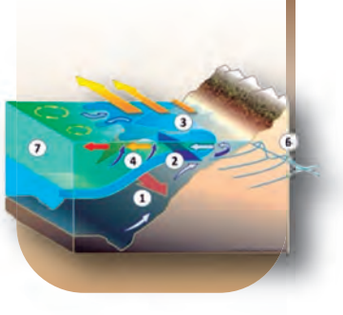
Por esos años fui contratado por la fierrera Compañía Minera del Pacífico, desarrollando trabajos de control calidad y exploración en prácticamente toda la franja costera de Atacama y Coquimbo; trabajos que permitieron poner en evidencia un mayor potencial de hierro de Cerro Negro Norte (Copiapó) y mina Los Colorados, ambos yacimientos que son hoy el sostén del Grupo CAP. Aparte, hasta mi retiro de la Compañía, estuve directamente involucrado en el gran aumento de recursos, sobre todo en Atacama, y el descubrimiento del último gran yacimiento de hierro en Chile, a unos 2,3 km al norte de El Tofo (región de Coquimbo), depósito que contiene del orden de 1.000 millones de toneladas de recursos de magnetita.

Los profesionales no tenemos fechas de expiración, y a pesar de estar ya retirado del trabajo diario, todavía hay personas que me ubican para saber algo más, del punto de vista geológico, de la costa de las regiones de Atacama y Coquimbo.



Descubriendo las fosforitas 1981

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 2:13-20



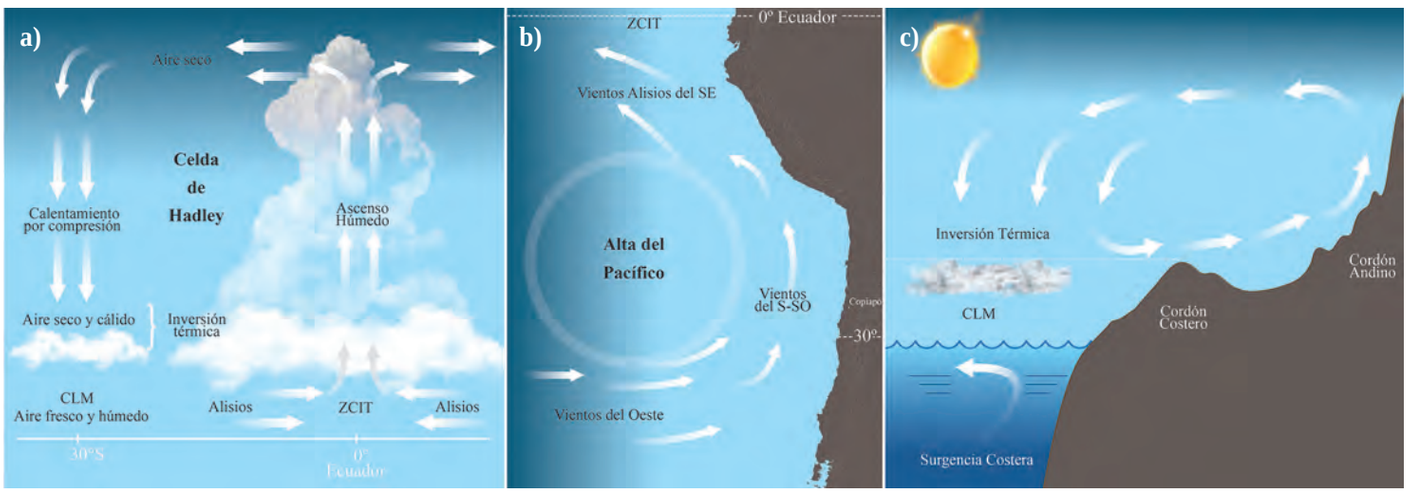
Capítulo 2 Clima y Oceanografía de la región de Atacama

José A. Rutllant, Marcel Ramos, Eduardo Flores & Jorge Oyanadel

Circulación atmosférica a nivel continental

La región de Atacama está inserta dentro de los subtrópicos de la costa occidental árida de Sudamérica. La mayor parte del año esta región se encuentra bajo la influencia de la rama subsidente (descendente) de la celda de Hadley. En ella el aire desciende calentándose por compresión y secándose, formando una capa de inversión térmica al encontrarse con aire más frío sobre el mar (capa límite marina: CLM). Esta capa de inversión térmica de subsidencia limita la extensión vertical de la CLM y, por consiguiente, el desarrollo vertical de las nubes (requisito para que puedan precipitar) que frecuentemente se observan en su parte superior. Por consiguiente, esta capa nubosa relativamente delgada no precipita más allá de ocasionales lloviznas, favoreciendo la presencia de "camanchacas" cuando intercepta el relieve costero. La rama descendente de la celda de Hadley se manifiesta sobre la superficie del océano como un anticiclón (centro de alta presión) subtropical que se refuerza cerca de la costa resultando en el dominio de los vientos costeros del S y SO. La contrapartida ascendente de la celda Hadley se encuentra en la llamada zona de convergencia inter-tropical, donde los vientos alisios de ambos hemisferios convergen. Al sur de este anticiclón subtropical se desarrolla el cinturón de vientos del oeste donde se generan las perturbaciones frontales que ocasionalmente alcanzan a la región de Atacama, donde la precipitación se ve favorecida por un debilitamiento del anticiclón subtropical y de la inversión térmica asociada.

La inhibición de las precipitaciones, inherente a la estabilidad atmosférica asociada a la presencia de la inversión térmica, se ve reforzada por la advección de aguas frías desde el S (corrientes superficiales de Humboldt) y por procesos de surgencia de aguas frías cerca de la costa, ambos forzados por los vientos del S-SO y por la acción de la rotación terrestre (efecto de Coriolis).



Patrones de circulación atmosférica que afectan el entorno de la costa occidental árida de Sud América: a) celda de Hadley y la zona de convergencia inter-tropical (ZCIT); b) el anticilón subtropical del Pacífico SE (Alta del Pacífico SE), vientos alisios del SE y cinturón de vientos del O; c) la inversión térmica de subsidencia, capa límite marina (CLM) y la surencia costera.

La extrema sequedad de los valles interiores y pre-andinos de la región de Atacama se debe, además del dominio general del aire seco subsidente, a la presencia del cordón costero que, junto a la inversión térmica, bloquean la penetración hacia tierra adentro de la CLM. Esto no ocurre en valles como el del río Copiapó, donde la nubosidad costera puede internarse profundamente valle adentro. El cordón andino contribuye también en este proceso de secamiento ya que, además de impedir la entrada del aire húmedo transandino, la circulación diurna ladera arriba producto del calentamiento solar tiene un flujo de retorno que aumenta en la tarde la subsidencia cerca de la costa, reforzando allí la inversión térmica de subsidencia.

El Clima desde la zona Alto-Andina hasta la costa: Precipitaciones, nubosidad y vientos

Zona alto-andina

En su borde oriental, la región de Atacama se extiende entre el límite sur del Altiplano y el sector norte de los llamados Andes subtropicales. La transición entre ambas zonas ocurre en la parte norte de la región. Cerca del borde altiplánico, a altitudes por encima de unos 2000 msnm, alrededor del 10% de la precipitación anual ocurre típicamente entre Octubre y Marzo, inserta en lo que se conoce como el "Monzón Sudamericano", conocido también como "Invierno Altiplánico" o "Invierno Boliviano". Las precipitaciones son mayoritariamente de tipo convectivas, en forma de intensos chubascos de lluvia, aunque el granizo no es infrecuente.

Estas precipitaciones, asociadas con nubes tipo cúmulos y cúmulo-nimbos, presentan una alta variabilidad en el tiempo y en el espacio: ocurren preferentemente en las tardes y primeras horas de la noche, y se originan principalmente en las laderas de los cerros. La humedad que alimenta estas tormentas proviene esencialmente de la cuenca amazónica, arrastrada por vientos dominantes del Este que se intensifican durante los eventos de precipitación que suelen durar varios días. Sin embargo, la mayor parte de la precipitación ocurre en invierno, otoño y primavera, en conexión con ocasionales irrupciones de sistemas de mal tiempo que provienen de latitudes medias en el Pacífico Suroriental. Los eventos más extremos pueden provocar deslizamientos de tierra y avenidas (huaycos).

Debido a que esta precipitación es mayoritariamente nival, hay situaciones especiales en que la altura del nivel de O°C en la atmósfera, que separa la precipitación nival (por encima de ese nivel) de la pluvial (por debajo de ese nivel), está particularmente alto. Esta condición es favorable para un brusco aumento del caudal en las cabeceras de las cuencas alto andinas con el consiguiente peligro de ocurrencia de deslizamientos de tierra y remociones en masa.



Nubosidad convectiva desde el desarrollo de grandes cúmulos (izquierda) hasta su madurez (cúmulo-nimbo, derecha).

Ladera andina occidental

Durante el verano, por sobre los 2000 m de altitud pueden presentarse rebalses de la actividad convectiva altiplánica que se manifiestan como lluvia débil acompañada de nubosidad media y alta proyectada desde los bordes superiores de los cúmulo-nimbos altiplánicos arrastrados por el viento dominante del Este. Las precipitaciones en el resto del año, esencialmente nivales por encima de los 3500- 4000 msnm, alimentan las cabeceras de las cuencas que mantienen el caudal de los ríos durante la estación seca. En esta ladera, fuertes vientos de componente N, conocidos como vientos de barrera, redistribuyen la cobertura nival al tiempo que favorecen la pérdida de masa de la nieve por sublimación (paso directo del agua en estado sólido de la nieve/hielo a vapor de agua), fenómeno que se intensifica por la baja humedad y la alta radiación solar reinantes, en promedio, entre dos eventos de precipitación. En los valles cordilleranos se observa el régimen diurno de brisas valle arriba, más intensos en verano por el mayor calentamiento solar. Durante la noche, particularmente en la madrugada y primeras horas de la mañana, se establece la brisa de montaña (valle abajo) que se intensifica en invierno por el enfriamiento nocturno de las laderas. Ocasionalmente, estos flujos ladera abajo se intensifican resultando un calentamiento del aire por compresión, similar a lo observado en los eventos de Terral característico en la región de Coquimbo (ej., el "Terral de Vicuña").

En las últimas décadas, en parte derivado del calentamiento global, el efecto combinado de un aumento en la temperatura media (promedio de la temperatura máxima y la temperatura mínima diarias) por encima de los 2000 m de altitud (mayor evapotranspiración del suelo y vegetación) y de una disminución en las precipitaciones, anticipa un estrés hídrico creciente. Éste es particularmente severo en la estación cálida, dado que la acumulación de la precipitación invernal en forma de nieve y hielo va a verse probablemente reducida no sólo por la disminución total de las precipitaciones sino además por la elevación media de la isoterma 0°C.

Planicie central

Al sur de los 27° S el paisaje está dominado por valles transversales (Copiapó y Huasco) que, al permitir un mayor transporte de humedad oceánica hacia el interior, imprimen el carácter semiárido al clima de esta región.

El promedio de la acumulación anual de precipitación está en torno

a los 50 mm por año. Además del colorido espectáculo del desierto florido (Ver Recuadro 23.3) en la primavera de los años más húmedos, ocasionales precipitaciones intensas (mucha lluvia en poco tiempo) pueden originar graves inundaciones y aluviones que se anticipa serán más frecuentes/intensos con el calentamiento global. La humedad en estos eventos de precipitación proviene del Pacífico Tropical, aunque en ocasiones el mar frente a la costa peruana puede presentar temperaturas por sobre lo habitual, particularmente hacia fines del verano, aumentando el contenido en vapor de agua del aire costero que puede ser luego arrastrado por vientos del Noroeste hacia la costa chilena. Un ejemplo dramático de una situación de este tipo fue el ocurrido en marzo de 2015 que afectó gravemente el entorno del río Salado y la ciudad de Chañaral, alcanzando sus efectos hasta la región de Coquimbo.

Cordillera de la costa y planicie litoral

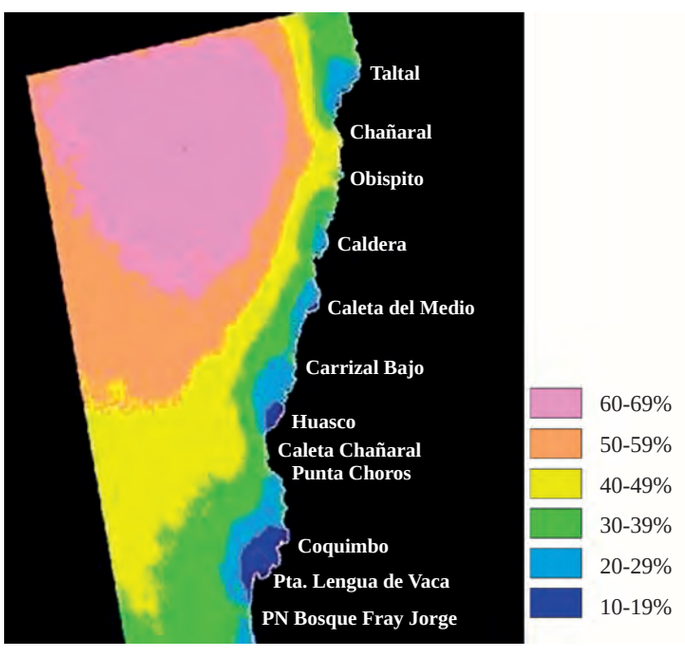
Las características áridas menos extremas que presenta la región de Atacama, en comparación con las de Antofagasta y Tarapacá, deriva del cambio sustancial en la orientación de los principales rasgos fisiográficos. Así, al norte de la región de Atacama, una cordillera de la costa bastante continua y alineada con la costa y con alturas cercanas a la base de la "inversión térmica", constituye una formidable barrera para la penetración de la humedad del Pacífico hacia las pampas interiores. La aparición de valles transversales y el ensanchamiento de planicies costeras en Atacama favorecen la entrada del aire costero hacia el interior. Esto se manifiesta en que la abundante nubosidad baja costera, constituida por nubes aplanadas del tipo estratos y estrato-cúmulos, puede ingresar al interior varias decenas de kilómetros, como ocurre en los valles de los ríos Copiapó y Huasco.

Esta nubosidad tiene una altura promedio de su base en torno a 800 msnm y presenta un marcado ciclo diario alejándose de la costa después del mediodía y regresando al final de la tarde. La parte superior de estas nubes limita con una capa de aire caliente que forma la llamada "inversión térmica", cuya base se encuentra en promedio alrededor de 1000 msnm. Dentro de esta capa la temperatura crece con la altura (inversión térmica) y la humedad desciende bruscamente, por lo que los cielos por encima de ella son extraordinariamente diáfanos favoreciendo la ubicación de observatorios astronómicos de prestigio internacional. Esta capa de aire caliente se forma por descenso en gran escala de aire que, durante ese proceso, se calienta por compresión.

En la región de Atacama se encuentra también el límite norte en el que se observa claramente un marcado ciclo meteorológico, de alrededor de una semana. Éste se caracteriza por cambios en la presencia de esta nubosidad costera, en la intensidad de los vientos del S ("surazos") y en las temperaturas superficiales del mar adyacentes a la costa. La fase fría de estas temperaturas es producto del ascenso de aguas frías subsuperficiales impulsadas por los vientos del Sur ("surgencia costera"). Esta alternancia cuasi-semanal obedece a la presencia de un fenómeno que se conoce como "baja o vaguada costera". Así, cielos despejados con fuertes vientos del sur en la tarde y un descenso en las temperaturas superficiales del mar y en las presiones atmosféricas durante algunos días dan paso a la entrada de la nubosidad costera con vientos débiles, nieblas, cielos cubiertos y frecuentes lloviznas. En un lugar costero determinado, una secuencia típica de este fenómeno comienza a partir de una masa de aire frío con altas presiones que se desplaza desde latitudes medias hacia el norte impulsada por vientos del S que despeja los cielos. A medida que este fenómeno avanza se comienza a desarrollar un descenso en la presión atmosférica que intensifica los vientos del S enfriando la superficie del mar. Cuando la presión atmosférica alcanza un mínimo ("culminación de la baja costera") se observa bruscamente el debilitamiento de los vientos, los que incluso pueden soplar desde el N, junto con la ya mencionada entrada de la nubosidad costera y un leve calentamiento de las aguas superficiales. Este fenómeno se propaga hacia el S en forma de onda hasta encontrarse con un nuevo ingreso de aire frío desde latitudes medias.

A esta variabilidad temporal en la presencia de la nubosidad costera se suma una marcada variabilidad espacial. En aquellas zonas de mayor persistencia de la nubosidad en que ésta intercepta el relieve costero, se forman jardines de neblina mantenidos por la nubosidad rasante. Al interceptar el relieve costero, las nubes pueden ser arrastradas por los vientos hacia el continente (parte trasera de las bajas costeras en su propagación hacia el Sur), internándose por valles y mesetas formando bancos de niebla, conocidos como "camanchaca". En tardes despejadas y con influencia de los vientos del suroeste (parte delantera de las bajas costeras en su propagación hacia el Sur), pueden formarse nubes que permanecen sobre los cerros costeros, dando origen a nieblas orográficas.

En este caso, el aire húmedo del mar asciende sobre el relieve enfriándose hasta alcanzar el nivel de condensación (el vapor de agua se condensa en gotas formando las nubes). Si el nivel de condensación se alcanza antes de llegar al nivel donde comienza la vegetación, ésta podrá aprovechar el agua, la que también puede ser capturada mediante "atrapanieblas".



Frecuencia de ocurrencia de nubosidad baja (%) a lo largo de la costa durante período 1998-2002.



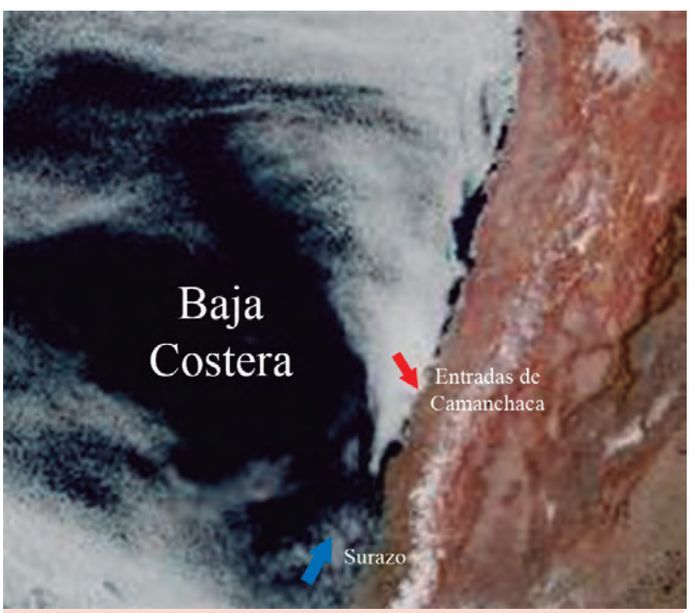
Nubosidad costera bajo capa de inversión térmica.

Características oceanográficas del centro norte de Chile

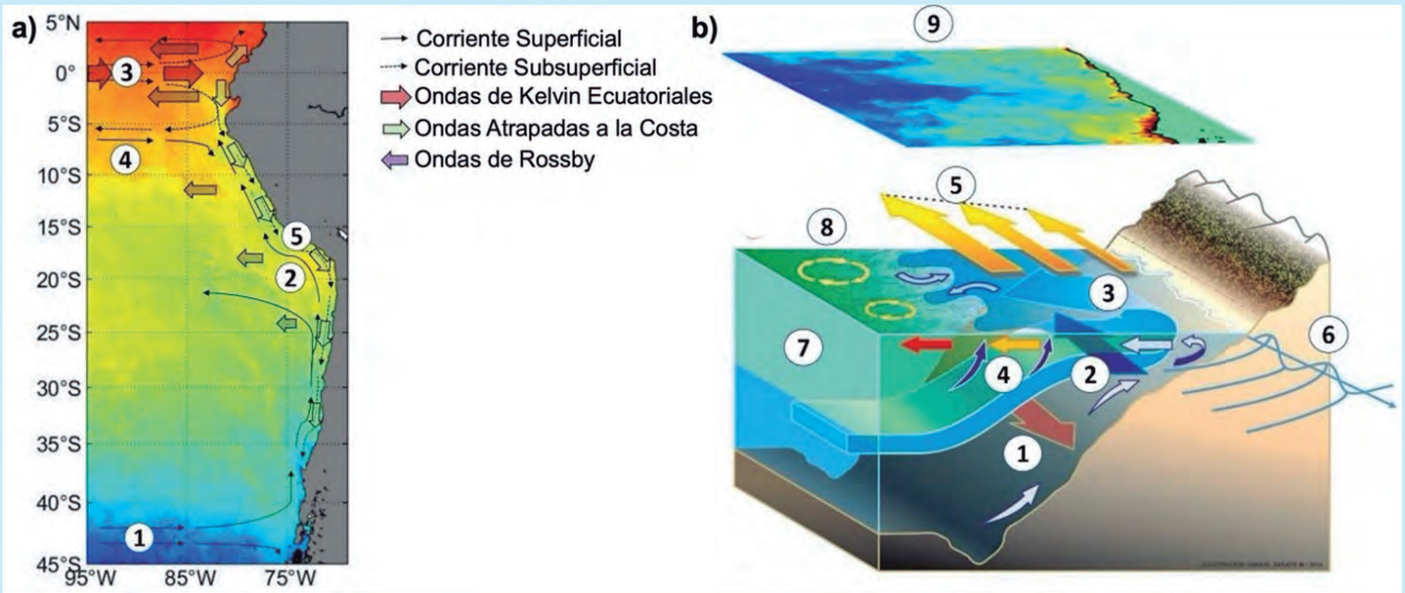
Procesos oceanográficos que afectan al centro norte de Chile

A nivel global existen cuatro sistemas de corrientes de borde oriental, referidos también como ecosistemas mayores de surgencia de borde oriental, que dependen espacial y temporalmente de los sistemas de alta presión subtropicales (anticiclónicos) de las cuencas oceánicas (Kämpf & Chapman 2016). Entre ellos se encuentra uno de los ecosistemas oceánicos más productivos del mundo, el Sistema de Corrientes Humboldt o Perú-Chile.

El Sistema de Corrientes de Humboldt (SCH) se extiende desde el norte de Perú (~4°S) hasta la zona centro-sur de Chile (~42°S) (Thiel et al. 2007, Kämpf & Chapman 2016). Este sistema se caracteriza principalmente por una circulación superficial fría hacia el ecuador, una corriente subsuperficial hacia el polo (sur) que fluye pegada al talud continental y plataforma profunda, que es rica en nutrientes, pobre en oxígeno disuelto y presenta un pH bajo, además se caracteriza por frecuentes eventos de surgencia costera a lo largo de la costa. La corriente subsuperficial hacia el polo (Perú-Chile) es la fuente del agua de la surgencia que asciende hacia la superficie fertilizando la capa fótica costera, lo que favorece la productividad primaria y mantiene la productiva trama trófica del ecosistema (Thiel et al. 2007).



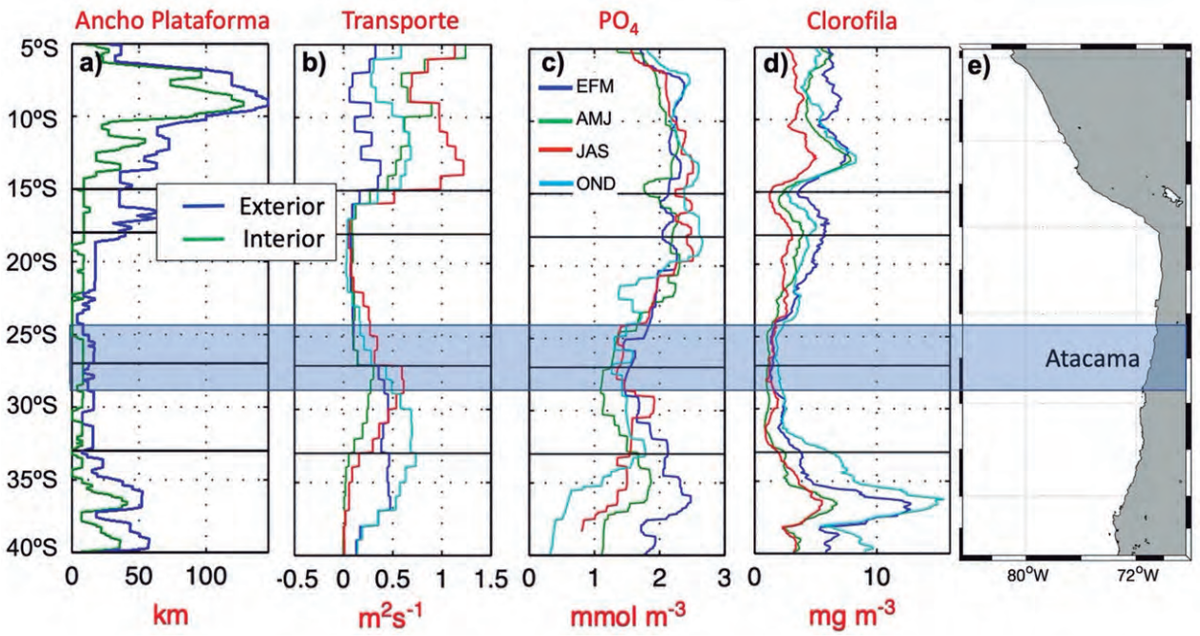
La Baja Costera se desplaza hacia el sur con una velocidad media de 15 m/s. La parte delantera (sur) presenta cielos despejados y vientos fuertes del S-SO. La parte trasera (norte) presenta vientos suaves del NO y entrada de camanchacas por valles costeros.



Características bio-oceanográficas en el sistema de Humboldt y la región centro norte de Chile.
a) Temperatura Superficial del Mar Satelital en el Pacífico Sureste durante El Niño del verano de 2015/16 junto con las principales corrientes del SCH y propagación de ondas de gran escala. 1 Deriva del Viento del Oeste, 2. Corriente de Humboldt, 3. Corriente Ecuatorial Subsuperficial, 4. Contracorriente Sur Ecuatorial, 5. Contracorriente Perú Chile Subsuperficial.
b) Procesos de Surgencia modulados por forzantes ecuatoriales remotos y su efecto sobre producción primaria basados en la clorofila-a satelital, 1 Corriente Subsuperficial Perú Chile con aguas subsuperficiales ricas en nutrientes y pobres en oxígeno asociada con la Zona mínima de Oxígeno, 2 Chorro costero Ecuatorial del SCH, 3 Transporte de Ekman, 4 Succión de Ekman, 5. Rotación del estrés del viento, 6 Ondas Atrapadas a la Costa, 7 Capa de Mezcla Superior, 8 Remolinos de Mesoescala, 9 Variaciones de Mesoescala de Clorofila Satelital (25-45°S y 70-85°O). En superficie la separación entre las aguas de surgencia y oceánicas es a menudo un frente y los gradientes horizontales de densidad inducidos por la surgencia, soportan el chorro costero ecuatorial (adaptado de Gutiérrez et al. 2014, obtenida desde Chevallier et al. 2022).

La surgencia costera es un proceso oceanográfico forzado por el viento (estrés del viento: τ) superficial paralelo a la costa, que responde al efecto de la rotación de la tierra (Coriolis) y la presencia de la costa. Esto genera un flujo neto en una capa superficial marina de varios metros, perpendicular al viento, llamado Transporte de Ekman, que en el caso de Chile es hacia fuera de la costa cuando el viento proviene del sur o suroeste induciendo una divergencia en la costa (disminución del nivel del mar) que es compensada por el ascenso de aguas subsuperficiales, que son ricas en nutrientes, lo que favorece la productividad primaria en la capa fótica (profundidad hasta donde puede crecer el fitoplancton). Si el viento proviene del norte, el Transporte de Ekman es hacia la costa, produciendo lo contrario, una convergencia y hundimiento.

La zona centro norte de Chile tiene una plataforma continental estrecha y una fuerte pendiente orográfica a lo largo de la costa proporcionando una combinación única de vientos favorables a la surgencia con pulsos de vientos cuasi-semanales asociados con perturbaciones atmosféricas atrapadas a la cordillera denominadas bajas costeras (Rutllant & Montecino 2002). El forzamiento del viento en esta región es dominado por el anticiclón subtropical del Pacífico sureste causando vientos con una componente hacia el ecuador cerca de la costa, favorables a la surgencia que varían latitudinal y estacionalmente (Shaffer et al. 1999, Monteiro et al. 2011, Kämpf & Chapman 2016). De acuerdo con las características oceanográficas, meteorológicas y condiciones ecológicas de Chile, se pueden definir dos grandes regiones de surgencia, la zona norte entre 18°S y 30°S y la centro-sur entre 30° y 40°S (Strub et al. 1998; Escribano et al. 2004). En la zona de transición (alrededor de los 30°S), los vientos favorables a la surgencia (provenientes del S-SO) son intensos y predominantes durante casi todo el año, con un máximo estacional en primavera-verano (Pizarro 1999, Hormazábal et al. 2004). Mientras que, en la zona más al sur los vientos son marcadamente estacionales, prevaleciendo un régimen de surgencia en primavera-verano y de subsidencia (hundimiento) en invierno (Monteiro et al. 2011). En general, los centros de surgencia más activos en la zona centro norte de Chile están asociados a promontorios destacados, como la Península de Mejillones, Punta Choros, Punta Lengua de Vaca, Punta Curaumilla y Punta Topocalma al sur de San Antonio (Fonseca & Farías 1987, Figueroa & Moffat 2000, Kämpf & Chapman 2016).



Características oceanográficas a lo largo de Perú y Chile. a) Ancho de la plataforma, b) Transporte de Ekman, c) Fosfato, d) clorofila-a y e) mapa mostrando la región de Atacama. Modificado de Carr & Kearns (2003).

Un mecanismo físico característico, que puede modular la surgencia costera en los sistemas de corrientes de borde oriental, es el bombeo de Ekman causado por el rotor del estrés del viento ciclónico existente en una banda costera de 50-100 km, producto del decaimiento del viento hacia la costa en dichos sistemas (Bakun & Nelson 1991). Un estudio de modelación atmosférica de alta resolución muestra que este proceso estaría más bien restringido en una banda de ~15 km de la costa (Bravo et al. 2016), teniendo sus mayores amplitudes asociadas a las puntas más prominentes del dominio y proyectando su impacto hacia el norte de Punta Lengua de Vaca y al norte de Punta Choros. Sin embargo, la respuesta oceánica costera relativa a este proceso físico todavía ha sido poco estudiada por la falta de experimentos observacionales.

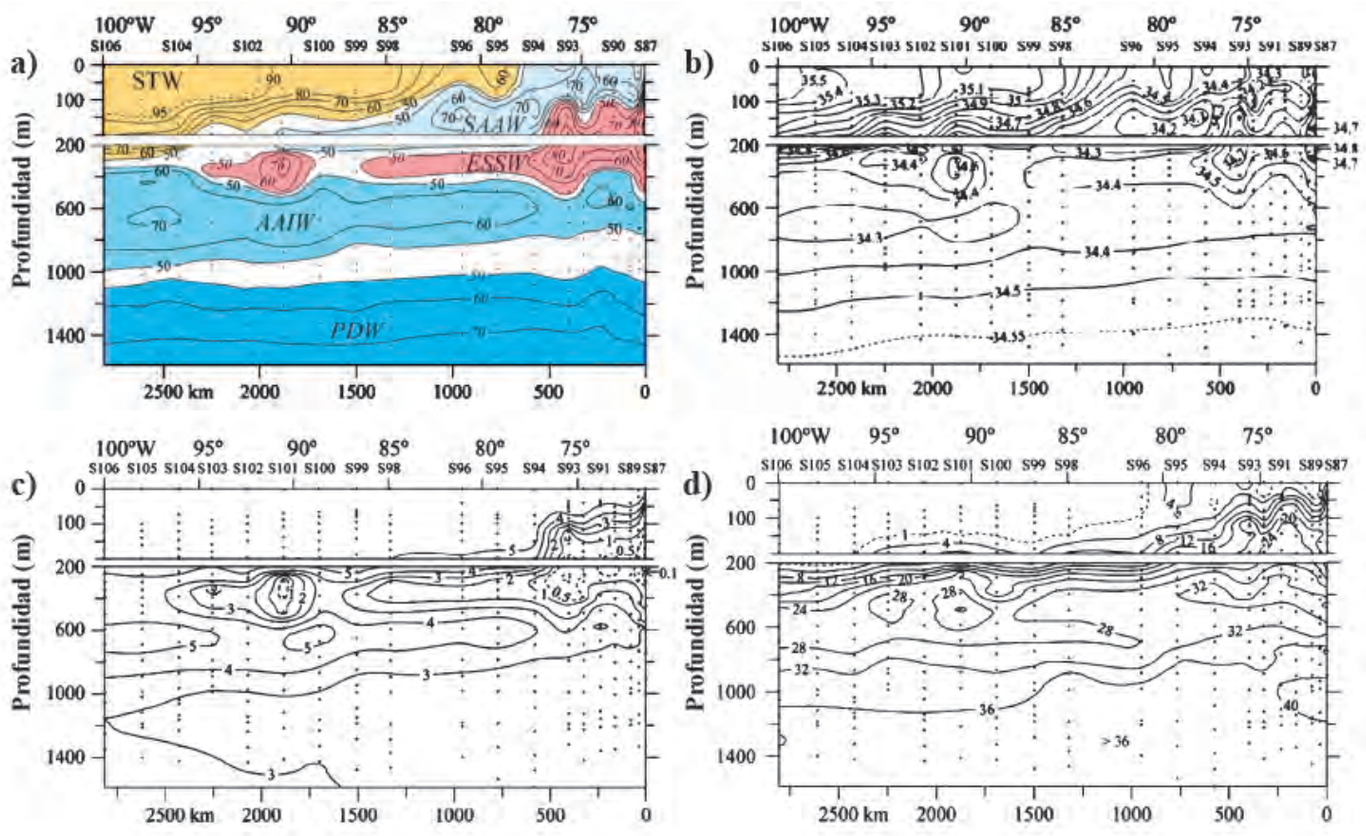
La costa de la zona centro norte de Chile está fuertemente influenciada por perturbaciones oceánicas de origen ecuatorial a distintas escalas temporales, siendo las más enérgicas las señales intraestacional e interanual. A escala intraestacional (30-90 días) la variabilidad en el nivel del mar, la profundidad de la termoclina (profundidad del gradiente máximo de temperatura en el mar) y las corrientes, es atribuida principalmente a Ondas Atrapadas a la Costa (OAC), que se propagan hacia el polo a lo largo de la costa oeste de América del Sur, llegando incluso a 37°S frente a Chile (Shaffer et al. 1997, Hormazábal et al. 2002, Sobarzo et al. 2016, Chevallier et al. 2021). Estas ondas son generadas fundamentalmente por Ondas de Kelvin Ecuatoriales (OKE), forzadas por perturbaciones en los vientos zonales (por oscilaciones de Madden-Julian) en el Pacífico ecuatorial central y occidental (Shaffer et al. 1997) y de su energía como OAC hacia los polos. Además, parte de la variabilidad intraestacional puede ser forzada por el viento local asociada a teleconexiones atmosféricas ecuatoriales (Hormazábal et al. 2002). A frecuencias más bajas, el forzamiento ecuatorial también es importante a escala estacional, especialmente semianual (Pizarro et al. 2002, Ramos et al. 2006); y a escala interanual, la variabilidad de las corrientes, la profundidad de la termoclina y el nivel del mar se deben principalmente al forzamiento asociado con El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) (Pizarro et al. 2001, Hormazábal et al. 2001, Ramos et al. 2008).

El bombeo de Ekman es un proceso oceanográfico que responde a la variación horizontal del viento (rotor del estrés del viento) y la dinámica de Ekman (Transporte de Ekman), que produce convergencia o divergencia del flujo en la capa friccional superficial induciendo un desplazamiento vertical de la picnoclina marina (WE), hacia arriba o hacia abajo (positivo o negativo) dependiendo del signo del rotor del estrés del viento (τ).

Las perturbaciones de origen remoto ecuatorial, especialmente las intraestacionales e interanuales, tienen amplitudes suficientemente grandes cerca de la costa para modular fuertemente la surgencia y la temperatura del mar en esta zona (Ulloa et al. 2001, Hormazábal et al. 2001, Escribano et al. 2004). Estas oscilaciones perturban el campo de densidad, produciendo un movimiento vertical de la termoclina afectando la oxiclina y nutriclina. Dependiendo de la fase de la oscilación, la termoclina podría hundirse o elevarse, cambiando así las características de las aguas de surgencia debido al forzamiento del viento local. En caso de un evento El Niño intenso las OAC generadas por OKE de hundimiento, provocan una profundización de la termoclina, oxiclina y nutriclina, impidiendo una surgencia “efectiva” por el forzamiento del viento local (Ulloa 2001, Escribano et al. 2004). Mientras que, durante La Niña ocurre lo contrario una elevación de la termoclina y nutriclina, potenciando la surgencia por el forzamiento del viento local (Montecino & Lange 2009, Chevalier et al. 2021). Además, las

OAC a escala intraestacional deberían influir en el transporte final del agua que ascienden durante un evento de surgencia, debido al cambio de dirección de la velocidad con el cambio de fase de éstas, modulando con ésto la productividad de las zonas contiguas, especialmente de las bahías ubicadas al norte de los focos de surgencia. Asimismo, a medida que las OAC se propagan hacia el sur, pueden interactuar con cañones submarinos a su paso, produciendo un enfriamiento subsuperficial del océano cerca de la costa asociado a la fase negativa de estas ondas (Sobarzo et al. 2016).

La distribución de distintas variables oceanográficas asociadas a la productividad primaria a lo largo del sistema de surgencia de Perú y Chile se aprecia en la figura anterior (basada en Carr & Kearns, 2003). En términos topográficos, la región de Atacama se encuentra en una zona con una plataforma continental poco desarrollada y con gran pendiente, en comparación con la zona al norte de 20°S y al sur de 35°S. El Transporte de Ekman en la región de Atacama aumenta levemente hacia su límite sur, siendo el de menor intensidad de la zona centro norte de Chile el ubicado en el sector de Antofagasta. Claramente la región de Atacama es una zona de transición entre dos sistemas con mayor biomasa fitoplanctónica (clorofila-a) y productividad primaria (no mostrada), a pesar de no estar en la zona con menor Transporte de Ekman. Al considerar la distribución de los nutrientes, por ejemplo, el fosfato, su mínimo se encuentra cerca de los 27°S coincidiendo con las menores concentraciones de clorofila y productividad primaria en el sistema. En la siguiente sección se describen las condiciones oceanográficas particulares de la región de Atacama.



Masas de agua y condiciones oceanográficas en una sección zonal frente a Huasco (~28°S). a) Porcentaje de masa de aguas. b) salinidad, c) oxígeno y d) nitrato). STW, Agua Subtropical; SAAW, Agua Subantártica; ESSW, Agua Ecuatorial Subsuperficial; AAIW, Agua Intermedia Antártica; PDW, Agua Profunda del Pacifico. Modificado de Silva et al. (2009).

Condiciones oceanográficas de Atacama

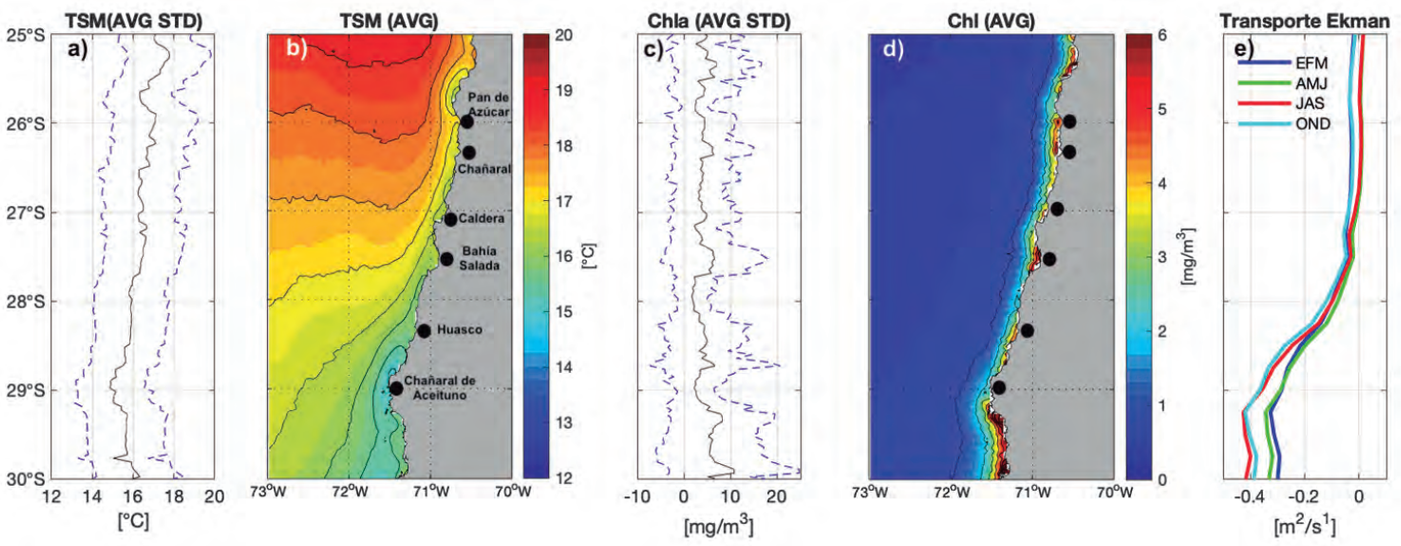
En condiciones oceanográficas "normales" la zona próxima a la costa de la región de Atacama se caracteriza por la existencia de cuatro masas de agua, como indica la figura previa: En la capa más superficial el Agua Subantártica (SAAW, por su sigla en inglés); bajo está el Agua Ecuatorial Subsuperficial (ESSW), asociada con un máximo salino, pobre en oxígeno y rica en nutrientes (nitrato y otros), con su núcleo a ~200 m de profundidad; más abajo está el Agua Intermedia Antártica (AAIW), que contiene un mayor contenido de oxígeno; y a mayor profundidad el Agua Profunda del Pacífico (PDW). Mientras que, en la capa superficial de la zona más oceánica (>78°O) el SAAW es reemplazada por el Agua Subtropical (STW), que se profundiza hasta alcanzar sobre los 200 m a 100°O (Silva et al. 2009), quitándole presencia al SAAW. La proporción y distribución de estas masas de agua a lo largo de Chile cambia espacial y temporalmente. En la parte norte de Atacama puede aparecer en la capa superficial el STW y en la parte sur fortalecerse el SAAW (Silva et al. 2009).

Esto depende del sistema de la circulación meridional, la respuesta al viento y la variabilidad a escalas intraestacional a interanual (ENOS) (Montecino & Lange 2009; Kämpf & Chapman 2016). Por ejemplo, en la zona centro norte de Chile durante eventos El Niño,

el STW suele acercarse a la costa. En cambio, la distribución zonal de las masas de agua y sus propiedades, dependen principalmente de la actividad de mesoescala, asociada a meandros, filamentos y remolinos (Hormazábal et al. 2004, 2013). Es normal encontrar a lo largo de Chile remolinos de mesoescala desprendiéndose de la Corriente Subsuperficial Perú-Chile, asociada al ESSW, denominados remolinos intratermoclina, que transportan sus propiedades hacia el océano abierto (Hormazábal et al. 2013, Cornejo et al. 2016).

En la zona costera y mar territorial (zona nerítica) de la región de Atacama existe un gradiente de temperatura superficial promedio que es característico del cambio en la radiación solar con la latitud. Sin embargo, dentro de este gradiente latitudinal se pueden diferenciar intrusiones de aguas más frías producto de eventos de surgencia costera, siendo el foco más importante entre Punta de Choros (Coquimbo) y Chañaral de Aceituno (Atacama) en el límite sur y un segundo foco de surgencia en el límite norte entre Pan de Azúcar (Atacama) y Taltal (Antofagasta). La surgencia costera, representada en este caso por el transporte de Ekman, es permanente durante casi todo el año, pero con una variabilidad estacional, siendo más intensa en primavera (OND). Indirectamente podemos cuantificar la concentración y distribución de la producción primaria usando imágenes satelitales de clorofila que es uno de los pigmentos indispensables para la fotosíntesis. El fitoplancton aprovecha los nutrientes que afloran con la surgencia costera y éstos a su vez dan sustento a organismos más grandes, como los copépodos (pequeños crustáceos del plancton), peces, aves marinas e incluso grandes mamíferos marinos como las ballenas (Trujillo & Thurman 2016). En este sentido la topografía costera y el flujo sobre la plataforma expuesta tienen un rol importante en las zonas de surgencia ya que permiten que ciertas bahías y promontorios funcionen como áreas de retención larval y permiten que se congreguen los productores primarios y los niveles tróficos superiores (Largier 2020). En general, el patrón cabo-bahía es una escala fundamental de variabilidad a lo largo de la costa en sistemas de surgencia costera que es crítico para la productividad de los ecosistemas regionales. Así, las bahías de surgencia exhiben patrones comunes en la circulación, estratificación y respuestas ecológicas que combinan bien con los modelos de sombra de surgencia y trampa de surgencia. Las bahías de surgencia son forzadas físicamente por tres procesos dominantes: la inercia de las corrientes de la plataforma, el estrés superficial del viento local y los gradientes térmicos del nivel del mar entre la bahía y el océano contiguo. Esta dinámica estaría explicando la ocurrencia de máximos locales de clorofila en Bahía Salada, Caldera, Chañaral y Pan de Azúcar.

Un caso excepcional ocurre en el sector de Chañaral de Aceituno e Isla de Chañaral, donde el transporte de Ekman hacia fuera de la costa es intenso y sin embargo es considerado un hotspot de biodiversidad marina (Gaymer et al. 2008), lo que podría estar explicado por la interacción entre la surgencia costera, la compleja topografía (presencia de islas e islotes) y un flujo zonal opuesto al transporte de Ekman de recirculación que estaría asociado a estriaciones geostróficas zonales (Belmadani et al. 2017).



Promedios de largo plazo de a,b) Temperatura Superficial del Mar (TSM), c,d) Clorofila Superficial (Chl) desde MODIS para el periodo 2003-2022. Paneles izquierdos de ambos productos son los promedios (AVG) +/- desviaciones estándar (STD) de los pixeles más cercanos a la costa y e) Trasporte de Ekman (índice de surgencia) para la región desde CCMP Vector Wind Analysis con promedios estacionales para el periodo 1990-2018. EFM = Verano, AMJ = Otoño, JAS= Invierno, OND = Primavera.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 2.1:21-22



Recuadro 2.1 Glaciares del desierto de Atacama

Shelley MacDonell

Los glaciares son una importante fuente de agua dulce, así como también reguladores fundamentales del ciclo del agua. Estas características cobran relevancia en climas áridos y semiáridos, donde la disponibilidad de agua es limitada debido a los bajos niveles de precipitación (Gascoin et al. 2011). Además, la mayor parte de la escorrentía superficial y la recarga subterránea es generada en las altas montañas. Debido a que el derretimiento de nieve y hielo juegan un importante rol en la hidrología de zonas áridas, es que estas regiones son consideradas muy sensibles a futuros cambios de temperatura. Esta situación es especialmente perceptible en la región del Norte-Chico, el punto geográfico más austral de los Andes Desérticos de Chile (18-32ºS).



Superficie del glaciar Estrecho, valle del Huasco

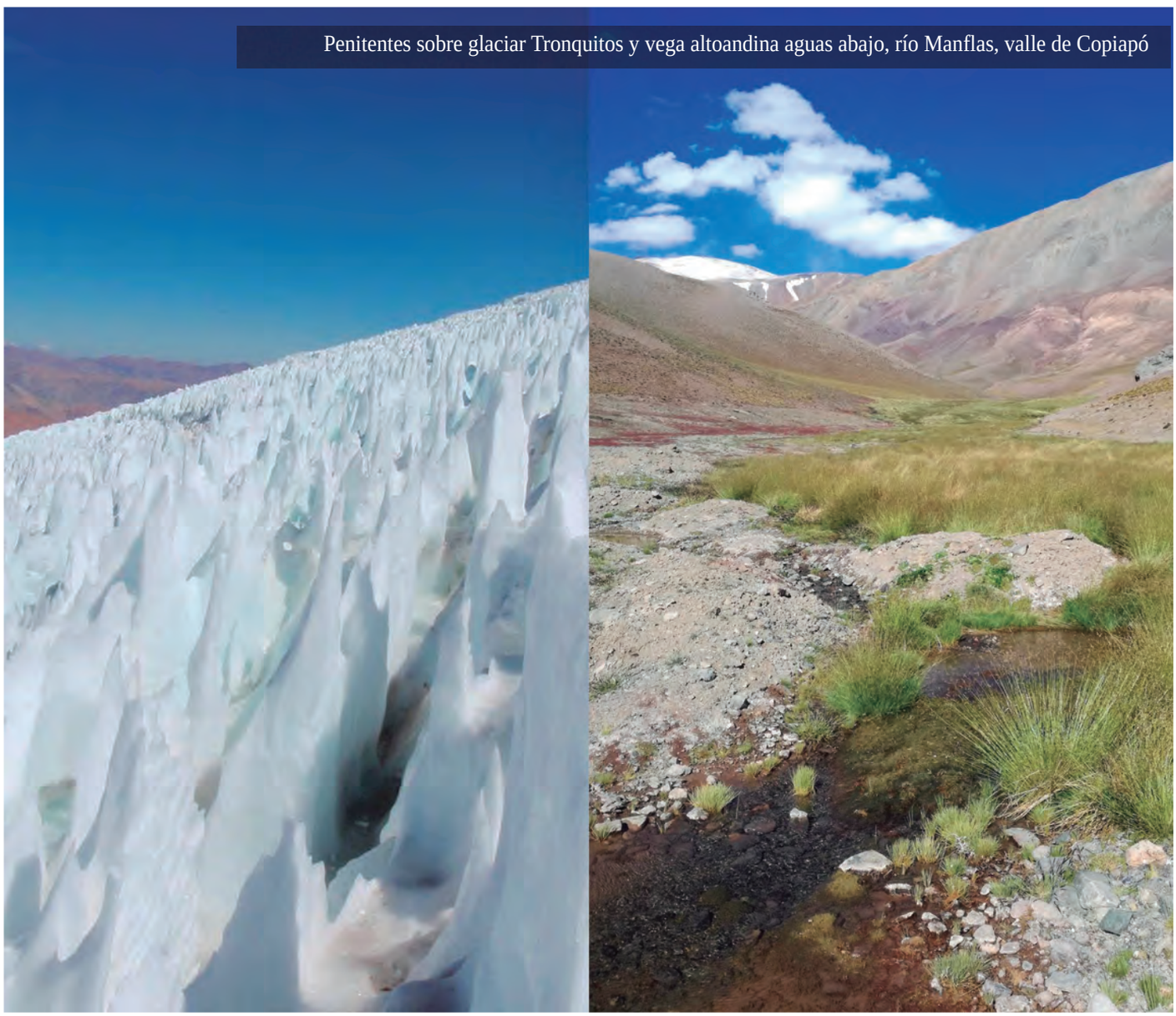


Curso de agua naciente del glaciar Guanaco, valle del Huasco

En el Norte Chico, los glaciares tienen baja distribución geográfica y son de pequeños tamaños. Barcaza et al. (2017) inventariaron 1334 glaciares y glaciares de roca, cubriendo un área total de 126,6 km^2. Por su parte, Nicholson et al. (2009) inventariaron 112 glaciares, cubriendo 16,86 km^2 y 40 glaciares de roca, en una superficie total de 6,30 km^2 en la cuenca alta del Río Huasco. A pesar de la relativamente pequeña superficie que cubren, la contribución hidrológica de un almacenamiento glaciar limitado puede ser significativo en períodos de sequía y veranos muy secos (Gascoin et al. 2011, Rabatel et al. 2011).

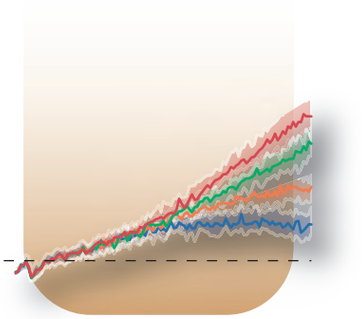
Diversos estudios indican la reducción de volúmenes de hielo glaciar desde al menos la década del cincuenta en la región de Atacama (por ejemplo Rabatel et al. 2020, Kinnard et al. 2020). Los cambios en los glaciares han mostrado ser principalmente sensibles a la variación de precipitación, mientras que las bajas temperaturas, aridez, la alta radiación solar y velocidad del viento causan grandes pérdidas por sublimación y derretimiento limitado (MacDonell et al. 2013, Kinnard et al. 2020). Mediciones de testigos de hielo han mostrado que las condiciones climáticas en las que se formaron estos glaciares habrían sido muy diferentes a las de hoy, con condiciones de humedad que habrían permitido altas tasas de acumulación, sublimación reducida y mayor fusión. Reconstrucción de volúmenes de hielo, basadas en correlaciones de precipitaciones y registros de caudales, muestran períodos de sostenido aumento de masa a comienzos del siglo XX y en la década de los ochentas, ambos separados por períodos de pérdida de masa. La migración hacia el sur del Anticiclón del Pacífico, en el transcurso del siglo XX y del XXI, ha sido propuesto como el principal mecanismo que explicaría la progresiva privación de precipitaciones en los glaciares de esta área.

Es probable que la observada (Falvey & Garreaud 2009) y predecida (Cabré et al. 2016) tendencia al calentamiento en los altos Andes, junto con la aparente disminución de precipitaciones de las recientes décadas (Quintana & Aceituno 2012) disminuirá aún más el hielo de los glaciares en el futuro.



Penitentes sobre glaciar Tronquitos y vega altoandina aguas abajo, río Manflas, valle de Copiapó

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 2.2:23-24



Recuadro 2.2 Clima futuro en la región de Atacama

Álvaro Salazar

La concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre se ha incrementado desde los comienzos de la revolución industrial en 1750 (IPCC 2022). Esto ha provocado una cadena de efectos a nivel global y regional, que incluyen un aumento de la temperatura media, cambio en el patrón y magnitud de la precipitación, derretimiento de los hielos polares y glaciales, acidificación de los océanos y cambios en las características de los ecosistemas, entre otras. Muchos de los gases de efecto invernadero quedan retenidos en la atmósfera por largo tiempo, y aun cuando las emisiones de estos gases bajen o incluso se detengan, las concentraciones continuarán siendo altas y los efectos negativos pueden persistir incluso por cientos de años (IPCC 2022).

Con el objeto de entender las complejidades del sistema climático y cómo este puede responder al incremento en la concentración de gases de efecto invernadero, los científicos han desarrollado complejos modelos que simulan las interacciones entre los distintos componentes del clima como el suelo, la vegetación, la atmósfera y los océanos. Estos modelos climáticos están basados en procesos físicos que definen las reglas del transporte de energía y materiales a través del sistema climático (e.g. flujo de agua), y dada la magnitud de los cálculos se requieren de poderosos supercomputadores para poder aplicarse. La suma de los esfuerzos para entender las complejidades del clima ha resultado en el proyecto CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) (Eyrin et al. 2016), que compila los resultados de más de 30 modelos de 23 instituciones alrededor del mundo. CMIP6 proyecta el clima futuro considerando una serie de vías socioeconómicas de desarrollo (SSP, Shared Socioeconomic Pathways) que son utilizadas para crear escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero según una serie de políticas de desarrollo económico global (Tabla 1). El resultado de estos escenarios afecta finalmente el cambio esperado en la temperatura y precipitación global con una variedad de efectos a escala regional y nacional.

Tabla 1. Características de 4 escenarios socioeconómicos de desarrollo (SSP) según el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero y el resultado esperado de incremento en la temperatura media global del planeta.

SSP	Escenario	Calentamiento estimado (2041–2060)	Calentamiento estimado (2081–2100)
SSP1-2.6	Emisiones bajas, cero emisiones al año 2075	1,7 °C	1,8 °C
SSP2-4.5	Emisiones intermedias, cero emisiones al año 2100	2,0 °C	2,7 °C
SSP3-7.0	Emisiones altas, doble de emisiones al año 2100	2,1 °C	3,6 °C
SSP5-8.5	Emisiones muy altas, triple de emisiones al año 2100	2,4 °C	4,4 °C

Cuando observamos los efectos que los distintos escenarios de cambio climático proyectan para la región de Atacama, los impactos sobre la precipitación y la temperatura regional resultan significativos (Salazar et al. 2024). Según los 36 modelos de CMIP6 disponibles a la fecha de la publicación de este libro, para fin de siglo (2080-2100) la precipitación regional disminuiría entre un 10-20% y un 20-30% según el escenario de cambio climático (Fig. 1). Las mayores reducciones en la precipitación ocurren en el extremo suroeste de la región, que para los escenarios SSP2-4.5 en adelante muestra cambios significativos (coinciden más del 70% de los modelos, puntos en la Fig. 1). Interesantemente, en el escenario más pesimista (SSP5-8.5), los modelos predicen un aumento de hasta un 10% en la precipitación media anual para fines de siglo.

En el caso de la temperatura, prácticamente los 36 modelos concuerdan en un aumento significativo de la temperatura en toda la región de Atacama hacia fines de siglo. Este aumento es mayor en la zona de la Cordillera de Los Andes, especialmente en el escenario más pesimista (SSP5-8.5) que proyecta un aumento de hasta 5,5°C en el extremo norte de la región.

Todos los escenarios de cambio climático proyectan un aumento de

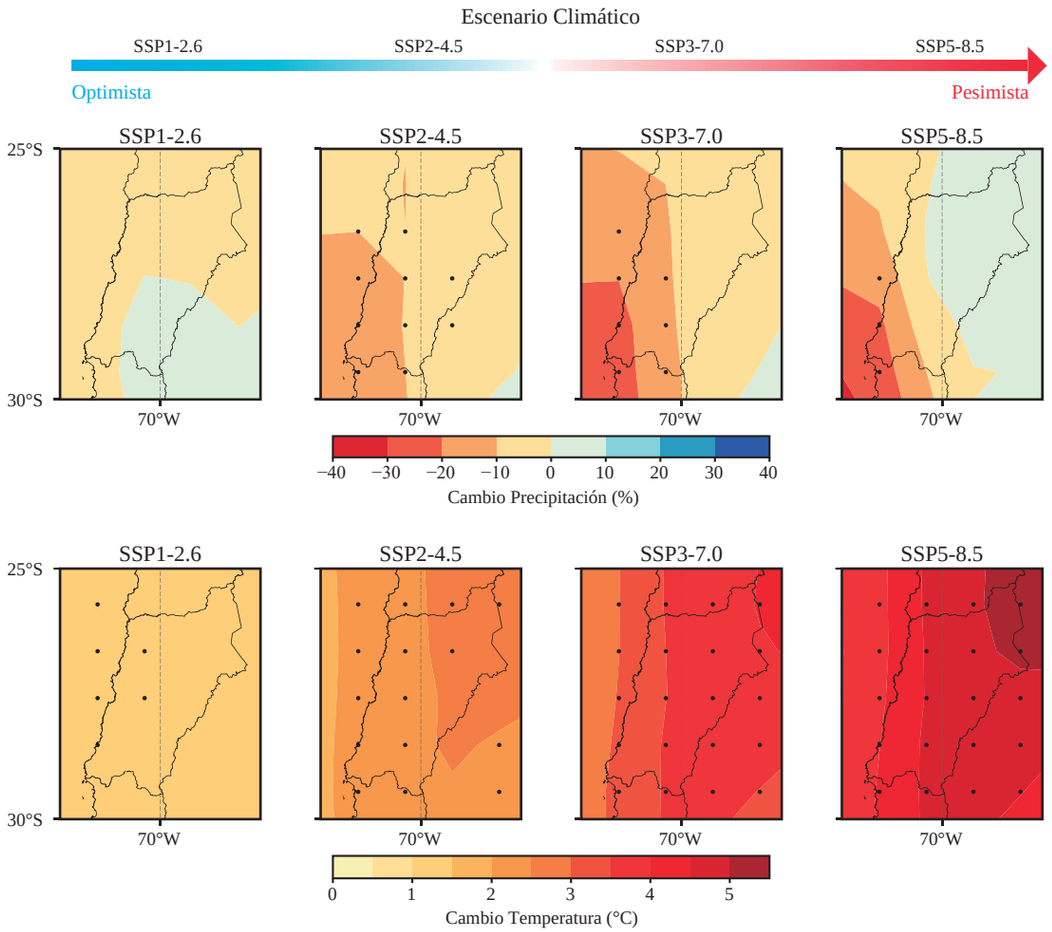


Figura 1. Cambios en precipitación (arriba) y temperatura (abajo) en la región de Atacama proyectados por modelos climáticos hacia fines de siglo (2080-2100) comparados con el periodo de referencia 1986-2014. Puntos indican diferencias significativas.

la temperatura en la región (Fig. 2). Desde el año 2040 en adelante se puede observar que los distintos escenarios comienzan a divergir hacia un extremo cálido que supera los 5°C (SSP5-8.5) y otro extremo menos cálido con temperaturas que no superan los 2°C (SSP1-2.6), mientras que el resto de los escenarios se mantiene entre estos dos extremos con aumentos de temperatura de hasta 4°C para el escenario SSP3-7.0 y de hasta 2,7°C para el escenario SSP2-4.5.

La disminución de la precipitación, en combinación con el aumento de la temperatura, puede generar grandes impactos sobre los ecosistemas de la región de Atacama (Denissen et al. 2022). La interacción de estos impactos con la demanda humana por el agua se reconoce como uno de los mayores desafíos a enfrentar en el futuro, especialmente en las zonas áridas del mundo (Lian et al. 2021). La disminución de la precipitación y el fuerte aumento de la temperatura proyectada para la zona cordillerana de la región puede tener grandes impactos no sólo sobre los ecosistemas, sino que también sobre las reservas de agua para parte importante de la región como la acumulación de nieve y glaciares. Sumado a esto, el incremento de la precipitación líquida en el área cordillerana aumentaría el riesgo de aluviones frente a lluvias torrenciales, con consecuencias ya experimentadas por eventos climáticos pasados en la región.

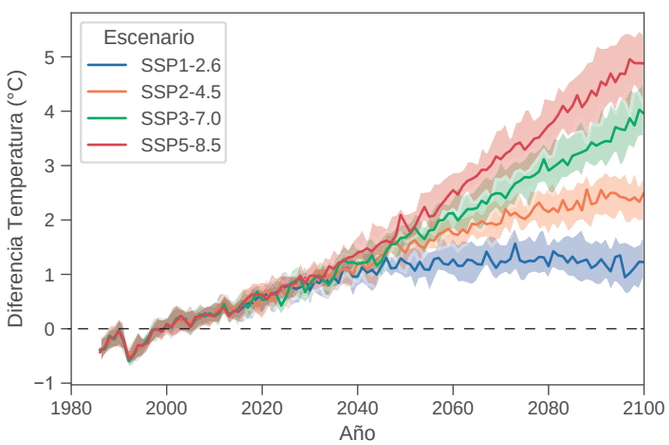
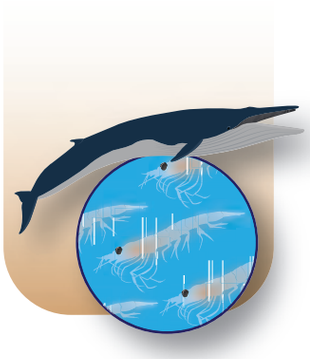


Figura 2. Proyecciones de temperatura en la región de Atacama según 4 escenarios socioeconómicos de desarrollo.

Los modelos climáticos nos permiten evaluar los cambios futuros del sistema climático y por lo tanto constituyen herramientas poderosas para la planificación en el manejo de los recursos y control de los riesgos asociados al cambio climático. Sin embargo, este conocimiento demanda un cambio de paradigma en donde las medidas de adaptación deben establecerse sobre la base de la interacción de los distintos componentes de la naturaleza.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 2.3:25-26



Recuadro 2.3 Productividad marina: de plancton a ballenas

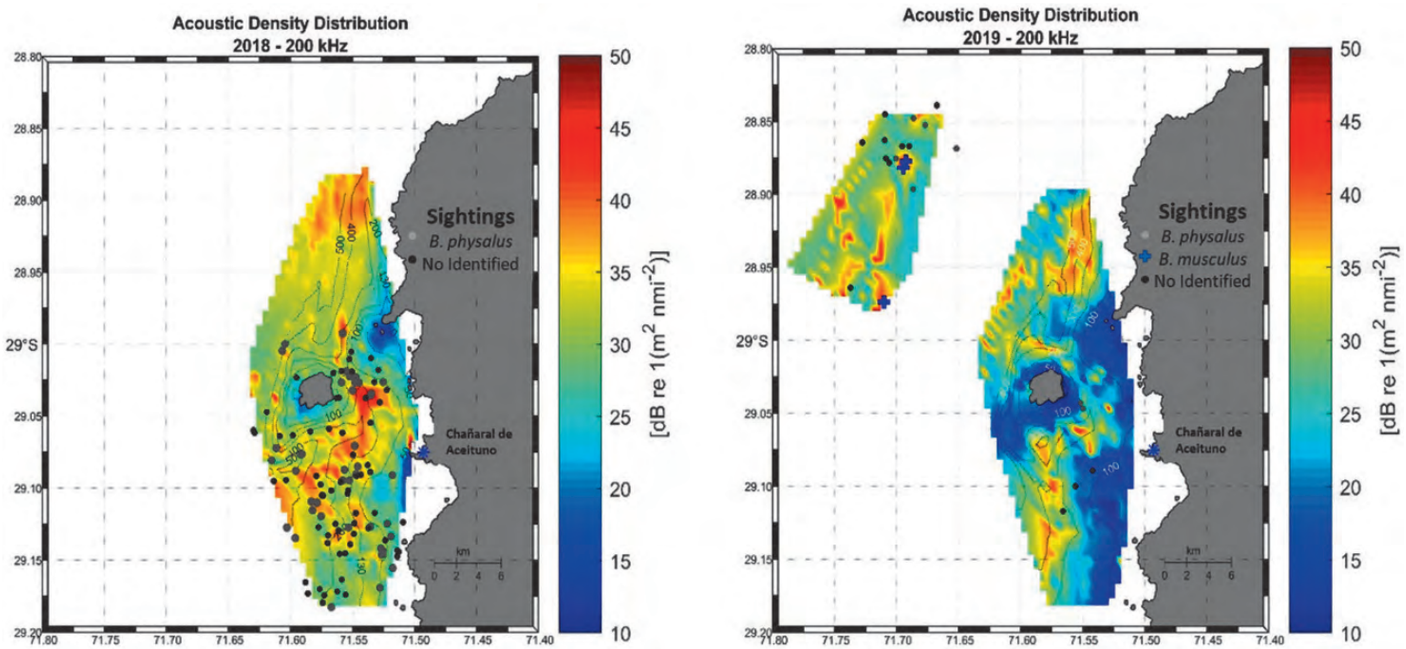
Marcel Ramos, Eduardo Flores & Jorge Oyanadel

Los organismos marinos que habitan el área nerítica y bentónica de Atacama son representativos de esta zona de transición en el Sistema de Corrientes de Humboldt, siendo Chañaral de Aceituno una de las zonas más productivas y de mayor biodiversidad de la zona centro norte de Chile (Gaymer et al. 2008). Junto con los máximos locales de clorofila en la costa de Atacama (ver Capítulo 2) se han registrado las mayores abundancias de zooplancteres, compuesto principalmente por copépodos, eufáusidos, hidromedusas, quetognatos y apendicularias, aunque con una gran variabilidad interanual, son constantes mayores abundancias de estos organismos en Chañaral de Aceituno y al sur de Pan de Azúcar (Castillo et al. 2009, 2010, Leiva et al. 2014).

En un estudio reciente sobre bioacústica marina realizado por Buchan et al. (en revisión) alrededor de Isla Chañaral (sector sur de Atacama) sobre la distribución del zooplancton durante dos veranos consecutivos (2018 y 2019), se encontró que la señal de densidad acústica (un proxy de la biomasa de zooplancton) fue más intensa y con mayor cobertura cerca de la costa el verano de 2018, que el verano de 2019. Además, la mayor distribución de zooplancton el verano de 2018 coincidió con un mayor número de avistamiento de ballenas en la zona, reflejando la dependencia de estos mamíferos marinos con la disponibilidad de alimento, en esta reconocida zona de alimentación (ver Recuadros 18.3 y 23.4). El estudio explica las diferencias entre ambos años por la



disponibilidad de biomasa fitoplanctónica durante la primavera previa al verano de 2018, producto de una surgencia más intensa durante dicho periodo, en comparación al verano de 2019. El estudio también plantea, que la mayor distribución de zooplancton en la parte sur de Isla Chañaral es debido a las corrientes imperantes el 2018, que presentaron una componente hacia la costa, mientras que, el 2019 fueron en promedio hacia fuera de la costa. Las condiciones contrastantes entre ambos años se podrían haber producido por las distintas condiciones interanuales en ambos periodos. El 2018 fue un evento frío La Niña, en cambio, el 2019 fue un evento cálido El Niño, ambos eventos fueron moderados. Isla Chañaral con las Islas Choros y Damas, ubicadas en el extremo norte del sistema de bahías de Coquimbo conforman la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, que junto a otros islotes del sector se conocen actualmente como el Archipiélago de Humboldt. Estas islas e islotes condicionan la dinámica costera de menor escala generando zonas de retención para los organismos planctónicos y áreas de alimentación para organismos de niveles más altos de la trama trófica. Debido a esto, el sector ha sido declarado recientemente como “Lugar de Esperanza” (Hope Spot) por la ONG Mission Blue, en reconocimiento a que es una de las zonas con mayor biodiversidad e importancia ecológica de la costa chilena y del Pacífico sureste. Es hábitat del 80% de la población mundial del pingüino de Humboldt, la cual se encuentra en estado vulnerable (https://www.iucnredlist.org/); así como de aves marinas, lobos marinos, nutrias marinas, delfines, orcas y otras especies, muchas de ellas endémicas. Sin embargo, además de su relevancia ecológica, estas zonas son de gran importancia económica y social, al sustentar pesquerías de interés comercial para las comunidades locales y otros activos ambientales, tales como el turismo de intereses especiales (González et al. 1999, 2005, Pérez et al. 2006, Gaymer et al. 2008, Sepúlveda et al. 2018).



Densidad acústica estimada con un perfilador acústico de zooplancton para 200 kHz (índice de abundancia de zooplancton) y avistamientos de ballenas durante los veranos a) 2018 y b) 2019 alrededor de Isla Chañaral, zona sur de la región de Atacama (adaptado de Buchan et al. 2023).



Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 3:27-32

Capítulo 3 Paleodiversidad de Atacama

Martín F. Chávez Hoffmeister, Leandro Ledezma, Matías González-Tejos &
Marcelo M. Rivadeneira

La historia de la vida en nuestro planeta se inicia hace más de 3.500 millones de años (Ma), pero no es sino hasta hace unos 630 Ma que la vida pluricelular se vuelve más común en él. El registro fósil nos permite caracterizar la vida que ha existido y, como se ha desarrollado la biosfera a lo largo de todo este tiempo, siendo las principales pistas que los científicos debemos interpretar para comprender los cambios en biodiversidad a través del tiempo. Los fósiles son restos de organismos que vivieron en el pasado distante y que han sido preservados hasta el presente de manera natural, siendo parte integral de las rocas sedimentarias. Esto no solo incluye los restos directos de dichos organismos, como pueden ser los huesos o conchas, sino que también las marcas y rastros que dejaron en vida, como son las huellas o galerías. La mayor limitante del registro fósil es su incompletitud a causa de los sesgos intrínsecos del proceso de fosilización (ej. Los restos esqueléticos mineralizados se conservan con mayor frecuencia que los tejidos blandos), así como la disponibilidad y accesibilidad de las rocas o sedimentos que los contienen, lo cual varía localmente debido a procesos geológicos (ej. diagénesis, tectónica, orogénesis, erosión) que operan a escalas de millones de años.

Desde el punto de vista geológico la región de Atacama posee un total de 75 estructuras geológicas, con una predominancia de rocas ígneas y sedimentarias clásticas y una baja representación de rocas metamórficas. Las rocas ígneas y sedimentarias abarcan aproximadamente los últimos 540 Ma y muchas de dichas unidades son potencialmente portadoras de fósiles. De hecho, nuestras últimas estimaciones sugieren que el 50% de la superficie de la región de Atacama tiene el potencial de contener fósiles, lo que junto con el amplio rango temporal abarcado por los registros conocidos, posicionan a esta región como una de las más ricas y con mayor potencial para el desarrollo de estudios paleontológicos.



Marcas de erosión por hielo sobre la roca, producto del avance glaciar del Pleistoceno

Si bien hemos podido identificar más de 200 publicaciones y trabajos geológicos en los que se documenta la ocurrencia de fósiles a lo largo y ancho de la región de Atacama (CIAHN Atacama & CEAZA 2022), aún existen grandes vacíos en nuestro conocimiento sobre el patrimonio paleontológico de la región y numerosos especímenes en colecciones nacionales e internacionales que no han sido adecuadamente estudiados. Esto responde a que sólo en las últimas décadas, han comenzado a realizarse esfuerzos sostenidos por documentar y analizar la riqueza paleontológica de la región. En este capítulo, presentamos una sinopsis de nuestro conocimiento actual sobre la paleontología de Atacama, junto con una síntesis de los resultados del diagnóstico y primer inventario de la paleodiversidad de organismos que existieron en Atacama a lo largo de su historia geológica.

Brevísima historia de la paleontología de Atacama

La región de Atacama no sólo ocupa un lugar destacado en la paleontología nacional por sus depósitos, sino también por su larga historia de hallazgos cuyos primeros antecedentes se remontan a fines del siglo XVIII. Entre 1795 y 1800 la corona española encargó la realización de una expedición geológica a cargo de los hermanos Cristian y Conrad Heuland que colectó muestras paleontológicas a lo largo del territorio chileno (Montero & Diéguez 1998), incluyendo los primeros restos de invertebrados fósiles colectados por la ciencia para la región.

Desafortunadamente, la expedición Heuland no produjo textos académicos detallados y no sería hasta el siglo XIX que comenzaría el estudio de los fósiles de Atacama. En 1839, se menciona la primera especie fósil para Chile a partir de restos hallados al interior de Copiapó: "*Pecten alatus*" (Buch 1839), una forma extinta de ostión común durante el Jurásico en la región y que actualmente se conoce bajo el nombre *Weyla alata*. Por su parte, Charles Darwin realiza múltiples menciones de los fósiles que halló en la región, tanto en su diario de viaje como en su obra "Observaciones geológicas en Sudamérica" (1846), y que están entre los primeros registros existentes para la zona. En Puerto Viejo, Darwin tuvo oportunidad de ver afloramientos de la Formación Bahía Inglesa, para los cuales destaca la abundancia de ostras fósiles y menciona que estas también serían comunes en un lugar que denomina "English Harbor", refiriéndose a Bahía Inglesa. También recorrió afloramientos Mesozoicos al interior de Huasco en el área de Vallenar donde recolectó braquiópodos y otros invertebrados marinos, y en Las Amolanas al interior de Copiapó observó grandes troncos de coníferas de hasta 5,5 m de diámetro. En 1861 se dan a conocer los primeros restos de reptiles marinos del norte de Chile (Burmeister & Giebel 1861), con base en huesos de edad Jurásica actualmente asignados a ictiosaurios y plesiosaurios hallados en Cerro Blanco, comuna de Vallenar.

Como vemos, entre mediados del siglo XIX e inicios del siglo XX las menciones de hallazgos paleontológicos en la región se vuelven más habituales, gracias al trabajo de científicos como Ignacio Domeyko, Rudolfo A. Philippi y Enrique Gigoux, quienes dan a conocer fósiles tanto del interior de la región como de la costa de Caldera, incluyendo menciones de esqueletos de ballenas. Por desgracia, el número de trabajos paleontológicos decae fuertemente durante el siglo XX y, no es sino hasta inicios del presente milenio que ocurre una revitalización del estudio de los fósiles en la región, en buena medida, gracias al redescubrimiento de los ricos depósitos con vertebrados fósiles de la Formación Bahía Inglesa en la costa de Caldera. Hoy la región reconoce su vocación paleontológica y se proyecta como el epicentro de esta ciencia a nivel nacional.

Caracterizando el patrimonio paleontológico de Atacama

El diagnóstico paleontológico de la región de Atacama (CIAHN Atacama & CEAZA 2022) identificó un total de 2.943 ocurrencias georreferenciadas, es decir, datos bibliográficos que indican las coordenadas de ubicación de restos paleontológicos dentro de la región. Estas ocurrencias pueden aproximarse al número de localidades con registros paleontológicos dentro de la región, cada uno de los cuales puede contener uno o más taxa.

En términos de riqueza taxonómica, se identificó un total de 1.251 taxa putativos que abarcan desde el Devónico tardío (380-359 Ma) al presente. Muchos de estos registros no han podido ser identificados a nivel de especie debido a su grado de fragmentación o estado de conservación, algunos aún aguardan una revisión detallada por parte de expertos, de modo que el número total de taxa probablemente sea mayor y su resolución estará sujeta a cambios en los años por venir. En un desglose a nivel taxonómico, podemos reportar la presencia de cuatro reinos y 21 Divisiones/Filo, abarcando formas unicelulares, plantas, invertebrados y vertebrados (Tabla 1). Los reinos más representados son Animalia, Retaria y Plantae, con 1234, 31 y 29 formas, respectivamente. Sin embargo, en términos de riqueza taxonómica, se determinó que el filo con mayor representación en la región son los moluscos, que representan cerca del 71% de las ocurrencias totales.

Respecto a la cobertura temporal, la mayoría de los Filos/Divisiones está presente en tres o menos períodos geológicos, mientras que los vertebrados tienen un registro casi continuo desde el Carbonífero (359-299 Ma), y los braquiópodos a partir del Pérmico (299-252 Ma). Los registros más antiguos conocidos para la región corresponden a fósiles de plantas (Lycopodophyta y Sphenophyta, Tabla 1), siendo además los registros más antiguos de plantas terrestres en territorio nacional. También es posible indicar que la riqueza total de taxa putativos se incrementa desde el Paleozoico al Mesozoico, alcanzando un máximo cercano a 637 formas durante el Jurásico. La riqueza desciende hacia el Cenozoico, con un mínimo durante el Paleógeno (Fig. 1).

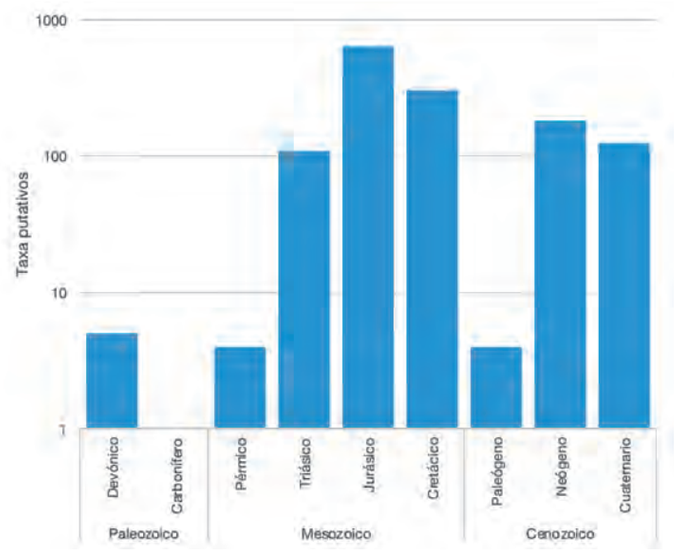


Figura 1. Riqueza de especies putativas de fósiles presentes en Atacama durante el Fanerozoico.

Finalmente, en términos de distribución geográfica, las ocurrencias fosilíferas se agrupan en 14 hotspots o "zonas calientes" (Fig. 2), los que usualmente se emplazan en tres bandas longitudinales de edad progresivamente más antigua desde cordillera a mar, lo cual responde a la marcada distribución de las rocas a lo largo del territorio. Los tres mayores hotspots en la región, cada uno con más de 100 ocurrencias en un radio de 10 Km, corresponden a: 1) los depósitos Neógenos de la Formación Bahía Inglesa entorno a la

Tabla 1. Riqueza de taxa putativos para 23 Phyla/Divisiones mayores durante el Fanerozoico de Atacama. Nota: taxa putativo (taxa = plural de taxón); se trata de un supuesto o aparente taxón, pero por tratarse de restos fósiles no es posible asegurar la identidad taxonómica.

Reino	Phyllum/Division	Devónico	Carbonífero	Pérmico	Triásico	Jurásico	Cretácico	Paleógeno	Neógeno	Cuaternario	Total
Protista	Haptista	0	0	0	0	0	0	0	6	0	6
	Ochrophyta	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20
Chromista	Retaria	0	0	0	0	0	0	0	31	0	31
Plantae	Angiospermae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	Cycadeoidophyta	0	0	0	14	0	0	0	0	0	14
	Ginkgophyta	0	0	0	11	0	0	0	0	0	11
	Lycopodophyta	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Peltaspermophyta	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	Pinophyta	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
	Pteridophyta	0	0	0	11	0	0	0	0	0	11
	Sphenophyta	1	0	0	3	0	0	0	0	0	4
	Tracheophyta	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5
Animalia	Annelida	0	0	0	0	4	4	0	0	1	9
	Arthropoda	0	0	0	3	0	1	0	3	5	12
	Brachiopoda	0	0	4	6	46	5	0	2	3	66
	Bryozoa	0	0	0	0	1	3	0	0	1	5
	Chordata	0	1	0	1	6	34	2	51	3	98
	Cnidaria	0	0	0	0	31	7	0	2	2	42
	Echinodermata	0	0	0	0	8	7	0	2	2	19
	Mollusca	0	0	0	43	519	230	0	62	101	955
	Porifera	0	0	0	0	1	4	0	0	1	6

ciudad de Caldera, 2) los afloramientos Jurásicos de la Formación Lautaro entorno a El Tránsito y Pinte en la comuna de Alto del Carmen, y 3) los niveles Jurásicos de la Formación Asiento en Quebrada El Asiento en la comuna de Diego de Almagro. Los diferentes grupos taxonómicos ocasionalmente muestran patrones de distribución diferenciados a lo largo de la región. Las plantas se hallan principalmente en unidades emplazadas en la precordillera y cordillera, siendo estas áreas las que concentran los depósitos de edad Triásica (251-201 Ma) que contienen la mayor parte del registro conocido de paleoflora en la región. Los invertebrados se asocian principalmente a los sitios Cenozoicos en la franja costera, pero también a localidades del Jurásico y Cretácico en la precordillera y cordillera principal. Los vertebrados por su parte se encuentran mucho más dispersos en el territorio, lo que se condice con su amplio rango temporal. Como resultado, las formas Mesozoicas representadas principalmente por reptiles marinos, pterosaurios y dinosaurios aparecen en las zonas precordilleranas; mientras que las formas Cenozoicas que incluyen principalmente peces, aves y mamíferos marinos se encuentran asociados a la franja costera.

La biota de Atacama a través del tiempo

Una de las características más destacadas del registro fósil en la región es que incluye registros de la era Paleozoica, que van del Devónico al Pérmico (380-252 Ma). Contar con registros de la primera era del Fanerozoico es muy poco común en nuestro país, debido en parte a la dinámica tectónica del territorio. Los fósiles más antiguos en la región datan del Devónico tardío (382-359 Ma) y provienen de la Formación Las Placetas en la alta cordillera de Alto del Carmen. Se trata de trazas de invertebrados y los restos más antiguos de plantas terrestres en el país, incluyendo licopodofitas y equisetos (colas de caballo). Los siguientes registros de mayor antigüedad provienen de los altos Andes de Copiapó, donde aflora la Formación Chinches de edad Carbonífero (330 Ma) en la localidad de Quebrada Colorada, famosa por contener la evidencia más antigua de vertebrados terrestres en Sudamérica. Se trata de huellas de anfibios y reptiles, a las que se suman registros de plantas e invertebrados que aún se encuentran bajo estudio. Finalmente, en la cordillera de la costa en la comuna de Freirina afloran los Estratos de Llano de Chocolate cuya edad ha sido asignada al Pérmico (299-252 Ma), y en los cuales han sido identificados braquiópodos pertenecientes a las clases Rhynchonellata y la extinta clase Strophomenata. Estas localidades nos permiten tener breves vistazos a los ambientes continentales y marinos antes del surgimiento de los dinosaurios, por lo que poseen un enorme potencial para la exploración y estudios futuros que nos permitan conocer aún más de los ambientes primigenios del entonces recién acrecionado territorio nacional (ver Recuadro 3.1). Los registros Mesozoicos de la región son particularmente

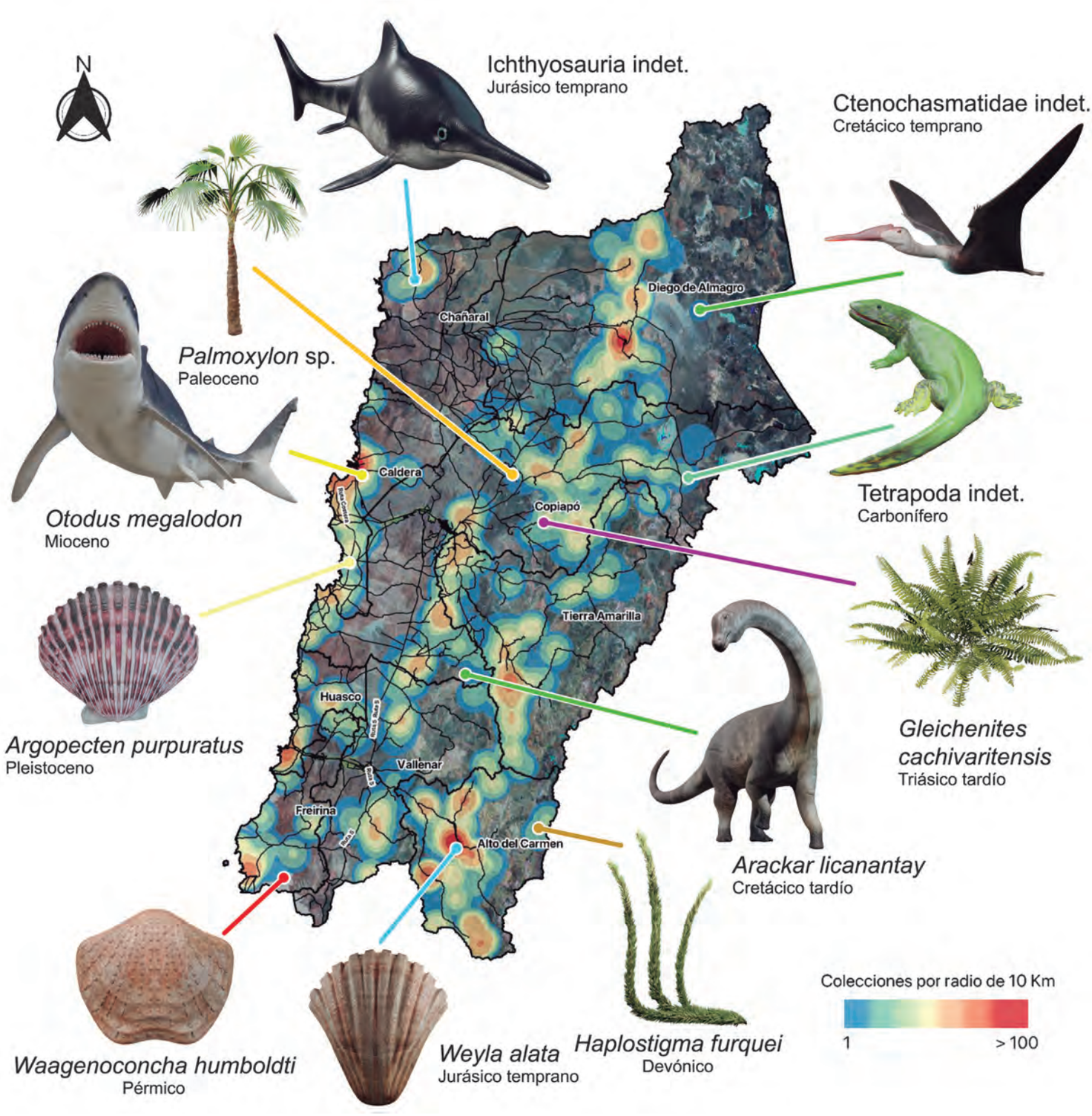


Figura 2. Hotspots de colecciones fosilíferas PBDB + SEIA, región de Atacama

abundantes en las áreas cordilleranas, con las unidades Cretácicas y Jurásicas formando franjas de norte a sur a lo largo de la precordillera, junto con múltiples localidades de edad Triásica dispersas. El registro del Triásico temprano y medio (252-237 Ma) corresponde mayoritariamente a registros de invertebrados marinos, incluyendo artrópodos branquiópodos, bivalvos, gastrópodos, ammonites, ceratitidos y braquiópodos de los Estratos de La Coipa y las Formaciones Canto del Agua y San Félix. En contraste, los registros del Triásico tardío (237-201 Ma) representan predominantemente ambientes continentales con un rico registro de plantas terrestres (Fig. 3) incluyendo helechos, helechos con semillas, equisetos, cicadáceas, ginkgos y bennettitales las cuales en ocasiones muestran las señales de los insectos que las consumieron. Estos registros nos hablan de un tiempo en que la región estaba cubierta por bosques subtropicales, al tiempo que los primeros dinosaurios comenzaban a dominar el planeta.

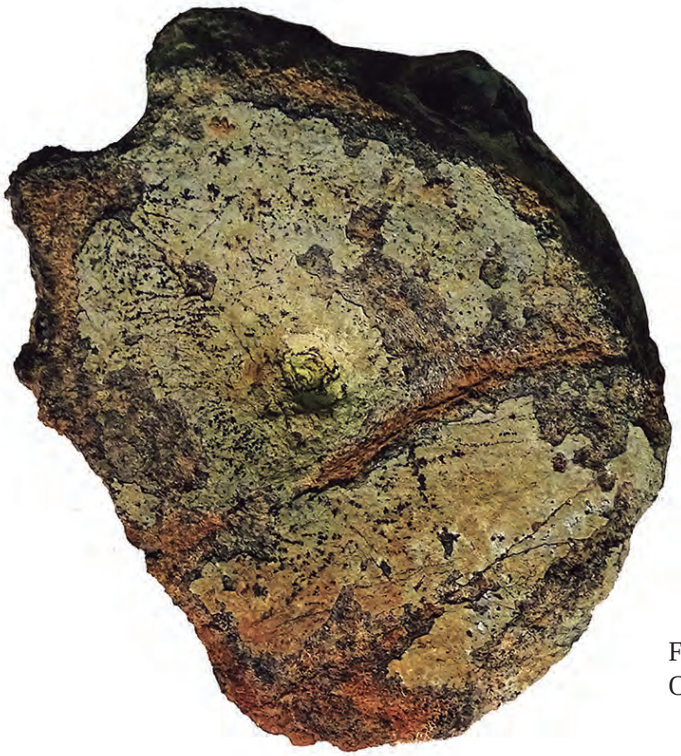
El registro Jurásico, está concentrado en formaciones marinas depositadas en lo que fue un mar somero formado entre el arco de islas volcánicas, que dio origen a la cordillera de la costa, y el



Figura. 3. Impronta de hoja compuesta del Triásico tardío de la Formación La Ternera.



Figura 4. Ammonites del Jurásico de la Formación Sierra Fraga.



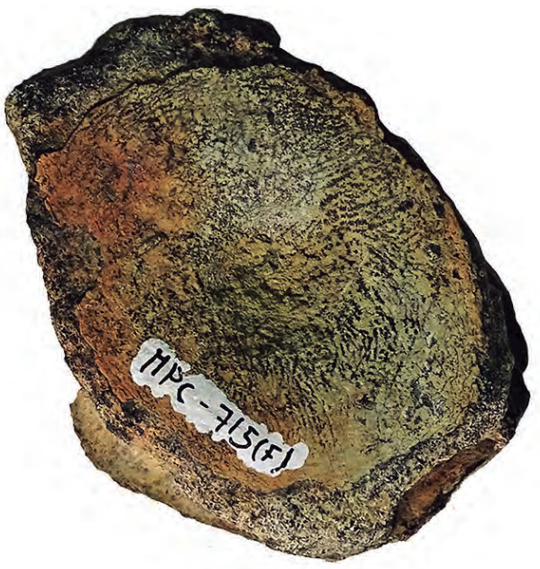


Figura 5. Vértebras de ictiosaurio del Jurásico temprano de Chañaral.

margen emergido de Sudamérica. Esto creó un ambiente similar al del actual archipiélago del Japón, que imperó a lo largo de todo este periodo pero tiene su registro más abundante durante el Jurásico temprano (201-174 Ma) en rocas de las Formaciones Lautaro, Sierra Fraga y Asiento (ej, Fig. 4). Este mar cálido fue hogar de una diversa comunidad de organismos marinos que incluía esponjas, corales escleractinios, bivalvos, gastrópodos, nautilos, ammonites, belemnites, crinoideos, erizos de mar y una gran variedad de braquiópodos. También existen registros de peces óseos y reptiles marinos, particularmente ictiosaurios (Fig. 5) que han sido reportados en las comunas de Chañaral, Copiapó y Tierra Amarilla. Para el Cretácico temprano (143-100 Ma) el paisaje regional se mantiene similar, con un mar somero rico en invertebrados marinos cuyos restos pueden hallarse en formaciones como Punta del Cobre, Totoralillo, Pabellón y Nantoco que afloran en el margen occidental de la precordillera y en la llanura intermedia. A esto se suman registros de vertebrados continentales hacia el oriente de la precordillera, que incluyen restos y huellas de dinosaurios (Fig. 6) junto con pterosaurios y cocodrilos en localidades como Cerro La Isla al interior de Tierra Amarilla, donde aflora la Formación Quebrada Monardes. Finalmente, el Cretácico tardío (100-66 Ma) está representado por la Formación Hornitos que aflora en el margen occidental de la precordillera en las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla. Esta unidad es de origen continental y en ella se han hallado restos de dinosaurios saurópodos, incluyendo a *Arackar licanantay*, el primer dinosaurio nombrado para la región.



Figura 6. Huella de dinosaurio ornitópodos del Cretácico de Quebrada La Descubridora (resaltada).



Figura 7. Diente del tiburón *Otodus megalodon* del Neógeno de la Formación Bahía Inglesa.

Hace 66 millones de años finaliza la era de los dinosaurios con la caída de un asteroide en la península de Yucatán, México, dando inicio al Cenozoico o era de los mamíferos. La región de Atacama incluye al menos dos localidades datadas del Paleoceno (66-56 Ma), la edad que marca el inicio de esta nueva era y durante la cual comienzan a tomar forma los ecosistemas modernos. Estos registros revelan la existencia de palmeras en la región y algunos de los registros más antiguos de mamíferos en el continente, los cuales aún se encuentran en estudio. Pero es el Neógeno (23-2,6 Ma) el que sin duda concentra el registro fósil durante esta era en la región, con abundantes registros de invertebrados marinos y una gran variedad de vertebrados en las formaciones Bahía Inglesa y Coquimbo que afloran en la costa de las provincias de Huasco, Copiapó y Caldera. Si bien muchos de los invertebrados identificados en estas formaciones se relacionan con especies que aún persisten en nuestra costa, existen grupos que en la actualidad se encuentran localmente extintos como es el caso de los escafópodos o los dólares de arena. Así también, el registro de vertebrados muestra comunidades de peces óseos dominadas por sardinas, marlines y atunes; una gran diversidad de condrictios incluyendo géneros local o globalmente extintos en la actualidad como es el caso de *Heterodontus*, *Pristiophorus*, *Pliotrema*, *Galeocerdos* o el famoso *Otodus megalodon* (Fig. 7); una gran diversidad de pingüinos y otras aves marinas incluyendo *Pelagornis chilensis*, una de las mayores aves que han existido; la presencia de gaviales marinos, dugongos y capibaras como elementos de hábitos más costeros; y una enorme variedad de cetáceos y focas incluyendo formas sin análogos modernos como el delfín morsa *Odobenocetops*, el perezoso marino *Thalassocnus* o el cachalote depredador *Livyatan*.

Finalmente, los registros de la llamada “edad del hielo” o Pleistoceno (2,6-0,01 Ma) corresponden predominantemente a restos hallados en terrazas marinas en la costa a lo largo de la región. Estos ensambles están dominados por las formas actuales de moluscos y cirrípedos que dominan la costa, así como registros ocasionales de vertebrados incluyendo pinnípedos y peces.

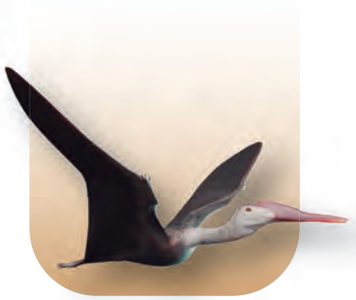
Conclusiones y prospectos

La región de Atacama alberga registros de una fracción representativa de formas de vida que abarcan cuatro reinos mayores, en sistemas marinos y terrestres, y que abarcan gran parte del Fanerozoico. De esta forma, la región constituye un laboratorio natural para el estudio de la evolución de la vida y su relación con el sistema terrestre. El presente inventario, sin embargo, debe considerarse como intrínsecamente incompleto, debido a múltiples sesgos de preservación, estudio y documentación.

A diferencia de las políticas de conservación de la biodiversidad actual, en el caso de los fósiles su protección debe estar referida a la conservación de su valor patrimonial. El artículo 21 de la ley 17.288 de Monumentos Nacionales del año 1970, establece a los fósiles y los lugares en los que éstos se encuentran como monumento nacional, reconociendo que se trata de elementos de especial interés para la ciencia y el acervo cultural de la nación. Esto significa que los fósiles están bajo la protección del Estado de Chile y sólo éste puede autorizar su intervención. Esta es la base legal con la que los sitios fosilíferos son protegidos bajo la ley y la razón por la cual el impacto sobre estos bienes patrimoniales debe ser considerado durante la evaluación ambiental de los proyectos de inversión.

Lo anterior invita a generar planes de conservación del patrimonio paleontológico con instrumentos análogos a los empleados comúnmente por la biología de la conservación (e.g., geoparques y áreas de exclusión de actividades antropogénicas) (ver además Recuadro 3.2). Por ejemplo, de forma preliminar estimamos que cerca del 90% de todas las formas que han existido alguna vez en Atacama se encuentran extintas en la actualidad (i.e., no tienen una contraparte viviente), y debieran ser focos de políticas de protección patrimonial.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 3.1:33-35



Recuadro 3.1 Paleontología: Una ventana a la biodiversidad pasada de Atacama

Nelson Pereira

La gran biodiversidad de la región de Atacama no es exclusiva del presente, sino que, en el pasado, también fue el hogar de innumerables y sorprendentes seres vivos. La región se localiza en una de las zonas con mayor riqueza paleontológica del país y es un punto de interés científico a nivel internacional. Ésta contiene una amplia diversidad de grupos fósiles, distribuidos en diferentes lugares, rocas, ambientes y climas, que nos cuentan la historia de la vida a lo largo de 359 millones de años (Ma) (Abad et al. 2022).

En las cercanías del Salar de Maricunga, se encontraron los fósiles más antiguos de la zona, que datan del Carbonífero (359-323 Ma) y corresponden a las huellas de vertebrados más antiguas del país, asignadas a anfibios; además de la presencia de peces, estromatolitos, moluscos y plantas.

La era de los dinosaurios está dividida en tres períodos: Triásico, Jurásico y Cretácico. Durante el Triásico (252-201 Ma) el clima era subtropical cálido, donde fueron muy abundantes las plantas como por ej. las araucariáceas, ginkgoales y helechos. Por otro lado, los animales estaban representados por pequeños crustáceos de dos valvas (“conchostracos”).



A continuación, en el Jurásico (201-145 Ma) hacia la actual precordillera, se formó una gran cuenca marina, donde habitaron reptiles como los plesiosaurios e ictiosaurios. Dentro de los invertebrados se encontraron ammonoideos, braquiópodos, bivalvos, gasterópodos, corales, lirios de mar y esponjas.



Después en el Cretácico (145-66 Ma) la cuenca disminuyó su profundidad y se movió al oeste. En los ambientes continentales hubo diversos vertebrados como: pterosaurios, cocodrilomorfos, dinosaurios de cuello largo, iguanodóntidos, huellas de dinosaurios carnívoros y de ornitópodos. Por otro lado, los ambientes marinos presentan abundantes bivalvos, amonoideos, nautílidos y gasterópodos. En menor medida, habitaron peces óseos, braquiópodos, lirios y erizos de mar, corales, briozoos, gusanos marinos y esponjas. Y, hacia finales del Cretácico, se cerró esta cuenca marina.



Posteriormente en la era de los mamíferos, se incluye el Paleógeno, Neógeno y Cuaternario. En el Paleógeno (66-23 Ma) sólo existe el registro de fósiles de palmas (no se incluye una representación de este periodo).

Luego en el Neógeno (23-2,58 Ma) hacia la costa, se depositó la Formación Bahía Inglesa en un clima más húmedo y cálido que el actual. Los fósiles que consignan mayor atención son los mamíferos marinos como: ballenas, delfines, focas, perezosos marinos, “delfines morsas”, el gigantesco depredador *Livyatan*, entre otros. También se hallaron cocodrilomorfos y aves como *Pelagornis*, pingüinos, albatros o fardelas. Los fósiles de peces óseos y cartilaginosos son muy frecuentes, como el tiburón blanco y el temible megalodón. Por otro lado, los invertebrados están representados por bivalvos, gasterópodos, corales, el erizo plano “dólar de arena”, foraminíferos y balánidos. También se han descrito plantas y diversas trazas fósiles.

Finalmente, en el Cuaternario (2,58 Ma - actualidad) el clima era similar al actual, pero con episodios con agua más cálidas. En este contexto habitaron lobos marinos, peces óseos, aves como los pingüinos, gaviotas, petreles buceadores y flamencos. Y entre los invertebrados destacan los bivalvos, gasterópodos, chitones, jaibas y arrecifes de gusanos marinos.



El conocimiento de todos estos abundantes y diversos fósiles, atestiguan la evolución de la vida en el pasado que dio origen a la biodiversidad actual. Para mayor información ver Capítulo 3 y Recuadro 3.2 en este libro.

Cuaternario



Cretácico



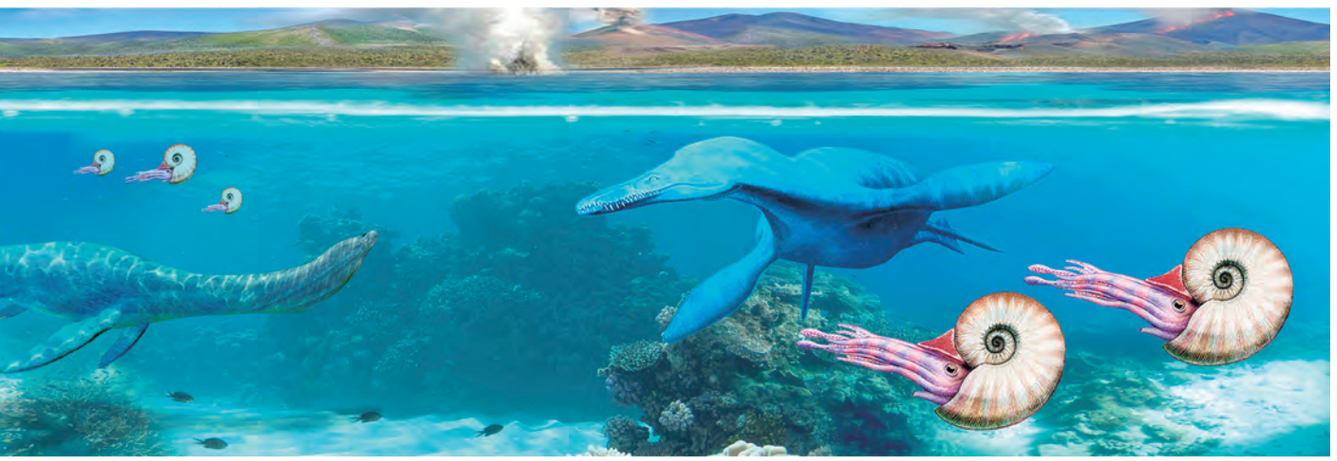
Jurásico



Triásico











Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 3.2:36-37



Recuadro 3.2 Manejo del patrimonio paleontológico: Compatibilizando fósiles con proyectos de inversión en Atacama

Martín Chávez Hoffmeister

El artículo 21 de la ley 17.288 de Monumentos Nacionales del año 1970, establece a los fósiles y los lugares en los que éstos se encuentran como Monumento Nacional, reconociendo que se trata de elementos de especial interés para la ciencia y el acervo cultural de la nación. Esto significa que los fósiles están bajo la protección del Estado de Chile y sólo éste puede autorizar su intervención. Esta es la base legal con la que los sitios fosilíferos son protegidos bajo la ley y la razón por la cual el impacto sobre estos bienes patrimoniales debe ser considerado durante la evaluación ambiental de los proyectos de inversión. Durante las últimas décadas, y como resultado de un significativo aumento en nuestro conocimiento sobre el patrimonio paleontológico nacional, el Consejo de Monumentos Nacionales (CMN) a través del Servicio de Evaluación Ambiental ha solicitado en forma cada vez más frecuente que se incorpore el componente paleontológico durante el proceso de evaluación, mediante la presentación de un informe de Línea de Base Paleontológica que debe ser realizado por paleontólogos profesionales y separada del componente arqueológico.



Paleontólogos inspeccionando un campo de clastos rodados que contienen fósiles de edades Triásicas y Jurásicas en las cercanías de Carrera Pinto.

Estos procedimientos y permisos sectoriales cobran particular relevancia en regiones como Atacama, en la cual se estima que 50% de su superficie es fosilífera o paleontológicamente susceptible, esto es, que las rocas o sedimentos en superficie contienen o tienen el potencial de contener fósiles. Para mitigar el daño potencial y determinar qué medidas deben tomarse durante las etapas del proyecto que involucra la remoción del suelo o realización de excavaciones, la línea de base paleontológica debe considerar los antecedentes bibliográficos para la zona e incluir una inspección en terreno por parte del equipo paleontológico. Las directrices básicas sobre cómo generar estos informes se encuentra en la Guía de Informes Paleontológicos del CMN. Para Atacama, existen dos

herramientas útiles para iniciar la búsqueda bibliográfica: el visor de potencialidad paleontológica del CMN (https://geoportalcmn.maps.arcgis.com/) y los antecedentes compilados por el Diagnóstico Paleontológico de Atacama disponibles en el portal Paleobiology Database (https://paleobiodb.org/). Estos datos permiten identificar si ya existen antecedentes sobre la existencia de fósiles dentro o cerca del área de proyecto, los que deben contrastarse con los antecedentes geológicos del área y los datos recabados en terreno por parte del equipo. En dicha visita, el equipo debe recabar datos geológicos y buscar evidencia de restos fósiles dentro del área a intervenir, sin embargo, durante esta etapa no deben realizarse calicatas o colectas de materiales dado que estas requieren previa autorización por parte del CMN.

Teniendo en cuenta los antecedentes recabados, la línea de base debe indicar qué tan probable es que existan fósiles en el área de intervención, tanto sobre como bajo la superficie, y solicitar los permisos necesarios en caso de que se trate de áreas fosilíferas o susceptibles, junto con sugerir las medidas a tomar para mitigar, prevenir y/o compensar la intervención de dichos bienes. Estas medidas pueden incluir el monitoreo de obras por parte de un equipo paleontológico, la capacitación del personal de obras, la generación de un protocolo en caso de hallazgos imprevistos y el rescate de fósiles que se hallen durante las obras, entre otros. Esta última medida no necesariamente implica la colecta de todos los restos fósiles hallados, sino que de una muestra representativa y los restos con mayor potencial de ser adecuadamente identificados por los especialistas. Estas colecciones son finalmente entregadas a museos que de ese punto en adelante velarán por su resguardo y conservación. El resultado de esto, ha sido un aumento importante en la demanda de especialistas en paleontología a nivel nacional, así como el surgimiento de consultoras especializadas en esta área, y la identificación de numerosas localidades fosilíferas nuevas a lo largo del país, muchas de las cuales han podido ser muestreadas y estudiadas gracias a estos esfuerzos conjuntos entre el mundo académico y privado.



Equipo de paleontólogos y geólogos inspeccionando afloramientos rocosos durante la realización de una línea de base paleontológica en las cercanías del tranque Lautaro.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 3.3:38



Recuadro 3.3 Fascinante estudio descubre plantas fósiles de entre 380 y 200 millones de años en Chile

Philippe Moisan

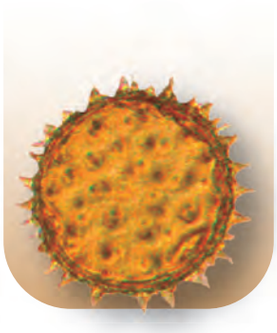
En un estudio recién publicado en la revista especializada Review of Palaeobotany and Palynology, Moisan (2024) demostró que las floras fósiles de los periodos Devónico a Triásico (380 a 200 Ma) están muy bien representadas en distintas localidades fosilíferas en Chile, y revelan la asombrosa evolución de las plantas en un lapso de 180 Ma. Las floras fósiles más antiguas se encuentran en las regiones del norte, siento Atacama una de las áreas más relevantes, mientras que las floras triásicas están ampliamente distribuidas a lo largo del territorio.

Se destaca el trabajo del ilustrador científico Mauricio Álvarez, quien logró reconstruir un ecosistema triásico basado en el registro fósil de Chile. Este trabajo es maravilloso, porque logra con rigurosidad científica, basándose en las evidencias que nos entrega el registro fósil, reconstruir ecosistemas de 220 Ma.



Ilustración de Mauricio Alvarez [@mauricio_alvarez_art; Instagram].

Un paisaje del Triásico, con plantas comunes del Gondwana. El registro fósil nos muestra una interesante diversidad y abundancia de helechos, esfenofitas, helechos con semillas (como el extinto *Dicroidium*), cicadófitas, ginkgofitas y otros grupos de gimnospermas.



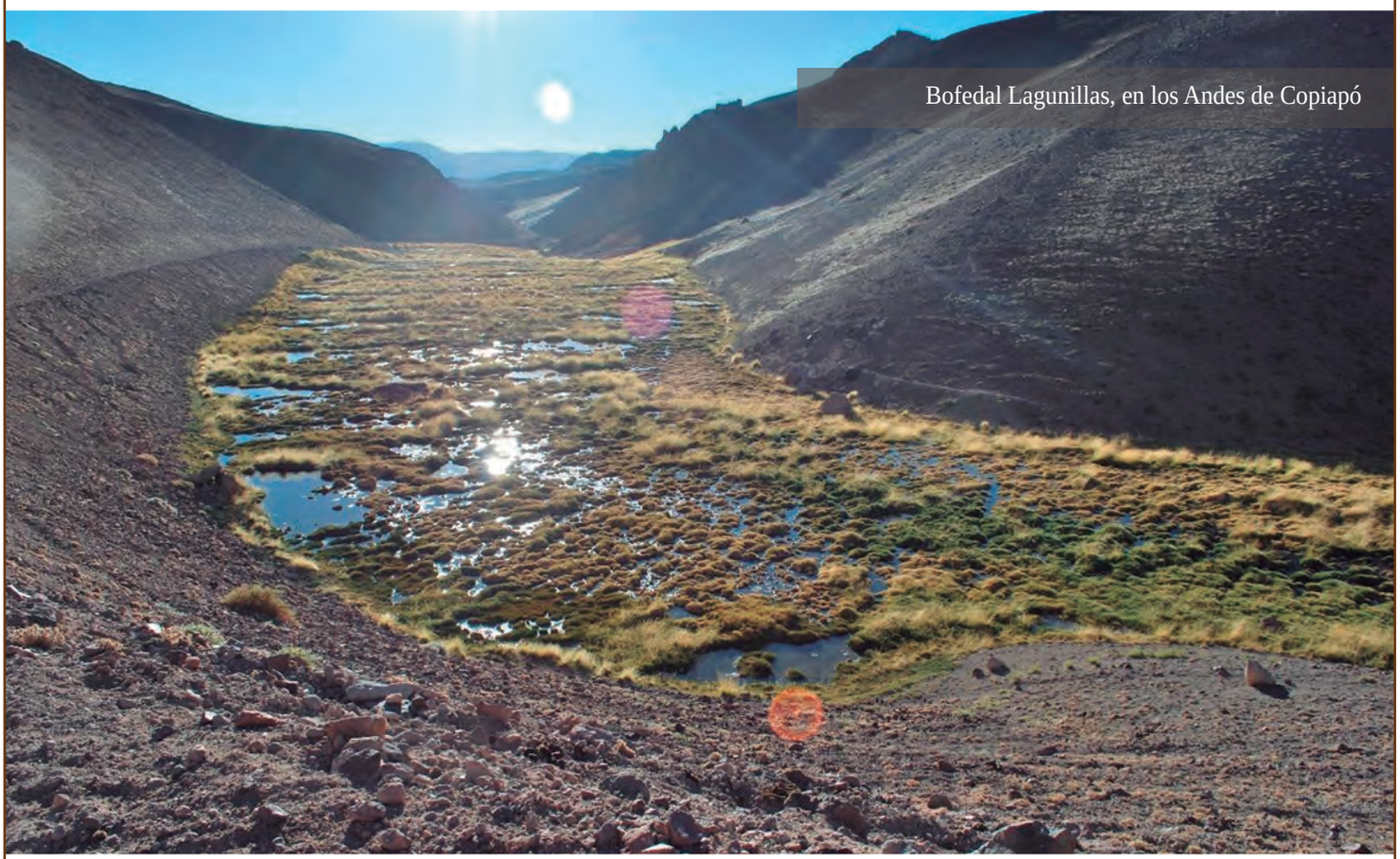
Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 3.4:39-40

Recuadro 3.4 Cuaternario en Atacama

Antonio Maldonado

Las fuentes de información para reconstruir el medioambiente del pasado son diversas, en este recuadro nos apoyaremos principalmente por los registros de polen fósil que podemos recuperar desde depósitos de roedores o "paleomadrigueras de roedores", pero también nos podemos ayudar de otras fuentes como la geomorfología y distintos análisis en testigos de sedimentos, tanto de lagos como de bofedales.

Cada una de estas fuentes de información nos hablan de diferentes condiciones o cambios en el paisaje, los que pueden expresarse en términos, por ejemplo, de cambios en los niveles de humedad en el ambiente, asociados a aumentos o descensos en las precipitaciones a nivel regional.



Bofedal Lagunillas, en los Andes de Copiapó

Así por ejemplo, los trabajos de geomorfología glacial en el Valle del Encierro, en la parte alta de la cuenca del río Huasco, nos dan información de momentos de avances glaciares, bajo condiciones más lluviosas y más frías que las actuales, con avances glaciares de hasta 16 km de extensión valle abajo hacia los 40.000 años antes del presente (años AP), con otros reavances algo menores en magnitud entre 33.000 y 25.000 años AP y un proceso de retracción de los glaciares hacia los 17.000 a 15.000 años atrás (Aguilar et al. 2022, Zech et al. 2006).

También en el sur de la región la formación de paleosuelos y dinámica de aluviones en las cuencas tributarias del río Huasco (Cabré et al. 2017) y en una zona más amplia, entre el río Copiapó y Los Vilos (Veit 1999) nos permiten interpretar condiciones de mayor o menor aridez que la actual. Así, entre ~11.000-7.200 años AP, entre ~5000-3500, en torno a ~2500 y los últimos ~700 años AP estos registros sugieren condiciones más húmedas que las actuales, mientras que, en los periodos intermedios a éstas, condiciones de mayor aridez.

Por otra parte, en la alta cordillera de la región el registro sedimentario en la Laguna del Negro Francisco permite inferir cambios en el nivel del lago, los cuales han sido asociados a condiciones de mayor o menores precipitaciones en la zona, los cuales muestran desde 7000 años AP condiciones más áridas que las actuales, las que comienzan a revertirse después de 4200 años AP, con dos periodos de máximos niveles lacustres en torno a 3200-2700 y 2300-1800 años AP y con un fuerte descenso en el nivel del lago en tiempos recientes (Grosjean et al. 1997).

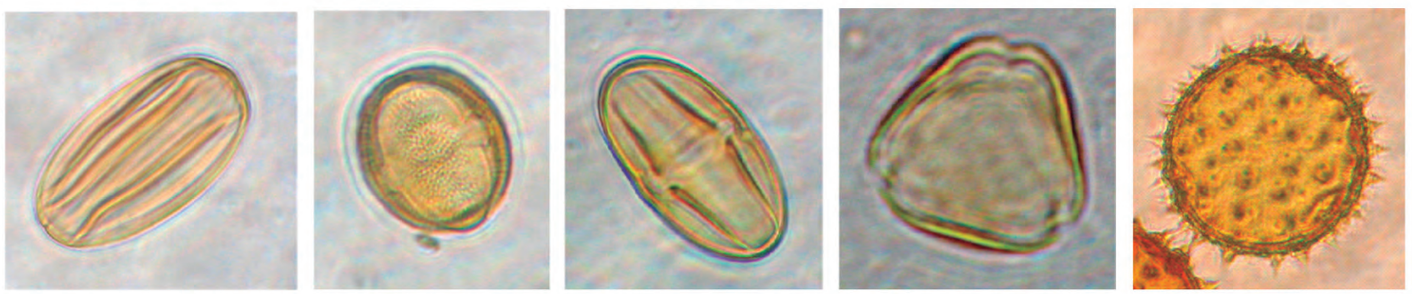
Para estos últimos periodos el registro de isótopos de oxígeno e hidrógeno obtenido desde la celulosa preservada en bofedales altoandinos de la parte alta del valle de Copiapó, nos permite inferir también momentos de mayor o menor humedad asociadas a cambios en las precipitaciones complementando los registros antes mencionados, así entre 1750 a 1550 años AP y 1200 a 960 años AP, se infiere una condición de mayor aridez que la actual, en contraste entre 1530-1270 y 470-70 años AP se infieren condiciones de mayor humedad que la actual en la parte alta de la región (Koch et al. 2019, 2020).



Marcas de erosión por hielo sobre la roca, producto del avance glaciar del Pleistoceno

Por último, en el sur de la región, la reconstrucción del paisaje realizada a partir de polen preservado en depósitos de roedores o "paleomadrigueras de roedores", ha permitido establecer una secuencia de cambios en la vegetación, los que ha sido asociados a condiciones de mayor o menor humedad disponible en el ambiente. Las secuencias temporales de polen obtenidas a partir de estos depósitos sugieren condiciones de mayor humedad que la actual entre 12.000-9000 años AP y entre 2000-500 años AP (Rozas 2012).

De manera similar las edades obtenidas en depósitos de roedores en la alta cordillera de la región, en torno al Salar de Pedernales y Quebrada Incahuasi, muestran presencia de estos depósitos en torno a 12.000-9000 años AP y a partir de 4000 años AP en adelante, destacando una ausencia de registro entre 9000-4000 años AP (Maldonado y de Porras, datos no publicados), sugiriendo condiciones de mayor aridez que la actual, situación que es corroborada por los patrones de presencia humana en el sector, que siguen prácticamente el mismo patrón (López et al. 2022a,b, 2021).



Granos de polen de diversas especies encontradas en los depósitos de roedores analizados para el valle del río Huasco

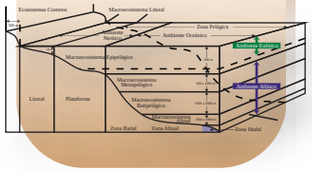


Depósito de roedor o paleomadriguera, obtenido en la parte alta del Valle del río Huasco



Depósitos sedimentarios en una quebrada lateral del río Potrerillos

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 4:41-49



Capítulo 4 Ecosistemas terrestres y marinos de la región de Atacama

Karina Martínez-Tilleria, Ricardo Catalán Garrido & Francisco A. Squeo

Los ecosistemas son los sistemas de soporte vital del planeta, tanto para la especie humana como para todas las demás formas de vida (MEA 2005). La composición de la atmósfera, del suelo, el ciclo de los nutrientes, los cursos de agua y aire, así como muchos otros activos ecológicos son el resultado de procesos de vida, y todo se mantiene y renueva gracias a los ecosistemas (Hassan et al. 2005)

El estudio de los ecosistemas es fundamental para comprender los procesos que sustentan la biodiversidad y el manejo de los recursos biológicos del planeta con una meta de sustentabilidad, debido a que aborda las interacciones entre los sistemas bióticos, los sistemas económico-sociales, y el sistema físico del cual ambos dependen (ver Recuadro 4.3).

Los ecosistemas constituyen el principal paraguas de la continuidad de las especies y procesos biológicos que contienen, por ello es necesario clasificarlos y tener un inventario de ellos reconocido por los expertos, de manera de orientar los procesos de toma de decisiones sobre instrumentos de conservación, y facilitar el monitoreo del estado de conservación de los mismos.

En tiempos recientes, han habido varios esfuerzos por generar sistemas de clasificación de ecosistemas terrestres los que han empleado como información base las coberturas de vegetación, del macroclima y de la geomorfología (e.g., Devillers & Devillers-Terschuren 1996, Comer et al. 2003, Cowling et al. 2003, Josse et al. 2007).

Martínez-Tilleria et al. (2017) propusieron una clasificación funcional de ecosistemas para Chile terrestre, que permitió la definición de 30 tipos de ecosistemas a nivel nacional continental. Actualmente siguen surgiendo clasificaciones del tipo funcional a nivel mundial (Keith et al. 2022)

Respecto a los ecosistemas marinos, en Chile se han realizado esfuerzos para su clasificación, los que incluyen una escala gruesa, como la que considera las ecorregiones marinas como escala máxima (Rovira & Herreros 2016).

Dentro de las clasificaciones que nos aproximan al conocimiento de los ecosistemas marinos elaboradas para Chile, se encuentra la de Jaramillo et al. (2006), Pequeño (2000), y la clasificación global



Vega de *Oxychloë andina* en la cabecera de la quebrada Barriales (4.500 msnm), provincia de Huasco

Foto: Gina Arancio

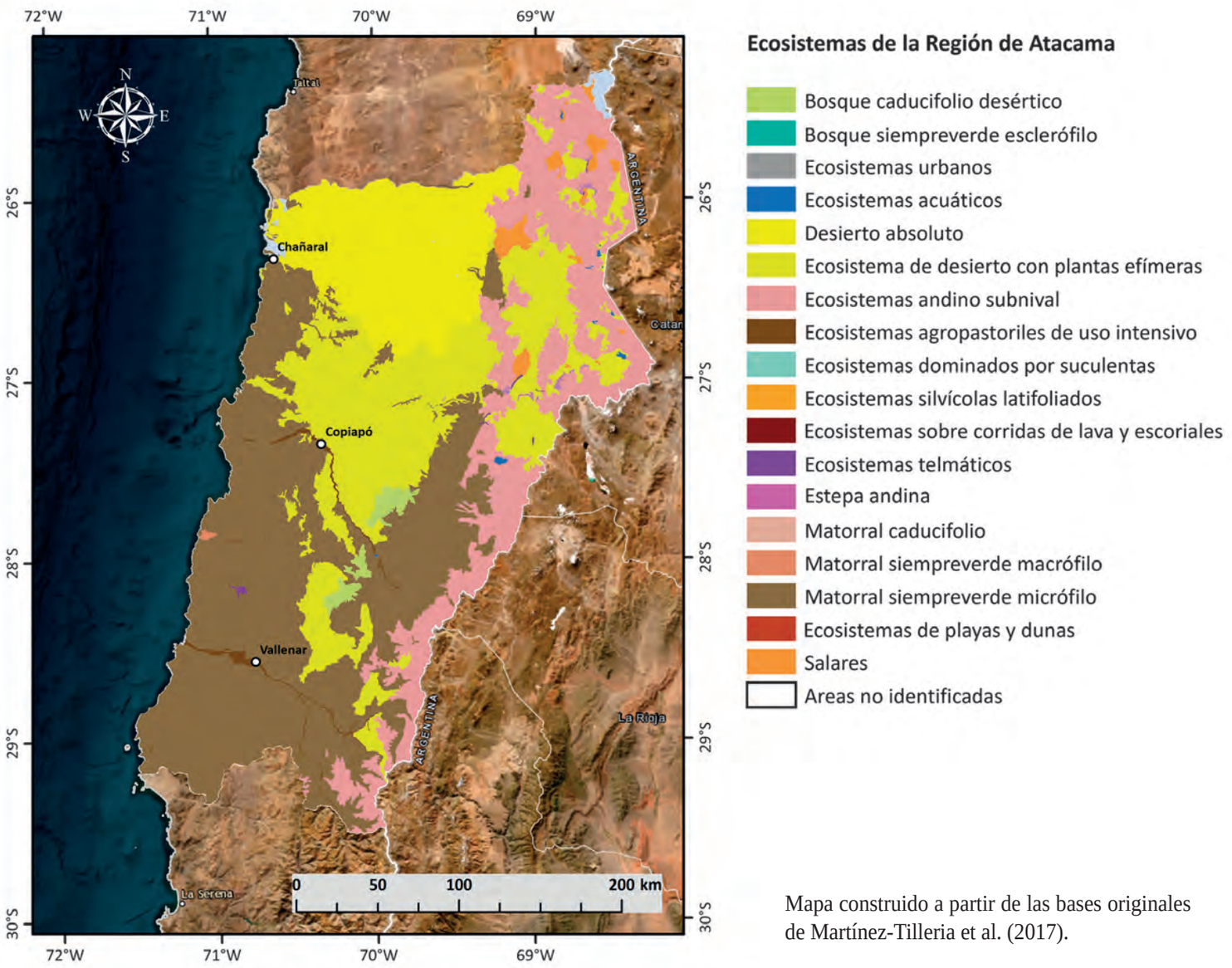
de Spalding et al. (2007). Martínez-Tilleria (2015) realizó una compilación de la información existente a nivel nacional, continental e insular, con la finalidad de realizar portafolios de conservación que permitieran proteger integralmente mar y tierra. En el año 2015 – 2016, el Ministerio del Medio Ambiente (Rovira & Herreros 2016), tomó la información nacional disponible a nivel marino, para construir una clasificación oficial que permitiera tomar decisiones a nivel político-administrativo. Las capas de información fueron trabajadas y manejadas bajo asesoría científica, lo que no significa que sea una clasificación definitiva, pero sí con criterios aunados para poder realizar una aproximación a la planificación de la conservación de la biodiversidad en el ambiente marino.

En este capítulo se revisarán los ecosistemas terrestres y marinos de Atacama. Para el ambiente terrestre nos centraremos en la clasificación funcional realizada por Martínez-Tilleria et al. (2017) y para el ambiente marino se integran las clasificaciones existentes a nivel de ecorregiones, las que se subdividen en ecosistemas de acuerdo con información batimétrica.

Ecosistemas terrestres de la región de Atacama

La clasificación funcional de ecosistemas terrestres está estrechamente relacionada con el concepto de los "tipos funcionales de plantas", que corresponden a "grupos de plantas que exhiben respuestas similares a las mismas condiciones ambientales y que tienen efectos similares en los procesos de los ecosistemas en que se distribuyen" (Walker 1992, Díaz & Cabido 1997). Estos grupos, que frecuentemente son polifiléticos (es decir no coinciden con clasificaciones florísticas), tendrían efectos similares en procesos ecosistémicos tales como productividad, ciclado interno de nutrientes o transferencias tróficas (Díaz et al. 2002). El enfoque funcional orientado a la clasificación de ecosistemas puede ayudar a entender cómo los conjuntos de especies y su entorno físico responden ante cambios en el clima y en el uso de la tierra y cómo estos efectos modifican los procesos ecosistémicos y los bienes y servicios que las sociedades humanas obtienen de ellos.

La clasificación de ecosistemas realizada para Chile continental (Martínez-Tilleria et al. 2017), se basó en el mapeo de las formas



Mapa construido a partir de las bases originales de Martínez-Tilleria et al. (2017).

de vida de la vegetación y rasgos funcionales de las hojas sobre un inventario previo de unidades de uso/cobertura del suelo de CONAF, permitiendo reconocer 30 ecosistemas terrestres diferentes en Chile continental.

En la región de Atacama se logró identificar 18 ecosistemas diferentes, entre los que se encuentran algunos de origen antrópico, de aguas continentales, con vegetación nativa de cobertura mayor al 10% y ecosistemas naturales con vegetación de cobertura menor al 10%.

Ecosistemas de origen antrópico

1. Ecosistemas urbanos: Corresponden a las áreas donde se emplazan ciudades, poblados y zonas industriales. Estos sitios están funcionalmente dominados por las demandas de energía y alimento de la población urbana. Las estructuras hechas por el hombre, como edificios y calles, determinan las condiciones locales del clima, la circulación de energía y agua en el ecosistema.

2. Ecosistemas agropastoriles de uso intensivo: Son aquellas zonas dedicadas a actividades agrícolas. El uso agrícola intensivo incluye cereales, horticultura, fruticultura y ganadería. También se consideran terrenos donde se practica rotación de cultivos y producción de empastadas, pudiendo o no corresponder a terrenos de vocación agrícola.

3. Ecosistemas silvícolas latifoliados: Corresponden a aquellas áreas donde se han realizado plantaciones forestales de árboles exóticos con hojas anchas, principalmente especies de eucaliptos de origen australiano.

Las principales especies plantadas en Chile son: *Eucalyptus globulus, Eucalyptus camaldulensis, Eucalyptus nitens, Acacia melanoxylon*, entre otras. La primera de estas especies da cuenta de más de 60% de las plantaciones. En la región de Atacama, los registros obtenidos desde el Catastro de Vegetación de CONAF, dan cuenta de la presencia de plantaciones de *Acacia macracantha*.



Bahía de la ciudad de Chañaral

Foto: Alex Cea

Ecosistemas de aguas continentales

4. Ecosistemas acuáticos: Entre estos podemos diferenciar dos tipos: cuerpos de agua y ecosistemas ribereños. Los primeros corresponden a lagos, lagunas, embalses, tranques y ríos; los segundos corresponden a zonas de transición entre el medio terrestre y acuático en los márgenes de los anteriores. Sin embargo, esta representación es sólo una mínima parte de lo que en la realidad ocupan estos ecosistemas. La falta de resolución de las cartografías disponibles no hace posible mejorar el análisis de su distribución.

Los ecosistemas acuáticos juegan un papel fundamental en los ciclos hidrológicos y de nutrientes, y su transporte desde los continentes al océano. Albergan comunidades ecológicas complejas y únicas; se vinculan funcionalmente con la estructura y funcionalidad de los ecosistemas terrestres circundantes. Además, los ecosistemas ribereños proporcionan servicios ecosistémicos esenciales para la biodiversidad y las sociedades humanas, como son la protección de cuencas, conservación de la biodiversidad y almacenamiento de agua, entre otros (Sweeney et al. 2004).

5. Ecosistemas telmáticos: corresponden a humedales semi-terrestres, también llamados anegadizos (Ramírez et al. 2002). Se caracterizan por presentar una napa freática alta y no un cuerpo de agua propiamente tal. Esta categoría reúne ecosistemas registrados por el catastro de vegetación nativa de CONAF como marismas herbáceas, ñadis herbáceos y arbustivos, turbales, bofedales y vegas.

Estos ecosistemas desempeñan funciones ecológicas fundamentales, como la regulación de los ciclos geológicos y

regímenes hidrológicos, la provisión de hábitat para la flora y la fauna, teniendo además valores socioeconómicos para las poblaciones humanas aledañas (Zedler & Kercher 2005, RAMSAR 2013). Desde el punto de vista hidrológico, reciben y acumulan agua de las precipitaciones o agua de descarga del subsuelo y abastecen los ríos o napas subterráneas que muchas veces son recursos hídricos para poblaciones rurales y urbanas (ver Recuadro 4.2).

Ecosistemas con vegetación nativa y cobertura mayor al 10%

6. Estepa andina: Son ecosistemas dominados por vegetación herbácea y secundariamente arbustiva, las formas de crecimiento predominantes son pastos duros (gramíneas en champa), plantas en cojín, hierbas perennes y arbustos bajos. Se diferencian de otros ecosistemas de estepas por presentar precipitaciones concentradas en invierno, y su clima está determinado principalmente por la actividad de los frentes polares. En los meses de invierno presenta cubierta de nieve continua durante 3-5 meses y los veranos son secos (Arroyo et al. 1987).

Dentro de las especies de plantas dominantes de este ecosistema se encuentran: *Pappostipa frigida*, *Azorella madreporica*, *Azorella ruizii*, *Chuquiraga oppositofolia*, *Anarthrophyllum cummingii* (arbusto fijador de nitrógeno), entre otras, en un área aproximada de 173 km^2.

7. Ecosistemas dominados por suculentas: En estas unidades, las formas de crecimiento predominantes son plantas suculentas (del tipo CAM), con grandes espinas, como cactáceas columnares y bromeliáceas, y una cobertura menor de arbustos y herbáceas estacionales.

Entre las especies dominantes que encontramos en la región de Atacama están: *Copiapoa cinerascens*, *Copiapoa cinerea*, *Copiapoa dealbata*, *Echinopsis chiloensis*, *Eulychnia iquiquensis*, *Eulychnia breviflora*, *Puya boliviensis* y varias especies del género *Eriosyce* (ver Recuadro 7.5), ocupando un área de 163 km^2.

Varias de estas especies poseen propiedades medicinales, producen frutos comestibles u otras sustancias útiles para el hombre, por lo que sus poblaciones se han visto fuertemente disminuidas (Belmonte et al. 1998, Pardo 2002).

8. Matorral siempreverde micrófilo: Su vegetación dominante corresponde a especies arbustivas siempreverdes (no pierden sus hojas) de hojas relativamente pequeñas (largo inferior a 2 cm). Las formas de crecimiento que encontramos en estas áreas son arbustos bajos, hierbas anuales y perennes y algunos arbustos arborescentes (2-5 m de alto).

Corresponde al ecosistema más extenso de la región de Atacama, cubriendo unos 29.975 km^2 aprox. Incluye una porción importante de lo que se ha denominado como matorral desértico, el cual se


Estepa andina, río Tres Quebrada 4.300 msnm


Ecosistema dominado por suculentas, norte Llanos de Challe

desarrolla bajo condiciones ambientales limitantes debido a la sequía permanente o frecuente. Dentro de los géneros de especies dominantes que podemos encontrar en este ecosistema, en la región de Atacama, cada uno con varias especies representantes, destacan: *Adesmia*, *Baccharis*, *Ephedra*, *Fabiana*, *Haplopappus*, *Heliotropium*, *Nolana*, *Tetragonia*, *Frankenia*, entre otras.

La importancia ecológica que tienen los arbustos de este ecosistema radica en: a) contribuyen a reducir el escurrimiento superficial de agua, disminuyendo la erosión eólica y pluvial (Gutiérrez & Squeo 2004); b) realizan levantamiento hidráulico, transportando agua a través de sus raíces desde estratos profundos a estratos superficiales, donde puede ser usada por otras especies (Squeo et al. 1999, León & Squeo 2004); y c) pueden tener efecto nodriza, otorgando condiciones favorables para la germinación y crecimiento de plantas de otras especies (Gutiérrez et al. 1993, Aguilera et al. 1999, Gutiérrez & Squeo 2004, León et al. 2011).

Históricamente, este ecosistema ha sido fuertemente afectado por la producción de carbón vegetal a partir de arbustos como *Fabiana imbricata* o *Adesmia hystrix* (Estévez et al. 2010).

9. Matorral siempreverde macrófilo: Este ecosistema abarca al conocido matorral esclerófilo, especialmente en laderas de la cordillera costera y andina. En la región de Atacama tiene una baja representación, principalmente hacia la cordillera de la costa, con un área de 1.052 km^2 aprox. Reúne aquellas áreas donde la vegetación dominante son especies arbustivas siempreverdes y con hojas que tienen un largo superior a 2 cm, coriáceas o duras (por la presencia de esclerénquima). Este ecosistema presenta entre sus principales formas de crecimiento arbustos, hierbas anuales, perennes, geófitas y ocasionalmente árboles.

Entre las especies de plantas dominantes que podemos encontrar en este ecosistema, en la región de Atacama, se encuentran principalmente: *Colliguaja odorifera*, *Escallonia angustifolia*,

Lithrea caustica, *Lycium* spp., entre otros.

Estos ecosistemas han sido sometidos históricamente a una fuerte presión por extracción de leña, cambio de uso de suelo para agricultura y vivienda, y el ramoneo por animales domésticos.

10. Matorral caducifolio: Corresponden a ecosistemas donde predominan especies arbustivas de hoja caduca, es decir, pierden sus hojas en la época desfavorable, que en Chile corresponde al verano seco (diciembre-marzo). Se ubican en ambientes desérticos, donde reciben precipitaciones durante un corto período del año, o están expuestos a temperaturas altas, y elevada evaporación del suelo, condiciones que crean un ambiente estacionalmente desfavorable para las plantas (Olivares & Squeo 1999). En la región de Atacama, ocupa un área aproximada de 1.260 km^2 y las formas de crecimiento más comunes son arbustos caducifolios, con y sin espinas, arbustos áfilos, cactáceas, hierbas anuales y perennes.

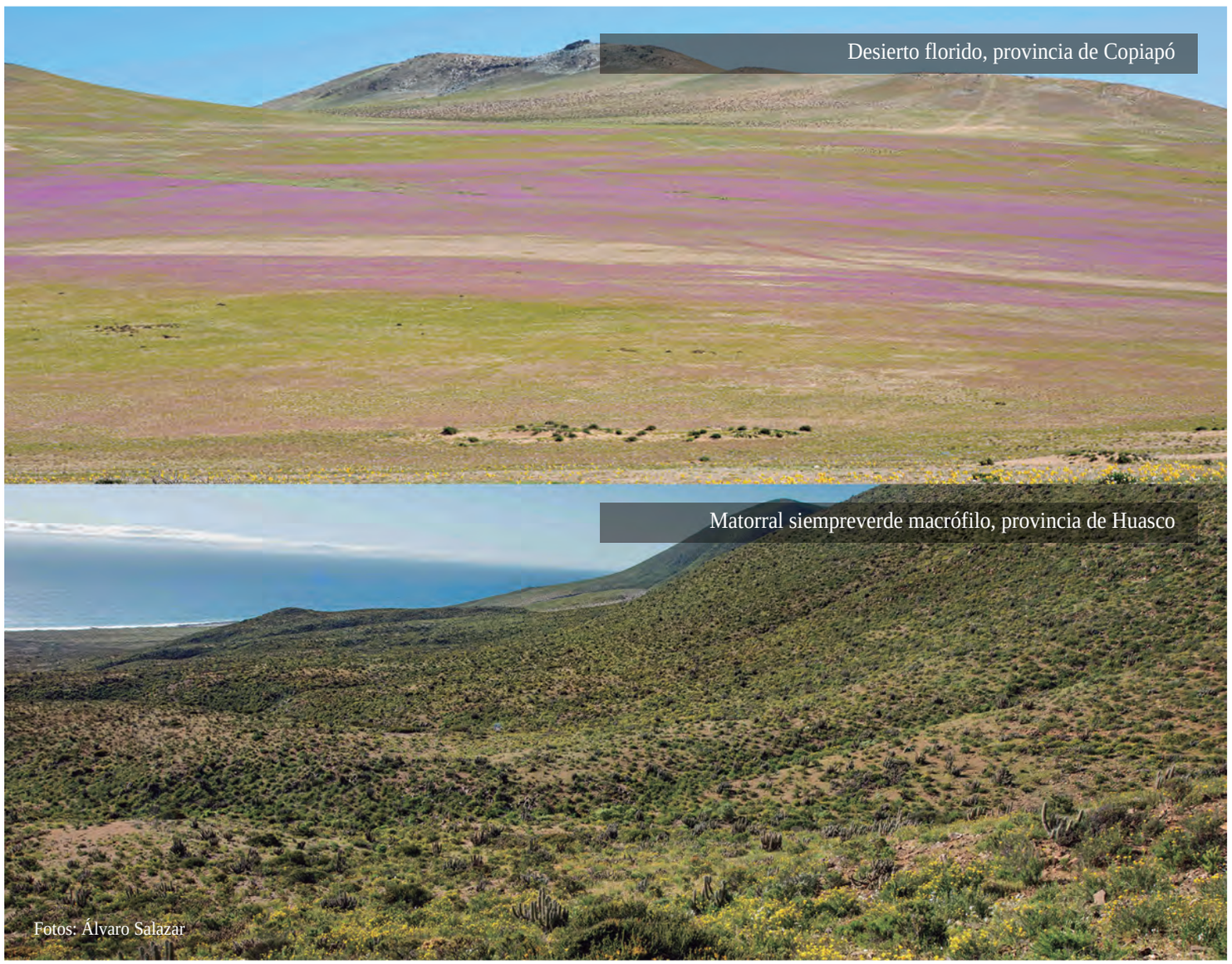
Entre las especies dominantes que se pueden encontrar en estos ecosistemas en la región de Atacama, están *Cordia decandra*, *Oxalis gigantea*, *Acacia caven*, *Colletia hystrix*, *Flourensia thurifera*, *Fuchsia lycioides*, *Proustia cuneifolia*, *Spinoliva ilicifolia*, *Senna cumingii*, entre otras.

Varias de las especies arbustivas presentes en estos ecosistemas han sido utilizadas para la provisión de comida, forraje y leña en poblaciones rurales, lo que sumado a la presencia de ganado caprino y conejos, limitarían la propagación y colonización de especies esclerófilas.

11. Bosque siempreverde esclerófilo: Este ecosistema corresponde a zonas dominadas principalmente por especies arbóreas y arbustivas de hojas perennes y coriáceas, con frecuente presencia de enredaderas. El estrato arbóreo está constituido por especies nativas que se encuentran restringidas a zonas con presencia de neblina en la cordillera de la costa y quebradas húmedas. En la región de Atacama este ecosistema es el que posee la menor área, con solo 0,4 km^2 aprox.

Estos bosques presentan una importante variación en la composición florística dependiendo de las condiciones ambientales. En la región de Atacama, una región desértica en general, podemos encontrar las especies arbóreas *Lithrea caustica*, *Schinus polygamus*, *Schinus areira*, *Escallonia angustifolia*, entre otras.

Este ecosistema que se extiende hacia la zona más poblada del país, especialmente las zonas costeras y por ende la más afectada



Desierto florido, provincia de Copiapó

Matorral siempreverde macrófilo, provincia de Huasco

Fotos: Álvaro Salazar

por el uso antrópico (Díaz et al. 2002).

12. Bosque caducifolio desértico: Corresponden a ecosistemas restringidos a la zona desértica del norte de Chile, dominados por especies arbóreas y arbustivas que pierden el follaje en la estación seca. En ellos, el estrato arbóreo está constituido por especies nativas con una altura superior a 2 metros. En la región de Atacama cubre unos 768 km^2.

Dentro de las especies dominantes más comunes en la región de Atacama, encontramos: *Geoffroea decorticans y Neltuma (Prosopis) chilensis.*

La superficie de este ecosistema ha disminuido drásticamente, debido a procesos de aridización natural y a la habilitación de terrenos para la agricultura y urbanización en zonas áridas. Además, en zonas donde los árboles son escasos, la explotación de su madera ha servido para fabricar postes, y producir leña y carbón (García & Ormazabal 2008) (ver Recuadro 22.1).

Ecosistemas naturales con vegetación y cobertura menor al 10%

13. Salares: Estos ecosistemas corresponden a depósitos salinos, resultado de la desecación de lagos formados como consecuencia del derretimiento de glaciares andinos, entre 15.000 y 10.000 años A.P. Se encuentran en cuencas planas casi sin gradientes topográficos y están formados por una fracción líquida correspondiente a salmueras, una fracción salina representada por la depositación de diferentes sales transportadas en solución a la cuenca, y una fracción sólida constituida por distintos niveles de arena, limo y arcilla (Teillier & Becerra 2003). En la región de Atacama, los salares ocupan un área aproximada de 888 km^2.

La cobertura vegetal de estas zonas es escasa, los organismos que habitan estos sitios están adaptados a vivir en condiciones de alta salinidad. En Atacama, podemos encontrar las especies vegetales *Puccinellia frigida y Phylloscirpus acaulis*.

La principal amenaza presente de estos ecosistemas son las actividades mineras, extracción de aguas, extracción de sales de borato y extracción de salmueras (Contreras 2002, Acosta & Custodio 2008).

14. Ecosistemas de playas y dunas: corresponden a las unidades de material arenoso que se presentan a orillas del mar como dunas litorales y en la depresión intermedia como dunas interiores o continentales (Ramírez et al. 1992). En la región de Atacama, estos ecosistemas cubren un área aproximada de 50 km^2.

La vegetación es, generalmente, pobre en especies y cobertura, pero con algunas especies endémicas de estos ambientes. El sustrato arenoso es seco, con baja capacidad de campo (baja retención de humedad), pobre en nutrientes, inestable y en verano suele calentarse excesivamente. Por lo anterior, las plantas que colonizan estos ecosistemas tienen carácter halófito y xerófito (San Martín et al. 1992).

Entre las especies de plantas características de estos ecosistemas, se encuentran arbustos bajos, hierbas perennes y geófitas. En Atacama encontramos las especies *Tillandsia landbeckii* (clavel del aire) y *Alstroemeria kingii*, entre otras.

Estos ecosistemas proporcionan una amplia gama de servicios de aprovisionamiento, regulación, culturales y de apoyo, muchos de los cuales permanecen ignorados (Barbier et al. 2010, Everard et al. 2010).

15. Desierto con plantas efímeras: Corresponde a una zona del desierto de Atacama, con margen sur a la latitud de Copiapó, que recibe bajas precipitaciones estacionales, las que permiten el desarrollo de gran número plantas efímeras que florecen sólo aquellos años en que las condiciones de humedad lo permiten. Las lluvias inusualmente altas en ciertas épocas en este ecosistema están asociadas a eventos de El Niño (Cereceda et al. 2000), dando lugar al conocido “Desierto Florido”.

Las formas de vida dominantes corresponden a plantas anuales, una gran variedad de geófitas y arbustos pequeños (Armesto et al. 1993). En los períodos secos, las especies de plantas anuales están presentes como semillas latentes y las geófitas, con sus estructuras bajo el suelo (Gutiérrez 2008). Asociadas al desarrollo de plantas efímeras, aparecen numerosas especies de invertebrados, entre ellos coleópteros detritívoros, polillas nocturnas y caracoles herbívoros.

Dentro de las principales especies anuales podemos encontrar: *Cistanthe calycina, Oenothera coquimbensis, Nolana paradoxa, Viola polypoda* junto a arbustos como *Skytanthus acutus, Nolana divaricata* además de geófitas como *Zephyranthes* spp. (ver recuadro 7.3) y *Sisyrinchium arenarium*, entre otras, en un área aproximada de 18.045 km^2.

Estos ecosistemas representan un aumento notable en la disponibilidad de recursos y productividad para las redes tróficas locales (p. ej., herbívoros, frugívoros, polinizadores, detritívoros) así como para el ganado doméstico, los cuales dependen de este período corto de alta productividad vegetal (Gutiérrez 2008), por lo que tiene un rol ecológico muy relevante.

La singularidad biológica de este tipo de ecosistema ha hecho que sea categorizada como uno de los sitios prioritarios para la conservación de la flora nativa de la región de Atacama (Squeo et al. 2008) (ver Capítulo 21).

16. Desierto absoluto: Este ecosistema se caracteriza por la casi total ausencia de vida vegetal, excepto en algunos sectores con presencia de napas subterránea salobres donde se observa un matorral halófito dominado por *Tessaria absinthioides* (Luebert & Pliscoff 2006) y en pequeños cursos de agua de carácter efímero. La presencia de costras microbianas sobre la superficie indica que existe actividad de microorganismos, en particular bacterias cianofíceas. En la región de Atacama ocupa un área de 11.000 km^2. El desierto hiperárido forma parte de una unidad mayor, el desierto costero peruano-chileno. Este desierto se extiende bordeando el Océano Pacífico por más de 3.500 km. Su hiperaridez es el resultado del establecimiento de la corriente fría de Humboldt, el efecto sombra de lluvia producido por la cordillera de los Andes, y su posición latitudinal enfrentando el anticiclón del Pacífico oriental (ver Capítulo 2).

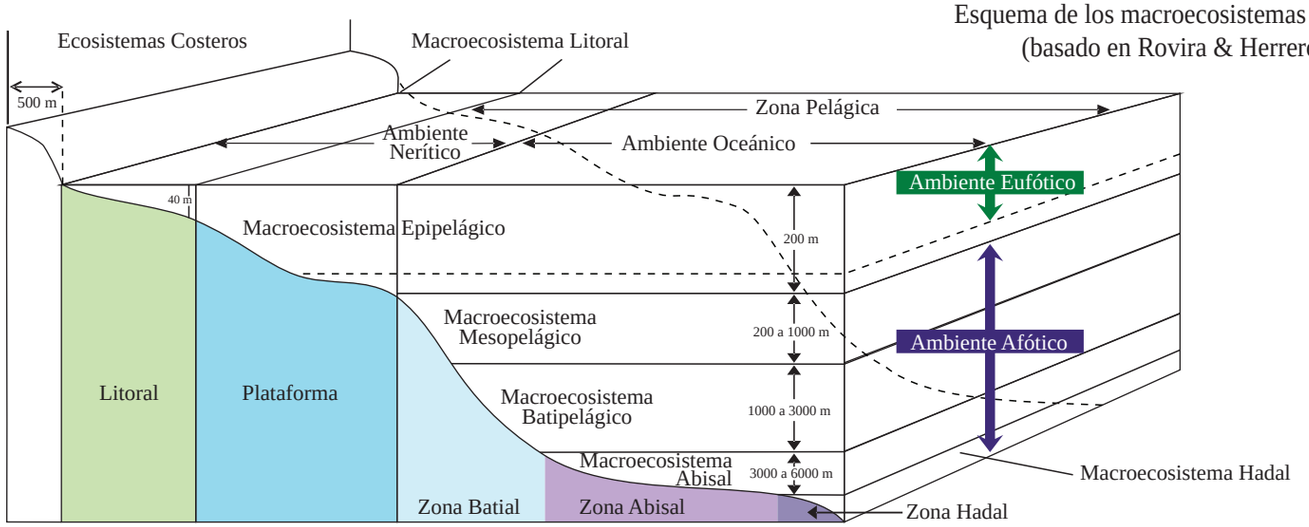
17. Ecosistema andino subnival: Se puede caracterizar como un semi-desierto de alta montaña con un escaso desarrollo de vegetación. Su desarrollo altitudinal depende de la altura del cordón andino. En él se observan individuos aislados de pocas especies que aparecen bajo la protección de rocas grandes en suelos periglaciales, erosionados por la acción del hielo. Su

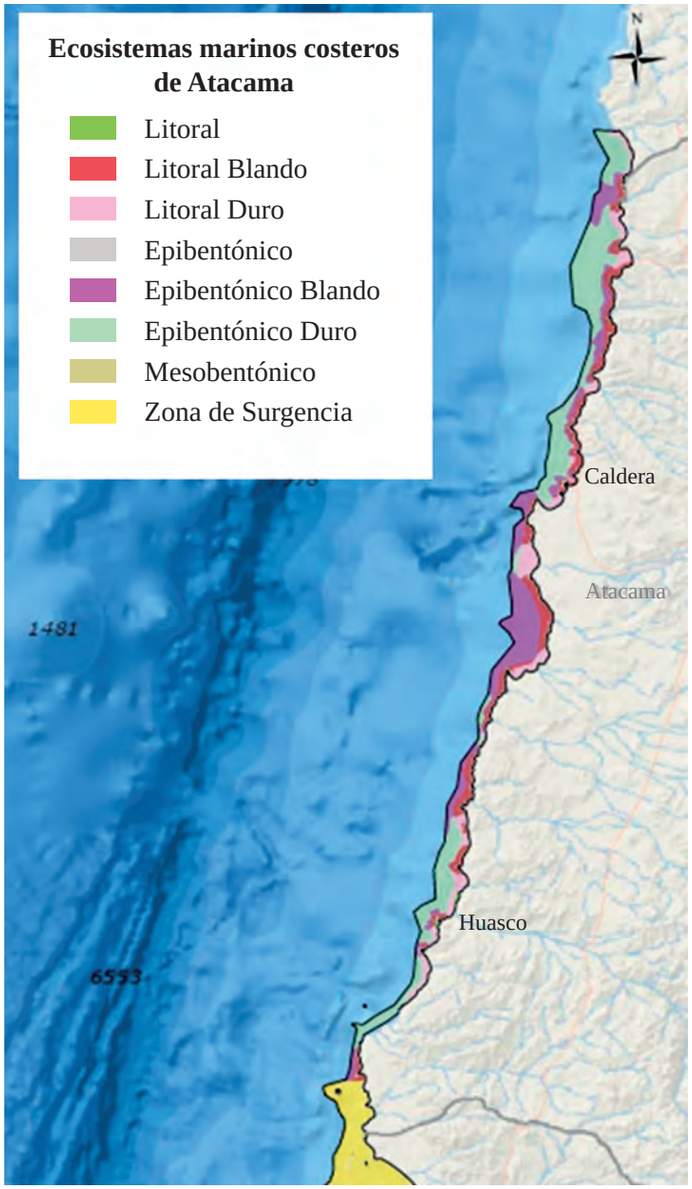
extensión es de 13.816 km^2 en la región de Atacama.
Entre las especies vegetales presentes en este ecosistema encontramos *Senecio volckmannii*, *Baccharis tola* y *Oxalis hypsophila*, que son de las pocas que alcanzan la parte superior del límite de la vegetación en la región de Atacama.
En este ecosistema, el "permafrost" (suelo congelado permanentemente) está cercano a la superficie del suelo y las formas de crecimiento más comunes son las plantas con flores en rosetas y pastos de pequeño tamaño (Squeo et al. 1994).
18. Ecosistemas sobre corridas de lavas y escoriales: Corresponde a zonas resultantes de la continua actividad volcánica del país y que han dado origen a una gran diversidad de sustratos rocosos y arenosos. Estas áreas presentan generalmente una baja cobertura vegetal, dependiendo de la edad de la actividad que los originó y la zona en que se encuentran. En la región de Atacama estos ecosistemas ocupan una superficie aproximada de 255 km^2.

Ecosistemas marinos de Atacama

Miramos hacia el mar y nos parece tan familiar, creemos que lo conocemos, es difícil pensar en la región de Atacama sin considerar sus playas, su costa que a veces es suave y otras tantas abrupta, sus islas, caletas y sus extensos roqueríos. Pero, ¿conocemos, que hay más allá de la orilla de la playa, bajo los botes, en torno a las islas, conocemos realmente esa Atacama submarina?
En el mar de Atacama encontramos variados ecosistemas, que van desde el Macroecosistema Litoral hasta una de las mayores fosas marinas a nivel mundial (Ver recuadro 4.1), esto implica la presencia de diferentes ecosistemas con una variada biodiversidad asociada. Particularmente, el submareal de Atacama presenta hermosos arrecifes dominados por algas calcáreas y epífitas, que constituyen pequeños laboratorios naturales y además muy coloridos. Cada cueva u oquedad se transforma en una guarida, los refugios se multiplican, las rocas se cubren de grandes esponjas zapallo (*Cliona chilensis*) y agrupaciones de anémonas (*Parazanthus*), que dan lugar a zonas de incubación de moluscos, sustrato para estrellas y lugares de alimentación.
La corriente de Humboldt, que baña toda la costa de la región, en algunos lugares como el Archipiélago de Humboldt, se conjuga con los vientos oceánicos y corrientes submarinas ricas en nutrientes, dando origen a una de las zonas de mayores concentraciones de nutrientes del Pacífico Sur. Este proceso es conocido como “surgencia” (Ver Capítulo 2), así estas zonas más notables ubicadas al sur de la región de Atacama, son las más productivas en recursos pesqueros como locos (*Concholepas concholepas*) y lapas (*Fissurella* spp.), pero además albergan una inmensa biodiversidad marina.
La región de Atacama posee ecosistemas marinos con tal riqueza, que es común observar manchones de diminutos crustáceos denominados krill, cuyas agregaciones de miles de millones de individuos pueden atraer a estas aguas a los mayores colosos de la tierra como lo son la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) y la ballena fin o ballena de aleta (*Balaenoptera physalus*), siendo esta última el segundo animal más grande conocido hasta ahora (vivientes o fósiles) (Ver Recuadro 18.3). Su peso adulto puede variar entre 35 y 60 toneladas. Chañaral de Aceituno es sin duda uno de los mejores lugares para hacer avistamientos de esta especie, abundante en ciertos períodos del año, pudiendo contar más de 20 individuos en un mismo día. Además, esta caleta se caracteriza por la claridad de sus aguas, lo que permite realizar tomas fotográficas marinas de estos cetáceos y otras especies, agregándole valor turístico y científico a la zona.
La vida en los ecosistemas marinos de la región de Atacama al igual que en la mayoría de la costa chilena, dependen de una categoría fundamental de organismos, denominados plancton (Fitoplancton que son fotosintetizadores y zooplancton que no fotosintetizan), que sólo se limitan a flotar o nadar de manera muy debilitada. Está compuesto por organismos pequeños o microscópicos consistentes en larvas de locos, lapas, peces, etc. Los organismos que siguen en esta secuencia son los que forman el necton, que son nadadores activos y están constituidos por peces, tortugas e incluso ballenas. Finalmente, la tercera categoría la ocupan los organismos bentónicos, que son los que viven o se desplazan asociados al fondo del mar, como esponjas, estrellas de mar, erizos, lapas, locos, jaibas y algas que sustentan por ejemplo a las Áreas de Manejo en Chile.
La costa de Atacama sigue en su constitución batimétrica y latitudinal un rango normal para la costa de Chile y se subdivide en

Esquema de los macroecosistemas marinos
(basado en Rovira & Herreros 2016)





Ecosistemas marinos costeros de la región de Atacama (Rovira & Herreros 2016)

Macroecosistema Litoral, que es la que está conectada con tierra firme, es una zona de alta variación, tiene altos niveles de luz y oxígeno, y es un área normalmente visitada por turistas y por mariscadores de orilla. Se extiende desde la costa hasta los 40 metros de profundidad (Rovira y Herreros, 2016). Son comunes en esta área las algas rojas, el alga parda huiro negro (*Lessonia berteroana*), los choritos (*Perumytilus purpuratus*), balánidos (picorocos pequeños), los chitones (*Enoplochiton peruvianus*), las lapas huiro (*Fissurella costata*) y lapas ocho (*Fissurella crassa*) y más alejados aún hacia la tierra, los caracoles cebra (*Nodilittorina peruviana*). Las pozas intermareales entregan muchos refugios y alimento a variados peces litorales y una gran cantidad de invertebrados. Son excelentes laboratorios naturales para comenzar a conocer el océano.

Al adentrarnos en el mar de Atacama, termina la zona litoral y hasta los 200 metros de profundidad, nos encontramos con el ambiente epipelágico. Esta zona es habitada por organismos que flotan o nadan, está el fitoplancton, principalmente diatomeas (ver Capítulo 6) y dinoflagelados. El zooplancton incluye crustáceos minúsculos, medusas, protistas; como los foraminíferos, y larvas de diferentes crustáceos, erizos de mar y gusanos marinos como los poliquetos. En este ambiente, hay baja disponibilidad de luz, bajan las temperaturas a mayor profundidad y la tierra comienza a dejar de influir. Es posible diferenciar una parte de este macroecosistema que se encuentra sobre la plataforma continental, o zona nerítica, de la zona más adentro conocida como oceánica. Es decir, está presente en todas las ecorregiones marinas de Chile. En este macroecosistema, aunque sólo en las ecorregiones marinas Norte Grande, Taltal-Paposo, Atacama, Los Molles y Chile Central (hasta el paralelo 37° de latitud Sur), se produce el fenómeno de ascenso de la Zona Mínima de Oxígeno (ver Capítulo 2). En los lechos marinos de arena y fango viven comunidades de moluscos filtradores como almejas (*Mulinia*, *Protothaca*) y gusanos poliquetos, además de los hermosos bosques de algas pardas y los arrecifes de anémonas, esponjas y algas crustosas.

El ambiente pelágico o mar abierto, es la zona más densamente poblada, por un número menor de especies, pero que forman grandes cardúmenes como la anchoveta (*Engraulis ringens*), jureles (*Trachurus murphyi*) y sardinas (*Sardinops sagax*). Este lugar también da espacio a una intensa actividad pesquera de cerco, de embarcaciones provenientes principalmente de Caldera y Huasco. Las temperaturas van descendiendo paulatinamente mientras va aumentando la profundidad.

A partir de los 200 metros de profundidad, nos encontramos con el Macroecosistema Mesopélágico, que se extiende hasta los 1000 metros de profundidad. Es una zona afótica, es decir donde no penetra la luz, predominan aguas de temperaturas frías, bajan las concentraciones de materia orgánica, aparecen gigantescas presiones acuáticas y una fauna adaptada a estas condiciones extremas de oscuridad y falta de alimento. Respecto a las pesquerías que se realizaban en esta zona, es plausible considerar la pesquería demersal (*Heterocarpus reedi*), los langostinos amarillos (*Cervimunida johni*) y colorado (*Pleuroncodes monodon*), que fue desarrollada principalmente por la flota industrial proveniente de la región de Coquimbo, específicamente al interior de las 5 millas marinas en el sector de Huasco, donde la especie langostino amarillo concentraba el interés por el alto rendimiento de las capturas. Cabe mencionar que la incursión de la flota industrial al interior de las 5 millas se realizaba en conformidad con el procedimiento contemplado en el artículo 47 de la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA), aunque se perdió la vigencia de estas autorizaciones en la región de Atacama y hasta la fecha se prohíbe su acceso al área de reserva pesca artesanal (ARPA). Si bien, las naves industriales pueden realizar operación fuera del ARPA, en más de una década no se ha reportado actividad de esta flota en la región de Atacama.

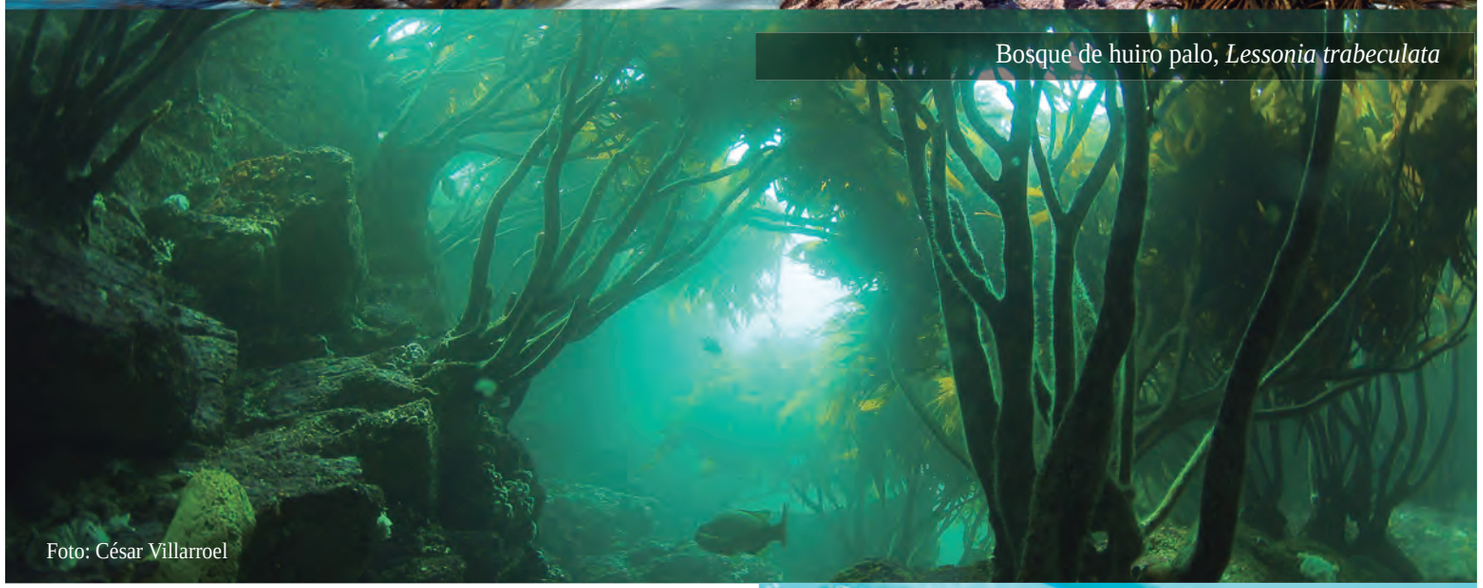
El Macroecosistema Batipelágico, se extiende desde los 1000 metros de profundidad hasta los 3000 metros de profundidad. Disminuye la cantidad de especies, por falta de luz y alimento, y aparecen los peces de profundidad propiamente tales.

El bentos profundo, no se encuentra en toda la costa chilena, es una característica que origina la prolongada fosa de Chile - Perú de la cual la Fosa de Atacama, es la parte más profunda de nuestro país



Costa de Atacama dominada por el huiro, *Lessonia berteroana*

Foto: Eduardo Sorensen



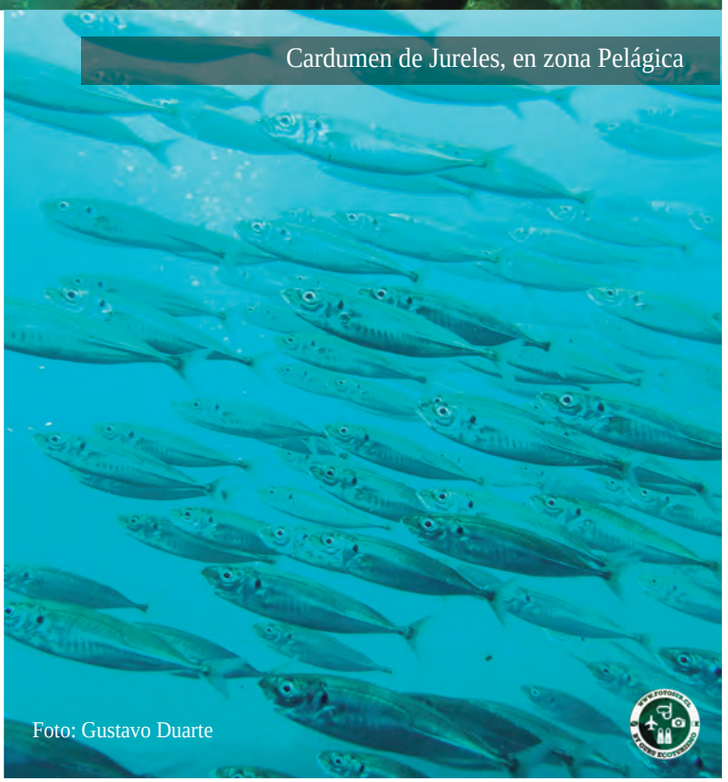
Bosque de huiro palo, *Lessonia trabeculata*

Foto: César Villarroel

(Ver recuadro 4.1).

El Macroecosistema Abisal, también representado en las costas de Atacama, va desde los 3000 hasta los 6000 metros de profundidad. En general son zonas muy poco estudiadas. Viven especies hadopelágicas, o especies que utilizan la bioluminiscencia para atraer a sus presas. En esta zona se desplaza la Corriente Antártica del Fondo, relativamente salina y muy fría, que fluye hacia el norte pegada al piso oceánico (Rovira & Herreros 2016).

Finalmente el recorrido del piso submarino de la región de Atacama culmina en el Macroecosistema Hadal que aparece a partir de los 6000 m, profundidades sólo alcanzadas en la fosa de Atacama. Al igual que en el macroecosistema abisal, en esta zona encontramos la Corriente Antártica del Fondo. En estas profundidades viven extrañas e intrigantes criaturas, muchas veces con modificaciones evolutivas por la falta de luz.



Cardumen de Jureles, en zona Pelágica

Foto: Gustavo Duarte

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 4.1:50-52



Recuadro 4.1 Fosa de Atacama: Conociendo el océano profundo

Carolina González & Igor Fernández-Urruzola

La Fosa de Atacama, situada en el Pacífico sudeste, es considerada la más productiva de todas las fosas oceánicas y, por tanto, la que tiene el mayor potencial para albergar una alta biodiversidad. El desafío tecnológico que supone acceder a estos ecosistemas marinos ha motivado que, a pesar de representar una gran extensión vertical de los océanos, apenas se haya descrito el 0,001% de su biodiversidad (De Vargas et al. 2015). El conocimiento respecto al funcionamiento de los ecosistemas hadales es muy limitado, si bien se están realizando grandes progresos en los últimos años. En este recuadro se presentan las características generales de las fosas oceánicas, las peculiaridades que hacen única a la Fosa de Atacama y los avances más recientes en su estudio, destacando los hitos científicos que han permitido alcanzar uno de los lugares más profundos del planeta.

¿Qué son las fosas oceánicas?

Las fosas son formaciones geológicas caracterizadas por depresiones largas y estrechas del lecho oceánico que se forman como resultado de la convergencia tectónica entre placas, donde la más densa es empujada debajo de la placa más ligera. Se ubican cerca de las plataformas continentales o junto a los arcos de islas volcánicas y representan los puntos más profundos de los océanos, superando los 11.000 m bajo el nivel del mar en la Fosa de las Marianas. De las 20 principales fosas oceánicas, 17 se encuentran en el Océano Pacífico formando parte del llamado “Anillo de Fuego”, que incluye volcanes activos y zonas de gran actividad sísmica.



Lecho oceánico de la Fosa de Atacama

¿Dónde se ubica la Fosa de Atacama?

La Fosa de Atacama es la sección de mayor profundidad de la Fosa de Perú-Chile que se origina por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana y se localiza desde el sur de Perú hasta la Región de Aysén, Chile (15° S, 76° O a 41° S, 75° O), siendo la más extensa de todas las fosas oceánicas. La zona más profunda (8.081 m) se encuentra aproximadamente a 100 km frente a la costa de Antofagasta (Ulloa 2021). A los 27°S, frente a Caldera, la fosa alcanza los 7.446 m de profundidad y, tomando como referencia la montaña más alta de la región, el Nevado Ojos del Salado que alcanza los 6.893 m sobre el nivel del mar, encontramos el mayor desnivel (14.339 m) de todo el planeta en una distancia horizontal de apenas 330 km (este-oeste).



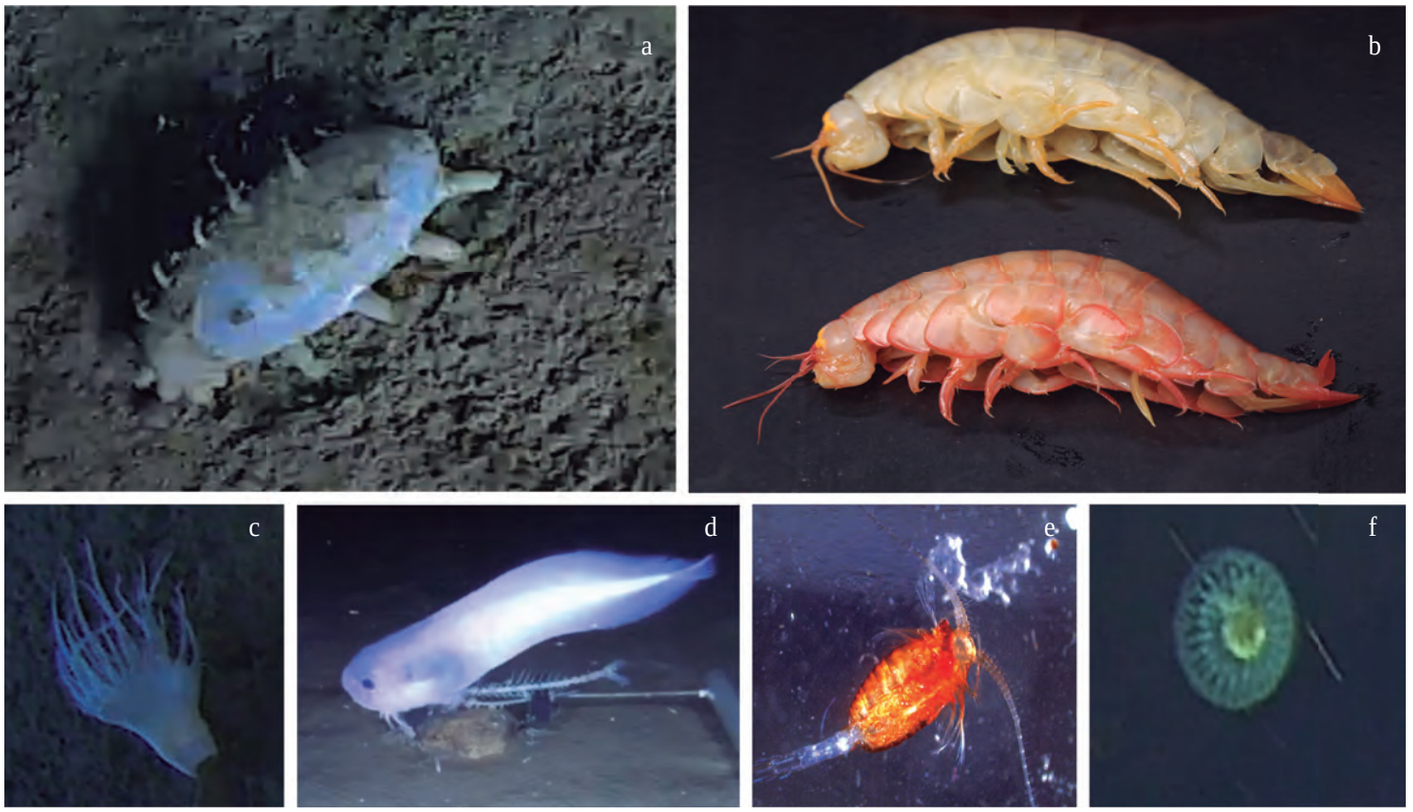
Extensión y perfil vertical de la Fosa de Atacama. Se muestra la subducción de las placas tectónicas y los distintos ambientes dentro de la columna de agua. La Fosa de Atacama se situa frente a las costas de Chile y Perú y es la más extensa del planeta.

¿Qué caracteriza el ambiente hadal de la Fosa de Atacama?

El sistema hadal comprende la zona oceánica por debajo de los 6.000 m de profundidad. A pesar de sus condiciones relativamente estables, representa un entorno hostil para sus habitantes debido a las bajas temperaturas (2-4°C), las presiones hidrostáticas extremadamente altas (>60 MPa) y la ausencia absoluta de luz. Esto último inhibe toda actividad fotosintética, de modo que la vida dentro de la fosa depende fundamentalmente de fuentes de energía alóctonas. A diferencia de otros ecosistemas hadales, la Fosa de Atacama se sitúa bajo un sistema de surgencia altamente productivo y pobre en oxígeno, capaz de exportar suficiente materia orgánica desde la superficie como para satisfacer buena parte de las demandas energéticas en el interior de la fosa (Fernández-Urruzola et al. 2021). Existen, además, otras fuentes de alimento complementarias: la producción quimiolitoautótrofa *in situ* y el movimiento lateral de sedimentos a lo largo de la pendiente continental, favorecido por la forma en "V" típica de las fosas y que puede ocurrir de forma regular debido a las corrientes o puntual como consecuencia de eventos sísmicos masivos, aportan también importantes cantidades de energía al sistema hadal (Xu et al. 2021). En conjunto, todos estos procesos explicarían que la vida sea, paradójicamente, más activa en el interior de la propia fosa que en los ambientes más someros de las llanuras abisales.

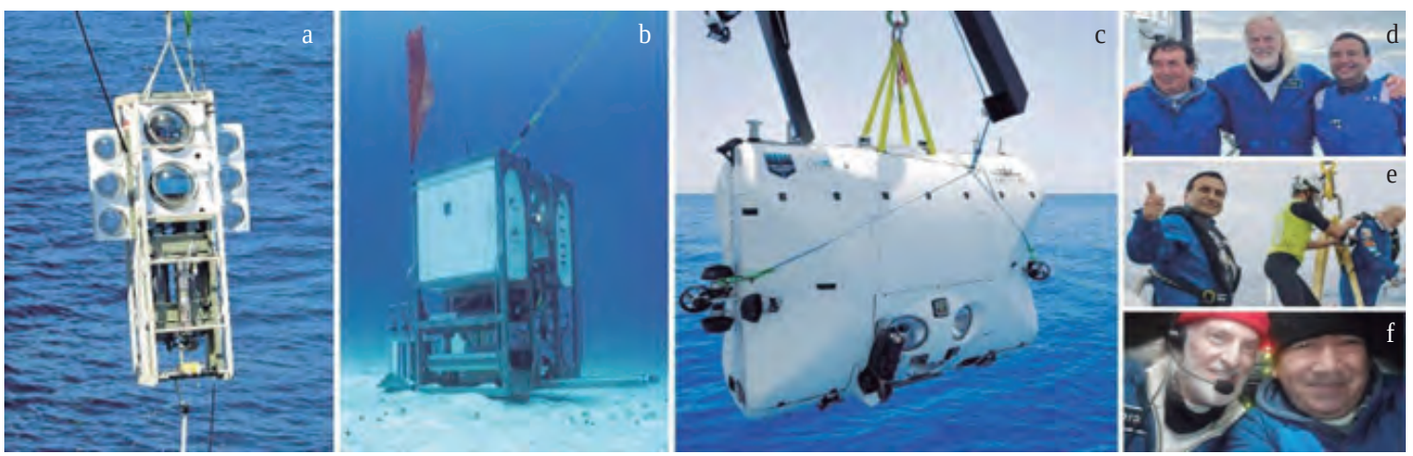
¿Qué organismos habitan en el interior de la Fosa de Atacama?

La productividad sobre la Fosa de Atacama resulta en una gran abundancia de organismos hadales en comparación con otras fosas menos productivas, y en que la diversidad de muchos grupos que habitan en esta zona también sea mayor (Shimabukuro et al. 2022). Las escasas investigaciones realizadas en el océano profundo sugieren que la biodiversidad presentaría un patrón parabólico con la profundidad (Angel & Baker 1982), según el cual aumenta el número de especies hasta una profundidad determinada a partir de la cual se reduciría la biodiversidad. En la Fosa de Atacama, tanto metazoos como bacterias apoyan esta tesis a través de la columna de agua, donde la mayor diversidad de especies se observaría a profundidades superiores a 4.000 m (Ramírez-Flandes et al. 2022, Zhao et al. 2022). Sin embargo, este patrón no es válido para los organismos asociados al sedimento (meiofauna) que, a pesar de aumentar su abundancia en las zonas más profundas de la fosa (Shimabukuro et al. 2022), disminuye hasta un 70% el número de especies debido a una mayor homogeneidad del sustrato (Gambi et al. 2003). En términos de abundancia, los filos más importantes de metazoos en la columna de agua son los cnidarios y los artrópodos, que superan el 50% de la abundancia, mayoritariamente conformados por hidrozoos, copépodos y anfípodos, respectivamente. En los sedimentos, la meiofauna estaría dominada por nemátodos y copépodos, los cuales representan hasta el 95% de la biomasa total (Gambi et al. 2003). Entre las comunidades bacterianas, las familias Firmicutes y Bacteroidetes dominan en toda la columna de agua, representando hasta el 50% de organismos microbianos, si bien Deltaproteobacteobacteria, Gammaproteobacteria y Chloroflexi muestran una mayor concentración dentro de la fosa (Zhao et al. 2022). Todas estas evidencias, tanto en la columna de agua como en los sedimentos, sugieren la presencia de endemismos o grupos distintivos de la Fosa de Atacama (Gambi et al. 2003, Weston et al. 2021, Zhao et al. 2022). Así, la alta prevalencia en la zona hadal del anfípodo marino *Eurythenes atacamensis*, endémico de la Fosa de Atacama y recientemente descrito por Weston et al. (2021), y la peculiar reducción de hasta un 40% del tamaño de los nemátodos encontrados en los sedimentos de la fosa (Gambi et al. 2003) refuerzan la tesis de que la Fosa de Atacama podría representar un gran reservorio de biodiversidad.



Habitantes típicos de la Fosa de Atacama. (a) Holothuroidea (equinodermo), (b) Eurythenes atacamensis (Malacostraca), (c) Actiniaria (Anthozoa), (d) Liparidae (Actinopterygii), (e) Calanoida (Copepoda) y (f) Trachylinae (Hydrozoa). Agradecimientos a Newcastle University.

¿Cuáles son los desafíos de investigación del ecosistema hadal? La primera expedición en la Fosa de Atacama tuvo lugar en 1958 (Fisher et al. 1962) y desde entonces, se han realizado hasta siete esfuerzos oceanográficos por alcanzar su punto más profundo. Este hito se consiguió en el año 2018, cuando el Instituto Milenio de Oceanografía (Universidad de Concepción, Chile) desarrolló un vehículo autónomo denominado *Audacia* capaz de sumergirse hasta el lecho de la fosa, estableciendo la profundidad máxima de 8.081 m durante el crucero *Atacamex* y recolectando muestras biológicas antes de regresar a la superficie sin necesidad de un cable que lo mantenga unido al barco. Cuatro años después, los investigadores chilenos del mismo instituto, Osvaldo Ulloa y Rubén Escribano, fueron, junto con el estadounidense Victor Vescovo, los primeros humanos en llegar al fondo de la Fosa de Atacama a bordo del submarino Limiting Factor durante la expedición *Hadal*.



Instrumentos e hitos oceanográficos en la Fosa de Atacama. (a) Lander Audacia expedición Atacamex, (b) Lander FLERE expedición Hadal, (c) Submarino Limiting Factor expedición Hadal, (d) Primeros humanos en descender a la fosa (de izquierda a derecha: Rubén Escribano, Victor Vescovo y Osvaldo Ulloa), (e) Osvaldo Ulloa y Victor Vescovo en su emersión desde la fosa y (f) Rubén Escribano y Victor Vescovo dentro del submarino. Agradecimientos a Caladian Oceanic.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 4.2:53-55



Recuadro 4.2 Sistema de humedales costeros de la región de Atacama

Elier Tabilo & Álvaro Parra

Los humedales de la costa árida del Pacifico sudamericano conforman una serie de sitios clave para una gran variedad de aves migratorias, particularmente chorlos y playeros que usan la ruta migratoria del "Pacífico-Oeste" (Hayman et al. 1986, Morrison & Ross 1989). Estos humedales tienen la particularidad de estar influenciados por la corriente fría de Humboldt; asociarse a centros de surgencia oceánica; periódicamente estar sometido al evento El Niño de Oscilación Sur (ENOS), y los efectos del cambio climático (Ramsar 2021). demás, están naturalmente expuestos a fuerzas como tsunamis, temporales, marejadas y aluviones, y en la actualidad están deteriorándose rápidamente por una creciente presión antrópica a causa del crecimiento urbano, agrícola y la extracción desmedida de agua para proyectos industriales (Ramsar 2021).

En la región de Atacama existe un sistema de humedales costeros conformado por cuatro humedales entre Caldera y Huasco, de los cuales tres de ellos han sido declarados Santuarios de la Naturaleza (SN): SN desembocadura del río Copiapó, SN Humedal costero de Totoral, SN humedal costero de Carrizal Bajo y Humedal de la desembocadura del río Huasco.



Humedal en la desembocadura del río Huasco

Estos humedales se caracterizan por una amplia diversidad de hábitats por su cercanía con el mar, estar rodeado por el desierto costero con vegetación terrestre y espejos de agua permanentes. Esto permite que se pueda encontrar una gran diversidad de aves, desde las ligadas a ambientes marinos, como la gaviota dominicana y el zarapito; aves del desierto costero como mineros, traros, perdicitas y chorlos de campo; y aves acuáticas como el cisne coscoroba, taguas, patos, garzas, entre otras. En este complejo de humedales costeros se considera una lista potencial de más de 150 especies de aves, algunas de las cuales corresponden a especies migratorias, tal como el playero de Baird (*Calidris bairdii*), la gaviota de Franklin (*Leucophaeus pipixcan*), el gaviotín elegante (*Thalasseus elegans*) y el Zarapito (*Limosa haemastica*), entre otras.

SN Desembocadura del río Copiapó (DS. N° 12/2022 Ministerio del Medio Ambiente), comuna de Caldera

El humedal de la desembocadura del río Copiapó presenta una alta relevancia desde el punto de vista de la fauna, debido a que se trata de una situación azonal y se ubica en una matriz desértica, lo cual le otorga características de isla de biodiversidad, en donde se registran 137 especies de vertebrados de los cuales 122 son especies de aves. Destacan las siguientes aves clasificadas según su estado de conservación, la Gaviota Garuma (*Leucophaeus modestus*) y el chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) clasificados como Vulnerable (VU). Así mismo, este humedal es el límite norte para la distribución en el país de diversas aves tales como el cisne coscoroba (*Coscoroba coscoroba*), el siete colores (*Tachuris rubrigastra*), el perrito (*Himantopus mexicanus*), el trile (*Agelasticus thilius*) y el colegial austral (*Lessonia rufa*).



Humedal en la desembocadura del río Copiapó



Dunas en el humedal del río Copiapó

SN Humedal costero de Totoral (DS. N° 13/2021 Ministerio del Medio Ambiente), comuna de Copiapó

En este humedal se han registrado 72 especies de fauna vertebrada, 58 especies de aves, 3 de reptiles y 11 de mamíferos. Destacan las siguientes aves clasificadas según su estado de conservación (EN y VU): el Pidencito (*Laterallus jamaicensis*) considerados como En Peligro (EN); la Gaviota Garuma (*Leucophaeus modestus*) y El chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) clasificados como Vulnerable (VU). Este humedal se emplaza al final de la quebrada de Totoral, en la cual se destaca, en épocas de lluvias favorables, el desarrollo del fenómeno del Desierto Florido. El ecosistema terrestre predominante en el área corresponde al matorral desértico mediterráneo costero de palito negro y cachiyuyo, que tan solo posee un 0,02% de superficie protegida a nivel nacional. Además, el área se destaca por la presencia de patrimonio cultural representado por sitios de tumberíos, conchales y restos paleontológicos.

SN Humedal costero de Carrizal Bajo (DS. N° 39/2019 Ministerio del Medio Ambiente), comuna de Huasco

Este humedal registra la presencia de 173 especies de fauna, de las cuales 144 corresponden a aves, 2 anfibios, 10 reptiles, 17 mamíferos, (13 micromamíferos y 4 macromamíferos). Las aves conforman el grupo de mayor riqueza de especies, de las cuales 5 se encuentran amenazadas (EN y VU): el Pidencito (*Laterallus jamaicensis*), clasificado como En Peligro (EN), el chorlo nevado (*Charadrius nivosus*), el Flamenco Chileno (*Phoenicopterus chilensis*), el Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) y la Gaviota Garuma (*Leucophaeus modestus*) clasificados como Vulnerable (VU). La flora presente en el área es de vital importancia para el mantenimiento de este ecosistema. Su importancia radica en su estructura. Existen diversas asociaciones vegetales que proporcionan una gran diversidad de alimento y refugio para la fauna de este humedal. Incluso se registran especies como el cururo, el guanaco y el puma (CEA 2020).



Carrizal Bajo

Humedal de la desembocadura del río Huasco, comuna de Huasco

Este humedal registra la presencia de 175 especies: 143 aves, diez reptiles, dos anfibios y 20 mamíferos, de los cuales 16 son micromamíferos y cuatro macromamíferos. De estas especies, 40 se encuentran incluidas en alguna categoría de conservación según el Reglamento de Clasificación de especies: Tres de ellas se encuentran En Peligro (EN), diez Vulnerables (VU), 21 en Preocupación menor (LC), seis Casi amenazadas (NT) y una como Insuficientemente conocida (IC) (CEA 2020). Las aves conforman el grupo de mayor riqueza de especies de fauna, de las cuales 5 se encuentran amenazadas (EN y VU): el Playero ártico (*Calidris canutus*) y el Pidencito (*Laterallus jamaicensis*), clasificados como En Peligro (EN), El Cisne Cuello negro (*Cygnus melancoryphus*), el chorlo nevado (*Charadrius nivosus*), el Flamenco chileno (*Phoenicopterus chilensis*) y la Gaviota Garuma (*Leucophaeus modestus*) clasificados como Vulnerable (VU).

Principales amenazas de los humedales costeros de la región de Atacama

Ingreso de vehículos motorizados y 4x4
Disposición de residuos y microbasurales
Extracción de agua
Contaminación del agua por nutrientes y metales pesados
Especies exóticas invasoras
Animales domésticos
Caza furtiva
Construcciones de viviendas y parcelaciones de terrenos

Desembocadura del río Huasco



Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 4.3:56-58

Recuadro 4.3 Servicios Ecosistémicos de Atacama

Claudia Cerda & Alexandra Stoll

La vida humana en muchos aspectos está muy ligada a la naturaleza y los ecosistemas, de los cuales obtenemos alimento, madera para construir o hacer fuego, agua y aire puro, medicamentos e incluso inspiración y recreación, entre otros. Es así cómo se desarrolla el concepto de Servicios Ecosistémicos, que son los beneficios directos o indirectos provenientes de los ecosistemas y utilizados o valorados por diferentes grupos humanos (MEA 2005). Cabe mencionar dos puntos relevantes: 1) los servicios ecosistémicos vienen desde los ecosistemas como un beneficio al ser humano; 2) se habla de servicios ecosistémicos cuando los seres humanos, por diversos motivos los usan, valoran o disfrutan para beneficio propio y/o de su grupo social; o cuando podrían llegar a demandar potenciales servicios ecosistémicos que podría generar un ecosistema determinado. Quienes trabajan en servicios ecosistémicos no defienden la idea de que las personas pueden usar libremente los ecosistemas sin respetar límites ecológicos, sino que, muy por el contrario, el enfoque se sustenta en que, dado que la sociedad depende de los ecosistemas y la biodiversidad, se deben buscar los mecanismos para que los ecosistemas puedan mantener sus funciones ecológicas en el largo plazo, sosteniendo el bienestar social. Este es claramente un desafío interdisciplinario que necesita a la ciencia, la sociedad y las políticas de conservación.



Leontochir ovallei en la región de Atacama.

Foto: José Gerstle

Se distinguen 4 grupos de servicios que pueden identificarse también en zonas desérticas.

1. Servicios de provisión: productos usados directamente por las personas, muchos de los cuales pueden tener un mercado asociado.

2. Servicios de regulación: contribuciones indirectas al bienestar humano provenientes del funcionamiento ecológico, por lo general son servicios que muchas veces pasan desapercibidos por la sociedad.

3. Servicios culturales: beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas. Los servicios culturales pueden contribuir a comprender las relaciones históricas entre los ecosistemas y la sociedad.

4. Servicios de soporte: aquellos necesarios para la producción de otros servicios, como por ejemplo la formación del suelo, ciclo de nutrientes.

Por lo general las valoraciones ya sea económicas y culturales de servicios ecosistémicos se enfocan en los de provisión, regulación y algunos culturales como turismo.

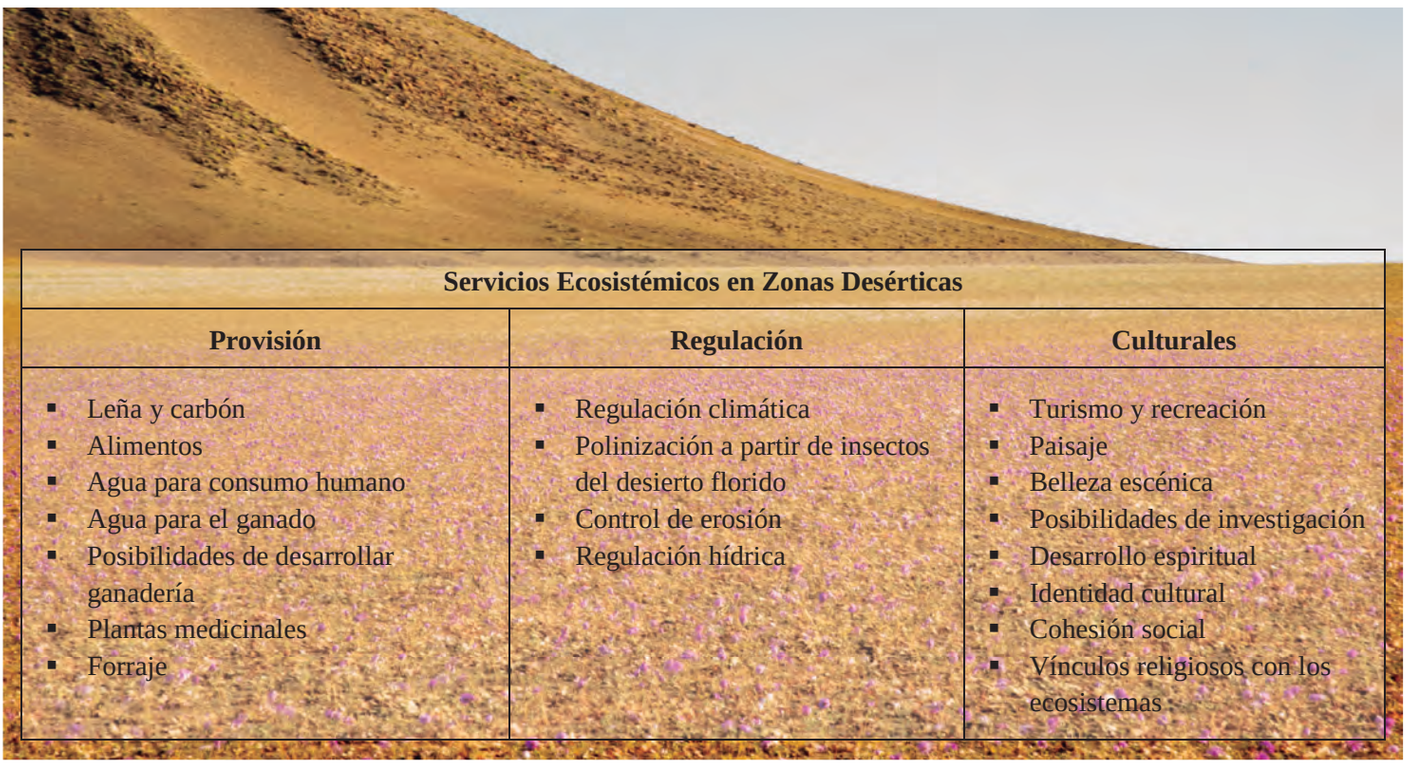
La generación de servicios ecosistémicos depende del estado del ecosistema, el uso excesivo de un servicio puede reducir su disponibilidad y/o calidad, así como también afectar la generación de otros servicios del mismo ecosistema. Ya los antiguos griegos observaron, que la tala extensiva de árboles para la construcción de casa, barcos etc. en las montañas del mediterráneo reducía la cantidad de fuentes de agua dulce.

También puede haber factores globales como el cambio climático, que pueden afectar la capacidad de los ecosistemas de ofrecer servicios. Por ello es importante el uso sostenible de los servicios ecosistémicos, lo cual requiere enfocarse en la relación socio-ecológica entre los sistemas naturales y la sociedad. La adaptación del concepto de servicios ecosistémicos ha facilitado el traspaso de información científica para la toma de decisión en muchos ámbitos de desarrollo económico y gobernanza.

Servicios ecosistémicos en zonas áridas

A nivel global se han realizado muchos estudios sobre la generación y también la degradación de los servicios ecosistémicos. Sin embargo, los servicios ecosistémicos generados en zonas áridas han recibido muy poca atención en comparación con otros ecosistemas como humedales, bosques templados y tropicales, zonas costeras, manglares etc. (Taylor et al. 2017). Aun así, se sabe que los suelos desérticos albergan una gran diversidad de microorganismos, que contribuyen a la fijación de CO_2 por lo cual juegan un papel importante en la mitigación del cambio climático (Cavicchioli et al. 2019). Por otro lado, en las zonas áridas la disponibilidad de agua es crucial en el sostenimiento de la vegetación que en muchos desiertos representa la base de formas de vida ancestrales (Safriel et al. 2005, Bidak et al. 2015), y la estructura y dinámica de la vegetación controla la provisión de varios servicios ecosistémicos.

El análisis de los servicios ecosistémicos en zonas áridas contribuye a la comprensión de las conexiones históricas entre la sociedad y los ecosistemas y también a encontrar formas de protección científica y política. Además, contribuye a tener información para avanzar en la gestión de ecosistemas multifuncionales y resilientes frente a las perturbaciones asociadas al cambio global.



Servicios Ecosistémicos en Zonas Desérticas

Provisión	Regulación	Culturales
▪ Leña y carbón ▪ Alimentos ▪ Agua para consumo humano ▪ Agua para el ganado ▪ Posibilidades de desarrollar ganadería ▪ Plantas medicinales ▪ Forraje	▪ Regulación climática ▪ Polinización a partir de insectos del desierto florido ▪ Control de erosión ▪ Regulación hídrica	▪ Turismo y recreación ▪ Paisaje ▪ Belleza escénica ▪ Posibilidades de investigación ▪ Desarrollo espiritual ▪ Identidad cultural ▪ Cohesión social ▪ Vínculos religiosos con los ecosistemas

Beneficios de la biodiversidad en áreas protegidas de Atacama

Algunas investigaciones en áreas protegidas terrestres muestran evaluaciones de los beneficios de la conservación de atributos biológicos, desde la perspectiva de visitantes chilenos/as que acceden a las áreas protegidas. Los visitantes chilenos del Parque Nacional Llanos de Challe, reconocen que los artrópodos polinizadores del desierto florido brindan servicios de regulación y también servicios culturales. Desde una perspectiva socioeconómica, estarían dispuestos a contribuir en promedio con cerca de US$ 5,2/visitante/mes para la conservación de estos artrópodos.

Plantas como la Garra de León (*Leontochir ovallei*) y cactáceas nativas brindan servicios culturales, paisajísticos y de regulación reconocidos por los visitantes, quienes estarían dispuestos a contribuir aproximadamente con USD12/visitante/mes para fortalecer la conservación de estas especies. A la biodiversidad asociada a suelos frágiles en áreas protegidas de Atacama los visitantes también le atribuyen la generación de servicios de regulación (Cerda et al. 2017).

Formaciones xerofíticas

Las formaciones xerofíticas de Atacama, las cuales de acuerdo con la Ley 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal corresponden a aquellas constituidas por especies autóctonas, preferentemente arbustivas o suculentas son relevantes para provisionar servicios de regulación como el control de erosión y el control de la desertificación. Además, brindan servicios de abastecimiento a las comunidades locales como leña, carbón y forraje, lo cual tiene relevancia en tradiciones culturales (Vita 2014).

Servicios ecosistémicos de áreas marinas protegidas

Estas áreas han sido reconocidas por brindar servicios ecosistémicos de provisión como extracción y recolección de algas, y pesca artesanal. Estas actividades también tienen un componente cultural derivado de la cultura indígena del pueblo Chango, caracterizada por habitar el borde costero. También existen servicios de regulación de hábitat y reproducción; y culturales como uso del paisaje para turismo aventura, contemplación de belleza escénica, y posibilidades de educación ambiental e investigación (Torres et al. 2018).



Servicios ecosistémicos y trabajo interdisciplinario

Atacama constituye un complejo socio-ecológico en el cual las relaciones entre comunidades indígenas y no indígenas con los sistemas naturales presentes han creado condiciones ecológicas y culturales para deliberar y utilizar un flujo diverso de servicios ecosistémicos. Los altos niveles de conflicto en torno a algunos servicios tales como disponibilidad de agua para minería, agricultura versus las necesidades de conservación de la biodiversidad han consolidado a esta región como un escenario que requiere, y al mismo tiempo abre oportunidades para el trabajo interdisciplinario. Esto implica relevar la importancia de la investigación interdisciplinaria que aborde perspectivas plurales para revelar valores sagrados, culturales, sociales y materiales de los ecosistemas y relacionarlos con dimensiones ecológicas. La evaluación de estas múltiples dimensiones de valor puede contribuir a un diálogo abierto sobre valores para establecer bases comunes para investigación y políticas de conservación en la región.

Unidad II

Diversidad Biológica: el Árbol de la Vida

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 5:61-68

Capítulo 5 El origen de la vida y la diversidad microbiana

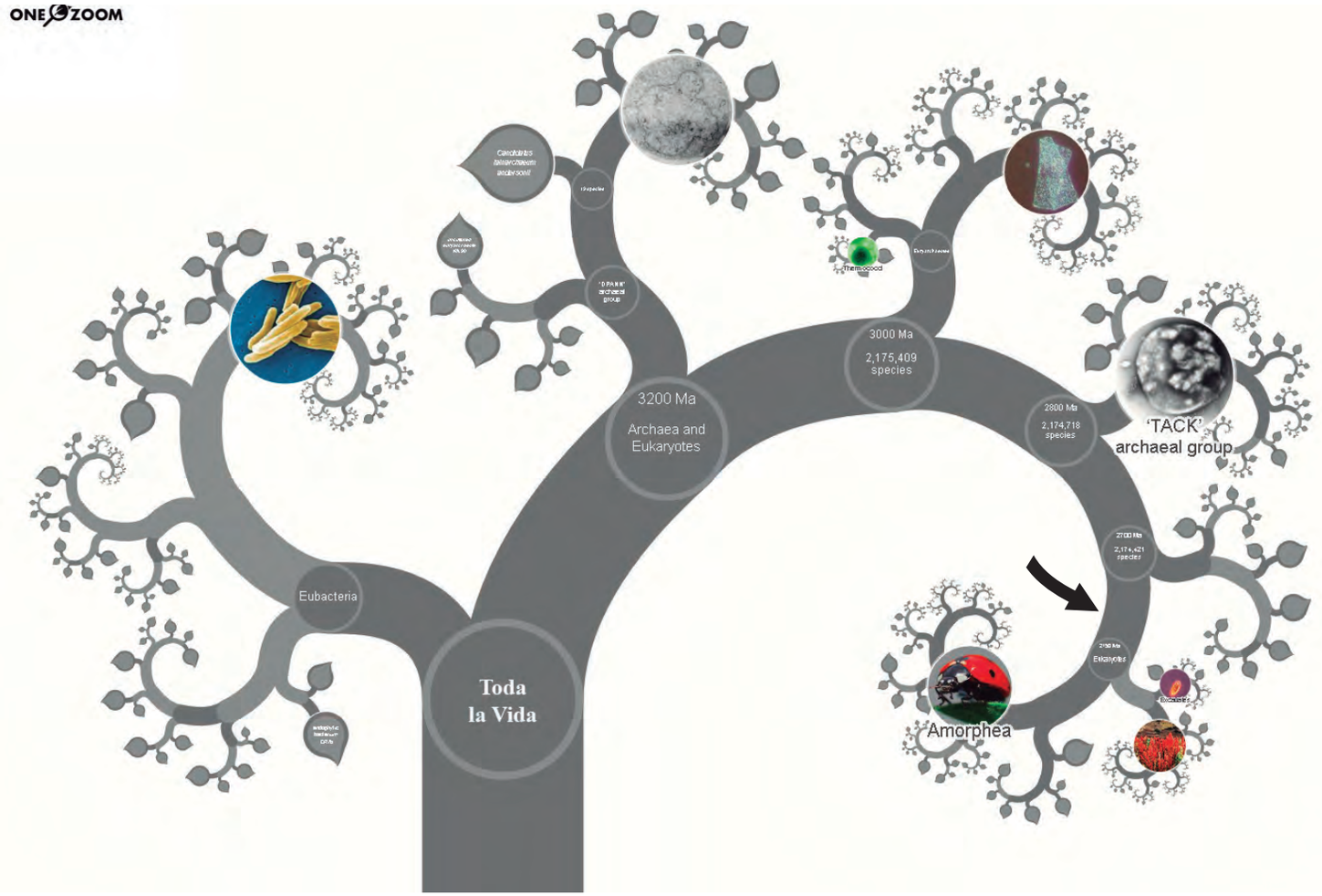
Jeimy Moscote & Alexandra Stoll

En algún momento todos nos hemos preguntado, ¿hace cuánto tiempo existirá la vida en nuestro planeta y cómo se habrá generado?. Existen muchas respuestas, desde las diferentes religiones, desde la filosofía y desde la ciencia. En este capítulo nos enfocaremos en los antecedentes que muchos científicos pudieron aportar a nuestro conocimiento sobre el origen de la vida en la Tierra y como las primeras formas de vida están adaptadas a vivir en los diferentes hábitats de la región de Atacama.

El árbol de la vida

La Tierra es el lugar de origen y hábitat de todas las formas de vida que conocemos. Las primeras huellas de la vida en ella datan de hace más de 4.000 millones de años (Ma) cuando nuestro planeta aún era joven y no se parecía mucho a como lo vemos hoy (ver Capítulo 1).

Los primeros organismos en la Tierra fueron los antepasados de bacterias y arqueas que, probablemente dominaron por cerca de 3.000 Ma la vida en el planeta (Schopf 1994). Testigos de esta



Representación del árbol de la vida. La distancia y largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos. La flecha indica la separación entre los procariontes (Eubacteria, Arquea y otros organismos sin núcleo celular) y los eucariontes (Algas, Plantas, Hongos y Animales), ocurrida hace 2.150 Ma. (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)



Estromatolitos en el Salar de Llamara, al sur de la Pampa del Tamarugal, región de Tarapacá y en pleno desierto de Atacama.

Foto: Benedikt Ritter

época son, p.ej., los estromatolitos. Se trata de fósiles de las bacterias más primitivas de la Tierra que a través de la liberación de oxígeno a los mares y a la atmósfera cambiaron las condiciones ambientales en el joven planeta. En la región de Atacama se conservan estromatolitos en los distintos sistemas de salares (Ercilla Herrero 2019).

Si anotamos todas las especies que conocemos hoy y sus relaciones de descendencia en un esquema, este podría asemejarse a un árbol enorme con un sinfín de líneas y bifurcaciones. En ciencias, este "árbol de la vida" se denomina "árbol filogenético" y representa las relaciones evolutivas entre todos los organismos. El mismo Charles Darwin, en su libro "El origen de las especies" (1859) usa la imagen del "árbol de la vida", para describir la evolución como un árbol que se ramifica cada vez más, pero que a su vez va perdiendo algunas ramas.

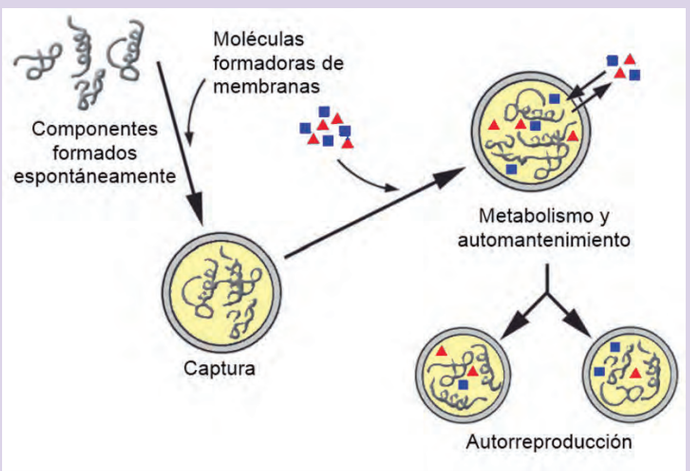
Desde esta época, se han encontrado muchas evidencias científicas para reconstruir los procesos evolutivos y, además, el desarrollo tecnológico ha permitido perfeccionar su análisis. Al incorporar nuevos conocimientos, la forma del árbol de la vida ha cambiado. En 1866, Ernst Haeckel publicó su árbol de la vida (en: Generelle Morphologie der Organismen), el cual distingue tres reinos: Protista, Plantae y Animalia.

Los árboles de la vida actuales dividen los seres vivos en tres dominios: bacterias (Bacteria), arqueas (Archaea) y eucariotas (Eukarya). Los dominios Archaea y Bacteria abarcan los organismos procariotes (organismos cuyas células no contienen un núcleo celular diferenciado). El dominio Eukarya engloba a todos los organismos cuyas células presentan un núcleo diferenciado, lo cual corresponde a las formas de vida más conocidas y complejas (p.ej. animales, hongos y plantas).

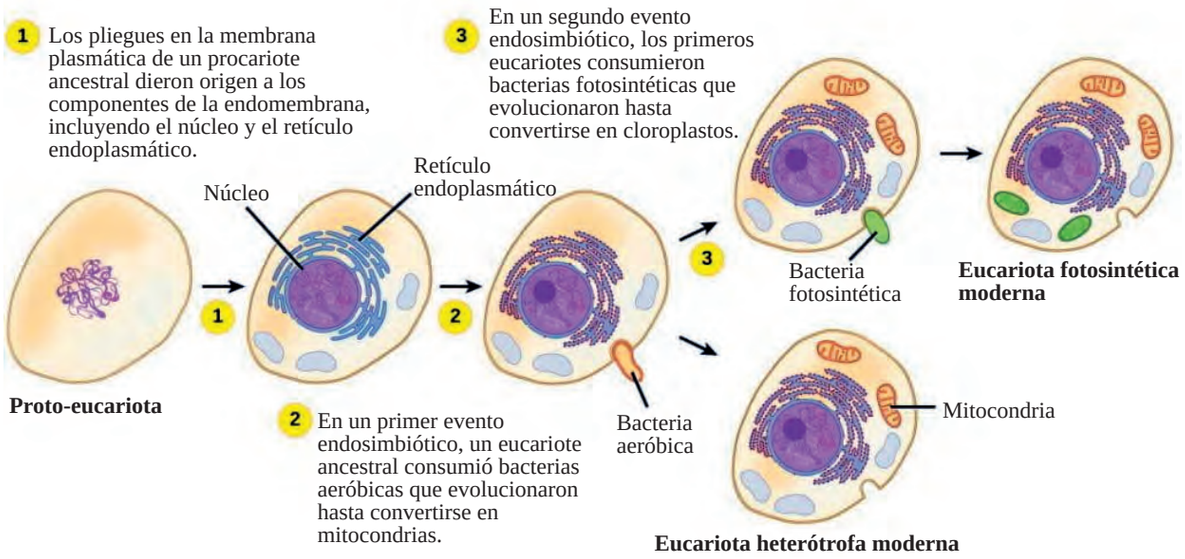
Origen de la vida y organización celular

Entre los científicos existen varias hipótesis sobre el origen de la vida, que se basan en tres acontecimientos basales: 1) que en el planeta joven se dieran las condiciones precisas para la formación de las primeras moléculas orgánicas necesarias para más adelante generar células vivas, 2) la formación bicapa de fosfolípidos, estructura básica de una membrana celular, 3) la reproducción de moléculas de ARN, que contienen la información para los procesos celulares.

Aún no sabemos con exactitud, cómo estas primeras moléculas orgánicas finalmente lograron conformar las primeras células y mantener en ellas los procesos celulares. Sin embargo, sabemos, que estos primeros organismos unicelulares (de una sola célula) dieron origen a toda la diversidad de vida que existe en la Tierra, incluyendo aquellos que se extinguieron a lo largo de su historia.



Durante la transición de procariotas a eucariotas, tanto las bacterias como las arqueas tuvieron un rol importante (Poole & Penny 2007). A diferencia de las procariotas, las eucariotas tienen compartimentos celulares que obtuvieron mediante un proceso denominado endosimbiosis. Un compartimento importante en una célula eucariota es la mitocondria (central energética de la célula), presente en todas las células eucariotas. Su origen posiblemente yace en que una alfa-proteobacteria fue ingerida por una arquea, sin ser digerida y se pudo establecer dentro de la arquea. En un segundo proceso de endosimbiosis, una eucariota primitiva (con mitocondria), ingirió una cianobacteria, lo que condujo a la formación de los cloroplastos, que hoy conocemos en las algas y plantas terrestres.



Teoría de la endosimbiosis. Fuente Phil Schatz (https://philschatz.com/biology-concepts-book/contents/m45513.html)

El descubrimiento de Bacteria y Arqueas

Por mucho tiempo, las procariotas se asociaban principalmente con enfermedades, la pudrición de alimentos y materiales. Sin embargo, con el conocimiento científico actual comenzamos a reconocer y entender su rol fundamental en los procesos biológicos en la Tierra, tanto hoy como en el pasado. Durante los 3.000 millones de años en que las bacterias y arqueas habitaban solos en el planeta "crearon el oxígeno que respiramos, los suelos que labramos, las redes alimenticias que sostienen nuestros océanos. Lenta, inexorablemente, a través de prueba y error en la profundidad del tiempo, inventaron los sistemas de retroalimentación complejos y robustos que hasta el día de hoy sustentan toda la vida en la Tierra" (Blaser 2014).

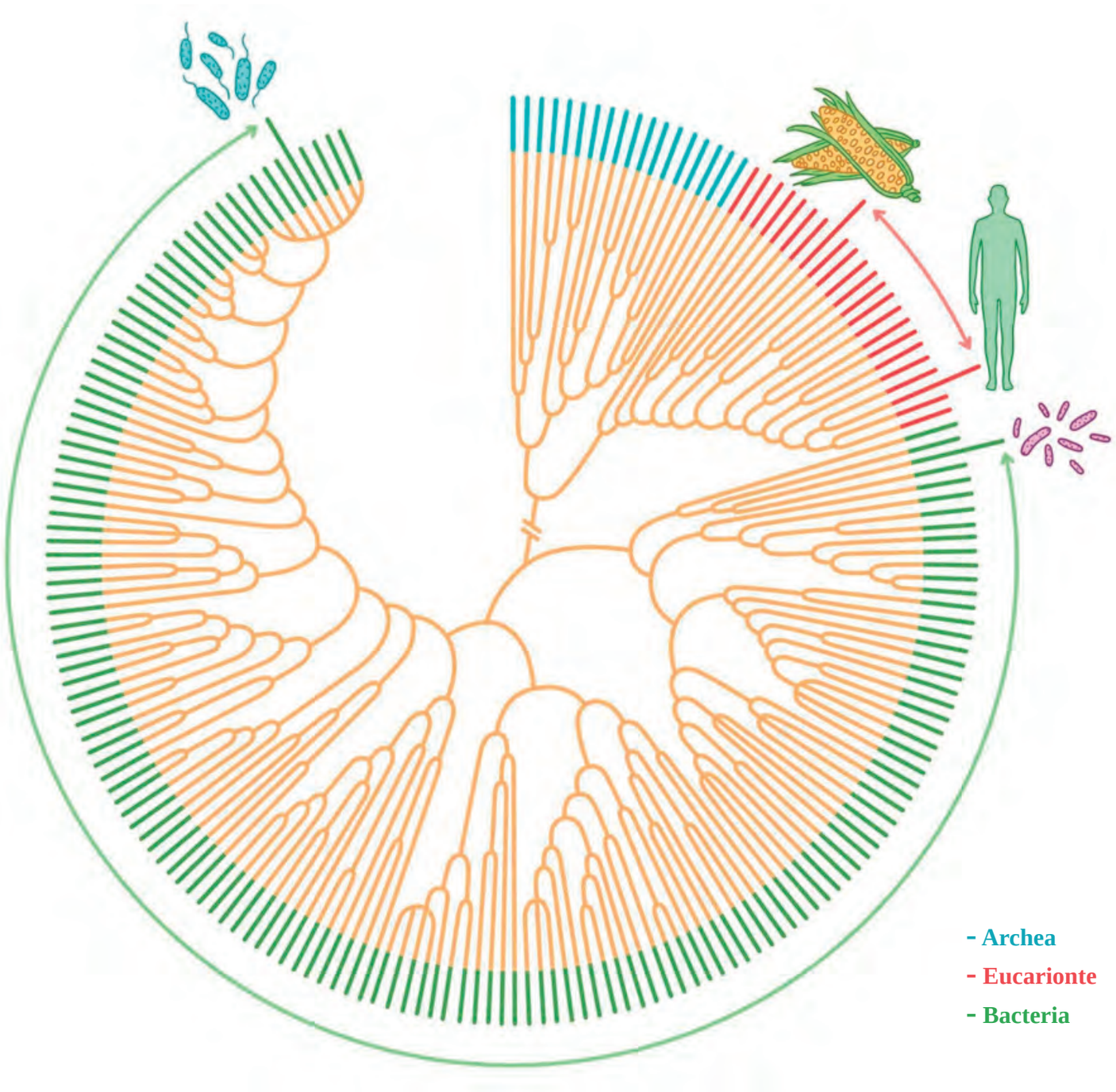
Las procariotas se encuentran en variadas formas y tamaños y son capaces de adaptarse prácticamente a todos los ecosistemas de la Tierra, desde el fondo submarino hasta la alta montaña, del trópico hasta las zonas polares. De esta gran diversidad conocemos aproximadamente 60.000 especies de bacterias y arqueas, que fueron descritas científicamente. Sin embargo, se estima que en nuestro planeta existen entre 2,2 y 4,3 millones de especies de procariotas (Louca et al. 2019) y hasta un trillón (10^{12}) de especies procariotas (Locey & Lennon 2016) (la variación entre los estudios depende de la aproximación metodológica y la definición de especie aplicada en el respectivo estudio). Ante esta enorme diversidad de bacterias y arqueas no nos debería sorprender, que ocupen una gran parte del árbol de la vida. Por ejemplo, si miramos el parentesco entre dos bacterias comunes como *Escherichia coli* (bacteria típica del intestino humano) y *Clostridium* sp. (genero bacteriano, con especies que habitan el intestino humano y de animales, pero también con especies patógenas (causantes de enfermedades) estarían muy lejanamente emparentadas. De hecho, el ser humano y el maíz se asemejarían más que estas dos bacterias (Blaser 2014).

Bacterias: En la edad media, algunos textos médicos mencionan la existencia de "cuerpos extraños infecciosos", referiéndose probablemente a las bacterias. Su primera observación (comprobada) tardó hasta el año 1676, Anton van Leeuwenhoek vio bacterias, usando un microscopio muy sencillo diseñado por él mismo. Recién otros 150 años más tarde, el naturalista Christian Gottfried Ehrenberg en 1828 las denominó "bacteria", basándose en la palabra griega "bacterion" (βακτήριον = bastón pequeño).

Arqueas: Gracias a los avances tecnológicos en genética, en los años 1970 se identificaron las arqueas como tercer dominio de seres vivos. Desde entonces, los estudios genéticos y microbiológicos independientes del cultivo (no se requiere aislar y mantener en laboratorio un microorganismo) han permitido explorar más en la biología de este grupo, descubriendo también que el grupo Asgard de las arqueas es el más emparentado con las Eukarya, es decir las eucariotas descienden de ellos (Eme et al. 2017).

¿Que es un microorganismo?

Antes de hablar de la diversidad de microorganismos, que habita en la región de Atacama, cabe definir el término “microorganismo”. Este término únicamente hace referencia al tamaño de los seres vivos que engloba. La palabra deriva del griego y significa “ser vivo pequeño (o diminuto). De hecho, la mayoría de los microorganismos es tan pequeños, que se requiere de un microscopio para su observación. Los microorganismos pertenecen a diferentes grupos taxonómicos, p.ej. bacterias, arqueas, hongos, protistas, algas e incluso los virus pueden ser considerados. El área científica dedicada al estudio de los microorganismos se llama “Microbiología”.



En esta representación del árbol de la vida se compara la relación de parentesco entre dos bacterias comunes versus el humano y el maíz. La distancia filogenética (evolutiva) es mucho mayor entre dos bacterias que entre un humano y una planta (Fuente: https://www.amnh.org/explore/science-topics/microbiome-health/meet-your-microbiome).

Diversidad microbiana en la región de Atacama

El Desierto de Atacama, es uno de los ecosistemas más secos y primitivos del planeta, ostenta récords mundiales en condiciones poli-extremas por sus ambientes inhóspitos y climas severos. Las condiciones multi-extremas de este Desierto han sido moldeadas durante millones de años. A modo de ejemplo podemos nombrar el gradiente de altitud de más de 14 kilómetros (desde la fosa de Atacama (7.446 m de profundidad frente a Caldera a casi 7000 m sobre el nivel de mar (Nevado Ojos del Salado, el estratovolcán más alto de la tierra con (6.893 msnm)) (ver Capítulo 4 y Recuadros 1.1 y 4.1), fuentes de agua (neblina costera, afloramiento, precipitación), los sistemas hidrotermales (geiseres) y fuentes hidrotermales marinas y afloramientos de metano submarino, montes submarinos, salares, glaciares y humedales, la presencia de sales y minerales, entre otros.

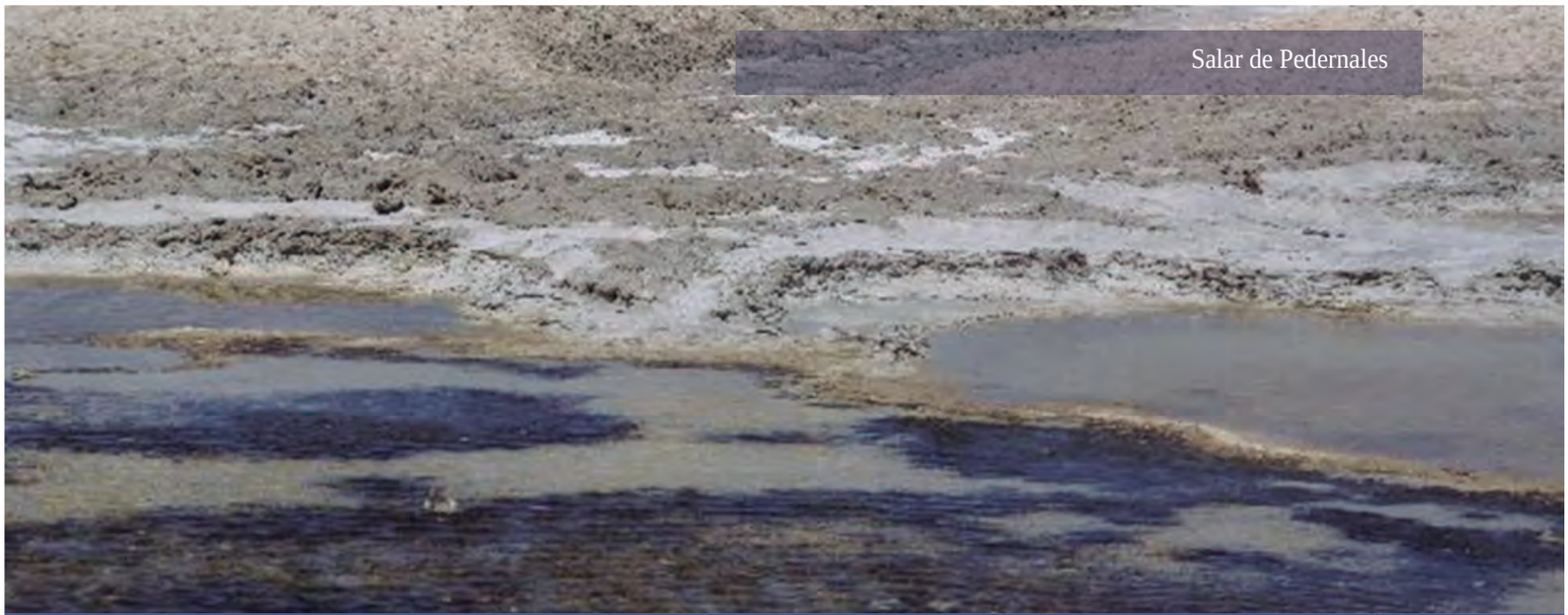
En este mosaico de condiciones extremas se originaron ecosistemas inusuales, que albergan una asombrosa biodiversidad microbiana, tanto en ecosistemas con alta como con baja disponibilidad de agua. Los microorganismos ante la presión selectiva de ambientes extremos que direccionan sus procesos evolutivos, desarrollan mecanismos de adaptación que favorecen su colonización, establecimiento y diversificación.



Floración (bloom) de algas rojas, costa de Carrizalillo



Líquenes sobre un cactus, PN Pan de Azúcar



Salar de Pedernales



Laguna Sta. Rosa, PN Nevado Tres Cruces

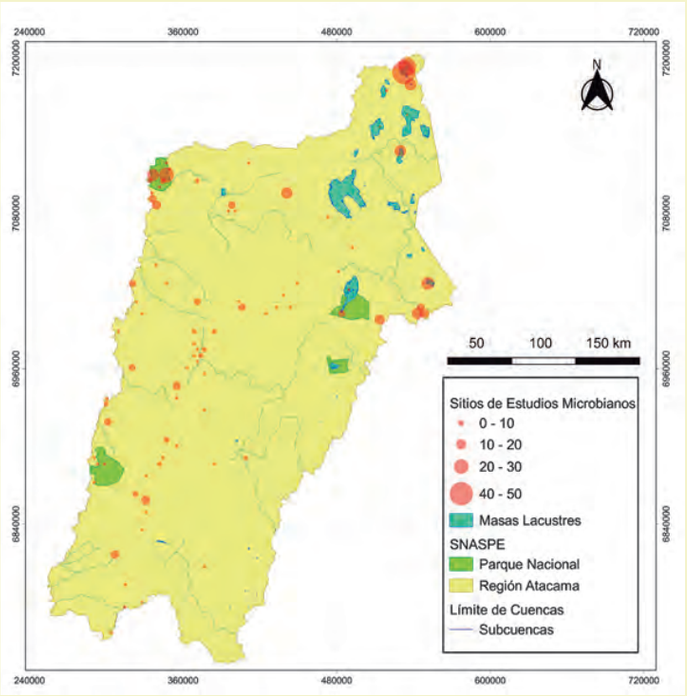


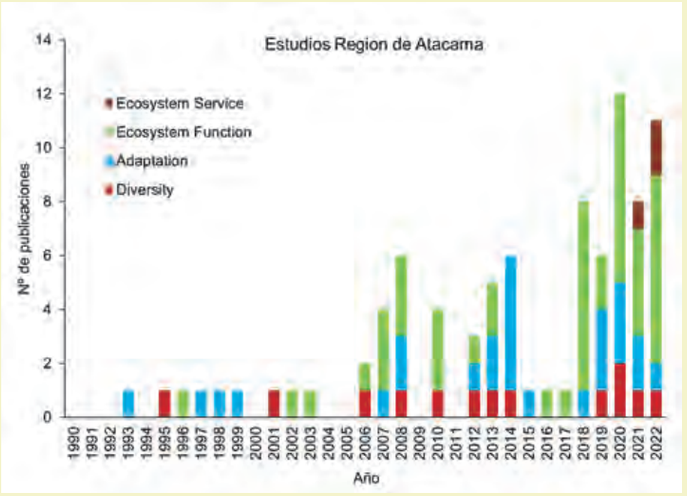
Rizosfera de plantas desérticas, Quebrada Seca



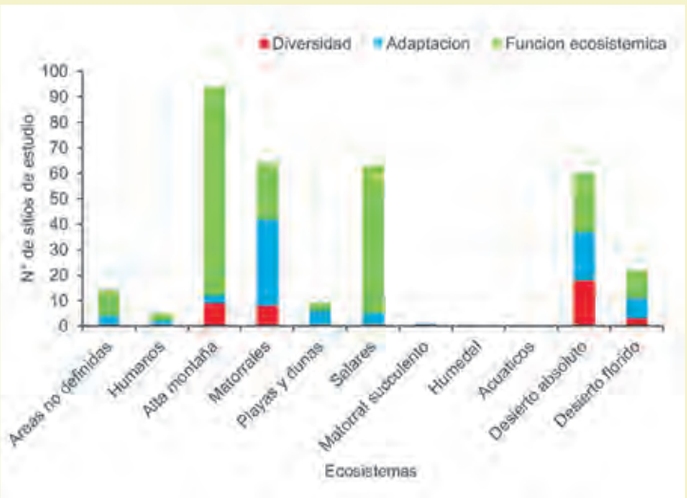
Costra biológica, zona de Nantoco

En una revisión bibliográfica se encontraron 87 artículos científicos acerca de los microorganismos de la región de Atacama, publicados en los últimos 30 años. Estos estudios aportaron conocimiento sobre la diversidad y adaptación de los microorganismos en los ecosistemas de la región y un número creciente de estudios también menciona sus funciones (Moscote 2022).





Cabe destacar, que los estudios se concentran en pocos lugares y ecosistemas de la región. El principal foco de estas investigaciones es caracterizar la diversidad microbiana, que se encuentran en estos ecosistemas extremos y las adaptaciones, que permiten su sobrevivencia. Se han descubierto mecanismos de tolerancia a altos niveles de radiación, altas concentraciones de sales y metales pesados, así como de protección a disecación y dormancia, entre otros. Para la geolocalización se utilizaron las coordenadas de los sitios indicados en cada publicación. (Fuente: Moscote 2022).



Dentro de los ecosistemas más estudiados a nivel regional se pueden mencionar los de alta montaña, los salares, los matorrales y también las zonas de desierto absoluto (Moscote 2022). En los últimos años, el fenómeno natural del desierto florido ha despertado el interés público a través del turismo, pero también se han realizado diversos estudios se han realizado acerca de los microorganismos asociados a este ecosistema.

Funciones ecológicas de los microorganismos del Desierto de Atacama

A escala global los microorganismos participan en los ciclos biogeoquímicos y son importantes reguladores del clima, productores de oxígeno y actúan como sumideros de gases de efecto invernadero (CO_2, NO_3, CH_4), contribuyendo a la mitigación del calentamiento global (Cavichioli et al. 2019). Las procariotas constituyen a una mayor concentración de nitrógeno y carbono del suelo, en relación a plantas y animales. Diversos microorganismos también participan en la mineralización de compuestos, una importante fuente de micro y macronutrientes. La formación de costras biológicas favorece la estabilización de los suelos y genera microhábitats para otras especies, p.ej. líquenes y musgos (Jung et al. 2020).

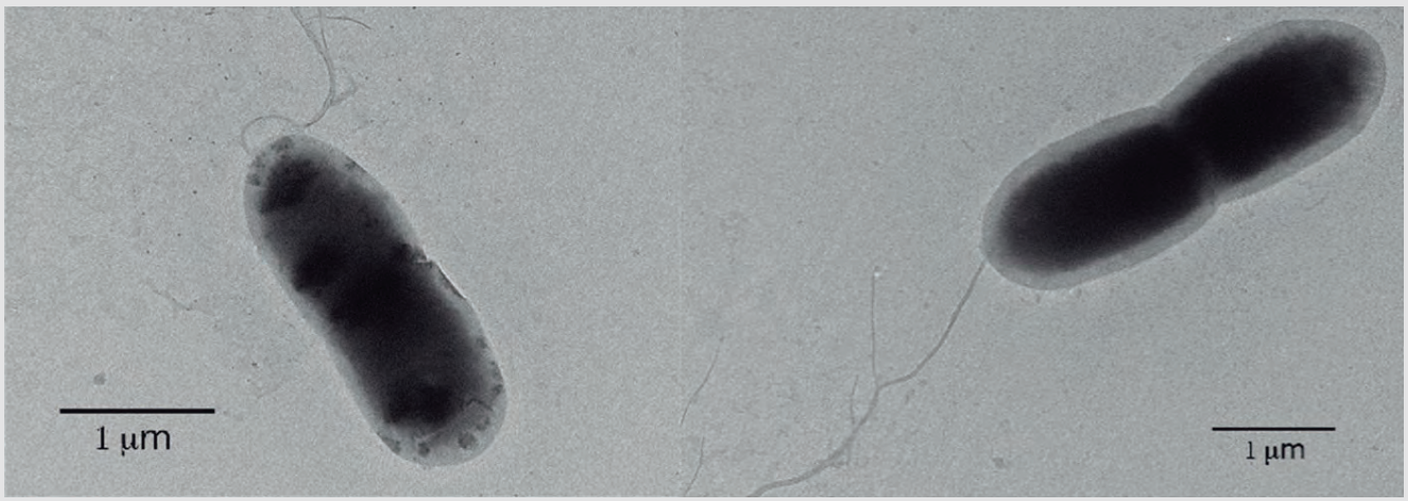
En la región de Atacama aproximadamente la mitad de las publicaciones científicas sobre microorganismos hace mención de sus potenciales funciones en los diferentes ecosistemas. Sin embargo, la gran mayoría de los estudios (74%) extrapola la función microbiana, es decir asume la función desde estudios realizados en otros ecosistemas del planeta. En el 26% de los

estudios se realizaron mediciones para determinar la función ecológica de los microorganismos. Esta información es un insumo relevante para fundamentar la conservación microbiana.

Algunos estudios con enfoques biotecnológicos, han revelado su potencial de los microorganismos del Desierto de Atacama en el desarrollo de cosméticos y alimentos nutraceuticos, descubrimiento de metabolitos para tratamiento de enfermedades, biorremediación de ambientes contaminados, desarrollo de tecnologías de biosensores o incluso la obtención de productos novedosos como pigmentos, extremo-enzimas y nanopartículas para la industria.

Una nueva bacteria atacameña

Recientemente, Poblete-Morales y colaboradores (2020) publicaron la descripción de una nueva especie del género *Pseudomonas*, denominada *Pseudomonas atacamensis*. Esa bacteria fue aislada desde la zona de raíz de una planta durante un evento de Desierto Florido. El análisis de su genoma sugiere que posee características de interacción benéfica con plantas, que permiten asumir una interacción benéfica entre la planta y *P. atacamensis*.



Pseudomonas atacamensis observado bajo microscopio electrónico de transmisión (Fuente: Poblete-Morales et al. 2020)

La conservación de la diversidad microbiana

La biología de la conservación de microorganismos y ecosistemas desérticos ha tenido poca atención por los biólogos conservacionistas. La región de Atacama no es una excepción, sus áreas protegidas actualmente abarcan solo una pequeña porción de la superficie regional (ver Capítulo 21). A su vez, la región es una de las más diversas respecto a su diversidad de especies de plantas y ecosistemas terrestres, varios de los cuales se encuentran amenazados por la actividad humana y el cambio climático (p.ej., salares, desierto florido y glaciares).

Uno de los mayores desafíos en la conservación microbiana, es lograr determinar qué se debe conservar. Aquí, desde la ciencia se puede contribuir con conocimiento fundamentado acerca de la diversidad de microorganismos, sus hábitats y vínculo con otros organismos. Sin embargo, la conservación de microorganismos presenta desafíos científicos y políticos, dado que generalmente no son considerados en las regulaciones y acuerdos oficiales, incluyendo la legislación chilena. Entonces, se genera la urgencia de intensificar la conservación de ecosistemas desérticos y bajo ese paragua lograr la protección de los microorganismos que los habitan. Un ejemplo exitoso de la conservación microbiana en Chile es el Santuario de la Naturaleza Laguna Tebenquiche, en el Salar de Atacama (MMA 2018).



Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 6:69-76

Capítulo 6 Algas de la región de Atacama

Fadia Tala & Julio A. Vásquez

Origen de las Algas

Las algas son un importante y diverso grupo de organismos que comparten ciertas características morfológicas y funcionales, más allá de su historia evolutiva compleja. Funcionalmente pueden ser definidas como: (1) organismos que realizan fotosíntesis oxigénica, (2) organismos distintos a las plantas terrestres o embriofitas, (3) abarcan un conjunto diverso de organismos, desde procariotas hasta eucariotas, desde unicelulares a multicelulares, de tamaños microscópicos no visibles a ojo desnudo o pueden alcanzar varios metros de longitud con tejidos diferenciados. Otra importante característica que permite agruparlas es su vínculo con el agua en toda su historia de vida. Son de amplia distribución en zonas costeras y oceánicas, en lagos y otros cuerpos de agua dulce. Además, es posible encontrarlas en ambientes terrestres de gran humedad, como nieve, sobre árboles, rocas y fachadas de edificios. Una característica que diferencia a las algas de las plantas embriofitas es que todo su talo es capaz de hacer fotosíntesis, aunque exista cierto grado de diferenciación celular.

En ambientes marinos, estos organismos macroscópicos, visibles al ojo, son conocidos como macroalgas e incluyen talos simples a complejos, de diferente coloración por los pigmentos presentes, y viven especialmente adheridos a sustratos rocosos, calcáreos, enterrados en la arena (bentónicos) o sobre otros organismos (epibiontes). También, el grupo incluye a las microalgas,

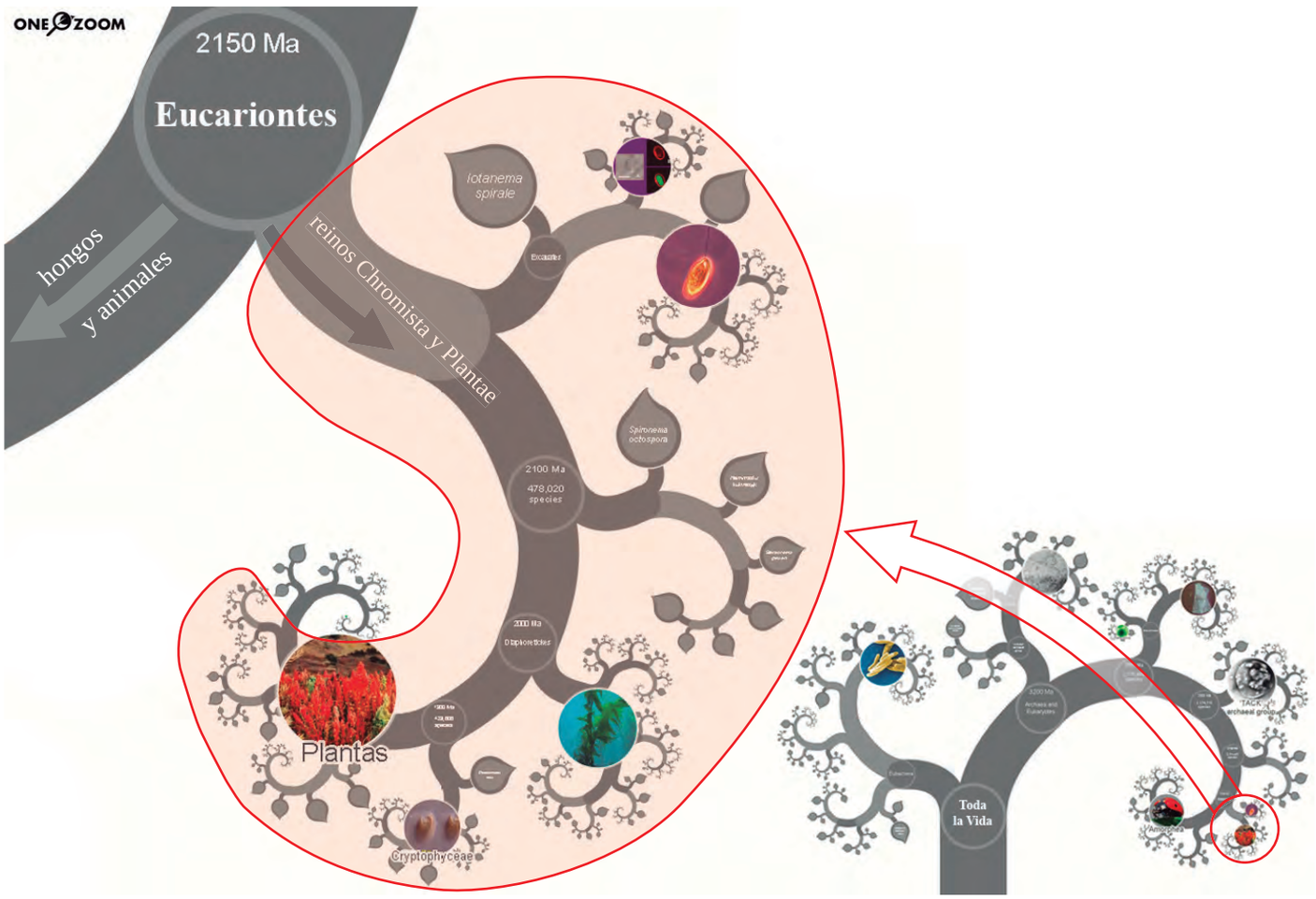


Bosque submarino del alga parda *Lessonia trabeculata* (huiro palo), división Ochrophyta, reino Chromista

Foto: Elmo Pérez

organismos microscópicos no visibles a ojo desnudo y de una diversidad de morfologías y linajes evolutivos. Sin embargo, sus agregaciones pueden estructurar largos filamentos, costras adheridas a sustratos húmedos o en altas concentraciones en masas de agua de ambientes contaminados o con alta concentración de nutrientes. Estas microalgas son comúnmente visibles en ambientes marinos y en aguas continentales (floraciones algales). Mientras las macroalgas son los principales productores primarios de la zona costera, las microalgas lo son en zonas oceánicas conformando el fitoplancton.

En la simplificación de encasillar a las algas bajo características comunes es importante mencionar que: (1) existen algas que no viven en ambientes acuáticos, (2) no todos los organismos que hacen fotosíntesis en ambientes acuáticos son algas, (3) no todas las algas realizan fotosíntesis, algunas han adquirido evolutivamente una condición de organismo heterotrófico y (4) no todas carecen de embrión y de multicelularidad compleja (ver Bellorín et al. 2022).



Dentro de los eucariones, el árbol de la vida se divide en dos ramas, la primera incluye a las divisiones Ochrophyta (reino Chromista, de diatomeas y algas pardas), Rhodophyta (reino Plantae, algas rojas) y Chlorophyta (reino Plantae (algas verdes y plantas terrestres); la otra rama va hacia los reinos Fungi (hongos) y Animalia (animales). La distancia y largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos. (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)

Evolución de las algas

El surgimiento de técnicas moleculares ha permitido dilucidar la evolución global de las algas y establecer sus posiciones en el árbol universal de la vida. Se ha establecido que la fotosíntesis oxigénica, que aparece por primera vez en las cianobacterias fotosintetizadores, fue transferida por medio de endosimbiosis primaria a los organismos eucariotas hace 1.900 a 1.500 Ma (ver Capítulo 5). De esta endosimbiosis se originó un linaje de eucariota esencialmente fotosintetizadores, los Archaeplastida, que comprende las algas con plastidios primarios: Glaucophyta, Algas Rojas y Algas Verdes (incluidas las plantas terrestres) como miembros actuales. La capacidad de realizar fotosíntesis fue transferida a otros linajes de organismos eucariotas a través de endosimbiosis eucariota-eucariota, que dieron lugar a los grupos de algas actuales con plastidios complejos. Dos de estas endosimbiosis, originaron un grupo de Algas Ameboflageladas con plastidios verdes (Chlorarachnea) y otras con plastidios verdes flagelados (Euglenophyceae). Los plastidios complejos con clorofila a y c, presentes en Cryptophyceae, Ochrophyta, Haptophyta, Colpodellida y dinoflagelados, evolucionaron a partir de Algas Rojas endosimbiontes, mediante endosimbiosis eucariota-eucariota, sin embargo no se ha establecido el número exacto de estas endosimbiosis, ni quienes participaron en ellas como fuentes de plastidios (ver Bellorín et al. 2022).

Por más de 2.000 millones de años (Ma), las cianobacterias (Algas Verde-azules, Procariontas) fueron los únicos organismos fotosintetizadores oxigénicos en el planeta. Las primeras algas eucariotas evolucionaron a fines del Proterozoico (2500 - 1600 millones de años). Estas cianobacterias, que contienen clorofila a y b, sufren un proceso de reducción hasta convertirse en organelos semi-independientes o plastidios simples, y el hospedero adoptó un modo de vida fotosintetizador (endosimbiosis primaria). Los plastidios simples están presentes en (1) Glaucophyta, (2) Algas Rojas, (3) Algas Verdes y plantas terrestres, y (4) en un pequeño grupo de amebas fotosintetizadores. En la endosimbiosis secundaria o endosimbiosis eucariota-eucariota, una célula eucariota heterotrófica ancestral obtuvo plastidios atrapando a otra célula eucariota que ya poseía plastidios, dejándola viva en su interior de modo que un endosimbionte eucariota evolutivamente se convierte en un plastidio rodeado por dos o más membranas. Estos plastidios evolutivamente más recientes son conocidos como plastidios complejos.

Ochrophyta comprende a los eucariotas fotosintetizadores que normalmente poseen pelos tubulares tripartidos rígidos en uno de los flagelos (mastigonemas), así como plastidios complejos rodeados por cuatro membranas que contienen clorofila a, y en su gran mayoría por clorofila c y fucoxantina. El nombre de este grupo hace referencia a su color café (pardo) producto de la presencia de fucoxantina y otros carotenoides. De esta variedad de organismos, la clasificación por tamaño los agrupa en microalgas y macroalgas, siendo una clasificación no taxonómica.

Algas en Atacama

Los estudios taxonómicos sobre algas marinas en Chile se inician hace más de 200 años, con zonas habituales de colecta como Callao en Perú y Valparaíso en Chile (Ramírez & Santelices 1991). Sin embargo, por la imprecisión de algunos registros así como el avance de los estudios moleculares, diversos de estos taxones han sufrido cambios en su estatus taxonómico. En específico para la región de Atacama, se desconoce el número de especies o taxones de macroalgas, y menos aún de microalgas.

Para el caso de las macroalgas, existen más de 50 especies cuya distribución geográfica incluye las regiones de Coquimbo y Antofagasta (Ramírez & Santelices 1991), haciendo suponer que también se encontrarían en algunos ambientes de la región de Atacama. Las especies más conocidas, conforman aquellas macroalgas con importancia comercial, actualmente explotadas desde praderas naturales, áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB) o de cultivo en la región de Atacama (SERNAPESCA 2021). Se debe considerar que los ambientes ocupados por las algas, y en específico las macroalgas, incluyen hábitats rocosos expuestos o semi-expuestos al oleaje, así como bahías, ensenadas y playas de arena semi-protegidas y protegidas del oleaje, los que se caracterizan por presentar ensambles diferentes. Además, la distribución vertical, es decir en profundidad abarca desde la zona de la más alta marea (supralitoral) hasta el submareal dependiendo de la disponibilidad de luz que permita el crecimiento algal. Entonces, la diversidad de algas en la región de Atacama puede ser mayor a lo que se conoce.

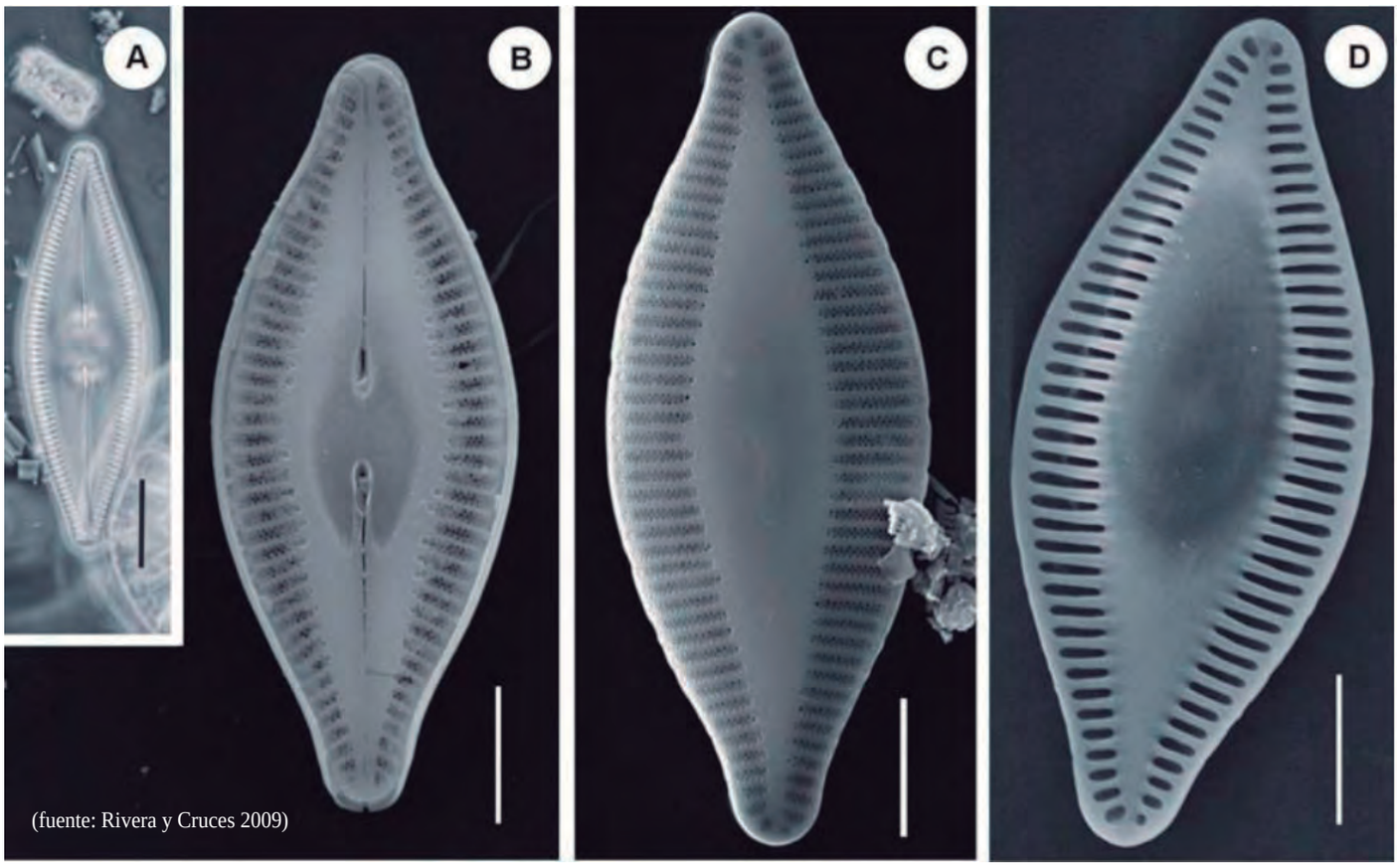
La región de Atacama (26°-29°S) se encuentra en la parte sur de lo reconocido como Provincia Peruana, con predominio de una biota templada-cálida (Camus 2001). Los ambientes rocosos submareales están caracterizados por una baja diversidad, con unas pocas especies de gran tamaño que sustentan la biomasa y un estrato basal con algas de menor tamaño (Vásquez et al. 2001). Situación similar se da en el área intermareal.

División Ochrophyta (Reino Chromista, de diatomeas y algas pardas)

A diferencia de las próximas divisiones, las Ochrophytas se encuentran en un Reino totalmente diferente al Plantae, las Chromista, de origen polifilético, altamente diverso en forma y tamaño (Cavalier-Smith 1981). Los organismos fotosintetizadores que conforman el Reino Chromista se caracteriza por poseer clorofila *a* y *c*, pigmentos carotenoides como fucoxantina que le otorgan la tonalidad café-amarillenta a dorada. Tienen cloroplastos rodeados por cuatro membranas, en conexión con el núcleo y retículo endoplasmático, resultado de la endosimbiosis de algas rojas. Acá encontramos representantes unicelulares como Diatomeas (Phyllum Bacillariophyta), Dinoflagelados (Clase Dinophyceae, Phyllum Miozoa), Algas doradas (Clase Chrysophyceae, Phyllum Ochrophyta), Haptófitas, y Cryptophyceae (Phyllum Cryptista), y multicelulares como algas pardas (Clase Phaeophyceae, Phyllum Ochrophyta). Gran parte de estas algas antes fueron referidas al clado Heterokontas o Stramenopiles, donde el término heterokonto hace referencia a la presencia de flagelos de diferente morfología y tamaño, como una característica común del grupo. Este reino también incluye representantes que carecen de cloroplastos, con funcionalidad heterotrófica.

La división Ochrophyta reúne aproximadamente el 15% de las especies del reino, unas 4.600 especies, agrupadas en 17 clases, siendo la clase Phaeophyceae el 50% del Phyllum con 20 órdenes. Los órdenes que destacan por agrupar a la mayor cantidad de especies son el orden Ectocarpales, considerado como el más primitivo en las macroalgas pardas y que agrupa al 36% de las especies, seguido por los órdenes Fucales con un 27%, Dictyotales con un 22% y Laminariales con un 6%. Esta clase es lo que conocemos como macroalgas pardas, marrones o café, y encontramos a especies marinas, multicelulares y con los representantes de mayor tamaño de todas las macroalgas marinas. Son importantes productores primarios y estructuradores ecosistémicos de ambientes marinos costeros. La diversidad de formas y tamaños abarca de talos delicados, filamentosos uniseriados a veces ramificados, talos globosos, laminares, crustosos hasta talos parenquimatosos con diferenciación entre un disco de fijación, estipes y láminas. Algunas especies poseen además estructuras morfológicas que le otorgan flotabilidad como neumatocistos, aerocistos o cavidades medulares con aire.

El ciclo de vida dominante corresponde a una alternancia de fases diploides-haploides (ciclo diplohaplóntico), que pueden tener la misma morfología (ciclos isomórficos) o de morfología y tamaño diferente (ciclos heteromórficos). En las macroalgas pardas, los ciclos de vida isomórficos son considerados estrategias de vida



Diatomea (división Bacillariophyta, reino Chromista) colectada en el Salar de Aguas Calientes, región de Antofagasta. Esta especie (*Haloroundia speciosa*) esta restringida a la Cordillera de los Andes del norte de Chile, entre los 1.000 y 4.300 msnm.



primitivas, mientras que ciclos heteromórficos respondieron evolutivamente a los cambios ambientales, donde cada fase posee requerimientos y tolerancias fisiológicas diferenciales, mostrando en varios casos una marcada estacionalidad en la reproducción. De manera excepcional, el Orden Fucales se caracteriza por un ciclo diplóntico, donde domina el esporofito diploide, monoico, dioico o hermafrodita, y carece de una fase gametofítica libre. Las estructuras reproductivas asexuales son esporas formadas por meiosis, biflageladas, heterokontas y con mastigonemas (proyecciones laterales en el flagelo delantero). La reproducción sexual ocurre por isogamia (gametos de igual morfología), anisogamia (gametos de diferente tamaño) o por oogamia (gameto femenino inmóvil, gameto masculino móvil).

En la región de Atacama, las especies del orden Laminariales, *Lessonia berteroana* (huiro negro o chascón), *Lessonia trabeculata* (huiro palo) y *Macrocystis pyrifera* (huiro flotador) dominan en ambientes rocosos expuestos y semiexpuestos al oleaje, y conforman un recurso en plena explotación, con más de 100.000 ton/año en promedio en los últimos 10 años (SERNAPESCA 2021, ver Recuadro 22.5). Estas especies son consideradas bioingenieras por ofrecer un hábitat para múltiples especies debido a su gran tamaño y aportar con múltiples servicios ecosistémicos (Vásquez & Santelices 1990, Vásquez et al. 2014, Eger et al. 2023). Mientras *L. berteroana* habita el intermareal bajo en zonas rocosas expuestas a lo largo de toda la costa de la región de Atacama, *L. trabeculata* lo hace en el submareal hasta los 30-40 m de profundidad. *Macrocystis pyrifera*, de distribución fragmentada, forma poblaciones en ambientes submareales someros, cuyos talos flotantes alcanzan la superficie en los sectores de Chañaral de Aceituno y Sarco, al norte de Huasco y Carrizal Bajo, sector de Punta Cachos Pajonales, Playa Chasco correspondientes a las provincias de Huasco y Copiapó, principalmente en sectores protegidos del oleaje (Álvarez, 2020).

Especies no nativas (exóticas) como *Scytosiphon tenellus*, han sido registrada en la zona de Chañaral asociada a ambientes de baja diversidad y alta contaminación producto de la actividad minera (Contreras et al. 2007).

Un estudio en Carrizal Bajo para caracterizar algas del submareal, logró identificar al menos 8 taxones de algas pardas a nivel de especie o género (Vásquez et al. 2001). Las especies reconocidas corresponden a *Colpomenia sinuosa, Desmarestia firma, Dictyota dichotoma, Dictyota kunthii, Halopteris paniculata, Lessonia trabeculata* y *Sphacelaria rigidula*. De esta revisión, se destaca como nuevo registro la especie *Hincksia sandriana*.

División Rhodophyta (reino Plantae, algas rojas)

Este grupo conforma a las denominadas algas rojas, con más de 7.000 especies, agrupadas en 7 clases, con representantes de gran diversidad en forma y tamaño, desde unicelulares a multicelulares. Características distintivas incluyen la pérdida evolutiva de los flagelos en todas las etapas del ciclo de vida, así como la presencia de pigmentos accesorios denominados ficobilinas (ficoeritrina, ficocianina y aloficocianina), que le otorgan su tonalidad rojiza. El espectro de absorción de estos pigmentos, en la región del azul-verde, le confiere la ventaja para habitar en aguas profundas. Las clases, Bangiophyceae y Florideophyceae agrupan casi al 97% de las algas rojas, principalmente macroscópicas, multicelulares, marinas y bentónicas. Mientras que la clase Bangiophyceae se caracteriza por talos simples uninucleados. Entre éstas, la clase Florideophyceae se encuentran representantes de morfologías complejas, seudoparenquimatosa y multinucleados.

La Clase Bangiophyceae, con menos de 200 especies agrupadas en el único orden, Bangiales, reporta cuatro géneros para Chile. *Porphyra* y *Pyropia* son los más diversos, mientras que *Fuscifolium* y *Wildemania* poseen sólo una especie (Guillemin et al. 2016). Más de 17 especies podrían ser encontradas en la costa de Chile, existiendo un desconocimiento total de las especies presentes en la región de Atacama. A través de estudios moleculares se detecta que a lo menos una especie de *Pyropia* y dos de *Porphyra* podrían estar presentes en la región, pero se desconoce su identidad taxonómica (Guillemin et al. 2016). La morfología de estas algas se caracteriza por poseer un talo monoestromático (una capa celular), en forma de lámina con morfología variada que pueden ser orbiculares, redondos, lanceolados o alargados, con bordes ondulados o lisos. El ciclo de vida característico de las Bangiales es diplohaplóntico heteromórfico, con una fase haploide gametofítica macroscópica monoica o dioica, y una fase diploide esporofítica a modo de filamentos microscópico, denominada fase conchocelis. Es característico encontrarlas en la zona más alta del intermareal, con una capacidad de resistir la desecación (Contreras et al. 2011). Aquí encontramos representantes que se comercializan con el nombre común de luche, con un promedio de 5 ton/anual en los últimos 10 años (SERNAPESCA 2021). Sin embargo, se desconoce a qué especie corresponderían o si es una mezcla de especies. No existen otros registros de especies de Bangiales para la región de Atacama.

Pyropia orbicularis (luche)



(fuente: www.algalab.com)

La Clase Florideophyceae agrupa al mayor porcentaje de macroalgas rojas, con una diversidad de morfologías que pueden ir de filamentos no ramificados hasta talos corticados, ramificados y seudoparenquimatosos, agrupados en 36 órdenes (Guiry & Guiry, 2011). Una característica que las distingue de las otras macroalgas tiene relación con su ciclo de vida, apareciendo una tercera fase (ciclo de vida trifásico). Este, corresponde al gametofito femenino fecundado, caracterizado morfológicamente por protuberancias


Gracilaria chilensis (pelillo)

(fuente:www.subpesca.cl)


Chondrachantus chamissoi (chicoria de mar)

(fuente:www.algal[illegible])

sobre el talo denominadas cistocarpos, con un arreglo celular que protege a los cigotos. Los ciclos pueden ser isomórficos (todas las fases de igual morfología) o heteromórficos (al menos una fase tiene una morfología o tamaño diferente). Otra característica es la existencia de conexiones entre células adyacentes mediante la formación de un tapón de proteínas (pit-connection), con función estructural y de vía de comunicación de célula a célula. En esta Clase, se encuentran especies con una gran importancia económica, principalmente como productoras de agar (Ordenes Gracilariales y Gelidiales) y de carragenano (Orden Gigartinales), polisacáridos estructurales ubicados en las paredes celulares de las algas y que presentan múltiples aplicaciones como gelificantes, emulsionantes y estabilizadores.

En la región de Atacama es posible encontrar cultivos del alga roja *Gracilaria chilensis* (pelillo) en Bahía Loreto y Caldera enterradas en la arena, con morfología cilíndrica ramificada. Esta alga roja es la más importante en la producción de agar. La estadística pesquera y acuícola registra una producción promedio de 719 toneladas en los últimos 10 años (SERNAPESCA 2021). Entre las especies productoras de carragenano se destacan para la región de Atacama, *Chondracanthus chamissoi* (chicoria de mar) y *Mazzaella canaliculata* (liquen gomoso), ambas habitando zonas del intermareal y submareal somero, en ambientes rocosos protegidos o semiprotegidos del oleaje como: Playa Ramadilla, Playa el Pulpito, Bahía Inglesa, Sector El Morro, entre otros.

Otras especies como *Plocamiun cartilagineus* y *Stenograme interrupta* de variada morfología han sido registradas en localidades como Caldera (Ramírez & Santelices 1991). López et al. (2018) en base al rango de distribución de las especies considera a *Ceramiun virgatum, Griffithsia chilensis, Anthitamnionella temifolia, A. densum, Schoterra nicaeensis, Rhodymenia skottsbergii, Petalonia binghamiae* y *Gelidium chilense* en la región de Atacama sin identificar el tipo de hábitat.

Algunas especies no nativas (exóticas) como *Neosiphonia harveyi, Asparagopsis armata* y *Hypnea spicifera* han sido registradas en Caldera y Chañaral. *Schottera nicaeensis* ha extendido su distribución al norte del país (Villaseñor-Parada et al. 2018).

Un estudio en Carrizal Bajo, logró identificar al menos 35 taxones de algas rojas a nivel de especie o género sin antecedentes de encontrarlos en otros sectores de la región de Atacama (Vásquez et al. 2001). Esto viene a reforzar el escaso conocimiento de la diversidad de macroalgas en la región. De esta revisión, se destaca como extensión del rango de distribución las especies *Acrosorium venulosum, Antithamnion densum, Antithamnionella ternifolia, Bossiella chiloensis, Bossiella orbigniana, Hypnea spicifera, Montemaria horridula* y *Polysiphonia japonica* (Vásquez et al. 2001).

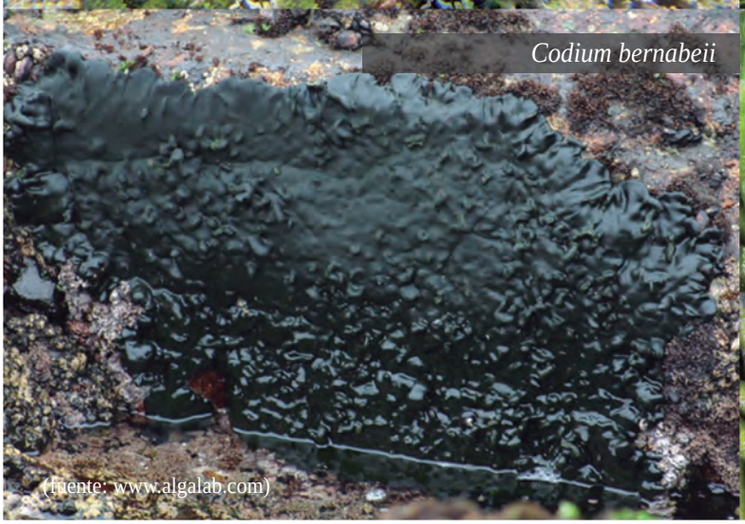
División Chlorophyta (Reino Plantae)

Este grupo es conocido como algas verdes y dan origen a las plantas terrestres. Esta división está conformada por unas 6.500 especies muy diversas, distribuidas en unas 11 Clases (Guiry & Guiry 2011). Las morfologías van desde microscópicos unicelulares o coloniales comúnmente flageladas, a filamentosos y talosos, abarcando ambientes acuáticos continentales (agua dulce) y marinos, así como terrestres con alta humedad. Los únicos representantes de algas macroscópicas y marinas se encuentran en la Clase Ulvophyceae con un 35% de las especies de Algas verdes agrupadas en 13 órdenes, preferentemente bentónicas, es decir que viven adheridas a un sustrato. Estas algas se caracterizan por tener una organización multicelular uninucleada o multinucleada, o talos cenocíticos multinucleados. El ciclo de vida dominante corresponden a una alternancia de fases diploides-haploides (ciclo diplohaplóntico) que pueden tener la misma morfología (ciclos isomórficos) o de morfología y tamaño diferentes (ciclos heteromórficos). De manera excepcional, el Orden Bryopsidales se caracteriza por un ciclo diplóntico, donde domina el esporofito diploide y carece de una fase gametofítica libre. Las estructuras reproductivas asexuales pueden ser esporas bi- o cuadriflageladas, y las sexuales, los gametos, generalmente biflagelados y sin dimorfismo sexual refiriéndose a éstos como gameto positivo y gameto negativo.

En la región de Atacama se reconoce la presencia del género *Ulva* (lechuguilla de mar) perteneciente al Orden Ulvales, sin tener claridad de la diversidad específica. Es un género bastante cosmopolita y oportunista, con alto crecimiento en condiciones de incremento luz y temperatura, lo que sumado al incremento de nutrientes generalmente de origen antropogénico, conforman las "mareas verdes", colonizando los ambientes y produciendo biomasa que termina varada en las playas. Estos eventos son habituales en las playas de Caldera hacia la época estival. La









morfología de *Ulva* se caracteriza por un talo laminar o tubular, biestromático (dos capas celulares) que puede variar de verde claro a verde oscuro, con márgenes lisos, ondulados y/o dentados. Los talos tubulares se reconocían anteriormente en el género *Enteromorpha*, por lo que varios registros anteriores pueden hacer referencia a este género siendo actualmente sinonimia de *Ulva*.

Del Orden Bryosidales, *Codium fragile* subsp. *fragile*, especie invasora ha sido registrada principalmente en zonas donde se realizan actividades acuícolas, como Caldera y Bahía Loreto, extendiéndose a gran parte del país (Niell et al. 2006, Jofré-Madariaga et al. 2014). La morfología de esta especie es un talo esponjoso, ramificado y erecto, conformado por múltiples utrículos, que corresponden a célula sifonada alargada multinucleada que se entrelazan. Otra especie del mismo género, *Codium bernabei* (González et al. 2012) crece de manera postrada a modo de alfombra de coloración verde oscuro en la zona baja del intermareal rocoso en Chile central y norte, incluyendo las Caletas Pan de Azúcar y Zenteno, y gran parte de la zona semi-expuesta al oleaje de la región de Atacama.

Otros taxones como *Bryopsis* (Orden Bryopsidales), *Chaeotomorpha* y *Cladophora* (Orden Cladophorales), han sido registrados para Carrizal Bajo, sin poder identificar las especies (Vásquez et al. 2001). De esta revisión, se destaca la extensión del rango de distribución del alga filamentosa *Rhizoclonium ambiguum* (sinonimia de *Rama novae-zelandiae*).

En general, para la región de Atacama se puede concluir que existe una falta de estudios sistemáticos que caractericen y describan la diversidad de macroalgas en los diferentes hábitats considerando sus ambientes rocosos y arenosos, áreas expuestas y bahías protegidas, así como en el intermareal y submareal.

Lista de especies de macroalgas detectadas en Carrizal Bajo (Modificado de Vásquez et al. 2001).

Phylum Ochrophyta	
Clase Phaeophyceae (Algas Pardas)	
Orden Ectocarpales	*Colpomenia sinuosa* (Mertens ex Roth) Derbys & Solier
	Hincksia sandriana (Zanardini) Silva
Orden Desmarestiales	*Desmarestia herbacea* subsp. *firma* (C.Agardh) A.F.Peters, E.C.Yang, F.C.Küpper & Prud'homme.
Orden Dictyotales	*Dictyota dichotoma* (Hudson) Lamouroux
	Dictyota kunthii (C.Agardh) Greville
Orden Sphacelariales	*Halopteris paniculata* (Suhr) Prud-Homme van Reine
	Sphacelaria rigidula Kützing
Orden Laminariales	*Lessonia trabeculata* Villouta & Santelices
Phylum Rhodophyta (Algas Rojas)	
Clase Bangiophyceae	
Orden Bangiales	*Bangia atropurpurea* (Mertens ex Roth) C. Ag.
Clase Florideophyceae	
Orden Ceramiales	*Cryptopleura peltata* (Montagne) M.J.Wynne
	Acrosorium venulosum (Zanardini) Kylin
	Antithamnion densum (Suhr) Howe
	Antithamnionella ternifolia (Hooker & Harvey) Lyle
	Callithamnion sp.
	Centroceras clavulatum (C. Ag.) Montagne
	Ceramium sp.
	Ceramium virgatum Roth
	Chondria acrorhizophora Setchell & N.L.Gardner
	Dasysiphonia sp.
	Griffithsia chilensis Montagne
	Heterosiphonia subsecundata (Suhr) Falkenberg
	Hypoglossum sp.
	Melanothamnus japonicus (Harvey) Díaz-Tapia & Maggs
	Symphyocladia dendroidea (Montagne) Savoie & G.W.Saunders
	Xiphosiphonia pennata (C.Agardh) Savoie & G.W.Saunders
Orden Bonnemaisoniales	*Asparagopsis armata* Harvey
Orden Balliales	*Ballia* sp.
Orden Corallinales	*Bossiella chiloensis* (Decaisne) Johansen
	Bossiella orbigniana (Decaisne) Silva
	Corallina officinalis var. *chilensis* (Decaisne) Kützing
Orden Gigartinales	*Mazzaella canaliculata* (C.Agardh) Arakaki & M.E.Ramírez.
	Hypnea spicifera (Suhr) Harvey
	Montemaria horridula (Montagne) Joly & Alveal
	Salishia chilensis (J.Agardh) Clarkston & G.W.Saunders
	Schottera nicaeensis (Lamour. ex Duby) Guiry & Holl
	Stenogramma interruptum (C. Ag.) Montagne
	Corallinales crustosas
Orden Rhodymeniales	*Gastroclonium cylindricum* Santelices, Abbott & Ramirez
	Lomentaria sp.
	Rhodymenia corallina (Bory) Greville
	Rhodymenia skottsbergii Dawson
Orden Peyssonneliale	*Peyssonnelia* sp.
Orden Plocamiales	*Plocamium cartilagineum* (Linnaeus) Dixon
Phylum Chlorophyta	
Clase Ulvophyceae (Algas Verdes)	
Orden Bryopsidales	*Bryopsis* sp.
Orden Cladophorales	*Chaetomorpha* sp.
	Cladophora sp.
	Rhizoclonium ambiguum (Hooker f. & Harvey) Kützing



Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 7:77-103

Capítulo 7 Las plantas terrestres de la región de Atacama

Francisco A. Squeo & Gina A. Arancio

Origen de las plantas terrestres

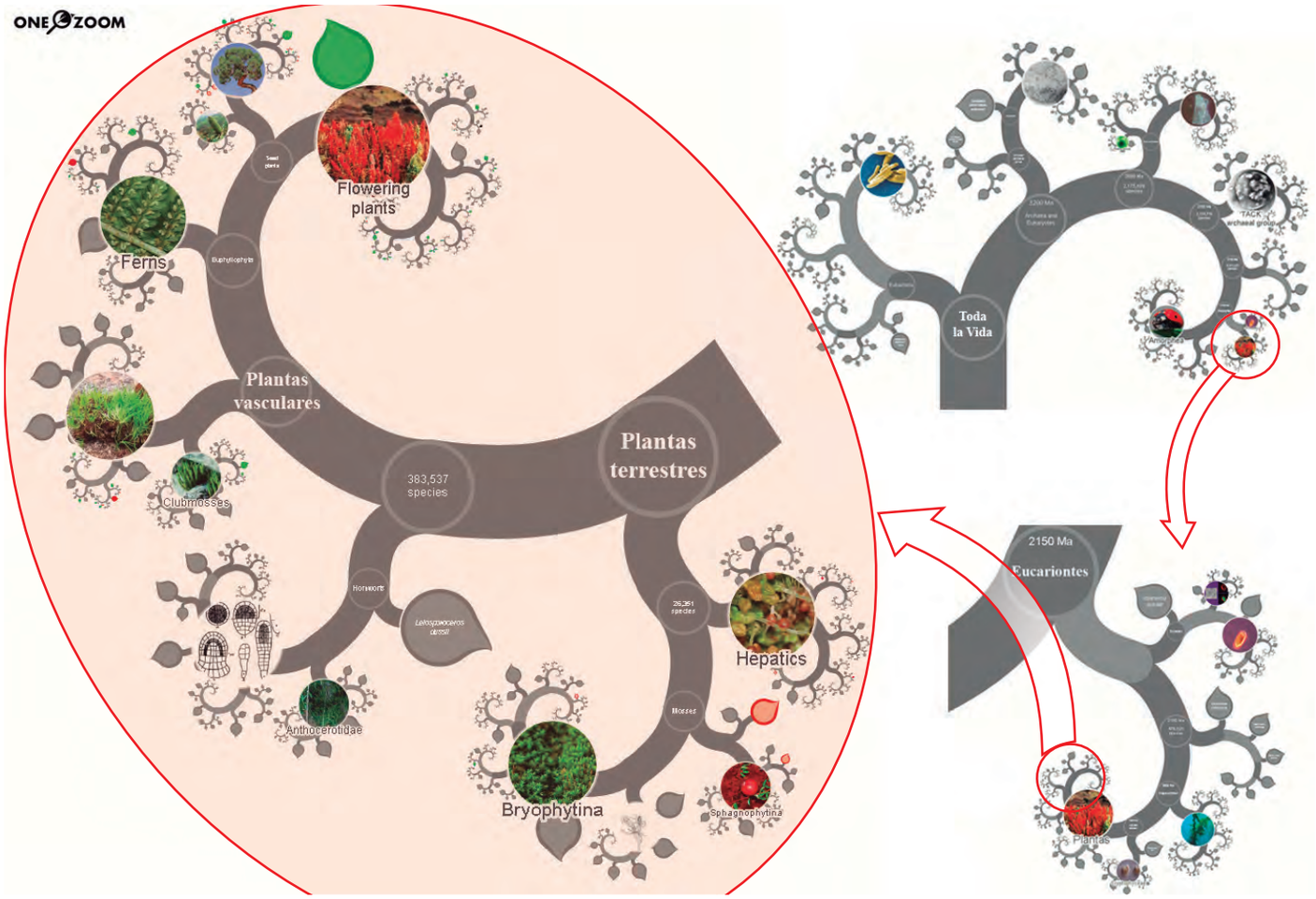
Derivada de algas verdes, hace 485 millones de años atrás aparecieron las primeras plantas terrestres o Embriofitas (Embryophyta). Las Embriofitas son el clado (grupo monofilético, linaje evolutivo) cuya innovación evolutiva fue la formación de un embrión retenido dentro del gametofito (i.e., el embrión o nuevo esporofito no es de vida libre como en las algas), aspecto importante en la colonización de ambientes terrestres. Otras innovaciones evolutivas comunes en las Embriofitas son: a) presencia de cutículas protectoras que reducen la pérdida de agua al ambiente pero permiten el intercambio de gases fotosintéticos, b) los nutrientes son absorbidos desde el suelo por estructuras especializadas (e.g., rizomas, raíces), c) desarrollo de estructura de anclaje al suelo y superficies donde desarrollan la fotosíntesis.

De las primeras Embriofitas derivaron las Briofitas modernas: Antoceros, Hepáticas y Musgos. Este grupo aún hoy en día continúa asociado a hábitats con alta disponibilidad de agua. Representantes de la briófitas en la región de Atacama son tratadas en detalle por Osorio en el recuadro 7.1.

El siguiente salto evolutivo fue el desarrollo de tejido vascular especializado en la conducción de agua, de allí el nombre de Traqueofita o plantas vasculares. Jerárquicamente corresponden al Phyllum (Filo) Tracheophyta, y habrían evolucionado hace unos 420 millones de años atrás de ancestros briófitos con un ciclo de vida con dominancia de la generación de esporofito diploide. El desarrollo de tejido vascular les permitió colonizar nuevos ambientes con menor disponibilidad de agua permanente. La dominancia de la generación esporofítica (con doble cantidad de cromosomas, 2n o diploide) aumentó la posibilidad de poseer respuestas adaptativas alternativas, conocido también como plasticidad fenotípica. Así, estos grupos se expandieron en nuevos territorios con mayor variabilidad ambiental que sus ancestros briófitos.



Cojín de Llareta (*Azorella madreporica*, Apiaceae) en la zona andina de Atacama



Dentro de los eucariontes, el árbol de la vida se divide en dos ramas, la primera incluye a las divisiones Ochrophyta (reino Chromista, de diatomeas y algas pardas), Rhodophyta (reino Plantae, algas rojas) y Chlorophyta (reino Plantae (algas verdes y plantas terrestres); la otra rama va hacia los reinos Fungi (hongos) y Animalia (animales). La distancia y largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos. (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)

Actualmente en la región de Atacama, el Phylum Tracheophyta incluye a las plantas vasculares sin semilla (como los helechos, División Pteridophyta), a las plantas vasculares con semilla (como los pingo-pingo, División Pinophyta) y a las plantas vasculares con flores (División Magnoliophyta). Según el catálogo de plantas vasculares de Chile (Rodríguez et al. 2018, IEB et al. 2022), en la región de Atacama se reconocen 1.161 taxa de plantas vasculares nativas, este número incluye a especies y categorías sub específicas como subespecies, variedades y formas.

División Pteridophyta (helechos y colas de caballo)

Este grupo apareció hace cerca de 400 millones de años atrás, durante el Devónico inferior, ocupando pantanos superficiales, y se expandieron durante el Devónico superior (380 Ma) y el Carbonífero (359 a 300 Ma). Estas plantas se caracterizan por poseer frondas (un tipo de hoja) y rizomas y raíces absorbentes. A diferencia de las briófitas, el esporofito de los helechos (i.e., planta productora de esporas) es una planta conspicua y completamente independiente del gametofito. El gametofito (i.e., planta productora de gametos) es una planta mucho más pequeña que el esporofito, también realiza fotosíntesis y puede sobrevivir con seguridad sin el esporofito. En el gametofito se desarrollan las estructuras reproductivas: el arquegonio con la ovocélula en su interior y los anteridios que producen los espermatozoides. Para alcanzar la ovocélula, los espermatozoides son liberados al ambiente, pero requieren de agua para nadar. El cigoto se desarrolla en un embrión dependiente del gametofito para originar un esporofito maduro, característica común a todas las Embriofitas.

En la región de Atacama se reconocen once taxa nativos de Pteridophyta, todas de la Clase Polypodiopsida. Destacan representantes del Orden Equisetales con el *Equisetum bogotense* (yerba de la plata), del Orden Marsileales con la hierba acuática *Azolla filiculoides* (luchecillo) y el Orden Polypodiales con el *Adiantum chilense* (palito negro, culantrillo) y el *Cheilanthes mollis* (doradilla). En esta región no hay representante de la Clase Lycopodiopsida (licopodios) que sí están presentes en humedales del sur de Chile.



Adiantum chilense (palito negro, culantrillo)



Cheilanthes mollis (doradilla)

División Pinophyta (plantas con semillas)

El siguiente salto evolutivo corresponde a las plantas con semillas. Los gametofitos se reducen y se tornan completamente dependientes del esporofito, es decir, obtienen sus recursos de los esporofitos maduros. El microgametofito (i.e., planta productora de los gametos pequeños o masculinos, también conocidos como grano de polen), son producidos en los microesporangios del esporofito y se dispersa usualmente por el viento. Esta innovación hizo que ya no se requiera agua para la fecundación. Los microgametofitos (i.e., grano de polen) alcanzan al megagametofito que se encuentra dentro del megasporangio del esporofito, lugar donde germina el tubo polínico y una de sus células funciona como microgameto o célula espermática. El cigoto se desarrolla dentro del megasporangio hasta que es liberado. Como ven, la semilla contiene en su interior al nuevo esporofito diploide, rodeada por la cubierta seminal conformada de restos del megagametofito aploide y del integumento diploide del esporofito. Esta innovación evolutiva, la semilla, facilitó la capacidad de dispersión y de sobrevivencia por periodos prolongados sin agua y puede sobrevivir grandes cambios de temperatura.

En la región de Atacama sólo se reconocen 4 especies nativas de la División Pinophyta, todas de la Clase Gnetopsida, familia Ephedraceae. Estos Pingo-pingo, corresponden a las *Ephedra americana, E. chilensis, E. gracilis* y *E. multiflora*.



Ephedra gracilis (pingo-pingo), planta hembra

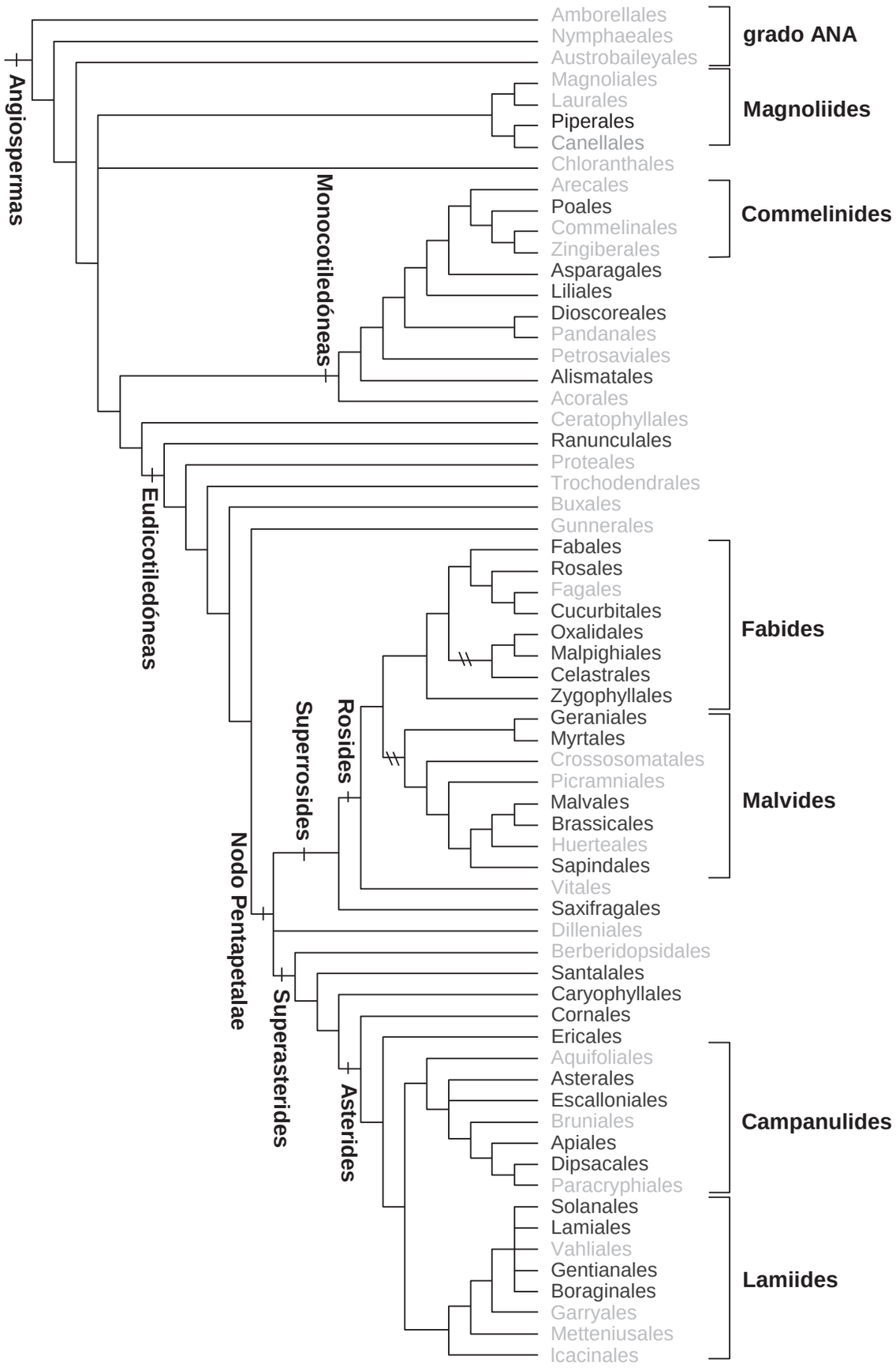


Ephedra gracilis (pingo-pingo), planta macho

En Atacama actualmente no hay representantes nativos de la Clase Pinopsida, como las araucarias y los alerces del sur de Chile. Sin embargo, Charles Darwin en su paso por el interior de Copiapó en 1835 describió un bosque petrificado (“maderas petrificadas”, incluyendo un tronco cilíndrico de 2,4 metros de largo) que recientemente los paleontólogos Philippe Moisan y Teresa Torres confirmaron como parientes de las araucarias, con una data de 200 millones de años (entre el Triásico y el Jurásico). Estos fósiles pertenecen a la Formación La Ternera del Triásico Superior (ca. 210 millones de años atrás), en lo que era el continente Godwana (Ver Capítulo 3 y Recuadro 3.1).

División Magnoliophyta (plantas con flores)

Las plantas con flores son actualmente las plantas dominantes en la mayoría de los ecosistemas terrestres. Comenzaron su expansión a comienzos del Cretácico temprano (ca. 135 millones de años atrás), aunque nueva evidencia fósil, todavía en discusión, indica su origen al menos en el Jurásico medio (ca. 170 millones de años).



Árbol filogenético de los Órdenes de Angiospermas donde se destacan aquellos presentes en Atacama (más oscuros). Figura basada en Árbol de consenso generado por el grupo de especialistas de la Filogenia de las Angiospermas (APG IV, 2016).

Tradicionalmente la División Magnoliophyta (o Angiospermas) se ha dividido en Monocotiledóneas (Clase Liliopsida) y Dicotiledóneas (Clase Magnoliopsida). Sin embargo, hoy sabemos que las dicotiledóneas no son un grupo monofilético. En la base de las Angiospermas se encuentra un complejo denominado "grado ANA" (de las iniciales de los Órdenes Amborellales, Nymphaeales y Austobaileyales). Se infiere que estos linajes se separaron en una etapa temprana de la línea principal de evolución de las angiospermas, y antes de la divergencia de los tres grupos principales de angiospermas: Magnoliides *sensu stricto*, Monocotiledóneas y Eudicotiledóneas (Friis et al. 2006, APG IV 2016).

Hubo aparición simultánea de diversos grupos de plantas con flores, que incluyen innovaciones en la protección de los óvulos (megagamentangios) dentro de carpelos (i.e., hojas o ramas aplanada que envuelven a los óvulos) y en la producción de los microgametofitos (granos de polen) desde los estambres (i.e., hojas modificadas que contienen a los esporangios dentro de los sacos polínicos), y más tardíamente, durante el Cretácico Medio (ca. 100 Ma), la diferenciación de verticilos infértiles (pétalos y sépalos) orientados a la protección y atracción de polinizadores, sumado al desarrollo de nectarios asociados a recompensa para los polinizadores.

De las angiospermas basales "grado ANA" no hay representantes en la región de Atacama. Del resto de Angiospermas, en la región de Atacama se reconoce la presencia de 1.146 taxa nativos y 151 introducidos.

Magnoliides *sensu stricto*

En Chile este grupo incluye los Órdenes Canellanes (donde está el canelo, *Drimys winteri* de la familia Winteraceae), Laurales (donde esta el boldo, *Peumus boldus* de las Monimiaceae) y Piperales. En la región de Atacama sólo están presentes 3 especies del Orden Piperales, destacamos a las orejas de zorro de la familia Aristolochiaceae: *Aristolochia chilensis* y *A.pearcei*.



Aristolochia chilensis (oreja de zorro)



Aristolochia pearcei (oreja de zorro)

Clase Liliopsida (Monocotiledóneas)

En la región de Atacama están 173 taxa nativos de monocotiledóneas y 35 taxa introducidos, especies distribuídas dentro de los Órdenes Alismatales, Dioscoreales, Liliales, Asparagales y Poales.

Entre los grupos más basales de monocotiledóneas, el Orden Alismatales en la región de Atacama está representado por 9 taxa distribuidos en 4 familias: Juncaginaceae, Potamogetonaceae, Ruppiaceae y Zosteraceae. Destacamos el pasto marino *Zostera chilensis* de la familia Zosteraceae con una población en Bahía Chascos, donde crece entre los 0 y 3 m de profundidad. Aunque este es el taxón aceptado en la actualidad, podría modificarse a *Heterozostera nigricaulis*, teniendo en consideración el estudio genético realizado por Coyer et al. (2013).



Foto: Mario Edding



Población de *Zostera chilensis* (pasto marino)



Dioscorea fastigiata

Una segunda rama de monocotiledóneas en Atacama está representada por el Orden Dioscoreales, con 3 especies de hierbas trepadoras del género Dioscorea, entre ellas la *Dioscorea fastigiata*, especie endémica de Atacama y sus dos regiones vecinas.

El Orden Liliales en la región de Atacama está representada por la familia Alstroemeriaceae, con 18 taxa, entre ellos especies de los géneros *Alstroemeria* y *Leontochir* (Ver Recuadro 7.2).

El Orden Poales quizás es el más característico de los monocotiledóneas. En la región de Atacama se han registrado 114 taxa nativos y 15 introducidos. En la base de las Poales se encuentra la familia Bromeliaceae, con 5 especies nativas, incluyendo el Chagual del Jote *Deuterocohnia chrysantha* y los claveles del aire *Tillandsia landbeckii* y *T. geissei*.





Deuterocohnia chrysantha (chagual del jote)



Tillandsia landbeckii (clavel del aire)

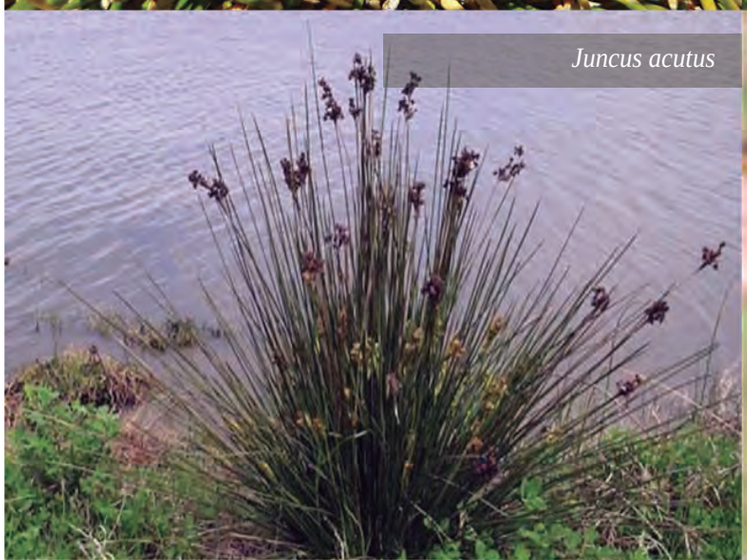


Tillandsia geissei (clavel del aire)

En posiciones intermedias del Orden Poales, en Atacama se encuentran 10 taxa de la familia Juncaceae y 34 taxa de Cyperaceae. Entre las Juncáceas, la mayoría son características de las vegas andinas, destacamos al cojín pinchudo *Oxychloë andina* y el cojín suave *Patosia clandestina* y el humedales costeros al *Juncus acutus*. Entre las Ciperáceas destacamos a *Carex gayana*, *Eleocharis pseudoalbibracteata* y *Schoenoplectus californicus*. Finalmente, la familia Poaceae o de las gramíneas, con 80 taxa nativos en la región de Atacama, representa al grupo más diverso. Destacamos a la cola de zorro (*Cortaderia speciosa*), *Bromus berteroanus*, *Deschampsia caespitosa*, *Deyeuxia velutina* y la *Pappostipa chrysophylla*.


Oxychloë andina


Patosia clandestina


Juncus acutus


Schoenoplectus californicus


Cortaderia speciosa


Pappostipa chrysophylla

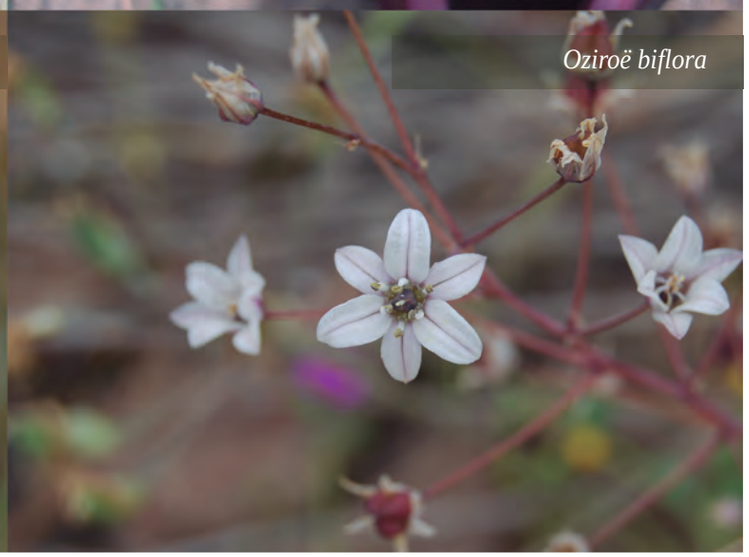
El Orden Asparagales, ubicada en una rama divergente del Orden Poales, en Atacama está representada por seis familias: Amaryllidaceae (11 taxa), Tecophilaeaceae (3 taxa), Iridaceae (10 taxa), y con una especie las familias Asphodelaceae, Asparagaceae y Orchidaceae. En la familia Amaryllidaceae destacamos a los característicos cebollines del desierto florido *Leucocoryne apendiculata*, *L. angustipetala* y *L. coronata*, y a la añañuca amarilla *Zephyranthes bagnoldii* (ver más añañucas en Recuadro 7.3). Además, a *Zephyra elegans* de Tecophilaeaceae, a *Olsynium junceum*, *Sisyrinchium graminifolium* y *Tigridia philippiana* de Iridaceae, a *Pasithea caerulea* de Asphodelaceae, y la lágrima de la virgen *Oziroë biflora* de Asparagaceae, y a *Habenaria pumila* como única representante de la familia Orchidaceae.











Eudicotiledóneas

En la base de las Eudicotiledóneas se separa el Orden Ranunculales, que en la región de Atacama está representado por especies de las familias Papaveraceae y Ranunculaceae, con un total de 7 taxa nativos y 4 introducidos. Destacamos a las Papaveraceae a *Argemone crassifolia* (endémica de Atacama), *A. rosea* (endémica de Atacama y Coquimbo) y *Argemone subfusiformis* (cardo blanco) y de la familia Ranunculaceae al ranúnculo nativo de Chile *Halerpestes cymbalaria*. Otra familia de este Orden es Berberidaceae, pero no registrada actualmente en Atacama.





Varias ramas menores diversifican luego del Orden Ranunculales, entre ellas, las del Orden Proteales, que incluye al Notro (*Embothrium coccineum*) de la familia Proteaceae, arbolito típico del Maule a Magallanes; o las del Orden Gunnerales que incluye a la Nalca o Pangue (*Gunnera tinctoria*), ninguna de ellas presentes actualmente en Atacama.

Nodo Pentapetalae (5 pétalos). Una ramificación importante de las Eudicotiledóneas ocurre más adelante, conocida actualmente como el nodo Pentapetalae, que separa las Superrosides de las Superasterides.

Superrosides. Dentro de las Superrosides, una primera rama tiene en su base a los Órdenes Saxigragales con 4 taxa nativos en la región Atacama de las familias Crassulaceae y Haloragaceae y luego al Orden Vitales, donde está la vid (*Vitis vinifera*), pero sin especies nativas en Atacama. La siguiente diversificación de esta rama está en el nodo de las Rosides, por un lado, a la Rosides-Malvides y, por otro a las Rosides-Fabides.

La otra rama que deriva del nodo Pentapetalae representadas en la región de Atacama incluye a los Órdenes Santalaceas y Cariophyllales y el grupo de las Asterides (ver más abajo).

Rosides-Malvides. Una primera diversificación de este grupo incluye a los Órdenes Geraniales (familias Francoaceae y Geraniaceae) y Myrtales (familias Onagraceae y Lithraceae), seguidas por las ramas de los Órdenes Sapindales (familias Anacardiaceae y Sapindaceae), Brassicales (familias Brassicaceae, Caricaceae, Cleomaceae y Tropaeolaceae) y terminal en esta rama es el Orden Malvales (Malvaceae).

El Orden Geraniales en Atacama posee 4 taxa nativos y tres introducidos (los tres alfilerillos del género Erodium). Entre las nativas destacamos al Amancai (*Balbisia peduncularis*) de la familia Francoaceae y al Oreganillo (*Viviania marifolia*) de la familia Geraniaceae.

Para el Orden Myrtales en Atacama están registrados 14 taxa nativos y uno introducido, destacamos de la familia Onagraceae al Palo blanco (*Fuchsia lycioides*) y la hierba *Oenothera coquimbensis*.

En el Orden Sapindales, con 5 especies para Atacama, destacamos de la familia Anacardiaceae al Pimiento (*Schinus areira*) y de la familia Sapindaceae al Rumpiato (*Bridgesia incisifolia*) y la Atutema (*Llagunoa glandulosa*).






Schinus areira (pimiento)


Bridgesia incisifolia (rumpiato)


Llagunoa glandulosa (atutema)

Del Orden Brassicales en la región de Atacama hay 57 especies nativas y 14 introducidas. En la base de Brassicales se encuentran las familias Caricaceae representada por el Palo gordo (*Carica chilensis*) y Tropaeolaceae como los soldaditos *Tropaeolum azureum*, *T. kingii* y *T. tricolor*, seguida por la familia Cleomaceae con una sola especie en Atacama, la Flor de la Abeja (*Cleome chilensis*).

La familia más diversa del Orden Sapindales es Brassicaceae, con 52 taxa nativos y 12 introducidos representados en Atacama, entre ellos la *Menonvillea cuneata*, *M. minima* y *Schizopetalon maritimum*.

Por último, el Orden Malvales en la región de Atacama está representado por 33 taxa nativos y 7 introducidos, todos de la familia Malvaceae. Se destacan a las especies de malvillas del género *Cristaria*, como la *Cristaria andicola*, *C. aspera* y *C. molinae*, y la *Sphaeralcea obtusiloba*.


Carica chilensis (palo gordo)


Cleome chilensis (flor de la abeja)



Tropaeolum azureum (pajarito azul)



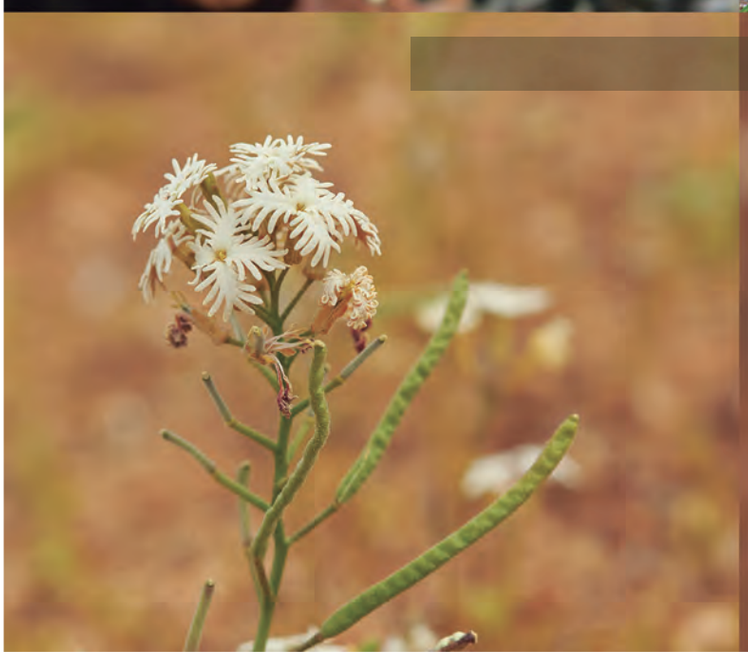
Tropaeolum tricolor (soldadito)



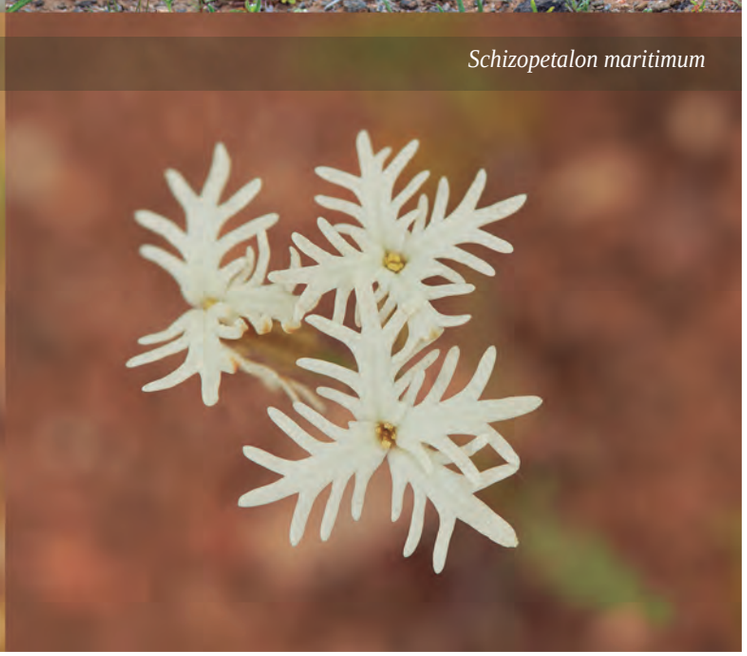
Menonvillea cuneata



Menonvillea minima



Schizopetalon maritimum




Cristaria andicola


Cristaria aspera


Cristaria molinae


Sphaeralcea obtusiloba

Rosides-Fabides. En la región de Atacama, este grupo incluye en la base al Orden Zygophyllales (familias Krameriaceae y Zygophyllaceae); en una segunda ramificación a los Órdenes Celastrales (familia Celastraceae), Oxalidales (familia Oxalidaceae) y Malpighiales (familias Euphorbiaceae, Linaceae, Malpighiaceae, Passifloraceae, Rafflesiaceae, Salicaceae y Violaceae); en una tercera línea evolutiva incluye a los Órdenes Cucurbitales (familia Cucurbitaceae) y Rosales (familias Rhamnaceae, Rosaceae y Urticaceae); y termina con el Orden Fabales (Fabaceae y Polygalaceae).

En Atacama el Orden Zygophyllales posee 7 taxa nativos y uno introducido. Entre las especies endémicas de Chile destacan el Pacúl (*Krameria cistoidea*) de la familia Krameriaceae y en la familia Zygophyllaceae a la retama (*Bulnesia chilensis*) endémica de Atacama y Coquimbo, y la *Pintoa chilensis*, endémica de Atacama.




Krameria cistoidea


Bulnesia chilensis


Pintoa chilensis

El Orden Oxalidales está representado en Atacama por 23 especies nativas de la familia Oxalidaceae, donde se destaca al *Oxalis gigantea* (Vinagrillo gigante) y al *O. megalorrhiza*.

El Órden Celastrales está representado en Atacama solo por una especie, el Maitén (*Maytenus boaria* de la familia Celastraceae) a quien ocasionalmente se le encuentra en la cuenca del río Huasco.

El Orden Malpighiales termina la rama precedida por los Órdenes Celastrales y Oxalidales. En Atacama se reconocen 54 especies nativas y 6 introducidas. Entre ellas destacamos a algunas especies de las tres familias con mayor cantidad de especies: al Lechero (*Euphorbia lactiflua*) y la *Euphorbia copiapina* de la familia Euphorbiaceae, el Piojillo (*Malesherbia humilis*) y el Farolito (*Malesherbia lanceolata*) de las Passifloraceae, y a las Violetas o Escarapelas de la familia Violaceae (ver Recuadro 7.4).


Oxalis gigantea


Oxalis megalorrhiza


Euphorbia copiapina


Euphorbia lactiflua (Lechero)


Malesherbia humilis


Malesherbia lanceolata


Tetraglochin alatum (puntete)


Acaena magellanica (amor seco)

El Orden Rosales en Atacama tiene 7 taxa nativos y uno introducido. Incluye al Chacay (*Ochetophila trinervis*) de la familia Rhamnaceae, el Puntete (*Tetraglochin alatum*) y el Amor seco (*Acaena magellanica*) de las Rosaceae y, la ortiga molle (*Urtica gracilis* subsp. *mollis*) de las Urticaceae.

Representando al Orden Cucurbitales, en Atacama se encuentra al Calabacillo (*Sicyos baderoa* de la familia Cucurbitaceae), una hierba anual características de los años lluviosos que trepa sobre arbustos en el desierto costero. A la familia Cucurbitaceae también pertenecen importantes plantas cultivadas, como el Zapallo (*Cucurbita maxima*) y la Sandía (*Cucumis melo*).


Sicyos baderoa

Al final de la línea evolutiva de las Rosides-Fabides se encuentra el Orden Fabales, representada en Atacama por las familias Fabaceae (88 taxa nativos y 8 introducidos) y Polygalaceae (2 especies nativas). En Fabaceae destacan el diverso grupo del género *Adesmia*, como la Varilla brava (*Adesmia hystrix*), Varilla mansa (*A. argentea*) y el Cuerno de cabra (*A. subterranea*), el Chañar (*Geoffroea decorticans*), la Algarrobilla (*Balsamocarpon brevifolium*), el Espino rojo (*Calliandra chilensis*) y el Algarrobo (*Neltuma chilensis* ex *Prosopis chilensis*, siguiendo a Hughes et al. 2022).



Superasterides. La segunda rama que deriva del nodo Pentapetalae corresponde a las Superasterides. De esta rama, en la región de Atacama están presentes especies de los órdenes basales Santalales (familias Loranthaceae y Schoepfiaceae) y Caryophyllales, y luego se diversifica en el grupo de las Asterides.

El Orden Santalales en la región de Atacama incluye una especie de la familia Schoepfiaceae, el Quinchamalí (*Quinchamalium chilense*) y tres especies de Quintral de la familia Loranthaceae, entre el Quintral (*Tristerix verticillatus*) y el Quintral del quisco (*Tristerix aphyllus*), este último sin hojas.


Quinchamalium chilense


Tristerix verticillatus




Tristerix aphyllus

El Orden Caryophyllales en Atacama está representado por 161 taxa nativos y 26 introducidos, distribuidos en 12 familias (Aizoaceae, Amaranthaceae, Cactaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Frankeniaceae, Montiaceae, Nyctaginaceae, Phytolaccaceae, Plumbaginaceae, Polygonaceae, Portulacaceae).

En una rama basal del Orden Caryophyllales se encuentran en Atacama las familias Frankeniaceae representada por la *Frankenia chilensis*, Polygonaceae con *Chorizanthe frankenioides* y Plumbaginaceae con *Bakerolimon plumosum* y *Plumbago caerulea*.


Frankenia chilensis


Chorizanthe frankenioides


Bakerolimon plumosum


Plumbago caerulea

Una segunda rama incluye a las Cactaceae, una de las familias más características de las zonas áridas y particularmente relevantes en la región de Atacama, con los géneros *Copiapoa* y *Neoporteria* (ver Recuadro 7.5). En la misma rama que Cactaceae, se destacan a la *Tetragonia maritima* (familia Aizoaceae), las Pata de guanaco *Cistanthe longiscapa*, *C. cachinalensis* y *C. coquimbensis* y *Montiopsis trifida* de la familia Montiaceae, además de *Mirabilis elegans* de Nyctaginaceae y *Anisomeria littoralis* de Phytolaccaceae.


Tetragonia maritima


Cistanthe longiscapa


Cistanthe cachinalensis


Montiopsis trifida


Mirabilis elegans


Anisomeria littoralis

La siguiente rama de las Caryophyllales incluye a las familias Amaranthaceae (e.g., Alternanthera porrigens) y Chenopodiaceae, con especies como los Cachiyuyo (Atriplex atacamensis y A. clivicola) y el Chenopodium petiolare.

La rama terminal del orden Caryophyllales corresponde a la familia Caryophyllaceae, con 18 taxa nativos y 3 introducidos en Atacama. Entre las especies nativas destacamos a *Arenaria rivularis*, *Colobanthus quitensis* y *Spergularia arbuscula.*


Alternanthera porrigens


Atriplex clivicola


Chenopodium petiolare


Spergularia arbuscula

Asterides. Tal como indicamos más arriba, en la segunda rama que deriva del nodo Pentapetalae y luego de la divergencia de los Órdenes Santalaceas y Caryophyllales, se encuentra el grupo de las Asterides. Este complejo tiene al menos 6 grandes radiaciones, siendo la más basal el Orden Cornales.

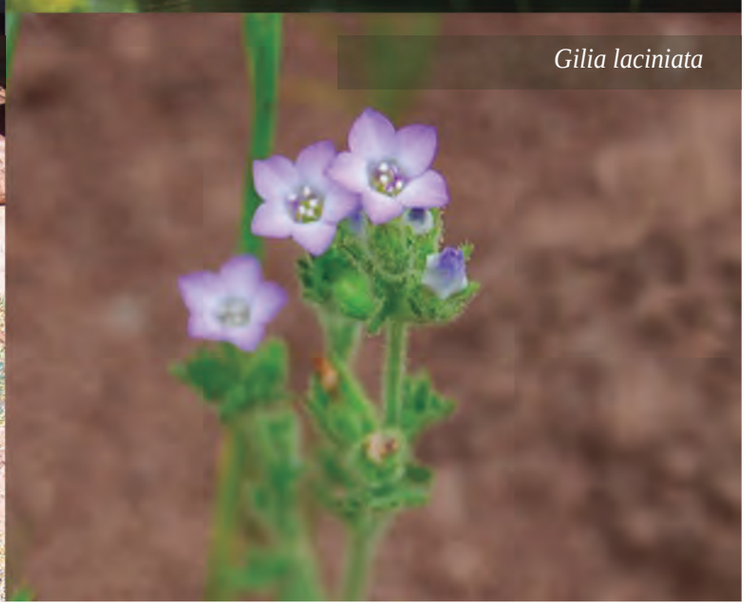
En la región de Atacama, el Orden Cornales está representada sólo por 18 taxa de la familia Loasaceae, destacamos a *Loasa elongata*, *L. chrysantha* (una nueva especies endémica de la región de Atacama (Santilli et al. 2022)), y a la ortiguilla (*Caiophora coronata*), con su gran flor blanca.

El Orden Ericales, la segunda radiación de las Asterides, en Atacama estaría representada por tres familias (Polemoniaceae, Primulaceae y Sapotaceae) que contienen 7 taxa nativos y 2 introducidos. Destacamos al Comino del campo (*Gilia laciniata*).


Loasa elongata


Loasa chrysantha


Caiophora coronata


Gilia laciniata

Campanulides. La tercera radiación, que forma el grupo de las Campanulides, está representada en Atacama por el Orden Dipsacales (familia Caprifoliaceae) en la base, seguida por las ramas del Orden Apiales (familia Apiaceae), del Orden Escalloniales (familia Escalloniaceae) y rama terminal del Orden Asterales (familias Campanulaceae, Goodeniaceae, Calyceraceae y Asteraceae).

Del Orden Dipsacales en Atacama hay 8 especies nativas, todas del género *Valeriana* (Caprifoliaceae). Destacamos a la *Valeriana stricta* de la zona cordillerana.

En el Orden Apiales, todas en la familia Apiaceae (la del apio), en Atacama hay 34 taxa nativos y 3 introducidos. Destacamos a una de las Llaretas con crecimiento en forma de cojín (*Azorella madreporica*, *A. ruizii*), al arbusto *Gymnophyton flexuosum*, a la hierba perenne *Asteriscium chilense* y a la hierba anual *Asteriscium closii*.

El Orden Escalloniales está representado en Atacama sólo por la Ñipa o Berraco (*Escallonia angustifolia*), arbusto característico del borde de los cursos de agua permanente.


Azorella madreporica


Azorella ruizii


Gymnophyton flexuosum


Asteriscium closii

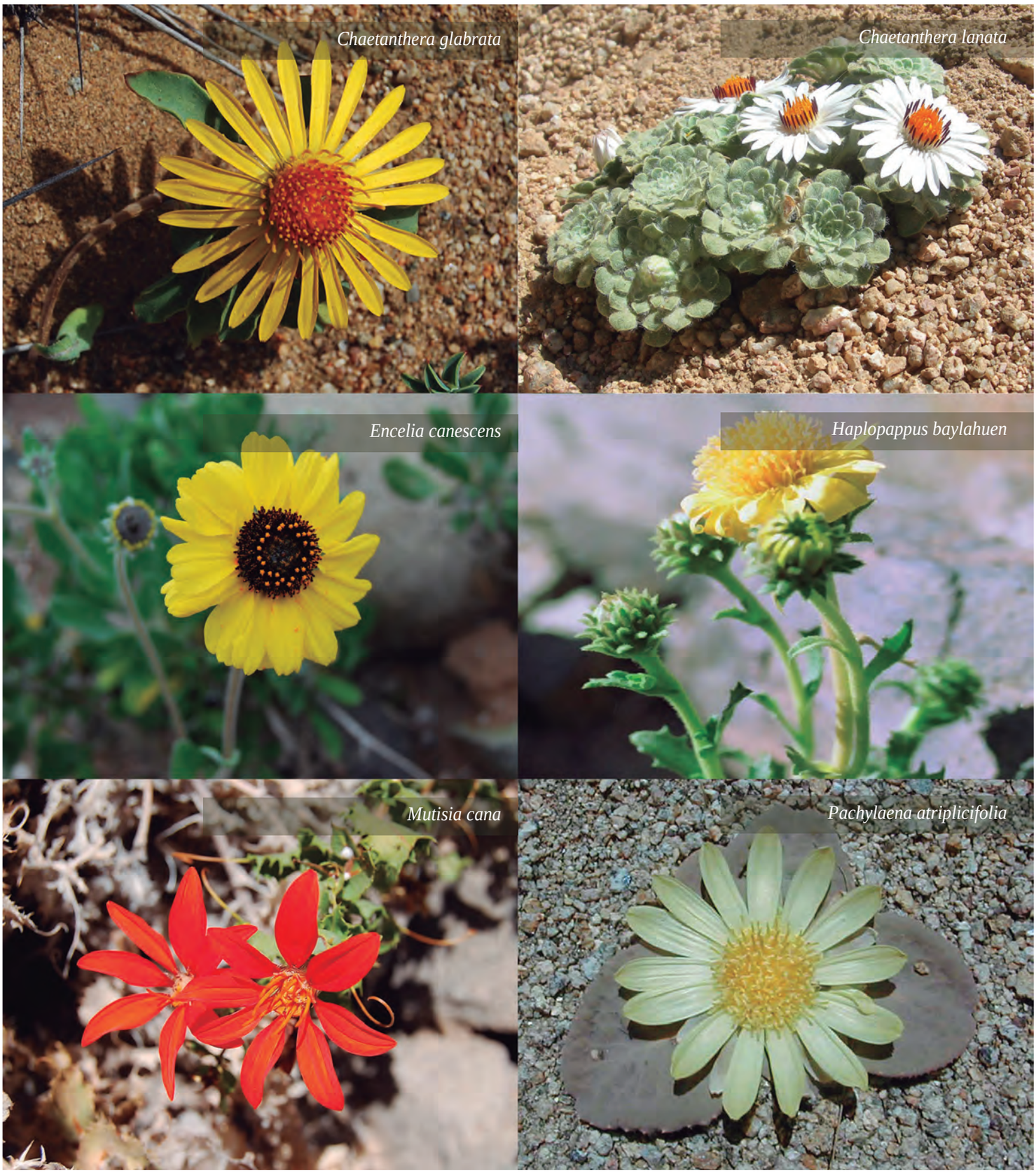
El Orden Asterales (familias Campanulaceae, Goodeniaceae, Calyceraceae y Asteraceae) es el más diverso de la región de Atacama, con 204 taxa nativos y 20 introducidos. Divergiendo desde la base de este Orden está la familia Campanulaceae, representada por la Tupa (*Lobelia polyphylla*), y en una rama intermedia está la familia Goodeniaceae, con *Selliera radicans* (Roseta de los pantanos).


Lobelia polyphylla



Selliera radicans

Sin embargo, la gran mayoría de los taxa están agrupados en la familia Asteraceae (216 taxa nativos y 20 introducidos). Entre las especies introducidas recientemente y claramente invasora en Atacama se encuentra a la Volutaria tubuliflora (Tellier et al. 2014). Entre las nativas destacamos a la China del campo (*Aldama revoluta*), las escarapelas *Chaetanthera glabrata* y *Ch. lanata*, la Flor del minero (*Centaurea chilensis*), la Corona de Fraile (*Encelia canescens*), al Bailahuen (*Haplopappus baylahuen*), la Granadilla (*Mutisia cana*), la Oreja de chancho (*Pachylaena atriplicifolia*), a Brea (*Tessaria absinthioides*) y dos representantes del diverso género Senecio: *Senecio oreophyton* (chachacoma) y *Senecio segethii*.











Lamiides. La cuarta y última radiación corresponde al grupo Lamiides, que incluye a una ramificación basal de los Órdenes Solanales (familias Convolvulaceae y Solanaceae) y Gentianales (Apocynaceae, Gentianaceae y Rubiaceae), y dos ramas terminales, con el Orden Boraginales (familias Boraginaceae y Heliotropiaceae) y el Orden Lamiales (Bignoniaceae, Calceolariaceae, Lamiaceae, Lentibulariaceae, Orobanchaceae, Phrymaceae, Plantaginaceae, Scrophulariaceae y Verbenaceae).

En Orden Solanales (familias Convolvulaceae y Solanaceae) tiene 99 taxa nativos y 5 introducidos en la región de Atacama. Entre ellos destacamos de la familia Convolvulaceae a la Correhuela (*Convolvulus chilensis*), una hierba trepadora, y a la hierba parásita Cabello de ángel (*Cuscuta purpurata*), mientras que la familia Solanaceae (la familia del tomate, la papa y el tabaco) destacamos al Pichi o Romero (*Fabiana imbricata*), al Coralillo (*Lycium leiostemum*), a la *Nicotiana solanifolia*, al *Solanum heterantherum* y la Mariposa blanca (*Schizanthus candidus*).







Fabiana imbricata



Lycium leiostemum



Nicotiana solanifolia



Solanum heterantherum





Schizanthus candidus

Mención aparte requiere el género *Nolana* quien posee su centro de endemismo en las regiones de Atacama y Antofagasta, con 32 taxa en Atacama, incluyendo especies características de la costa y desierto florido como las *Nolana rostrata*, *N crassulifolia* y los suspiros (*Nolana rupicola* y *N. elegans*).


Nolana rostrata


Nolana crassulifolia


Nolana rupicola


Nolana elegans

El Orden Gentianales (familias Apocynaceae, Gentianaceae y Rubiaceae) en Atacama posee 18 taxa nativos y uno introducido. Destacamos a la Rosita del campo (*Cruckshanksia pumila*) de la familia Rubiaceae y a la *Gentiana prostrata* y la *Gentianella coquimbensis* de las Gentianaceae.


Cruckshanksia pumila


Gentiana prostrata

En Atacama hay 53 taxa nativos y 3 introducidos dentro del Orden Boraginales. En la familia Boraginaceae destacamos al Carbonillo (*Cordia decandra*), el Té de burro (*Cryptantha gnaphalioides*) y la *Tiquilia atacamensis*, y de la familia Heliotropiaceae, los *Heliotropium pycnophyllum*, *H. sinuatum* y *H. floridum*.



Finalmente, el último clado de las Angiospermas por analizar corresponde al Orden Lamiales (Bignoniaceae, Calceolariaceae, Lamiaceae, Lentibulariaceae, Orobanchaceae, Phrymaceae, Plantaginaceae, Scrophulariaceae y Verbenaceae). En Atacama encontramos a 67 taxa nativos y 7 introducidos. Destacamos en la familia Bignoniaceae a la Flor del jote (*Argylia radiata*), a un Zapatito de la virgen (*Calceolaria paposana*) de las Calceolariaceae, la Hierba santa (*Stachys grandidentata*) y el Poleo de cordillera (*Kurzamra pulchella*) en las Lamiaceae o familia de las mentas, al *Erythranthe lutea* de las Phrymaceae, al Llantén (*Plantago hispidula*) de las Plantaginaceae, al Acerillo (*Buddleja suaveolens*) de las Scrophulariaceae y, por último a Hierba del incordio (*Glandularia sulphurea*) y la *Junellia origenes* (Rica-rica) y la *Junellia uniflora* de la familia Verbenaceae.


Argylia radiata


Calceolaria paposana

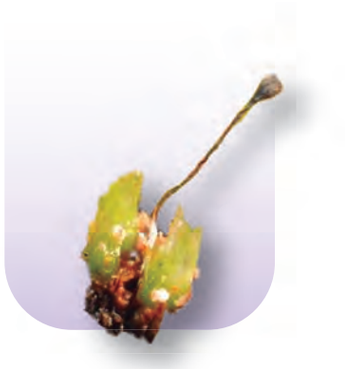

Stachys grandidentata


Kurzamra pulchella


Erythranthe lutea


Buddleja suaveolens

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 7.1:104-106

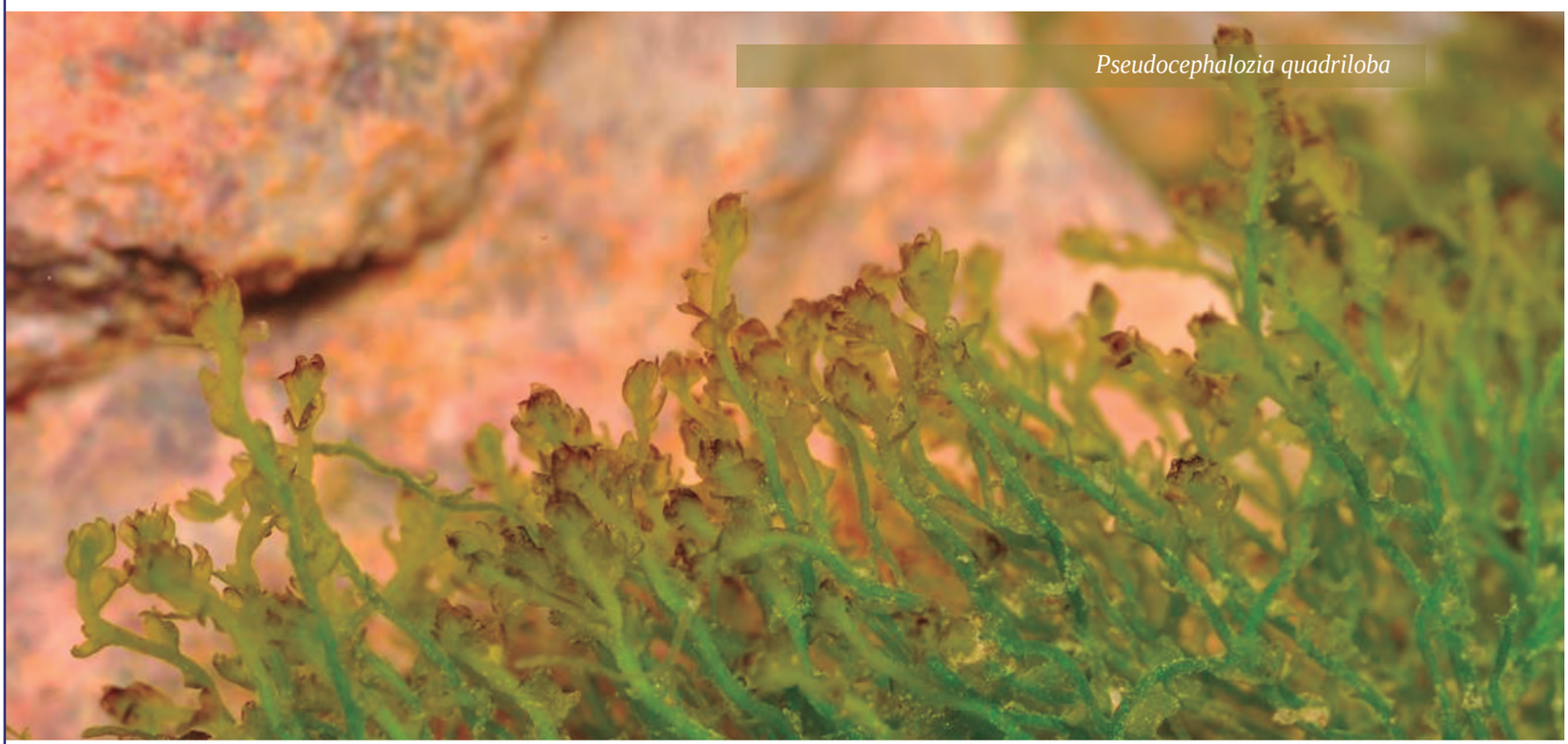


Recuadro 7.1 Briófitas presentes en la región de Atacama

Felipe Osorio, Roy Mackenzie & Antonia Astorga

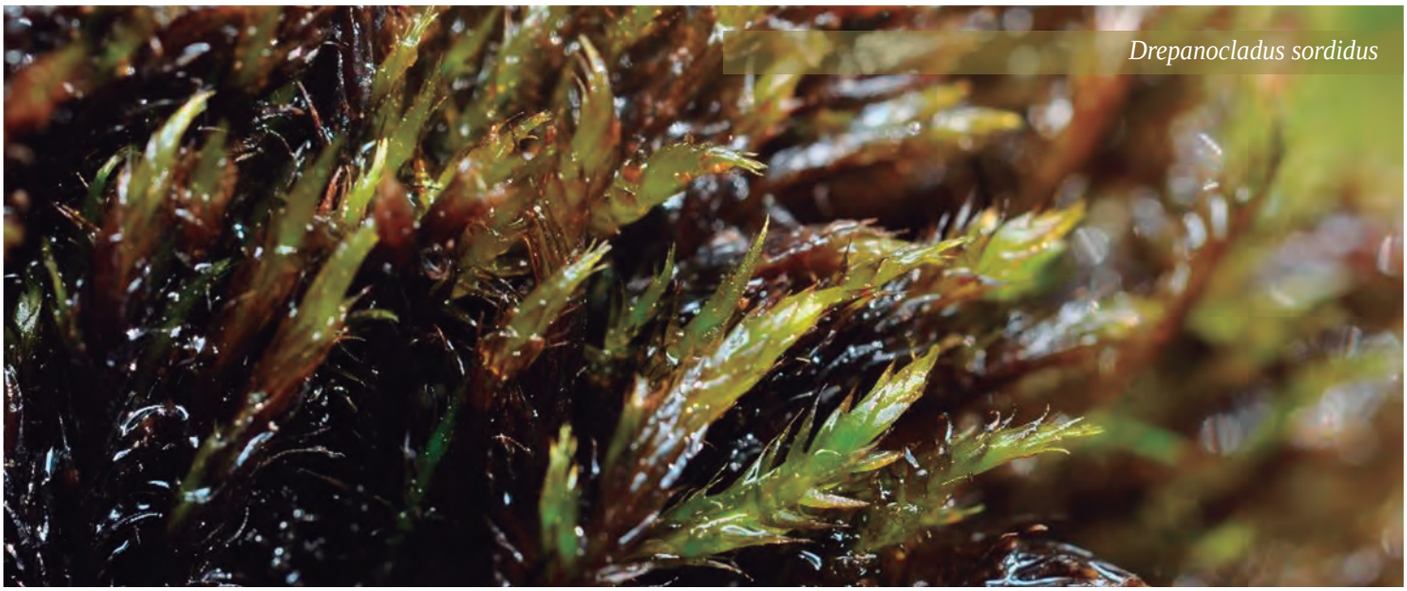
Las briófitas son un grupo diverso de plantas no vasculares, muy común en los ambientes de bosque templado, zonas subpolares y tundra de alta montaña en el mundo. Dentro de las briófitas se encuentran tres linajes: musgos (Bryopsida), hepáticas (Marchantiopsida) y antocerotes (Anthocerotophyta).

En Chile, las briófitas están principalmente concentradas en los bosques templados, los que se distribuyen desde el río Maule hasta Tierra del Fuego (35° S - 55° S). También son de las pocas plantas capaces de crecer en zonas frías extremas como los ambientes periglaciares y son dominantes en algunas regiones del continente Antártico y de la Antártica marítima (Bramley-Alves et al. 2014). Sin embargo, y lejos de lo que se puede pensar, el norte de Chile igualmente concentra una menor, pero no menos importante proporción de especies de briófitas. Los catálogos de briófitas presentes en Chile, describen cerca de 900 especies de musgos para nuestro territorio nacional (Müller 2009) y aproximadamente 550 hepáticas y 15 antocerotes (Hässel de Menéndez & Rubies 2009).



Pseudocephalozia quadriloba

La región de Atacama se caracteriza por presentar ecosistemas de clima semiárido y por la presencia de desiertos lo que los hace poco probables en encontrar presencia de especies de briófitas. Sin embargo, y contrario a lo que se piensa, a pesar de que presentan amplias zonas desérticas y, a que los esfuerzos de colectas están más enfocados en ecosistemas del centro sur de Chile, es posible encontrar especies de briófitas en la región de Atacama. Müller (2009) precisa 12 especies de musgos y Hässel de Menéndez & Rubies (2009) ninguna especie de hepática y antocerotes. Sin embargo, Larraín et al. (2016) reporta una población de la hepática *Frullania weberbaueri* en el Parque Nacional Pan de Azúcar (el cual abarca territorio costero del norte de la región de Atacama y del sur de la región de Antofagasta), siendo el primer registro de una hepática para los desiertos costeros del norte de Chile, previamente conocida sólo para su localidad tipo en Lima, Perú. Esta nueva población fue encontrada en la sección del Parque Nacional perteneciente a la región de Antofagasta, por lo que no se descarta su presencia en la sección del Parque perteneciente a la región de Atacama.



Drepanocladus sordidus

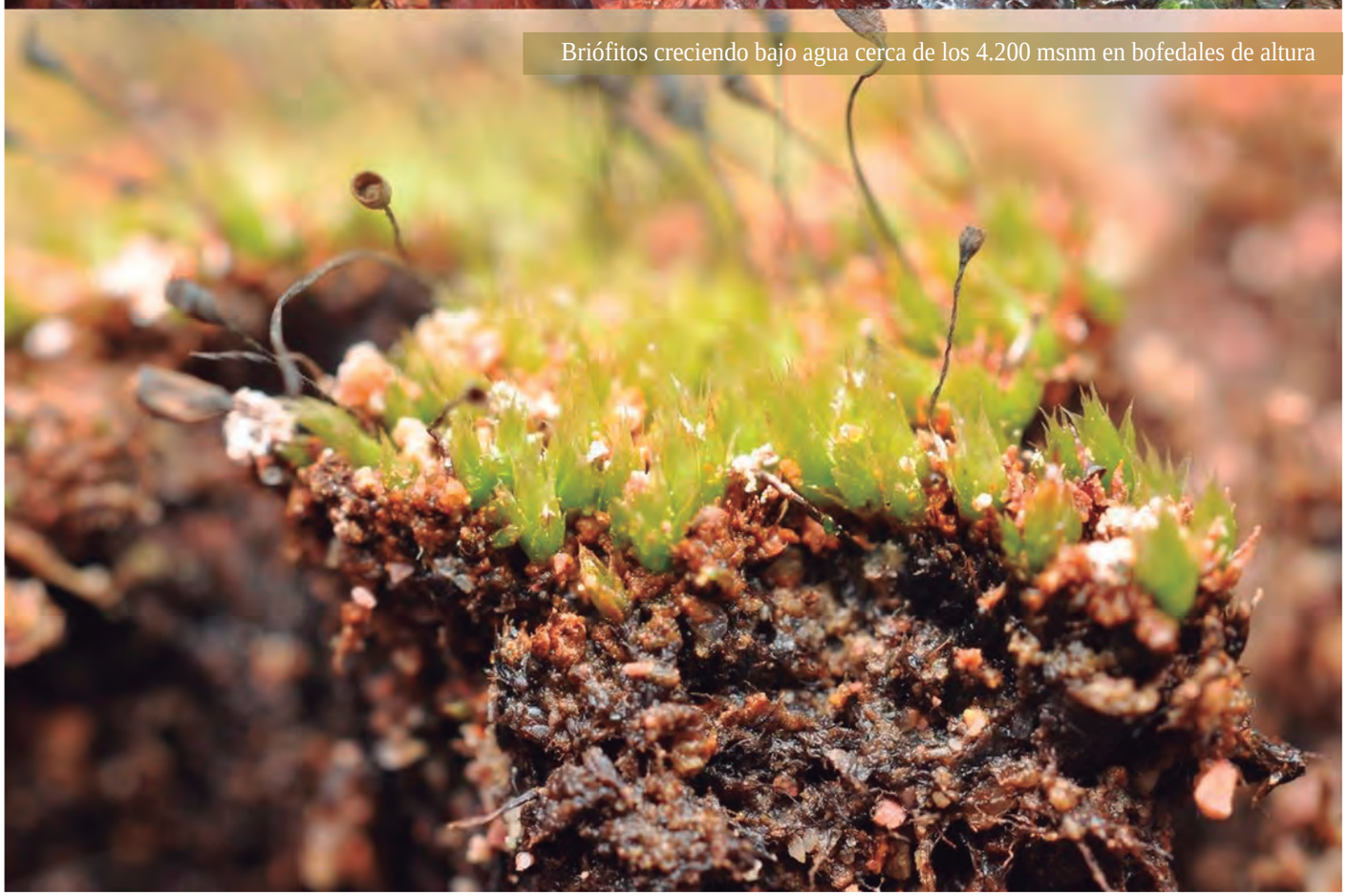
Por otro lado, Gradstein et al. (2018) reportan por primera vez para Chile a la especie de hepática *Gymnocoleopsis cylindriformis* cuya presencia sería la más austral y de menor altitud para esta especie en el continente sudamericano, previamente conocida para México y los Andes desde Venezuela al norte de Bolivia y al este de África. Además, Gradstein & Osorio (2018) reportan por primera vez para la región de Atacama a la especie de hepática *Pseudocephalozia quadriloba* cuya distribución es la más disyunta del género. Las poblaciones de esta especie se encuentran desde Tierra del Fuego (región de Magallanes) hasta el sur de Valdivia (región de Los Ríos) y en los Andes desde Perú a Venezuela; Costa Rica y Tristán de Cunha. Ambas especies de hepáticas (*Gymnocoleopsis cylindriformis* y *Pseudocephalozia quadriloba*) fueron encontradas en bofedales de altura, dominados por la especie *Oxychloë andina*. Por último, Drapela et al. (2020), reportan la presencia de la especie de musgo *Leptodontium proliferum* en la localidad de Quebrada La Coipa, provincia de Copiapó. Este musgo presenta una distribución afroamericana (Los Andes de Colombia, Perú y Bolivia, montañas de México, Lesoto y Chile). En nuestro país solo había sido descrita su presencia para la Isla Mocha en la región del Biobío y el archipiélago del Cabo de Hornos, siendo esta nueva localidad la más al norte que se conoce en Chile.

Listado de especies de briófitas presentes en la región de Atacama

Clase	Orden	Familia	Especie
Phyllum Bryophyta			
Bryopsida	Bryales	Bryaceae	*Bryum pallescens* Schleich *ex* Schwägr
Bryopsida	Bryales	Mniaceae	*Pohlia wilsonii* (Mitt.) Ochyra
Bryopsida	Dicranales	Fissidentaceae	*Fissidens curvatus* Hornsch.
Bryopsida	Hypnales	Amblystegiaceae	*Campylium polygamum* (Schimp.) C.E.O. Jensen
Bryopsida	Hypnales	Amblystegiaceae	*Cratoneuron filicinum* (Hedw.) Spruce
Bryopsida	Hypnales	Amblystegiaceae	*Craton europsis relaxa* (Hook. F. & Wilson) M. Fleisch. *Ex* Broth. Subsp. *Minor* (Wilson & Hook.f.) Ochyra
Bryopsida	Hypnales	Amblystegiaceae	*Drepanocladus sordidus* (Müll. Hal.) Hedenäs
Bryopsida	Hypnales	Brachytheciaceae	*Rhynchostegium peruviense* (R.S. Williams) Ochyra
Bryopsida	Orthotrichales	Orthotrichaceae	*Orthotrichum johnstonii* E.B. Bartram
Bryopsida	Pottiales	Pottiaceae	*Aloina roseae* (R.S. Williams) Delgad.
Bryopsida	Pottiales	Pottiaceae	*Hennediella heimii* (Hedw.) R.H. Zander var. *Heimii*
Bryopsida	Pottiales	Pottiaceae	*Leptodontium proliferum* Herzog
Bryopsida	Pottiales	Pottiaceae	*Pseudocrossidium apiculatum* R.S. Williams
Phyllum Marchantiophyta			
Jungermanniopsida	Jungermanniales	Cephaloziellaceae	*Gymnocoleopsis cylindriformis* (Mitt) R. M. Schust
Jungermanniopsida	Jungermanniales	Lepidoziaceae	*Pseudocephalozia quadriloba* (Steph.) R. M. Schust.



Hennediella heimii



Briófitos creciendo bajo agua cerca de los 4.200 msnm en bofedales de altura

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 7:107-108



Recuadro 7.2 La región de Atacama, un micro-hotspot de Alstroemerias

Andrés Moreira-Muñoz & Mélica Muñoz-Schick

¿Cuántas especies de lirios del campo?

La región de Atacama es una de las que posee más especies de la familia Alstroemeriaceae en Chile. Son 11 las especies, a las que hay que agregar cuatro variedades y una subespecie. Y por cierto, tenemos que considerar dentro del grupo a una de las especies más emblemáticas de Atacama: la garra de león (*Leontochir ovallei*), considerada alternativamente dentro del género monoespecífico *Leontochir* o dentro del género más amplio, *Bomarea*. Es una especie endémica de la costa de Atacama, que habita desde el Parque Nacional Llanos de Challe hasta la quebrada de Totoral por el norte, es una de las especies más conspicuas y característica del desierto florido. Si su encuentro en años propicios es un deleite, imagínese el hecho de encontrar la variedad amarilla (*Leontochir ovallei* var. *luteus*, Muñoz-Schick 2000) o a sus formas intermedias.… ¡Eso sí es ya una fiesta botánica!



Garra de león (*Leontochir ovallei*)

Tanto la costa como el interior de la región de Atacama pasan por extensos períodos (varios años) en los que el paisaje expresa una aridez casi total, dándole total sentido a la palabra “desierto de Atacama”. Sin embargo, en ciertos años especiales, generalmente bajo la influencia del fenómeno El Niño, ocurre un hecho único y prácticamente increíble: el fenómeno del “desierto florido”. En esos períodos (cada 5 a 7 años), el desierto se viste de colores… desde el intenso violeta de las “patas de guanaco” (*Cistanthe longiscapa*) al amarillo intenso de las añañucas (*Zephyranthes bagnoldii*), y el blanco-celeste de las “celestinas” (*Zephyra elegans*), por nombrar sólo algunas.

El fenómeno del desierto florido no sólo destaca por la profusión de colores; el banco de semillas guarda para la época favorable una de la más alta diversidad de especies en el país. Es por ello que dentro del gran hotspot de diversidad de Chile mediterráneo, la costa de Atacama se considera como un micro-hotspot de diversidad. En relación con el endemismo, el matorral costero desde el sur de Antofagasta hasta el sur de Coquimbo, se considera como la unidad de vegetación más rica en especies endémicas, pues incluye más de 670 especies endémicas del país (Moreira-Muñoz 2014).

Entre las especies más conspicuas, que se encuentran a lo largo de toda la costa y el interior desde el sur de Iquique a Coquimbo, son los lirios del campo o Alstroemerias (Muñoz-Schick & Moreira-Muñoz 2003, Finot et al. 2018). También se cuenta con algunas especies de cordillera, pero ciertamente que la mayor diversidad se encuentra en la costa y las serranías centrales.

Alstroemeria violacea y *A. graminea* se distribuyen en la costa de Antofagasta y Atacama, y se pueden encontrar en las quebradas del Parque Nacional Pan de Azúcar.

La mayoría de las especies de Alstroemeria son compartidas con la región de Coquimbo y se distribuyen en la costa y los valles interiores. Es el caso de *A. schizanthoides*, *A. crispata*, *A. leporina*, *A. philippii*, *A. werdermannii*, *A. werdermannii* var. *flavicans* y *A. philippi* subsp. *adrianae*.

Dos taxones son de la cordillera: *A. andina* var. *andina* y *A. andina* var. *venustula*. Una sola especie, en su variedad típica, *A. diluta* var. *diluta*, se distribuye hasta la región del Maule (Muñoz-Schick & Moreira-Muñoz 2020). Son tres los taxones netamente endémicos de la región de Atacama: *A. philippii* var. *albicans*, *A. polyphylla* y *A. kingii*.


Alstroemeria philippii subsp. *adrianae*


Alstroemeria diluta


Alstroemeria philipii var. *philippii*


Alstroemeria schizanthoides


Alstroemeria andina


Alstroemeria kingii

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 7.3:109-110



Recuadro 7.3 Las añañucas de Atacama: emblemas del desierto florido

Nicolás García

Cuenta la leyenda que Añañuca era una bella joven indígena del Norte Chico de Chile que se habría enamorado apasionadamente de un joven gallardo y buen mozo, que luego desapareció repentinamente de su vida. A causa del sufrimiento y la pena que le causó la pérdida de su amado, Añañuca perdió las ganas de vivir y un día, finalmente, cayó muerta. En la primavera posterior a su muerte, el sitio donde yacía el cuerpo de Añañuca se habría cubierto por una densa capa de hermosas flores. Es por ello que la leyenda asegura que Añañuca se habría convertido en aquellas flores, como un gesto de pasión hacia su amado perdido y para así permanecer eternamente cerca de él.

Esta leyenda narra el origen del nombre común de una de las plantas más emblemáticas del desierto florido en las provincias de Huasco y Copiapó. Las añañucas son plantas de flores atractivas, que poseen un bulbo subterráneo, igual que sus parientes más conocidos, como la cebolla, el ajo, el cebollín y los narcisos. Las añañucas pertenecen a la tribu Hippeastreae, un grupo de monocotiledóneas neotropicales, distribuido entre el sur de Estados Unidos y el centro-sur de Chile. Las Hippeastreae han tenido una historia taxonómica complicada y controversial, por lo que recientemente se propuso un tratamiento a nivel de géneros basado en su historia evolutiva y variación morfológica (García et al. 2019, García & Meerow 2020), que busca zanjar disputas acerca de sus límites genéricos y lograr una mayor estabilidad nomenclatural en este grupo.



Paposoa laeta

En Atacama podemos encontrar cuatro especies distribuidas en dos géneros de Hippeastreae: *Zephyranthes* y *Paposoa*.

Las especies de estigma trífido pertenecen a *Zephyranthes* subgénero *Myostemma* y son las añañucas más características de la zona. Este grupo, que en Chile cuenta con alrededor de 15 especies, está representado por al menos tres especies en la región de Atacama. La añañuca amarilla es la más común y corresponde a *Zephyranthes bagnoldii*, una especie distribuida de manera más o menos continua entre las provincias de Limarí y Copiapó, con una población disyunta en la costa de Antofagasta. Esta es la especie más característica de las extensas praderas que surgen durante los eventos de desierto florido, donde además de las típicas formas de flores amarillas, varía desde formas de flores blancas a rosadas. Por otro lado, está *Z. phycelloides*, conocida como añañuca roja o de

fuego, distribuida por la costa entre las provincias de Choapa y Huasco. Además del color de las flores, esta especie se diferencia de *Z. bagnoldii* por sus flores de forma más tubular, mientras que la segunda tiene flores en forma de embudo amplio. Por último, está *Z. sarae*, que fue recientemente descrita en 2019 y se conoce sólo de la costa de las provincias de Huasco y Elqui. Esta última especie se diferencia de las otras dos por sus varas con típicamente 2 flores de color rosado uniforme y sus tépalos reflejos (Watson & Flores 2019).

El segundo grupo de Hippestreae presente en Atacama, corresponde a *Paposoa*, un género endémico de la costa del norte de Chile, que cuenta con una sola especie, *P. laeta*. Esta especie se conoce como añañuca rosada de Paposo, localidad en la costa de Antofagasta, donde ésta fue descrita originalmente. *Paposoa* es un linaje aislado dentro de la historia evolutiva de las Hippeastreae y es más cercano a otros grupos endémicos de Chile central, tales como *Traubia* y *Phycella*, que a *Zephyranthes*, del cual se diferencia por su estigma capitado. En la región de Atacama, *P. laeta* ha sido registrada hasta Obispito por el sur y en el Parque Nacional Pan de Azúcar, donde es protegida junto a una comunidad de plantas típicas de los oasis de neblina del desierto costero de Chile.

Pese a la ubicuidad y atractivo de las añañucas chilenas, este grupo de bellas plantas aún requiere de mayores estudios para dilucidar las relaciones evolutivas y límites de sus especies, en particular en *Zephyranthes* subg. *Myostemma*. Entonces, queden atentos, ¡es probable que las añañucas de Atacama aún guarden secretos por descubrir!


Zephyranthes phycelloides


Zephyranthes bagnoldii


Zephyranthes sarae

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 7.4:111-112



Recuadro 7.4 Violas de Atacama

Anita E. Flores y John M. Watson

El género *Viola* es bien conocido y apreciado debido a sus familiares y atractivas plantas de jardín y flores silvestres, las hermosas violetas y pensamientos. Evolucionó por primera vez hace unos treinta y dos millones de años en el extremo sur de América del Sur, lo que ahora es la Patagonia. En ese momento el continente estaba cubierto de árboles, todas las violas eran arbustivas y crecían en esos bosques y selvas. Luego, el clima cambió y se volvió más frío a medida que el aire se movía hacia el norte desde Antártida.

Con la aparición de la Cordillera de Los Andes, gran parte del oeste (Pacífico) de América del Sur perdió sus árboles y se convirtieron en laderas rocosas y desnudas. Este nuevo hábitat quedó disponible para la colonización de pequeñas plantas compactas, que podían soportar la nieve, los fuertes vientos y la brillante luz del verano. Las violas que habitaban estos lugares reaccionaron a esto haciéndose más pequeñas y compactas. La mejor forma física para soportar esto es la roseta, que sigue siendo su adaptación básica hasta ahora. Les ha dado su nombre común de violas rosuladas. En general las violas de Los Andes son postradas, mientras que las del Pacifico y el interior más o menos bajas tienen una forma más suelta, aunque hay algunas excepciones. Se han extendido desde su lugar de origen evolutivo en el sur hasta los alrededores del Cerro Cotopaxi en Ecuador. Hasta la fecha, se han descubierto y descrito para la ciencia 110 especies de estas violas rosuladas, y cada vez se encuentran más.

Con 53 especies, Chile tiene el número más grande de cualquier nación y éstas también muestran la mayor variación de formas y colores de flores. Esta incluye morado, violeta, rosado, azul pálido, blanco, amarillo, naranja y una sola roja. Algunas tienen una mezcla de dos de estos colores, incluyendo líneas o manchas de otro color más. Sin embargo, la garganta siempre es amarilla. Todas las regiones de Chile, excepto Magallanes, contienen estas especies



Viola escarapela fma. *escarapela*

rosuladas. Solo precedida por la región Metropolitana con 19 diferentes, en la región de Atacama se han descrito 13 especies hasta la fecha.

Dos de ellas habitan en la costa del Pacífico y algo más al interior. Ellas son muy comunes y extendidas, *Viola pusilla* y *V. polypoda*, son muy similares, ambas con pequeñas rosetas sueltas y flores amarillas, y solo pueden distinguirse por la pequeña cresta en la punta de sus estilos del centro de la corola.

Viola aurata, otra de flores amarillas, habita la precordillera hasta los 1100 m en las regiones de Atacama y Coquimbo. Se diferencia de las demás por tener pelos blancos en el envés de las hojas.

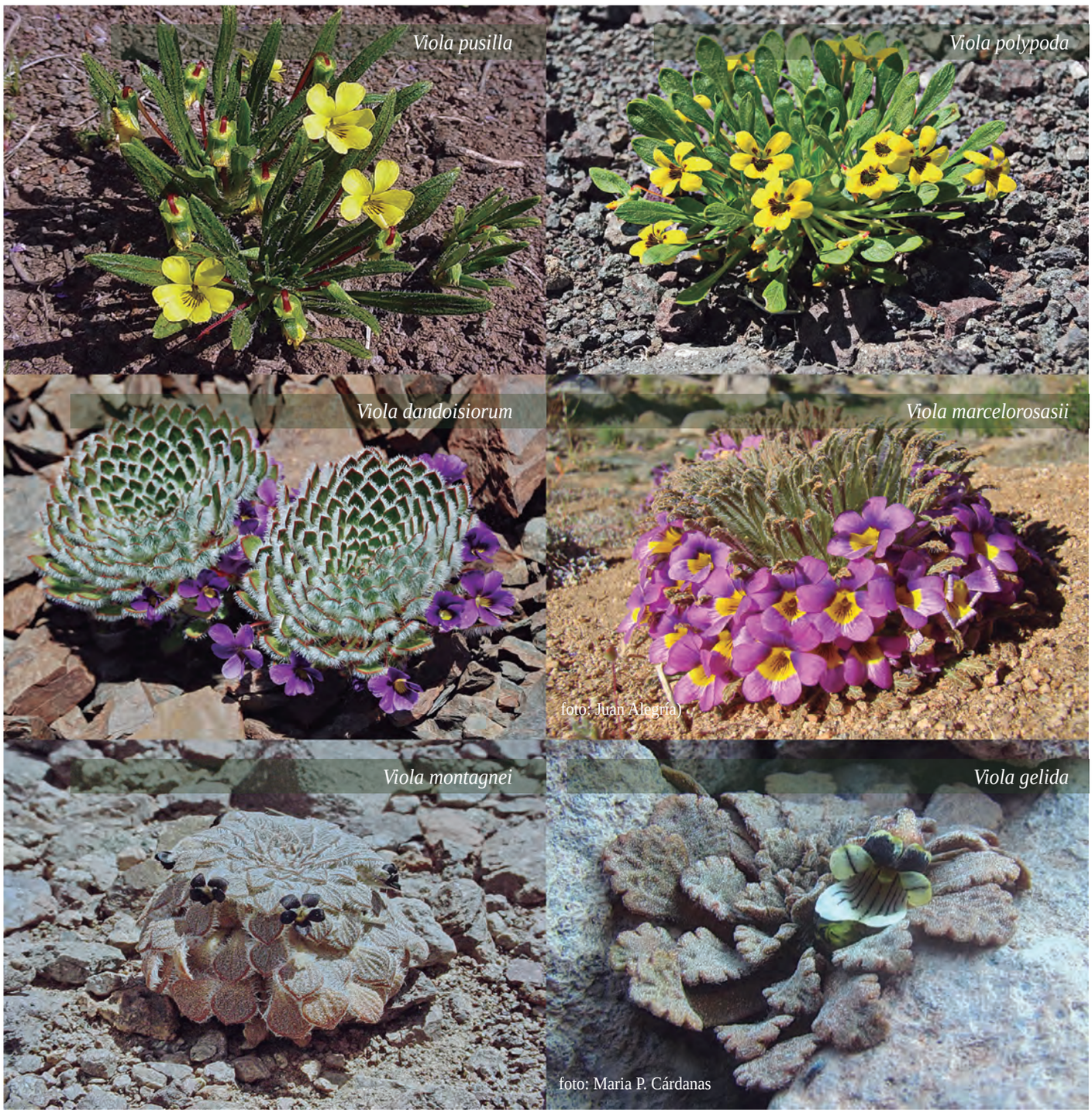
Las rosetas de la recientemente descubierta y nombrada *Viola dandoisiorum* son más grandes y planas, también las hojas apuntan hacia arriba y poseen pelos largos y blancos alrededor de los bordes que están dirigidas hacia abajo. *Viola godoyae*, sólo conocida de un sitio, está estrechamente relacionada y es similar a la última. Una tercera como estas dos, y también recientemente descubierta, es *Viola marcelorosasii* del extremo sur de Atacama.

Las cinco restantes son todas andinas, entre los 3000 y 4900 msnm, dependiendo de la especie. *Viola montagnei* otra común y bien distribuida, se diferencia de todas las demás por sus hojas grises con bordes vellosos y pequeñas corolas de color violeta negruzco con centro blanco.

Las anuales *Viola vallenarensis*, que también habita la región de Coquimbo, y la mucho más común *V. domeykoana*, son similares con sus pequeñas rosetas de hojas angostas festoneadas en los bordes, pero pueden diferenciarse por los colores de las flores, violeta para la primera y amarilla la segunda; ambas alcanzan entre 3000 m y más de 3040 msnm.

Viola frigida es la única anual de las tres especies restantes. Tiene rosetas planas de muchas hojas angostas con bordes profundamente ondulados y pequeñas corolas blancas con su centro violeta. Se encuentra hasta los 4880 m, la de mayor altitud de todas estas especies.

Con sus rosetas planas de hojas muy anchas que son cortadas profundamente en almenas redondeadas en los bordes, *V. llullaillacoensis* no puede confundirse con ninguna de las otras. Finalmente, viene otra recientemente nombrada que fue encontrada durante una prospección minera, *Viola gelida* con hojas similares a *V. frigida*, pero es una planta perenne con roseta más pequeña y hojas grises. Sus flores blancas están fuertemente lineadas de color violeta negrusco.



Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 7.5:113-116



Recuadro 7.5 Cactáceas de la región de Atacama

José Angel García-Beltrán & Pablo C. Guerrero

La familia Cactaceae es uno de los grupos más diversificados entre las plantas con flores, pertenece al orden Caryophyllales y más específicamente al suborden Portulacineae, posición evolutiva que comparte con otras familias suculentas como Anacampserotaceae, Portulacaceae y Talinaceae (Hernández-Hernández et al. 2014). El linaje de los cactus es dominante y rico en especies, incluye 150 géneros y alrededor de 1850 especies, la mayoría concentradas en las zonas áridas del continente americano (Korotkova et al. 2021). Las cactáceas poseen diversas adaptaciones a la aridez, tales como la reducción de las hojas y presencia de tallos fotosintéticos y suculentos que simultáneamente reducen la evapotranspiración y almacenan agua. El retraso en la formación o incluso la inexistencia de madera secundaria favorecen esas extraordinarias capacidades especializadas para la vida en los desiertos. Las espinas de las cactáceas corresponden a hojas modificadas y poseen varios roles descritos, como por ejemplo conferir resistencia a la herbivoría y parasitismo, dispersión asexual zoocórica y captación de agua de neblina (Anderson 2001). La presencia de areolas es un carácter exclusivo de este grupo, éstas consisten en una yema lateral especializada que corresponde a una rama de crecimiento reducido o nulo (Anderson 2001). Otra característica de la familia es la enorme cantidad de interacciones que establecen con diversos polinizadores y dispersores de semillas como vertebrados e invertebrados, constituyendo un recurso clave para la fauna de zonas áridas (Gibson & Nobel 1986).



Eriosyce duripulpa

Desde la Patagonia hasta el oeste de Canadá, los cactus son casi exclusivos de América, pues sólo una especie es también nativa en África, Madagascar, Sri Lanka, India y Nepal (Anderson 2001). Las cactáceas se originaron poco después de la caída global de CO_2 del Eoceno-Oligoceno, y la radiación de sus géneros más diversos coincidió con la expansión de la aridez en América del Norte durante el Mioceno tardío (Arakaki et al. 2011). Si bien el centro de diversidad de la familia radica en México y el suroeste de Estados Unidos, este es secundario, pues el centro de diversidad primario se encuentra en la región central de los Andes, en las zonas áridas y semiáridas de Argentina, Bolivia, Chile y Perú (Hernández-Hernández et al. 2014).

A lo largo del gradiente latitudinal de aridez de Chile se encuentran 22 géneros, 134 especies y 142 taxones infraespecíficos (Walter & Guerrero 2022) lo que representa el 6% de las angiospermas nativas (Rodríguez et al. 2018). De las especies, el 81% resultan endémicas de Chile (Walter & Guerrero 2022), por lo que los cactus constituyen el 5% de las especies endémicas del país (Rodríguez et al. 2018). Entre los géneros, destacan *Copiapoa* y los monotípicos *Miqueliopuntia* y *Rimacactus* por ser exclusivos de Chile, además de *Eriosyce*, *Eulychnia* y *Leucostele*, con la mayoría de sus especies endémicas del país (Walter & Guerrero 2022). Todos estos géneros (excepto *Rimacactus*) están presentes en la región de Atacama, donde la mayor diversidad de especies endémicas se concentra en los sectores costeros y hacia el sur de la región (Letelier et al. 2008).

El desierto de Atacama (18°S-30°S) ha actuado como un centro de diversificación de muchos linajes xerofíticos. Las condiciones hiperáridas que prevalecen desde el Terciario en Atacama han sido repetidamente interrumpidas durante el Cuaternario por fases menos áridas, que se corresponden con períodos globalmente más cálidos (i.e. interglaciares) (Ritter et al. 2019). Tales cambios repetidos en las condiciones climáticas provocaron que las poblaciones de los diferentes linajes se expandieran durante las fases pluviales y se contrajeran durante las fases secas. Ello habría dado paso a la fragmentación de las poblaciones, promoviendo aislamiento geográfico favoreciendo la especiación y la diversificación de los linajes (Merklinger et al. 2021, Böhnert et al. 2022).

La región de Atacama está dominada por matorrales desérticos en zonas costeras e interiores y matorrales bajos desérticos hacia el interior (Luebert & Pliscoff 2006), existen 56 especies de cactus en ocho géneros, por lo que el 41,7% de los cactus chilenos están presentes en esta región. De estas especies, 53 son endémicas de Chile, mayormente compartidas con las regiones de Antofagasta o Coquimbo, y 25 son endémicas de la región de Atacama.

De la subfamilia Cactoideae, el género *Copiapoa* se extiende desde la región de Antofagasta hasta la región de Coquimbo. *Copiapoa* incluye 34 especies (Walter & Guerrero 2022), de las cuales la mitad están presentes en la región de Atacama. Las especies *Copiapoa* corresponden a cactus globosos o cilíndricos, que poseen desde formas solitarias hasta cojines con numerosas ramas que varían en su compactación y tamaño (desde pocos centímetros hasta un par de metros de diámetro). Los ápices de las plantas están cubiertos de una espesa lanosidad y es donde se desarrollan las flores típicamente amarillas y los frutos (Larridon et al. 2015). Este género en la región de Atacama se desarrolla principalmente en la costa, pero en los valles del río Copiapó y Huasco se extienden varios kilómetros al interior (Larridon et al. 2015).



Copiapoa dealbata

Eriosyce, con 50 especies, es uno de los géneros más importantes de la flora de Chile (Walter & Guerrero 2022). Es el género de cactácea más diverso, y 21 de sus especies se encuentran en la región de Atacama, desde el nivel del mar hasta los 2800 metros (Guerrero et al. 2019). Una de las características más llamativas de este género, es la gran variación morfológica en sus flores, tallos y raíces. Algunas especies son polinizadas por picaflores (p.ej. *E. vallenarensis*), pero poseen síndromes florales melitofílicos. En relación a los tallos, hay especies que forman grandes esferas (p.ej., *E. aurata*), mientras que otras especies son pequeñas y se desarrollan principalmente bajo el suelo (p.ej. *E. glabrescens*). En cuanto raíces, hay especies con sistemas radiculares fibrosos (p.ej. *E. glabrescens*), pivotantes (p.ej. *E. calderana*), y napiformes (p.ej. *E. napina*).

Eulychnia es casi exclusiva de Chile con nueve especies en el desierto de Atacama (cinco en la región de Atacama), además de otra endémica de los desiertos de Perú (Walter & Guerrero 2022, Merklinger et al. 2021). Estos cactus columnares y arbustivos se presentan erguidos o semipostrados, de flores diurnas con tubo floral corto y frutos de pulpa acuosa y ácida (Merklinger et al. 2021). En la región de Atacama, la mayoría de las especies se presenta hacia la costa, excepto *E. vallenarensis* que es de interior y *E. acida* que se distribuye en ambos sectores.

Leucostele (*Echinopsis*) se distribuye en Chile desde las regiones de Antofagasta hasta el Maule, con tres especies en la región de Atacama distribuidas desde llanuras costeras hasta la Cordillera de la Costa (Rodríguez et al. 2018). Estos son cactus columnares arbustivos a arborescentes, con flores nocturnas de un gran tubo floral algo zigomorfo y frutos dehiscentes que quedan adheridos a la planta (Albesiano 2012).



Eriosyce aurata



Eulychnia vallenarensis

De la subfamilia Opuntioideae, *Cylindropuntia* es el único género de cactácea introducido y naturalizado en Chile, con una sola especie, encontrándose en poblaciones aisladas en el extremo norte del país hasta Coquimbo, por la costa y hacia el interior (Kattermann 2014). *Cylindropuntia tunicata* produce flores amarillas, y posee un crecimiento arbustivo, tallos articulados, cilíndricos y tuberculados, cuyas espinas poseen una cubierta o vaina que se desprende al enterrarse en alguna superficie (Walter & Guerrero 2022).

Maihueniopsis son plantas de tamaño medio que habitualmente forman cojines densos, los que pueden llegar a contener cientos de cabezas (Walter & Guerrero 2022). Sus frutos tienen pulpa y las semillas son lenticulares lo que diferencia este género de *Sphaeropuntia* y *Cumulopuntia*, de frutos no mucilaginosos y semillas globosas (Walter & Guerrero 2022). En Chile se presentan 12 especies y siete ocurren en la región de Atacama, de ellas cuatro son endémicas de esta región (Walter & Guerrero 2022).

Miqueliopuntia, endémico de Chile, sólo contiene a la especie *M. miquelii*. Se distribuye en las regiones de Atacama y Coquimbo, en laderas o planicies arenosas. Tiene características vegetativas muy definidas de arbusto decumbente que forma cojines densos, de hasta varios metros, con segmentos muy unidos y una especial estructura de las semillas que es comprimida lateralmente (Kattermann 2014).

Sphaeropuntia tiene un crecimiento arbustivo con tallos cilíndricos, cuyos segmentos son globosos, sin tubérculos y se desprenden con facilidad. En Chile se encuentra sólo *S. sphaerica*, desde la región de Arica y Parinacota hasta la Metropolitana, desde la costa hasta la cordillera (Walter & Guerrero 2022).


Leucostele chiloensis


Maihueniopsis archiconoidea


Miqueliopuntia miquelii


Sphaeropuntia sphaerica

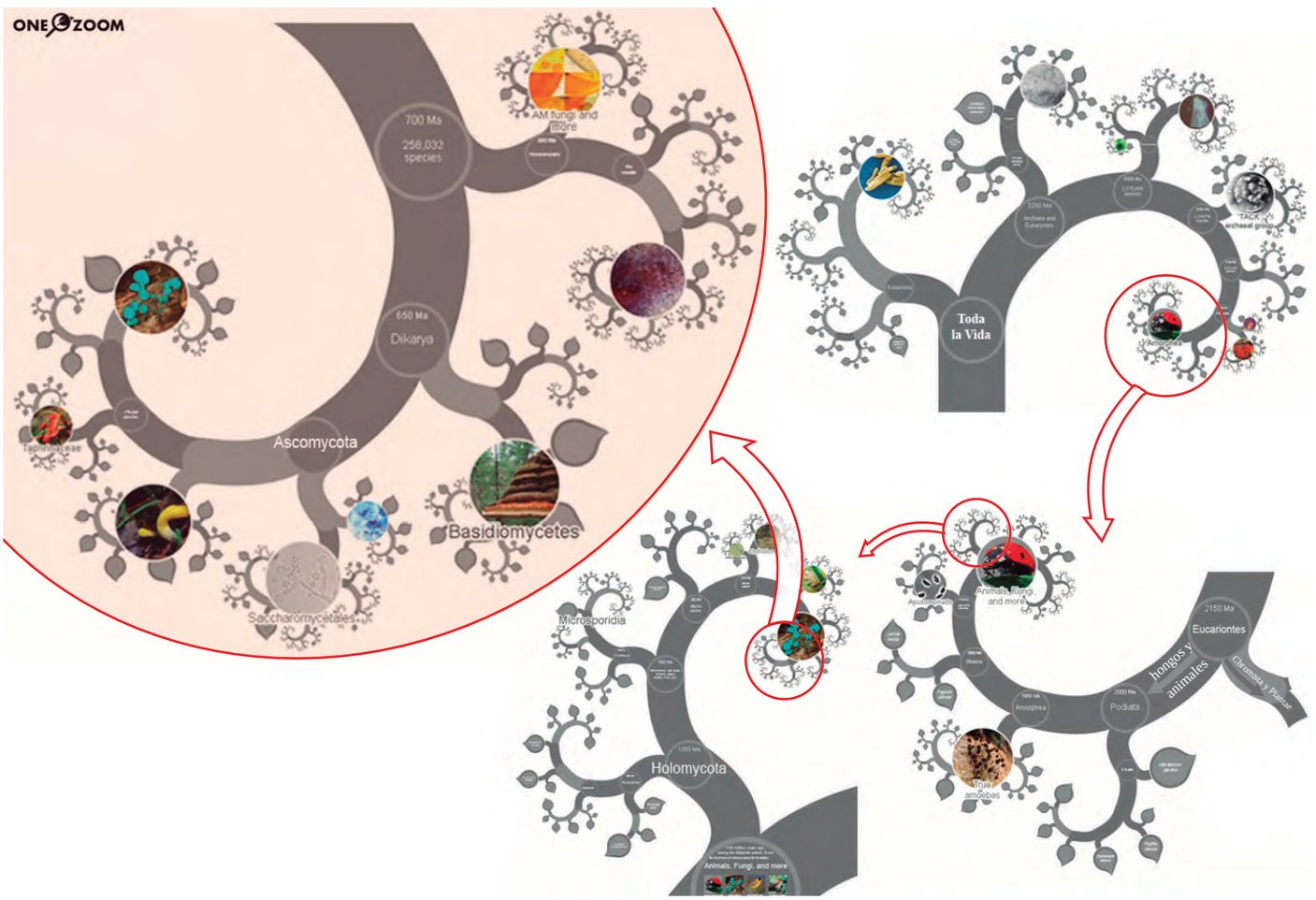
Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 8:117-124



Capítulo 8 Hongos y Líquenes en Atacama: estrategias de sobrevivencia en un ambiente extremo

Iris Pereira, Sandra Troncoso, Götz Palfner & Laura Sánchez Jardón

El desierto de Atacama tiene condiciones extremas de aridez y temperatura a las que pocos organismos son capaces de sobrevivir. ¿Cómo pueden obtener el agua y los nutrientes necesarios para vivir y reproducirse?. En este capítulo revisaremos riqueza de especies de macrohongos y líquenes presentes en la región de Atacama y su diversidad, así como las variadas estrategias que los representantes del Reino Fungi han desarrollado para habitar la diversidad de sustratos y de condiciones ambientales que ofrece este desierto extraordinario.



Dentro de los eucariontes, el árbol de la vida se divide en dos ramas, la primera incluye a los reinos Chromista (diatomeas y algas pardas) y Plantae (algas rojas, algas verdes y plantas terrestres); la otra rama va hacia los reinos Fungi (hongos) y Animalia (animales). La rama de Holomycota diversifica hacia los hongos, incluyendo en su parte terminal a las divisiones Ascomycota y Basidiomycota, en las que se centra este capítulo. En el recuadro 8.1 se analisa la división Glomeromycota. La distancia y largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)

Hongos del desierto de Atacama

¿Qué son los hongos? Los hongos son organismos fascinantes. No son plantas ni animales sino que, dentro del mismo Dominio Eukaryota, forman el Reino Fungi. Su cuerpo está formado por filamentos de células denominados "**hifas**", que forman una red denominada "**micelio**". No se mueven ni forman verdaderos órganos, salvo para la reproducción sexual cuando forman estructuras reproductivas, en ocasiones macroscópicas (se ven a simple vista) llamadas carpóforos; en este caso, los hongos que forman carpóforos o cuerpos fructíferos de un tamaño mayor a los 2 mm se denominan **macrohongos**, los hongos de tamaño inferior, cuya observación es posible mediante microscopio son parte del grupo de los **microhongos**. Sus ciclos biológicos pueden ser complejos y en general consisten de crecimiento vegetativo del micelio y reproducción por esporas. Las esporas fúngicas son extremadamente resistentes a condiciones ambientales extremas, lo que les permite transportarse y prosperar en diferentes lugares, en ocasiones muy distantes (Tedersoo et al. 2014, Dighton & White 2017).

La alimentación de los hongos es de tipo **heterótrofa**, es decir, a base de materia orgánica ya que no pueden fabricarla por sí mismos como lo hacen los autótrofos, como las plantas. Existen tres tipos de alimentación: **saprofítica** (sobre madera y otros restos vegetales, heces o restos animales), cuando los nutrientes proceden de materia orgánica en descomposición; **mutualista** (como los líquenes y micorrizas); o **parasítica** (de animales, plantas y otros hongos), cuando son fabricados por otro organismo vivo al que producen beneficios o perjuicios más o menos graves, respectivamente.

Su diversidad es inmensa pero en gran media, aún desconocida. Estimaciones indican que existen entre 2 y 4 millones de especies de hongos en el mundo (Hawksworth & Lücking 2017), de las cuales se conocen menos de 150.000. Pero, ¿son los mismos, en todas partes, todo el tiempo? Esto está relacionado con el clima, pero sobre todo con las condiciones "microambientales". Cada especie tiene sus preferencias y estrategias para sobrevivir; donde se encuentren, es porque su micelio o esporas encontraron condiciones adecuadas para crecer. Sea cual sea la estrategia ecológica, los hongos forman parte integral de todos los ecosistemas del planeta y el desierto no es una excepción.

¿Existen hongos en el desierto de Atacama?

Al igual que en lo demás desiertos del mundo, en la región de Atacama también existen hongos. Se conocen a la fecha 17 especies de macrohongos y 57 especies de hongos formadores de líquenes. Los hongos más frecuentes son del grupo de los gasteroides, cuya parte fértil forma un saco esporífero, como *Chlamydopus meyenianus* (Klotzsch) Lloyd, *Battarrea stevenii* (Libosch.) Fr. (Jirón 2016) y *Tulostoma* spp. (como *Tulostoma caespitosum* Trab.; Fig. 1). También existen especies de himenio laminar como *Montagnea arenaria* (DC.) Zeller e incluso hongos sin adaptaciones especiales al entorno desértico que habitan en ambientes más húmedos del altiplano andino (Troncoso et al. 2020). Y aunque las primeras especies nombradas son especies desertícolas típicas con amplia distribución en el mundo, en Atacama se han registrado en la costa y hacia el interior en zonas influenciadas por la humedad de la neblina; pero dada sus características morfologías resistentes que les permite perdurar en el sustrato, también se pueden encontrar en zonas áridas o semiáridas del altiplano que presenten ciertas condiciones de humedad y sustrato para desarrollarse (Troncoso 2020).



Figura 1. Carpóforo de *Tulostoma caespitosum*, de alrededores de Copiapó. Fotografía de Sandra Troncoso.

¿Cómo sobreviven los macrohongos a las condiciones adversas tanto en alta montaña como en las zonas costeras del desierto de Atacama?

Para hacer frente a la alta radiación y temperaturas extremas, algunos hongos del suelo tienen **enzimas termófilas**, las cuales permiten que todo su proceso fisiológico pueda soportar las altas temperaturas (Esqueda et al. 2011). Por otra parte, algunas especies poseen esporas de paredes gruesas y pigmentadas que les permite protegerse de la desecación y radiación ultravioleta (Esqueda et al. 2011): la presencia de melanina retrasa la lisis enzimática de la pared de la espora (Butler & Day 1998), lo que permite una latencia prolongada especialmente cuando se expone al sol (Vellinga 2004), mientras que poseer una pared celular gruesa les otorga una ventaja adicional para evitar las altas tasas de evaporación y soportar las diferencias de presión existentes dentro y fuera de la espora (Gregory & Henden 1976). Ambas características se observan en las esporas de *Montagnea arenaria* (DC.) como lo muestra la Figura 2, que son lisas, de paredes gruesas y pigmentadas de color marrón oscuro, las que se desarrollan en las numerosas láminas que, al secarse, se fragmentan y son arrastradas por corrientes de aire, asegurando su dispersión pasiva. Esta especie es típica de desiertos y es muy común en la región de Atacama, sobre todo durante la floración masiva que se produce durante el "Desierto florido" y en los alrededores de la zona costera de esta región.



Figura 2. Basidioma (a) y esporas (b) de *Montagnea arenaria* en Copiapó; la barra vertical en la esquina superior derecha equivale a 10 µm. Fotografías de Sandra Troncoso.

Las esporas deben dispersarse a través de vectores animales o el viento por lo que la presencia de ornamentación (visto en *Chlamydopus meyenianus* (Klotzsch) Lloyd; Fig. 3a) permite que la espora se puede adherir por ejemplo a un insecto, un ave o un mamífero. Además, la superficie verrugosa o espinulosa de las esporas reduce su aglomeración y puede atrapar humedad, potenciando la germinación bajo condiciones mínimas favorables, a diferencia de las esporas lisas como las de *Conocybe tenera* (Schaeff.) Fayod (Troncoso et al. 2020; Fig. 3b) o débilmente ornamentadas (Kreisel & Al-Fatimi 2008).

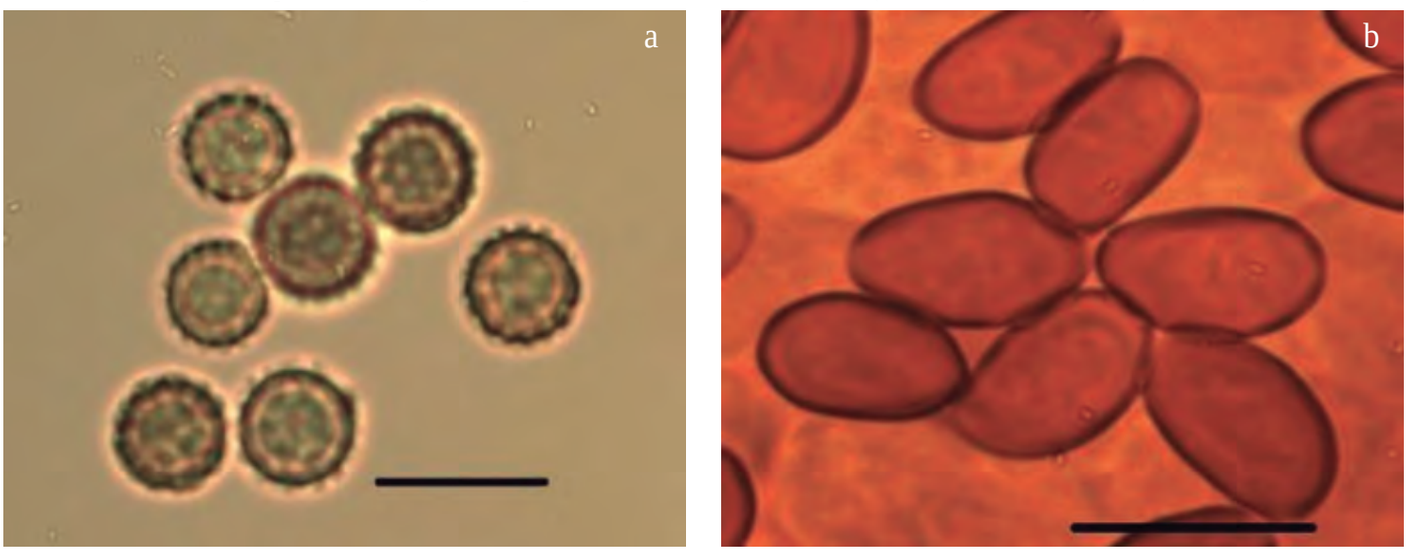


Figura 3. Esporas ornamentadas de *Chlamydopus meyenianus* (a) y esporas *lisas de Conocybe tenera* (b). Fotografías de Sandra Troncoso (Barra: 10 µm).

Los hongos gasteroides tienen características macromorfológicas que les permiten desarrollarse en las condiciones extremas del desierto; éstos desarrollan sus esporas dentro del **saco esporífero** compuesto por una pared gruesa externa (peridio) con varias capas de tejido impermeable y que las protege de la radiación y deshidratación. Estas esporas se desarrollan en la gleba que también genera el capilicio (células filamentosas especializadas que facilitan la dispersión). Al madurar las esporas, el peridio se abre mediante una fisura irregular o una apertura definida llamada ostiolo, descargando el polvo de esporas al ambiente mediante liberación pasiva (estatismosporas) (Gube & Piepenbring 2009). En el caso de especies del género *Geastrum*, el gasterocarpo posee peridio doble con radios o brazos externos que se cierran cuando el ambiente se torna seco nuevamente (Papinutti 2014).

Otra adaptación morfológica para la vida en el desierto es la que presentan especies de los géneros *Battarrea* y *Chlamydopus*; éstos poseen una consistencia resistente y leñosa lo que permite que perduren por largos períodos de tiempo. Estos hongos tienen una forma de crecimiento inicial de tipo hipogeo mientras maduran las esporas y una vez que existe humedad suficiente el estípite enterrado se elonga rápidamente exponiendo el saco esporífero para liberar las esporas. En la Figura 4 se observa a *Chlamydopus meyenianus* (Klotzsch) Lloyd posee un carpóforo de consistencia coriácea, de color blanquecino, su estípite es largo, su gleba es de color ocre y posee volva en la base del estípite.

Pero no sólo en el litoral y hacia los valles centrales es posible avistar macrohongos. También se han reportado y observado en ecosistemas alto andinos de la región, caracterizados por la presencia de lagunas saladas, bofedales y quebradas con hierbas y gramíneas, donde abundan aves y herbívoros que aprovechan los recursos que les entregan estos cuerpos de agua. A su vez favorecen la presencia de hongos coprófilos, como *Coprinus comatus* (O.F. Müll.) Pers. o *Conocybe tenera* (Schaeff.) Fayod (Troncoso et al. 2020), ya que al dejar sus fecas otorgan compuestos nitrogenados al suelo. Estos hongos tienen las características de ser oportunistas,



Figura 4. Carpóforo de *Chlamydopus meyenianus* en Copiapó. Fotografía de Sandra Troncoso.

cosmopolitas o de distribución amplia, distribuyéndose en diversos ambientes desde el centro al sur de Chile, al igual que en otras regiones del mundo. Sin embargo, la mayor diferencia que se observan entre estas especies y los hongos desertícolas propiamente tal descritos anteriormente, radica en que necesitan suministro de agua permanente y suelos nitrificados (Fig. 5), ya que no cuentan con adaptaciones morfológicas o fisiológicas específicas al entorno desértico.



Figura 5. Carpóforo de *Conocybe tenera* en el Parque Nacional Nevado Tres Cruces. Fotografía de Sandra Troncoso.

Líquenes del desierto de Atacama

¿Qué son los líquenes? Los líquenes corresponden a hongos liquenizados y poiquilohídricos, los cuales se han definido clásicamente como una asociación simbiótica mutualista entre un hongo (correspondiente en su gran mayoría a un Ascomycete y más raramente a un Basidiomycete) y un alga eucariótica como *Trebouxia* o *Trentepohlia* entre las más comunes, formando los denominados Clorolíquenes. Esta relación también se puede dar entre un hongo y una cianobacteria (*Nostoc, Scytonema, Stigonema* u otros géneros), formando el grupo de los Cianolíquenes bipartitas. El primero en descubrir su dualidad fue Schwendener en 1867 (Mitchell 2007). En algunos casos, esta relación se genera entre un hongo y dos tipos de fotobiontes, un alga y una cianobacteria y se denominan Cianolíquenes tripartitas. En la actualidad, los líquenes son considerados como ecosistemas complejos (Hawksworth & Grube 2020) dado que además del hongo predominante en la asociación más sus posibles fotobiontes, aparecen ciertas levaduras, fundamentalmente en talos de líquenes de la familia Parmeliaceae (Spribille et al. 2016). Se conoce también un gran número de hongos liquénicolas que crece sobre líquenes (Diederich et al. 2018) y además se suman actualmente el descubrimiento de algunas bacterias y hongos endoliquénicos los cuales muchos de éstos son hongos endófitos de plantas vasculares (Tripathi & Joshi 2019) y ectoliquénicos asociados al talo (Vobis et al. 2020).

¿Cómo sobreviven los líquenes a las condiciones extremas tanto en alta montaña como en las zonas costeras del desierto de Atacama?

Los líquenes de los desiertos de alta montaña: Presentan tasas de crecimiento bajas porque están limitados por condiciones extremas, volviéndose inactivos con el calor extremo, sequía o frío. La diversidad liquénica es baja y escasa en las zonas de altura, donde crecen sobre superficies rocosas, cantos rodados o a veces en suelo otorgando un mosaico de colores a estos sustratos. Allí, las especies crecen expuestas directamente al sol y otras se refugian del calor y el viento entre las fisuras de las rocas, donde las células de la capa algal puedan obtener agua del sustrato para realizar la fotosíntesis. En estos ambientes, los líquenes pueden captar agua a través de la lluvia o el rocío de la mañana, rápidamente absorbiendo agua como una esponja, con lo cual la fotosíntesis se reactiva. En estos ambientes, dominan líquenes crustosos, a veces foliosos o raramente fruticulosos. Algunos autores han descubierto que linajes de algas secas de líquenes de los desiertos tienen mayor tasa de supervivencia y actividad que sus parientes acuáticos estrechamente relacionados. La recuperación del rendimiento cuántico fotosintético (Fv/Fm) es más rápido en los linajes del desierto que en sus parientes acuáticos (Cardon et al. 2008). Otros autores sugieren que los hongos de líquenes crustosos pueden asociarse con un rango más amplio de fotobiontes que los líquenes foliosos o fruticulosos, lo que constituiría una ventaja ecológica en estos ecosistemas (Helms et al. 2001, Sanders & Masumoto 2001, Vargas & Beck 2012).

Los líquenes de la zona costera del desierto de Atacama: Son más diversos y abundantes que los del interior del continente. A pesar de las escasísimas lluvias, las diferencias de temperatura entre la noche y día son moderadas, debido a la cercanía al mar, lo que genera una fuente local de humedad en forma de niebla o camanchaca. Estas condiciones favorecen el desarrollo y crecimiento de los líquenes de la zona costera del Desierto de Atacama. Su diversidad, en cambio, está representada por líquenes más bien foliosos y fruticulosos que crustosos.

¿Qué estrategias ecológicas desarrollan los líquenes de alta montaña del desierto de Atacama para sobrevivir a estas condiciones? Los líquenes del Desierto de Atacama, para crecer y sobrevivir en condiciones adversas como altas temperaturas y alta radiación en el verano y bajas temperaturas, nieve y viento en invierno modifican sus caracteres morfo-anatómicos, fisiológicos y reproductivos que conducen a definir sus estrategias ecológicas, asegurando su perpetuidad bajo esas condiciones ambientales adversas. A continuación, se describen e ilustran algunos ejemplos de especies creciendo en diferentes rangos altitudinales, por ejemplo, *Acarospora badiofusca* (Nyl.) Th. Fr. (Fig. 6), especie encontrada en un rango altitudinal de entre 3.431 y 4.027 msnm. Posee un epicórtex de 12,5 µm, un córtex superior mediano, de 37,5 µm de ancho, una capa algal homogénea de, 112,5-125 µm y desarrolla una medula algodonosa de 125-150 µm, capaz de retener humedad, lo que le permite realizar la fotosíntesis sin problemas.

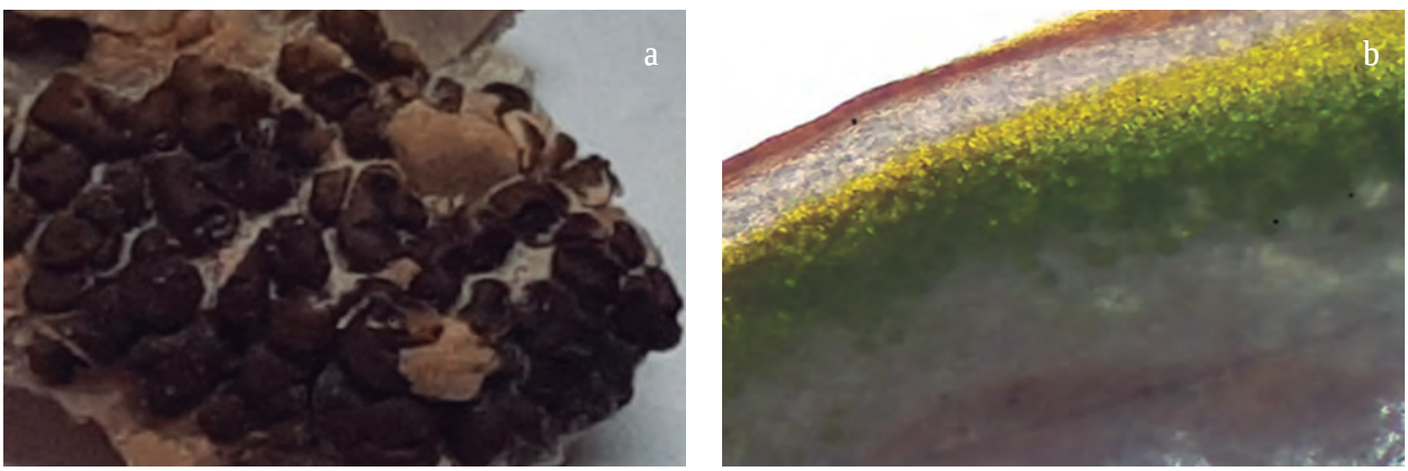


Figura 6. Talo de *Acarospora badiofusca*: aspecto general (a) y corte transversal (b). Fotografías de Iris Pereira.

Además, para soportar la alta radiación, producen un epicórtex constituido por hifas compactas con gran cantidad de mucilago. En esta especie no se han detectado sustancias liquénicas.

Por su parte, *Acarospora xanthophana* (Nyl.) Jatta no posee epicórtex sino un córtex superior y una capa algal heterogénea (Fig. 7). Las primeras corridas de algas de la capa algal son de color amarillento, las cuales son afectadas por la alta radiación degradando la clorofila, sin embargo, las más profundas se aprecian de color verde intenso y se introducen al interior de la médula, cercana al córtex inferior para capturar agua que se acumula entre las grietas de las rocas.

Otras especies como *Rusavskia elegans* (Link.) S.Y. Kondr. &

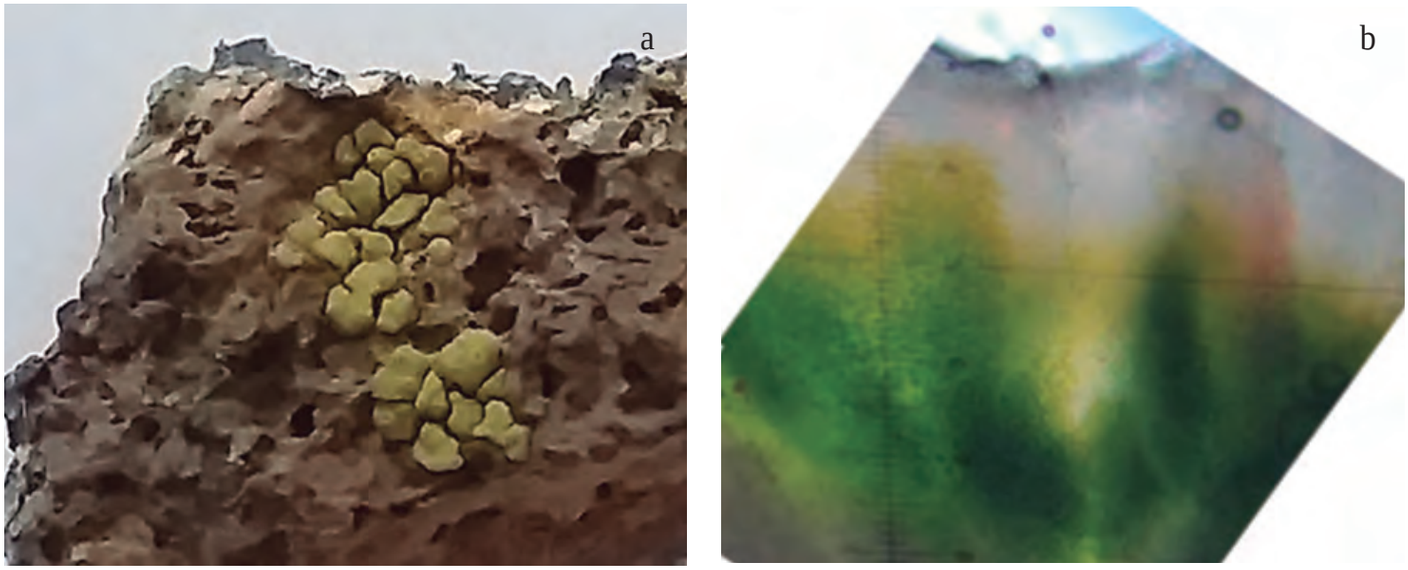


Figura 7. Talo de *Acarospora xanthophana*: aspecto general (a) y corte transversal (b). Fotografías de Iris Pereira.

Kärnefelt y especies de *Caloplaca* sintetizan sustancias liquénicas como **parietina**, metabolito que ayuda a evitar la alta radiación solar (UV), la cual se deposita en el córtex superior del talo, reaccionando K+ de color púrpura, protegiendo a las algas de ser afectadas por la radiación solar. *R. elegans* posee un córtex superior de 100 µm, una capa algal homogénea, sin embargo, algunas algas penetran a la médula de 137,5 µm y poseen un córtex inferior de 25-37,5 µm (Fig. 8). Otra forma que tiene esta especie para protegerse de la radiación UV es gracias a la deposición de pruina sobre el córtex superior.

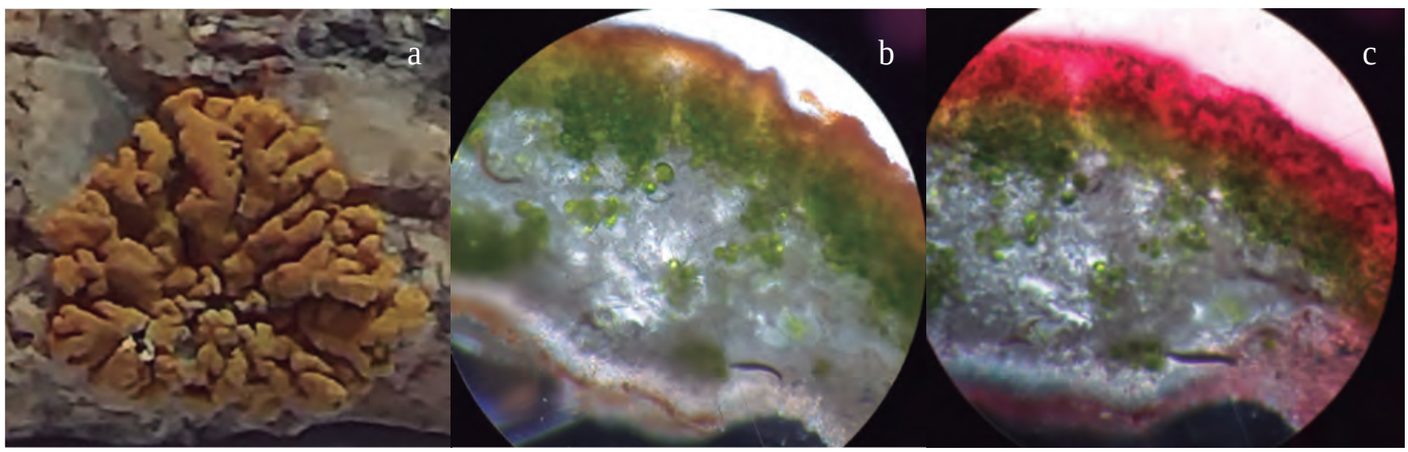


Figura 8. Talo de *Rusavskia elegans*: aspecto general de un talo joven de 0,9 mm (a), corte transversal antes de la tinción con KOH (b) y después de tinción con KOH reaccionando el córtex superior de color púrpura (c). Fotografías de Iris Pereira.

Rhizoplaca melanophthalma (DC.) Leuckert & Poelt. es otra especie que se encuentra muy bien adaptada a estas condiciones. Esta especie sintetiza ácido úsnico que se deposita sólo en el córtex superior y a veces es posible detectarlo por medio de una reacción KC+ amarillo, permitiendo actuar como bloqueador de la radiación UV, protegiendo a la capa algal que se encuentra por debajo de éste. En el material estudiado, todas las reacciones químicas como K, C, KC y P aplicadas tanto en el córtex superior como en la médula, resultaron negativas (com. pers. I Pereira). La otra estrategia ecológica de esta especie es por medio de reproducción indirecta o sexual, generando una gran cantidad de apotecios con el fin de asegurar su sobrevivencia (Fig. 9).

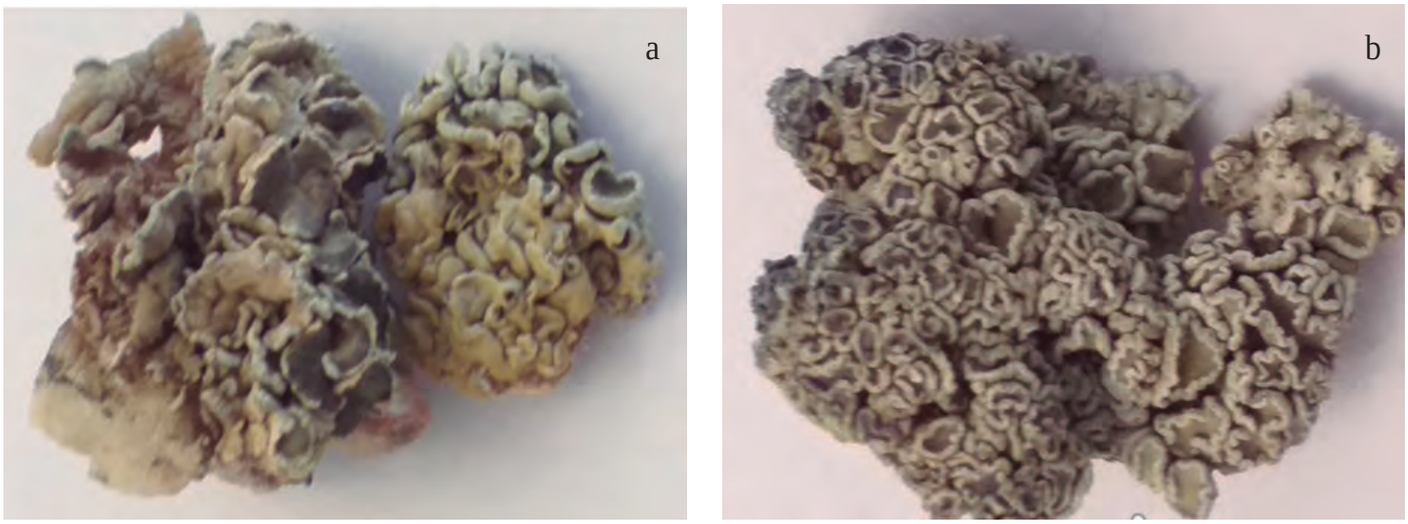


Figura 9. Talo de *Rhizoplaca melanophthalma*: forma habitual (a) y forma con gran producción de apotecios (b). Fotografías de Iris Pereira.

Algunas especies de *Umbilicaria* como *Umbilicaria cylindrica* (L.) Delise ex Duby, desarrollan rizonomorfos que les permiten retener mayor cantidad de agua y facilitan su multiplicación por medio de fragmentación del talo. Esta especie, al igual que *Acarospora badiofusca*, desarrolla un epicórtex constituido por hifas compactas con gran cantidad de mucílago, que protege de la alta radiación solar a la que están expuestas (Fig. 10).

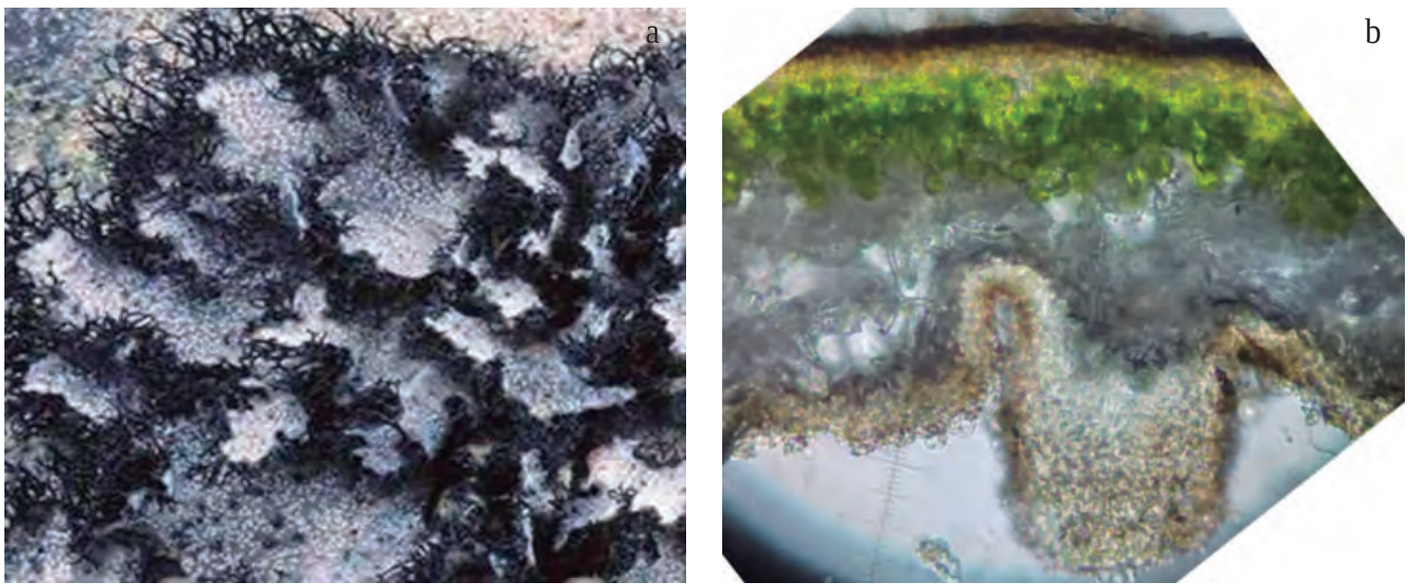


Figura 10. Talo de *Umbilicaria cylindrica*: aspecto general (a) y corte transversal (b). Fotografías de Iris Pereira.

Los líquenes de la zona costera asociados al matorral esclerófilo se encuentran bien representados por especies con talos foliosos y fruticulosos, con tasas de crecimiento más rápida que los líquenes crustosos. Se adaptan mejor a la absorción de agua proveniente de la camanchaca y además desarrollan estructuras anexas al talo como cilios muy largos, en el caso de *Heterodermia multiciliata* (Kurok.) Trass (Fig. 11a) ubicados en márgenes del talo. Otra adaptación es la alta división del talo, que les permite retener mayor cantidad de agua como es el caso de *Ramalina pilulifera* Taylor (Fig. 11b). También pueden aparecer cilios en el borde de los apotecios como *Teloschistes chrysophthalmus* (L.) Norman ex Tuck (Fig. 11c) o en especies del género como *Usnea* que contienen pigmentos rojos en el córtex como *Usnea gaudichaudii* Motyka (Fig. 11d) y *U. rubicunda* Stirton. Ambas especies poseen pigmentos rojos en el córtex y comparten el mismo hábitat.

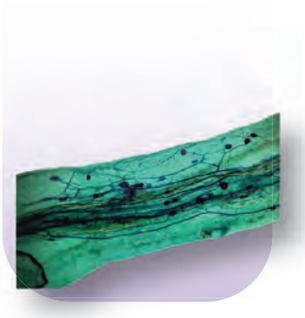
Cada vez se conoce más sobre la biodiversidad del desierto chileno, en especial en la región de Atacama donde podemos observar que existen muchos representantes del Reino Fungi, notable en términos de especies y también de estrategias funcionales. Estas estrategias funcionales se reflejan en sus formas de vida y reproducción los que se ven condicionados por las características micro y macroambientales de las zonas en que habitan, como los oasis de neblina, bofedales o junto a la floración del desierto florido. Y, a pesar que las especies fúngicas que aquí se presentan



Figura 11. Líquenes de la zona costera de la región de Atacama: a) *Heterodermia multiciliata*, (b) *Ramalina pilulifera*, (c) *Teloschistes chrysophthalmus* y (d) *Usnea gaudichaudii*. Fotografías a, c, d de Iris Pereira y b tomada de GBIF.

son en su mayoría cosmopolitas y generalistas, también existe un porcentaje que se encuentra en alguna categoría de conservación e incluso se da cuenta de una especie endémica para Chile, *Roccellinastrum spongoideum* Follmann (Marín et al. 2020), por lo que es fundamental educar y generar conciencia para la conservación de estos ecosistemas susceptibles a degradación.

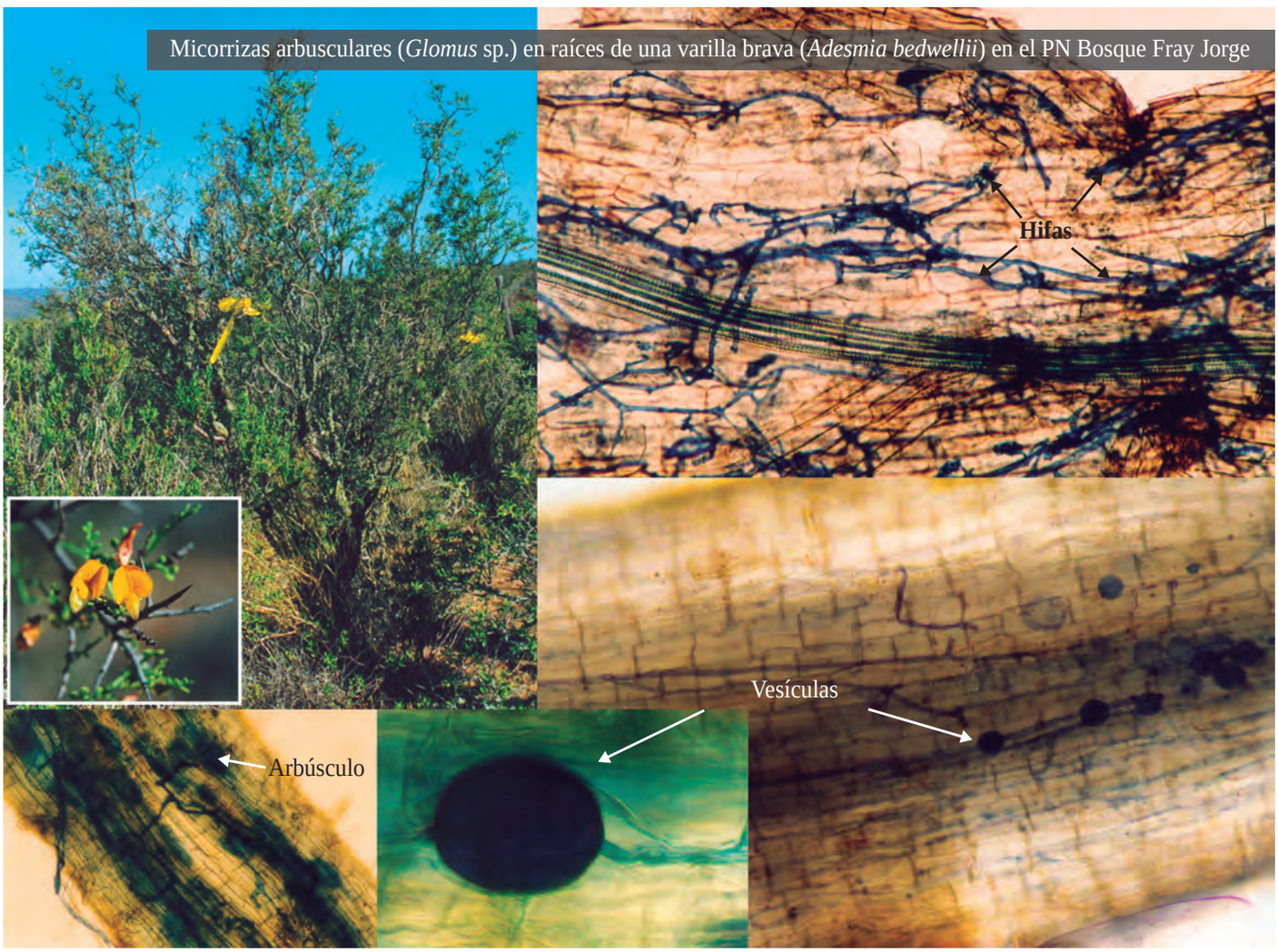
Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 8.1:125-126



Recuadro 8.1 Los hongos formadores de micorrizas

Lorgio E. Aguilera & Cristian Delpiano

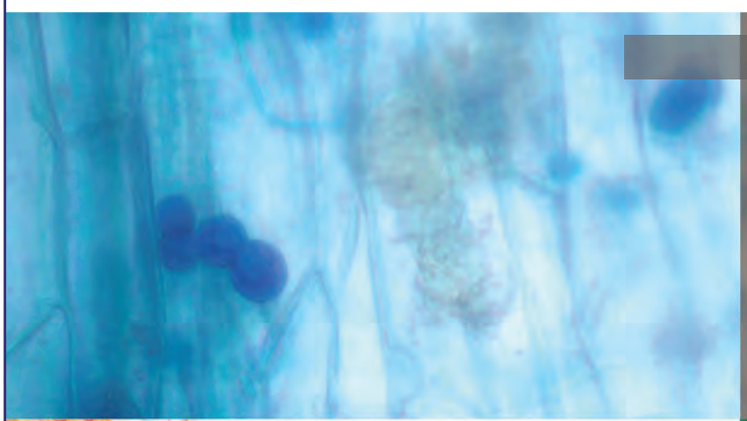
En el Capítulo 8 se entregó antecedentes generales sobre el reino Fungi, y con mayor detalle de los macrohongos y hongos formadores de líquenes (i.e., hongos de las Divisiones Ascomycota y Basidiomycota). En este recuadro nos referiremos a la división Glomeromycota, los hongos formadores de micorrizas, los cuales divergieron de los Ascomycota y Basidiomycota hace 700 Ma atrás. Las micorrizas corresponden a una asociación simbiótica entre un hongo y las raíces de la mayoría de las plantas. Las hifas del hongo se extienden desde la raíz hacia el suelo circundante, donde absorben agua y nutrientes, que son transportados a la planta. Así, las micorrizas contribuyen al crecimiento y desarrollo de plantas en la mayoría de los ecosistemas, especialmente bajo condiciones de estrés abiótico y biótico, por lo cual se les atribuye un rol clave en la preservación de la diversidad de especies y son usadas en la rehabilitación de ambientes degradados. Hoy se reconoce que los hongos micorrícicos interconectan plantas a través de una red micelial común, comportándose como un "súper organismo" que puede intercambiar nutrientes y compuestos de señalización entre las plantas conectadas. Ésta interacción mutualista frecuentemente mejora la adecuación biológica y representaría una táctica importante para la coexistencia de las plantas y, podría dar forma a la composición y dinámica de la comunidad.



En un estudio realizado en el matorral desértico costero del Norte Chico (Quebrada las Vacas, en el sitio de estudios socio-ecológicos a largo plazo Fray Jorge, LTSER Fray Jorge, que en el año 2024 cumplió 35 años de investigación continua), se evaluó el estado micorrícico de plantas herbáceas y arbustivas, encontrándose que más del 90% de 38 especies de plantas, de 19 familias distintas, formaban asociaciones con hongos micorrícicos. Las plantas examinadas incluyeron especies endémicas y geófitas con problemas de conservación (Dhillion et al. 1995). Como ejemplo de esta interacción planta-hongo, las raíces de una varilla brava (*Adesmia bedwellii*) muestra estructura de micorrizas arbusculares del género *Glomus*. En la imagen previa se ven las hifas penetrando entre las células de la corteza de la raíz, y otras estructuras, como vesículas y arbúsculos que tiene función de órganos de reserva de nutrientes.

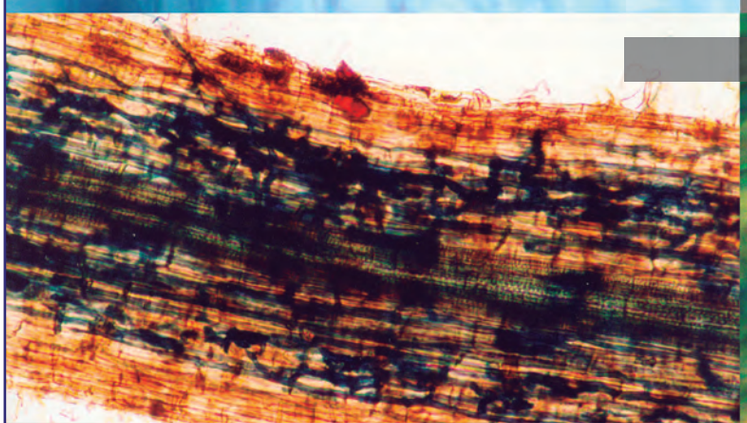
Aguilera et al. (2016) mostraron que, en años con escasas precipitaciones, las asociaciones mutualistas entre plantas y hongos micorrícicos se tornan muy importantes en la mantención de la productividad primaria. En los escasos años con abundantes precipitaciones esta relación se relaja, y cobran importancia otros microorganismos del suelo.

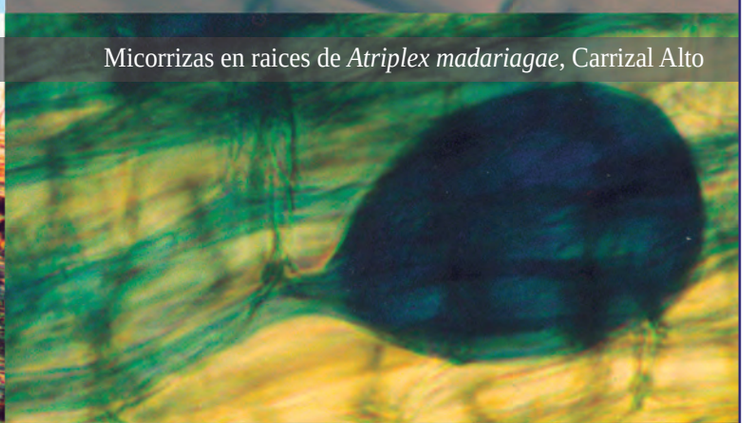
Evaluaciones realizadas en la región costera árida de Chile, incluyendo la región de Atacama, sobre el estatus micorrícico vesículo arbuscular de nueve especies de *Atriplex*, encontraron que nueve poblaciones de *Atriplex repanda*, tres de *A. atacamensis*, dos de *A. madariagae* y de *A. mucronata*, y una de *A. podocarpa*, *A. coquimbensis*, *A. deserticola* y *A. microphylla*, y dos plantaciones de la especie exótica *A. nummularia*, presentaban micorrizas vesiculo arbusculares a nivel radicular con el morfotipo *Glomus* como género predominante (Aguilera et al. 1998). Un número muy conservador de especies de micorrizas para la región de Atacama es cinco, sin embargo se requieren más estudios sistemáticos en este grupo. Las cepas de micorrizas nativas podrían ser utilizadas para inocular especies de plantas que son usadas en la recuperación de suelos áridos degradados de Chile.





Micorrizas en raices de *Skythantus acutus*, PN Pan de Azúcar

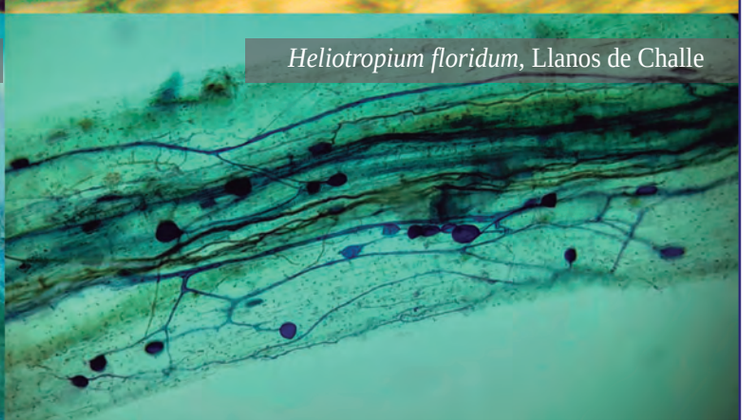




Micorrizas en raices de *Atriplex madariagae*, Carrizal Alto



Tetragonia maritima, Quebrada El León



Heliotropium floridum, Llanos de Challe

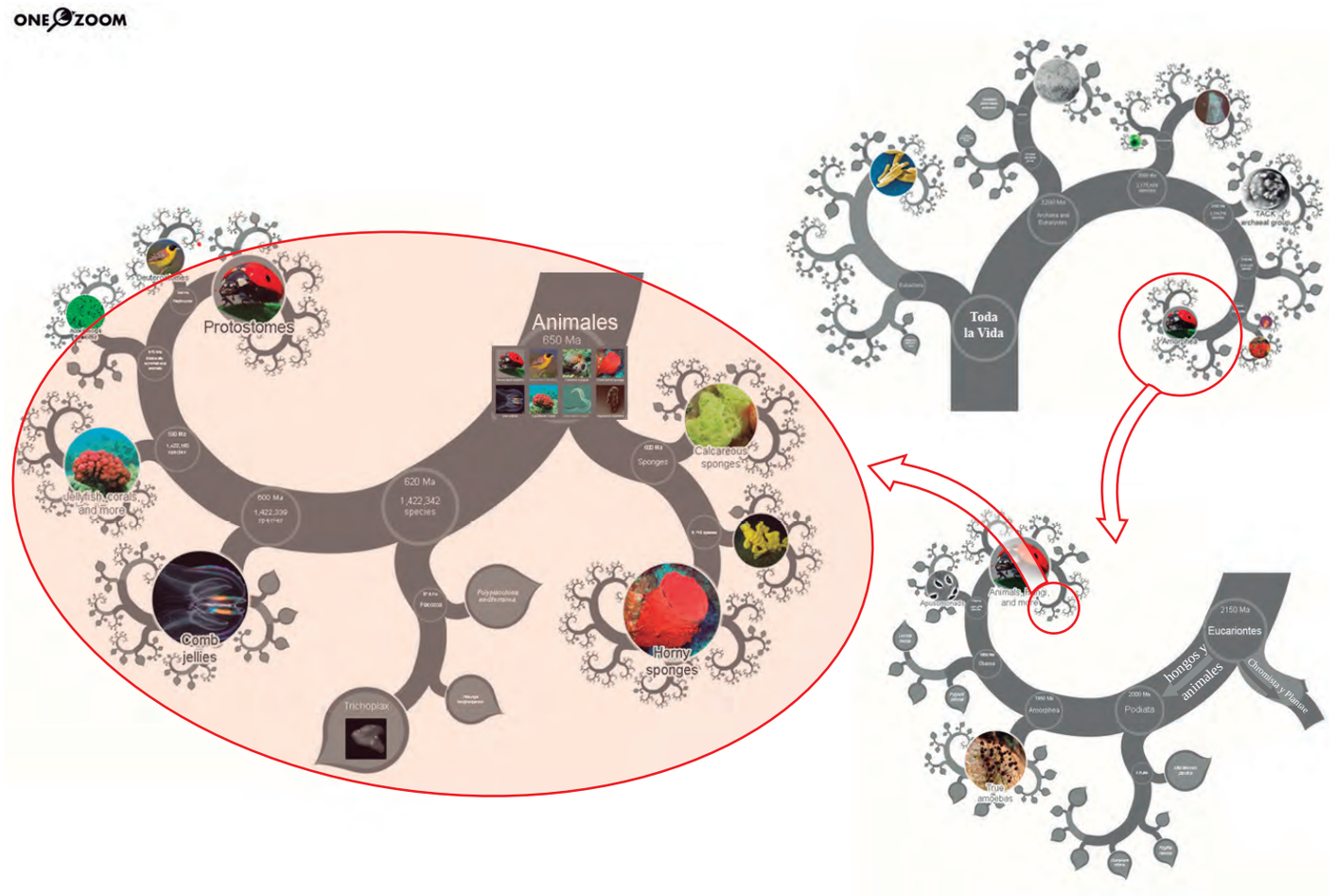
Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 9:127-132



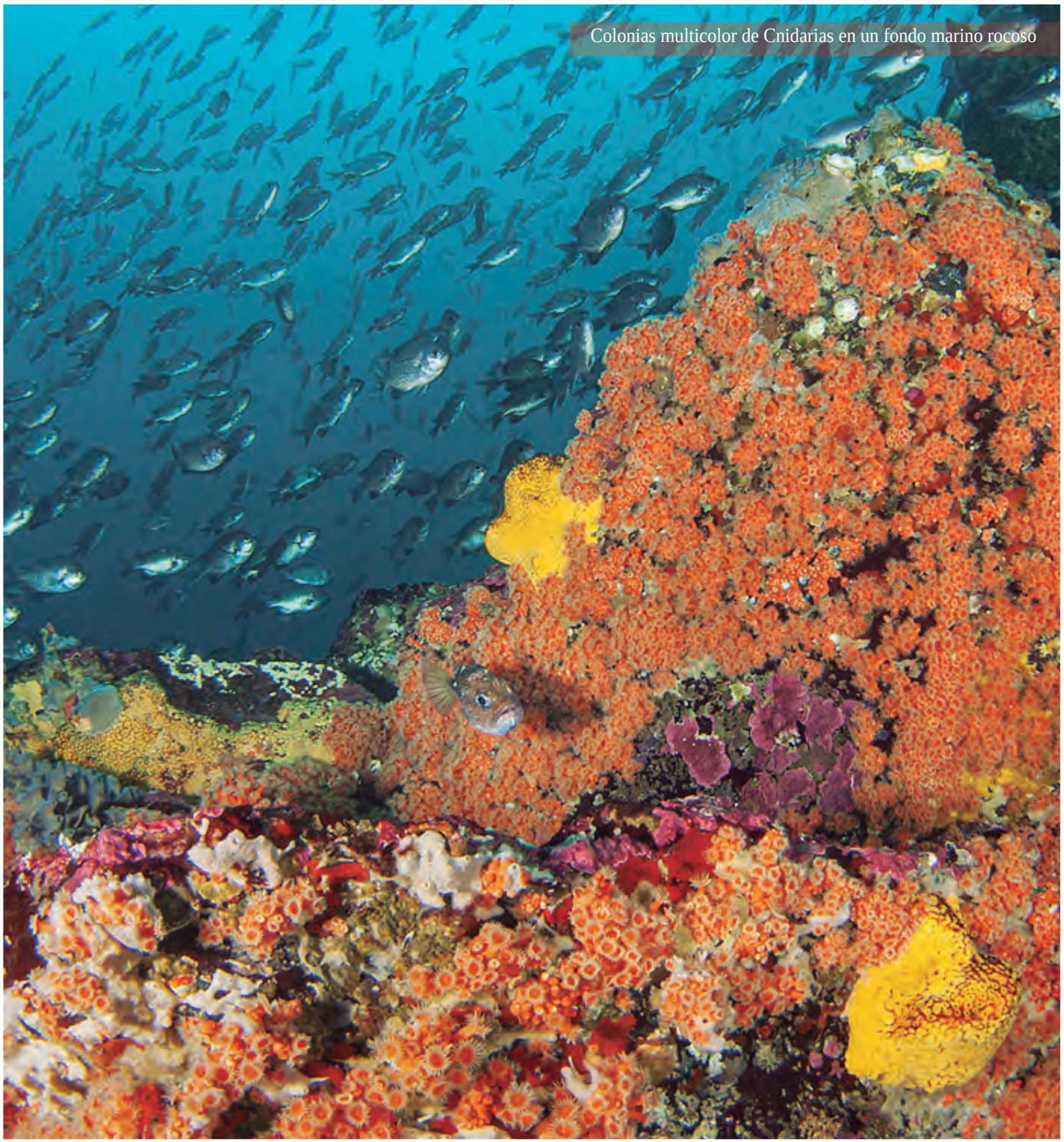
Capítulo 9 Ascendiendo por el tronco del árbol de la vida animal en la región de Atacama: de las esponjas a los tardígrados

Javier Sellanes, Matthias Gorny & Jorge Avilés

De acuerdo al registro fósil, los primeros animales habrían aparecido hace unos 600 Ma (millones de años) y se hipotetiza que algunos de estos organismos multicelulares ancestrales eran muy similares morfológicamente a los que actualmente constituyen el Phylum Porifera o de las esponjas. Las esponjas se caracterizan por carecer de tejidos verdaderos, pero están conformadas por capas celulares con funciones análogas a estos. Poseen un número limitado de tipos celulares que, a su vez, pueden transformarse unos en otros. El nombre del phylum deriva de los poros presentes sobre el cuerpo de estos organismos, que a su vez están conectados con canales por los cuales circula agua, de la cual filtran las partículas orgánicas de las que se alimentan, intercambian gases y evacuan sus desechos.



Dentro de los eucariontes, el árbol de la vida se divide en dos ramas, la primera incluye a los reinos Chromista (diatomeas y algas pardas) y Plantae (algas rojas, algas verdes y plantas terrestres); la otra rama va hacia los reinos Fungi (hongos) y Animalia (animales). El reino Animalia o Metazoa diversifica en varias ramas, siendo la bifurcación basal el Phylum Porifera (esponjas) seguidas por Ctenophora, Cnidaria y Bilateria. El largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)



Colonias multicolor de Cnidarias en un fondo marino rocoso

Esponjas, Phylum Porifera

Dentro de los principales trabajos que estudian al Phylum Porifera en la región de Atacama (27°22′00″S - 70°19′56″O), son Desqueyroux & Moyano (1987) y Lancellotti & Vásquez (2000). En la región de Atacama se reportan un total de 8 especies. Las principales Familias representadas en esta zona son Plakinidae, Polymastiidae, Suberitidae, Clionaidae, Bubaridae, Desmacellidae, Esperiopsidae y Acarnidae, todas representadas con una especie. Una representante de esta zona es la especie *Polymastia isidis* perteneciente a la Familia Polymastiidae. Muy frecuente en fondos rocosos entre los 10 y 30 m de profundidad es la “esponja zapallo” *Cliona chilensis* (Fig.1), caracterizada por su color amarillo y café, alcanzando grandes dimensiones.

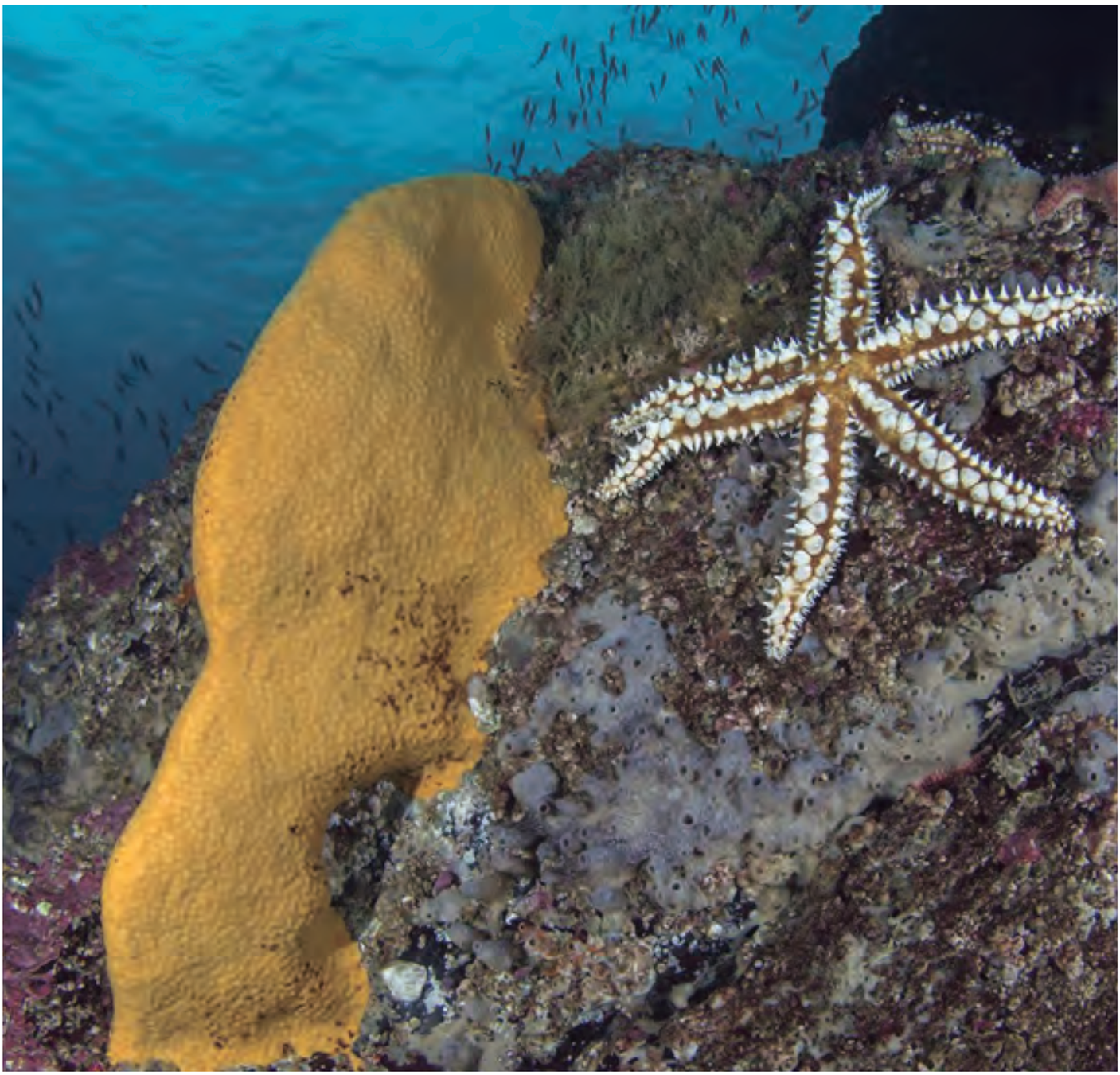


Fig. 1. Esponja zapallo, *Cliona chilensis* (Tomada de www.inaturalist.mma.gob.cl/observations/89867318)

Medusas y Corales de aguas frías (Phylum Ctenophora y Phylum Cnidaria).

El siguiente paso en complejidad morfológica de los animales fue, principalmente, la aparición de tejidos verdaderos, un sistema nervioso rudimentario y la capacidad de movimiento.

El **Phylum Ctenophora** (o ctenóforos) habría diversificado hace unos 550 Ma. Son animales exclusivamente marinos similares a las medusas, caracterizados por la presencia de unas células especializadas, los coloblastos, que producen una sustancia pegajosa utilizada para capturar las presas. Al igual que las medusas y corales, y a diferencia de las esponjas, poseen tejidos verdaderos que están organizados en dos capas.

Este Phylum es mencionado por Palma & Apablaza (2004). Existe registro de 4 especies en la región de Atacama. Las principales Familias representadas en esta zona son Pleurobrachiidae (1 especie), Thalassocalycidae (1 especie), Beroidae (1 especie), Cestidae (1 especie). Una representante de esta zona es la especie *Pleurobrachia bachei* perteneciente a la Familia Pleurobrachiidae.

El **Phylum Cnidaria**, con 72 especies presentes en Atacama, es un grupo cuya aparición se remonta a unos 520 Ma. Está formado por las hidras, las anémonas, las medusas y los corales. Tienen como principal característica la presencia de un tipo celular exclusivo, los cnidocitos, células urticantes que se encuentran en distintas partes del cuerpo, pero principalmente en los tentáculos de los individuos. Presentan una gran diversidad morfológica, ya sea en estrategias

individuales o coloniales, pero que se resume a dos modos de vida principales, los móviles como la mayoría de las medusas y los sedentarios, en forma de pólipo, como las anémonas (Fig. 3) y los corales.

Las principales familias representadas en la región de Atacama son 33 de las cuales las que tienen mayor cantidad de especies son Diphyidae con 10 especies, Actiniidae con 9, Rhopalonematidae con 6 y Prayidae con 4 especies. Un representante común en esta zona, presente en el intermareal rocoso es la actinia *Phymanthea pluvia* perteneciente a la familia Actiniidae (Fig. 2).

Con la aparición de la bilateralidad, hace unos 570 Ma, una rama evolutiva lleva a los equinodermos (Capítulo 12) y a los cordados



Fig. 2. Actinia *Phymanthea pluvia* (Tomada de www.inaturalist.mma.gob.cl/observations/104308616)



Fig. 3. Anémona de la familia Parazoanthidae *Parazoanthus elongatus* (Tomada de www.inaturalist.mma.gob.cl/observations/78537802)

(Capítulo 13); mientras que en otra rama diversifican el superphylum Spiralia el cual incluye al Phylum Mollusca (Capítulo 10), y el superphylum Ecdysozoa, rama que incluye al Phylum Arthropoda (Capítulo 11).

Superphylum Spiralia

Este grupo se caracteriza por poseer una boca situada ventralmente, cerca del centro del cuerpo y un tubo digestivo incompleto y ramificado. En el desarrollo embrionario se reconocen además tres capas de tejido el ectodermo, el endodermo y entre ellos el mesodermo. Dentro de este superphylum se encuentran los Phyla Nemertea, Platyhelminthes, Brachiopoda y Annelida. El Phylum Mollusca es tratado en el Capítulo 10.

Gusanos cinta, Phylum Nemertea

Dentro de los principales trabajos que estudian al Phylum Nemertea son Friedrich (1970), Sánchez (1973), Thiel & Ullrich (2002) y Thiel & Norenburg (2009). Existe un registro de 6 especies para la región de Atacama. Las principales Familias representadas en esta zona son Emplectonematidae con 3 especies, Prosorhochmidae con 1 especie, Valenciniidae con 1 especie y Lineidae con 1 especie. Un representante de esta zona, caracterizado por su gran tamaño y vistosos colores es el gusano cintiforme *Lineus atrocaeruleus* perteneciente a la familia Lineidae.

Gusanos planos, Phylum Platyhelminthes

Los gusanos planos pueden ser tanto de vida libre, como las planarias, o parásitos como las tenias. Respecto a los primeros mencionados, Sienfeld (2002) hace un recuento de los integrantes de este Phylum para la zona. Representan a este Phylum 3 especies en la región de Atacama. Las familias representadas en esta zona son Geoplanidae, Cryptocelidae y Notocomplanidae, todas con una especie. Un representante de esta zona, es la especie de gusano plano *Notocomplana chierchiae*, frecuentemente encontrada debajo de las rocas en el intermareal.

En la secuencia evolutiva, los Phyla Annelida y Brachiopoda son los últimos dos grupos en aparecer dentro de los primeros animales, antes de la aparición del Phylum Mollusca.

Poliquetos, lombrices y sanguijuelas, Phylum Annelida

Los anélidos están representados en la región por 119 especies, distribuidas en 32 familias. Dentro de los anélidos, los poliquetos suelen ser uno de los grupos más exitosos y numerosos en ambientes marinos, presentes en casi todos los hábitats, desde la zona intermareal hasta las mayores profundidades del océano. Pueden ser móviles o sedentarios. El principal trabajo que recopila las especies del Phylum Annelida para la zona, es el de Lancellotti & Vásquez (2000). Las familias más numerosas son Syllidae con 15, Nereididae con 12, Spionidae con 12, Phyllodocidae con 8 y Lumbrineridae con 7 especies. Una representante de esta zona en fondos arenosos es el poliqueto de la familia Glyceridae, *Glycera americana*, alcanzando hasta unos 20 cm de tamaño, de color rojo y caracterizado por ser una especie muy móvil.

Conchas lámpara, Phylum Brachiopoda

Algunas de las especies de este grupo, al presentar una concha compuesta por dos valvas, son confundidas con moluscos bivalvos. Existen en la región de Atacama 4 especies y el principal trabajo que estudia al Phylum Brachiopoda para el Pacífico sur es el de Foster (1989). Las familias representadas en esta zona son Frieleiidae, Cancellothyrididae, Terebratellidae y Zeilleriidae, todas con una especie. Representantes de esta zona, pero que se encuentran en aguas más o menos profundas son *Magellania venosa* perteneciente a la Familia Zeilleriidae, generalmente a más de 100 m de profundidad y *Terebratella dorsata* (Gmelin, 1791), sobre rocas a más de 20 m de profundidad (Fig 4).

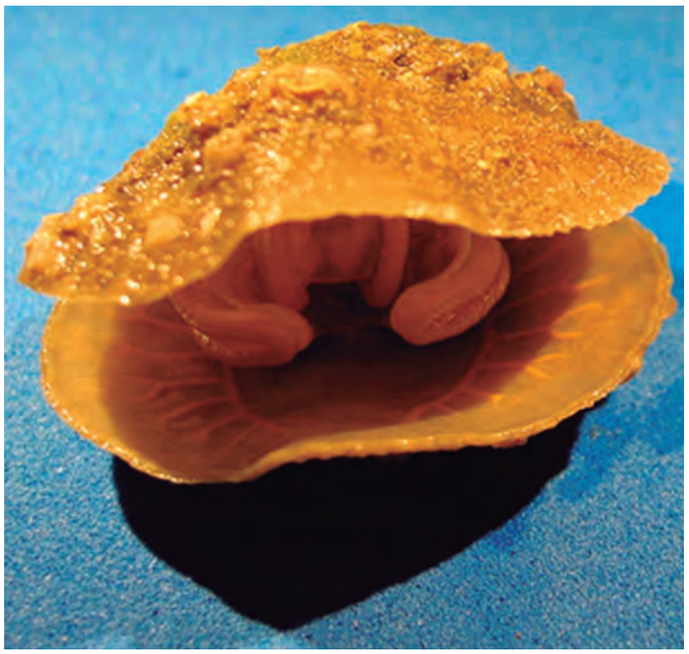


Fig. 4. Braquiópodo *Terebratella dorsata*

Superphylum Ecdysozoa (Priapulida, Nematoda y Tardígrados).

Los ecdisozoos son el grupo más diverso de animales, incluyen a los gusanos nemátodos (Recuadro 9.1) y los artrópodos (Capítulo 11). Ellos se caracterizan por poseer una cubierta externa llamada cutícula, que protege sus órganos internos blandos. Después de mudar (i.e., desprenden su cutícula), crecen en tamaño y secretan una nueva concha, a este proceso se le denomina ecdisis.

Phylum Nematoda

Según Lee et al. (2008), en Chile se reconocen 326 especies, mayoritariamente de la zona intermareal de la costa continental, sin embargo, este número puede aumentar, según lo encontrado por Valderrama-Aravena et al. (2014), quienes indican que este grupo posee una importante diversidad críptica, es decir especies morfológicamente similares pero genéticamente distintas (Ver Recuadro 9.1). El número de especies para la región de Atacama es de 60 especies aproximadamente.

Phylum Priapulida

Tarifeño (1995) reporta una especie en la zona de la familia Priapulidae, denominada *Priapulus tuberculatospinosus*, que tiene una amplia distribución mundial, encontrándose en Chile incluso hasta Punta Arenas (Fig. 5).



Fig. 5. Gusano priapúlido, *Priapulus tuberculatospinosus*

Phylum Tardigrada

Los tardígrados son animales microscópicos, llamados comúnmente "osos de agua" debido a su apariencia y a su forma de moverse (Fig 6). Según Lee et al. (2008), muestras cualitativas tomadas a 50 cm de profundidad en los sedimentos de Punta Choros revelaron la presencia de *Stygarctus* sp. (Fig 7).

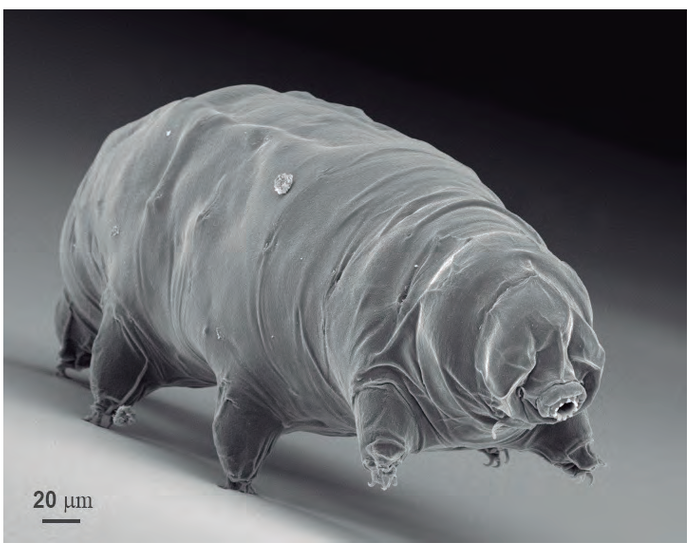


Fig. 6. Vista de un tardígrado común, visto debajo de un microscopio (Crédito: Ralph Schill, Universidad de Stuttgart)

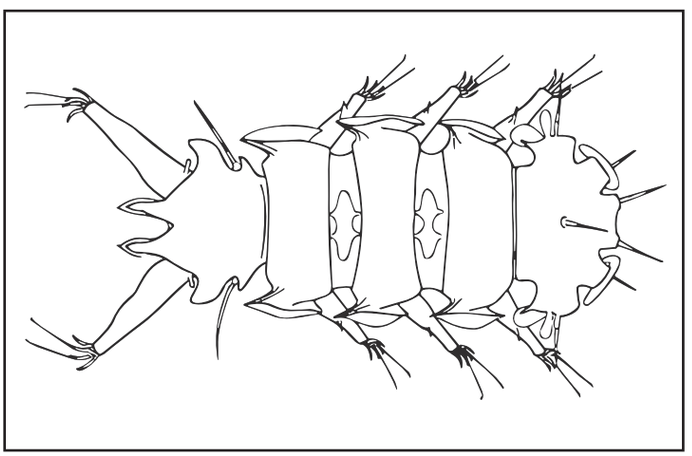


Fig. 7. Esquema de un tardígardo del género *Stygarctus* (basado en Fontoura et al. 2017)

Y hasta aquí queda este relato con un tremendo reto. Todas las especies que pertenecen a los grupos tratados en este capítulo tienen la categoría de "No Evaluada" según el Reglamento de Clasificación de Especies (Ver Capítulo 20).

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 9.1:133-134

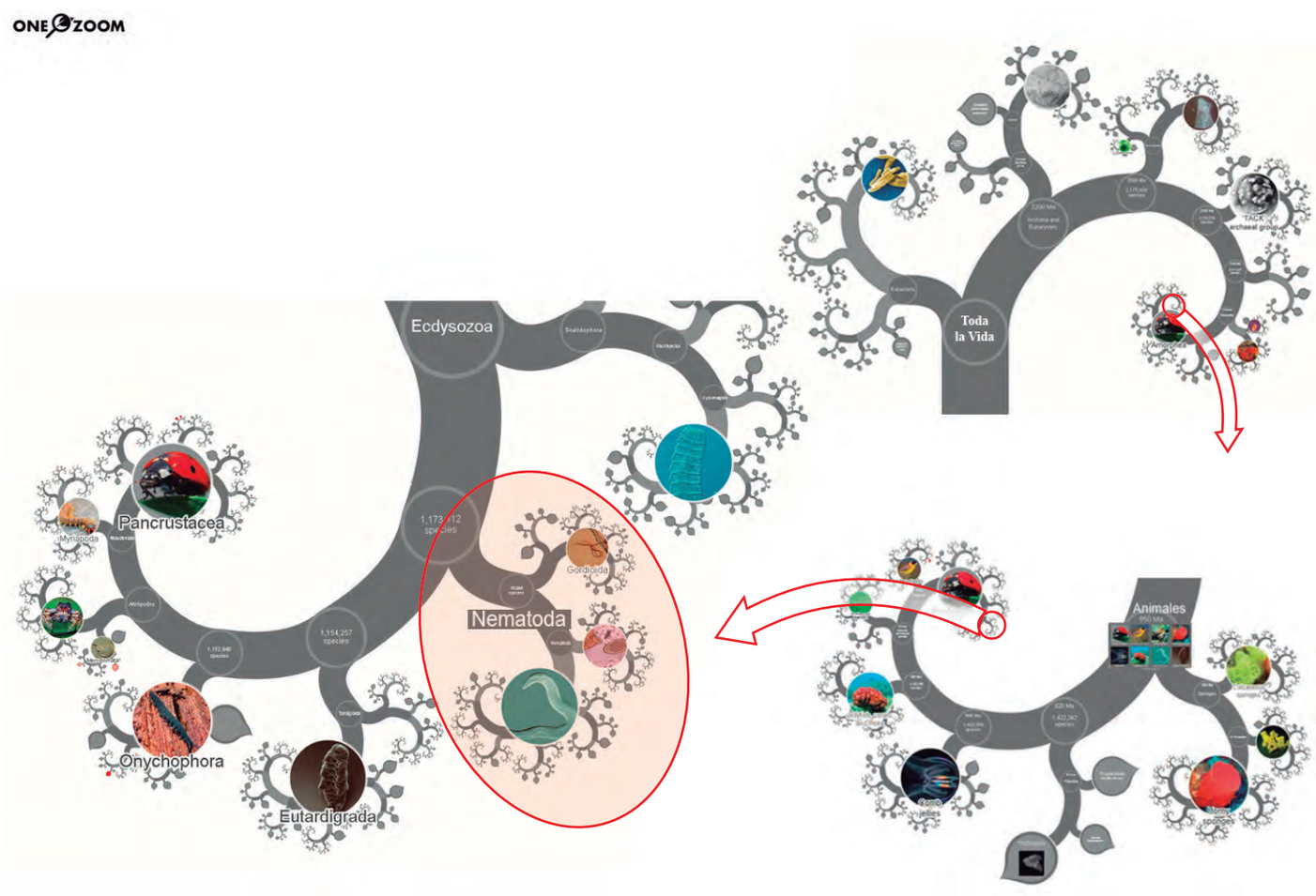


Recuadro 9.1 Biodiversidad marina y terrestre en Atacama: situación de los nemátodos

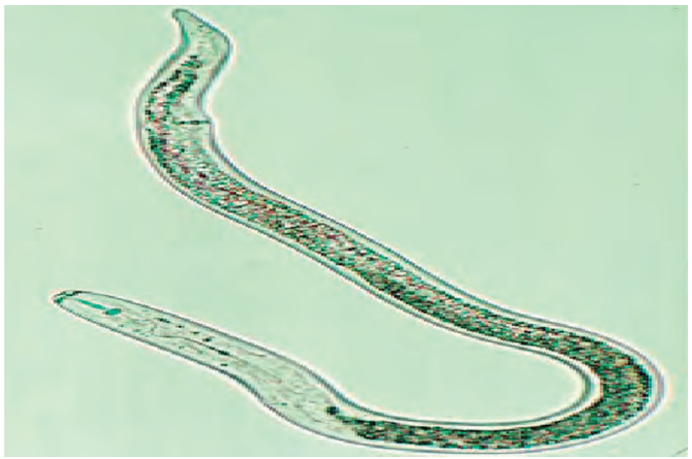
Carol Krausz B

Los nemátodos (Nematoda, del griego nema, "hilo", todo, "con aspecto de"), también conocidos como nematelmintos, son un filo de vermes seudocelomados. Con más de 25.000 especies registradas y un número estimado mucho mayor, tal vez 100.000, forman el cuarto filo más grande del reino animal por lo que se refiere al número de especies. Se conocen vulgarmente como gusanos redondos o gusanos cilíndricos debido a la forma de su cuerpo en un corte transversal (Manzanilla-López & Marbán-Mendoza 2012).

Son individuos pluricelulares que presentan especies de vida libre, marinas, del suelo y parásitos de animales y vegetales. Son organismos no segmentados en su mayoría, cuya forma típica es de vermes cilíndricos aguzados, adelgazados en ambos extremos, en los que se ubica la cabeza y la cola en forma opuesta. Existen varias excepciones a esta forma de gusano, como por ejemplo, algunas hembras de especies fitoparásitas en su estado adulto, adquieren formas globosas, mientras los machos conservan su forma alargada típica.



Dentro del reino Animalia o Metazoa, una de las ramas terminales del árbol de la vida es el Superphylum Ecdysozoa (que incluye desde los nemátodos a los artrópodos. La distancia y largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)



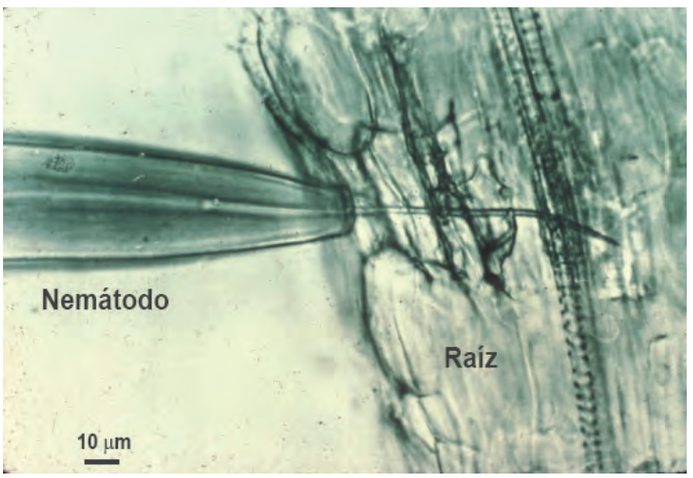
Nemátodo fitopatógeno *Pratylenchus penetrans* (Foto: University of California).



Morfología tipo de nemátodo marino (Foto: Smithsonian National Museum of Natural History).

Dotados de una gran adaptabilidad, los nemátodos pueden encontrarse en una diversidad de hábitat, siendo la condición más importante para mantener su actividad, disponer de un medio húmedo, ya que se movilizan principalmente a través del agua. Es así como pueden habitar en el suelo, agua de mar, agua dulce, sobre y dentro de vegetales y animales e incluso el hombre.
Los nemátodos de vida libre en sistemas marinos, son uno de los grupos de invertebrados más diversos del mundo y componente importante en los ecosistemas bentónicos marinos, desempeñando un papel fundamental en los procesos de descomposición y reciclado de nutrientes siendo reconocidos por su potencial como bioindicadores. Además, desempeñan una función importante en los ecosistemas acuáticos, como parte de la cadena alimentaria y también pueden ser utilizados como indicadores de la calidad del agua. Algunos son parásitos de peces y crustáceos, causando enfermedades; otros son depredadores, alimentándose de otros pequeños organismos acuáticos. Se distribuyen desde el supralitoral hasta las profundidades abisales del océano. En Chile, los nemátodos marinos han sido escasamente estudiados. Hasta la fecha, se han reconocido un poco más de 300 especies, mayoritariamente de la zona intermareal de la costa continental; destacan allí géneros tales como: *Halomonhystera, Enoploides, Gammanema* y *Pomponema* (Valderrama et al. 2014). Un estudio reciente muestra la existencia de una rica fauna de nemátodos, sorprendentemente pequeños, pero dominantes en biomasa en la Fosa de Atacama (Gambi et al. 2003, Recuadro 4.1)

En el suelo, los nemátodos se han encontrado en la mayoría de estos, estén o no cultivados; en todos existe una mezcla de diversos géneros con hábitos alimenticios diferentes (saprófitos, depredadores, fungívoros y parásitos) (Magunacelaya & Dagnino 1999). Dentro de estos, los más importantes son aquellos del tipo fitoparásitos, que atacan raíces, tallos y hojas, principalmente, disminuyendo el rendimiento y calidad de los cultivos. Entre los géneros más importantes de nemátodos fitoparásitos, se encuentran: *Meloidogyne, Xiphinema, Pratylenchus, Globodera* y *Tylenchulus.*



Xiphinema index alimentándose de una raíz de vid (Wylie et al. 2004).

Nemátodos presentes en la región de Atacama.
Existe escasa información de nemátodos en la región de Atacama; De acuerdo a estudios de Enrique Gadea (1963), la fauna nematoidea de la región de Atacama era muy pobre, en la década del 60, identificándose solo 4 géneros asociados a *Dorylaimus, Plectus, Tylenchus* y *Rhabditis*. Algunos antecedentes más actuales, indican que en el Desierto de Atacama se han encontrado algunas especies de nemátodos adaptadas a condiciones de extrema sequía, tanto en la superficie del suelo como en muestras de suelo profundo. Estas adaptaciones dicen relación con procesos de anhidrobiosis, en el cual el cuerpo del nemátodo se deshidrata y detiene temporalmente su metabolismo. Desde el punto de vista agrícola, hay diversas especies que se encuentran presentes en la agricultura de dicha región; la más importante es el nemátodo Daga, *Xiphinema* spp, atacando de manera importante el cultivo de vid y provocando daño en la producción y calidad de la fruta; se suma *Meloidogyne* spp, un nemátodo bastante polífago y fácil de encontrar en la mayoría de los suelos agrícolas de Chile.



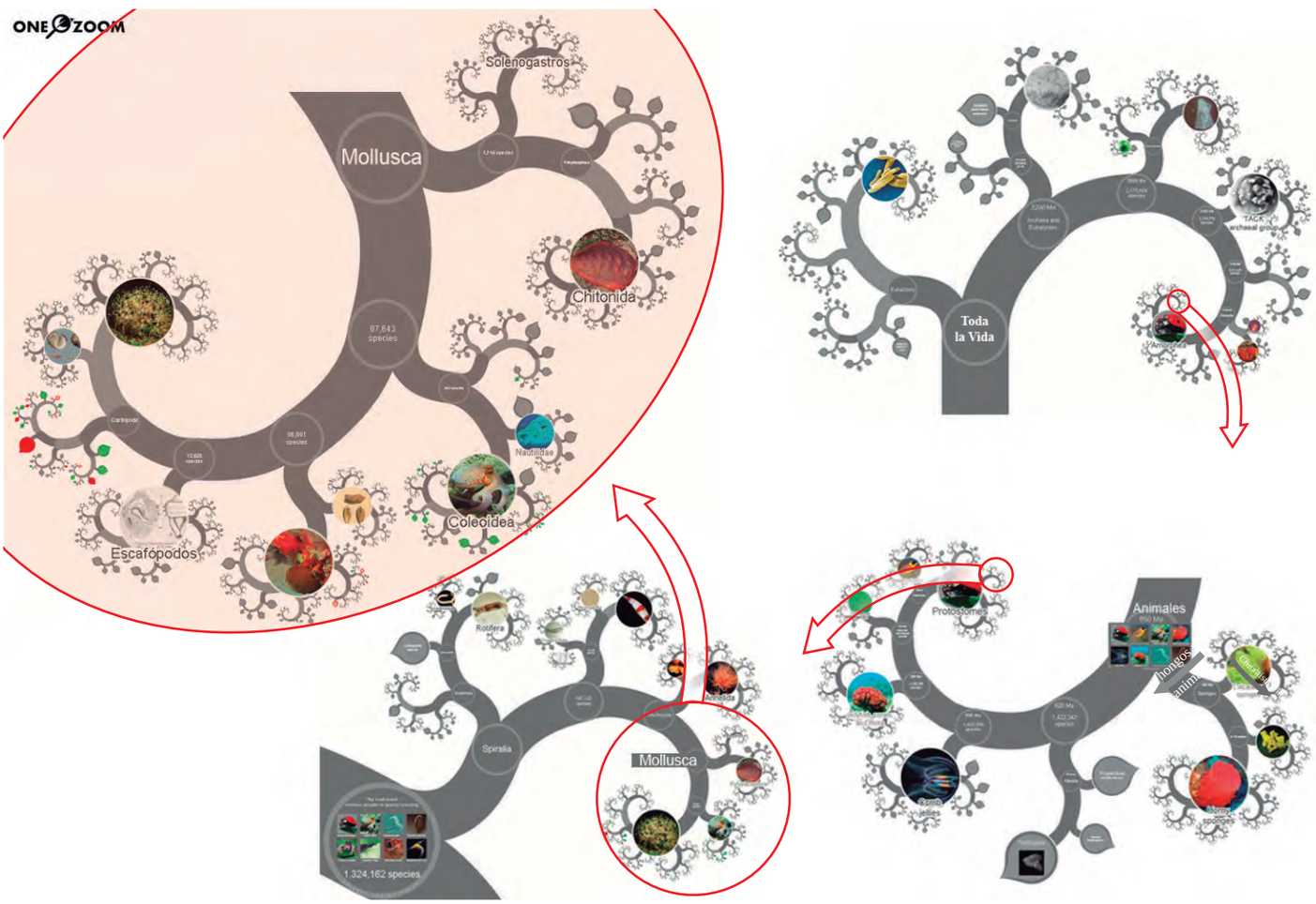
Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 10:135-152

Capítulo 10 Moluscos de Atacama: tesoro malacológico desconocido de Chile

Ricardo Catalán Garrido & Juan Francisco Araya

Resumen

Los moluscos son un grupo de invertebrados altamente diversificados, distribuidos tanto en el mar como en la tierra, y que son reconocibles por sus cuerpos blandos, no segmentados, protegidos por resistentes conchas de carbonato de calcio. Este grupo alberga a especies fácilmente reconocidas, como las almejas, caracoles, pulpos y babosas, siendo los invertebrados más numerosos después de los artrópodos. De las cerca de 52.500 especies descritas de moluscos vivientes, alrededor de 1.750 se encuentran en Chile, principalmente en el ambiente marino. De este total, alrededor de un 10% habita en la región de Atacama (cerca de 188 especies documentadas), e incluye especies de seis de las ocho Clases actuales de moluscos. La región de Atacama con 41 especies de caracoles terrestres, posee la mayor biodiversidad del país, sin embargo y a pesar de ser la mayoría de estas especies endémicas, aún no se ha evaluado su estado de conservación. En este capítulo se describen las características del Phylum Mollusca, la principal literatura que incorpora especies de la región, así como los registros locales de estas especies en el ámbito marino y continental, incluyendo especies marinas, terrestres y dulceacuícolas.



En el reino Animalia del árbol de la vida, el Phyllum Mollusca se encuentra dentro del Superphyllum Spiralia, una diversificación anterior al Superphyllum Ecdysozoa. El largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)

Introducción

Filogenéticamente el Phylum Mollusca es el segundo Phylum con más especies luego de los Artropoda, están incluidos dentro del superfilo Spiralia y supergrupo Llophotrochozoa, emparentados con gusanos como los anélidos, todos Protostomados que aparecen en el período Cámbrico hace unos 510 millones de años.

La mayoría de los moluscos son encontrados en el ambiente marino, donde son el grupo más rico en número de especies. Este grupo está altamente diversificado, no solo en taxa, tamaño corporal, y adaptaciones fisiológicas y ecológicas, sino que también han colonizado numerosos hábitats a lo largo del planeta, desde alturas cordilleranas a simas hadales. Los moluscos se reconocen, a grandes rasgos, por la ausencia de segmentación, la presencia de una rádula (una estructura de dientes raspadores que los ayuda en su alimentación) en la mayoría de los gasterópodos, por las valvas dobles (en el caso de los bivalvos) o por sus conchas espirales (en el caso de los gasterópodos). Este grupo es increíblemente variado y cuenta con especies con un tamaño adulto de solo unos milímetros a especies que sobrepasan los 15 m y los cientos de kg de peso (grandes calamares de las profundidades: Architeuthis y Mesonychotheuthis). Son en su mayoría de vida libre, aunque algunas especies pueden ser comensales, así como parásitas.

Este grupo se clasifica actualmente en ocho clases taxonómicas, que incluyen a los Bivalvia, especies con dos valvas como las almejas y choritos de aguas marinas y dulceacuícolas; Caudofoveata, moluscos en forma de gusano cubiertos por espículas; Cephalopoda, como los pulpos y calamares; Monoplacophora, que reúne a primitivas especies de lapas encontradas solo en aguas profundas; Polyplacophora, moluscos con conchas segmentadas como los chitones o apretadores; Scaphopoda, que incluye a las conchas colmillo, encontradas en fondos blandos y fangosos de todo el mundo, y Solenogastres, que al igual que los Caudofoveata también tienen forma de gusano pero diferencian en poseer un notorio surco ventral.

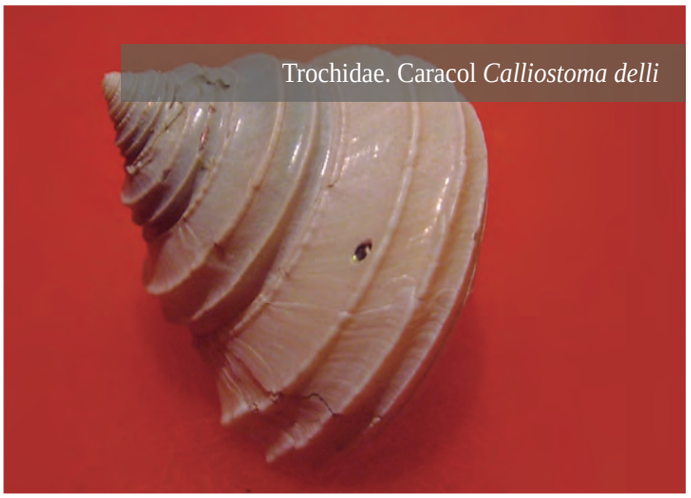
Para la región de Atacama en particular, aparte de algunas especies incorporadas en los trabajos de naturalistas europeos del siglo XIX (Sowerby 1833, d'Orbigny 1847, Hupé 1854), fue Rodulfo Philippi en su obra Viaje al Desierto de Atacama (1860) quien revisó por primera vez la fauna de moluscos de la región de Atacama, citando varias especies y describiendo otras (Philippi 1860). Por otra parte, el naturalista Gigoux (1934), registró 162 especies para las costas de la región de Atacama. El mismo autor también publicó varios trabajos revisando tanto moluscos marinos como terrestres, constituyendo las principales contribuciones a la fauna de la región. Trabajos posteriores que han incorporado especies del área, incluyen los estudios de las especies de bivalvos del norte de Chile; los Trochidae del norte de Chile; especies de Muricidae del norte de Chile, y más recientemente las especies del género *Aeneator* y poliplacóforos de Caldera (Araya 2013, 2015). En los últimos años



Bostryx guttatus, Las Lomitas PN Pan de Azúcar

se han revisado también, los moluscos heterobranquios de la columna del agua de Caldera, las especies de babosas marinas de la región, así como varios trabajos que han descrito nuevas especies o registros para el área (Araya et al. 2016, Araya & Catalán 2016, Araya & Araya 2017, Fernandes & Araya 2019, Araya & Aliaga 2021).

Asimismo, existe un rico acervo de biodiversidad fósil para moluscos en la Región, particularmente de especies del Neógeno citadas para la formación Bahía Inglesa (con especies del Mioceno-Plioceno) y de los denominados Estratos Caldera, de edad Cuaternaria. Varias de estas especies, debido a su abundancia, han sido citadas ya desde el siglo XIX, sin embargo, la mayor revisión de estas se presenta en el trabajo de Philippi (1860) sobre los fósiles terciarios y cuaternarios de Chile.



Trochidae. Caracol *Calliostoma delli*

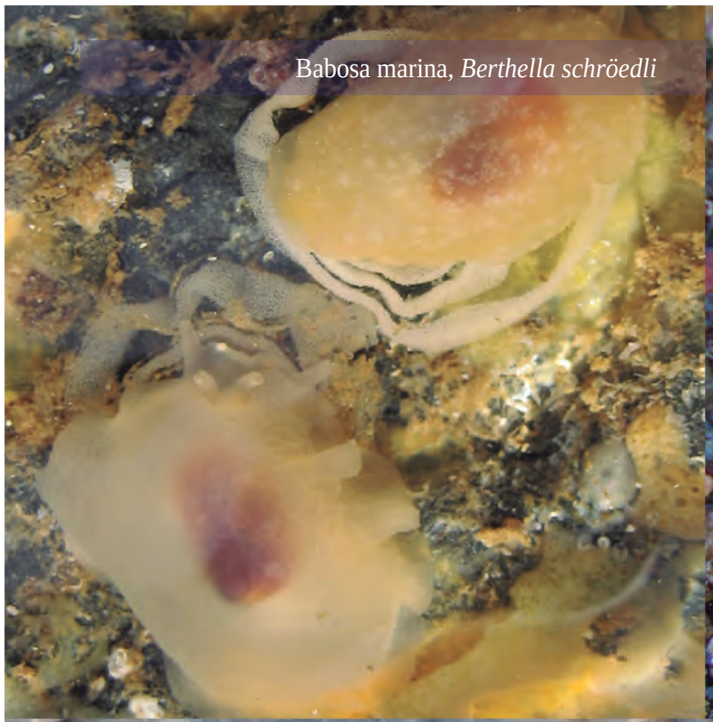


Caracol fósil del género *Acanthina*, El Cisne

La fauna actual de moluscos encontrada en la región de Atacama comparte muchas de sus especies con la fauna de moluscos encontrada en los márgenes de Chile continental, principalmente con especies del norte de Chile, e incluye cinco especies marinas endémicas a la región, tres de ellas encontradas en fondos rocosos someros —el pequeño molusco *Liotia chilensis*, registrado para fondos arenosos en Bahía Inglesa; la babosa *Berthella schröedli*, y el micromolusco levógiro *Monophorus monocelha*, la única especie marina con concha con crecimiento inverso encontrada en el norte de Chile— mientras que dos de ellas se encuentran en aguas profundas: *Aeneator martae*, una especie de aguas profundas con un solo registro desde su descubrimiento, y *Astyris atacamensis*, una especie particularmente abundante en fondos blandos a lo largo del talud continental de la región de Atacama.

Las especies continentales endémicas de la región de Atacama incluyen al gasterópodo dulceacuícola *Heleobia deserticola*, presente en una distribución extremadamente restringida en una aguada costera al sur de Caldera; y a 14 especies de moluscos terrestres, incluyendo nueve especies del género *Bostryx*: *B. ancavilorum, B. breurei, B. calderaensis, B. inaquosum, B. ireneae, B. philippi, B. pumilio, B. rhodacme* y *B. valdovinosi*, encontrados a lo largo de la costa alrededor del puerto de Caldera; el micromolusco Charopidae *Stephacharopa calderaensis*, encontrado en cerros de la Cordillera de la Costa en las cercanías de Caldera; los caracoles Strophocheilidae *Chiliborus bridgesii* y *Ch. pachychilus*, especies con distribución muy restringida en las cercanías de Huasco, así como *Plectostylus coturnix* y *P. elegans*, presentes en zonas rocosas entre Caldera y Huasco.

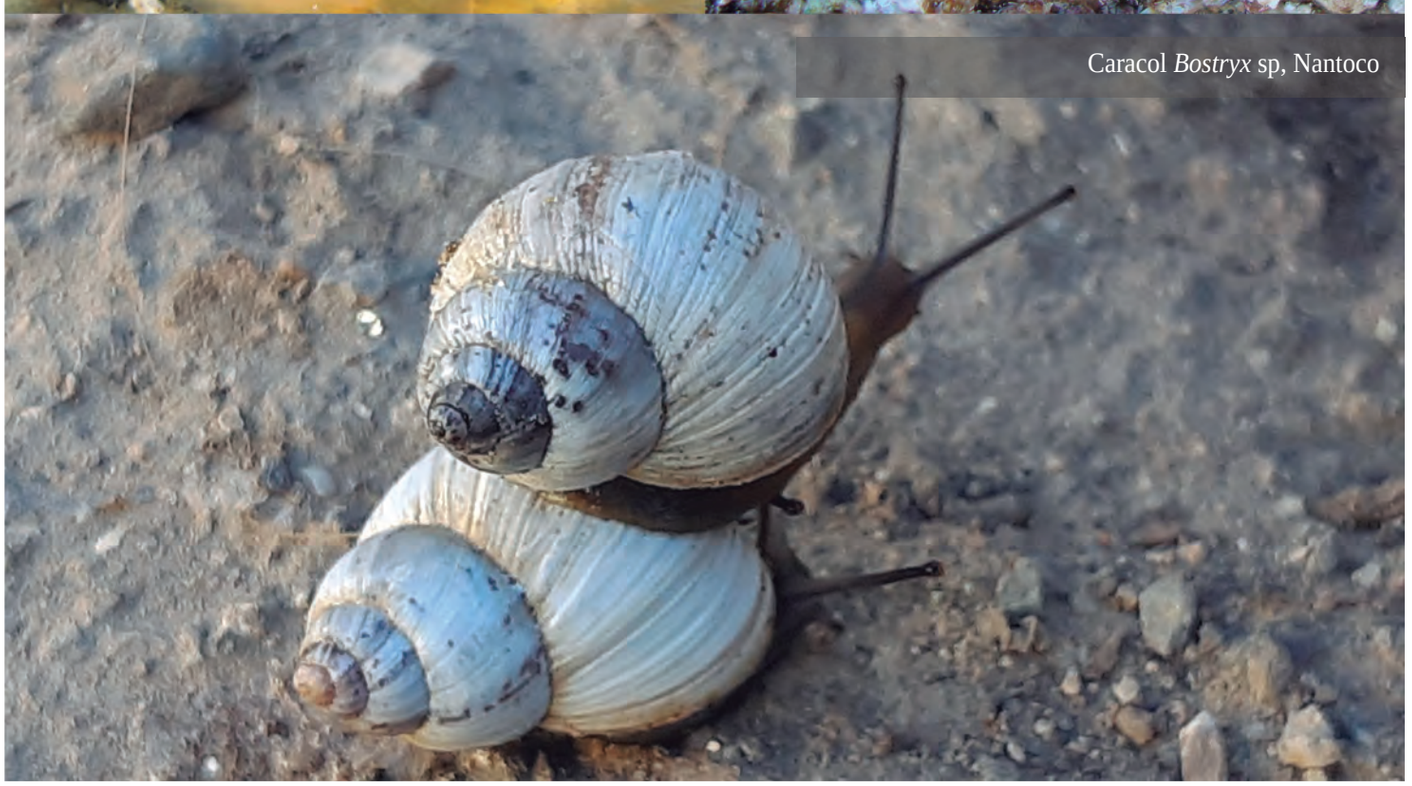
Entre las especies del Cuaternario para la región también se cuenta con el littorinido endémico *Echinolittorina nielseni*, una especie de una familia que en la actualidad tiene especies particularmente abundantes en la región, pero que solo ha sido citada en un único depósito fosilífero para Chile.



Babosa marina, *Berthella schröedli*



Caracol levógiro, *Monophorus monocelha*



Caracol *Bostryx* sp, Nantoco

Ciclo de Vida de los moluscos

Los moluscos marinos, constituyen un componente importante de las comunidades bentónicas tanto en zonas costeras como oceánicas. La mayoría de los moluscos bentónicos posee un ciclo de vida con desarrollo indirecto, ya que origina estados larvales pelágicos que permanecen en la columna de agua desde unas pocas horas hasta más de un año, dependiendo de la especie, las condiciones ambientales y la disponibilidad de alimento. La metamorfosis y asentamiento finaliza este estado, lo que da origen a juveniles que son reclutados a la población adulta.

La reproducción en los moluscos es exclusivamente sexual. Los bivalvos por lo general tienen sexos separados y fecundación externa. Los gasterópodos suelen ser hermafroditas y fecundación externa. Caso aparte son los cefalópodos, donde la fecundación es interna.

La mayoría de caracoles terrestres son hermafroditas sincrónicos, es decir, poseen tanto órganos reproductores masculinos como femeninos. Para el acoplamiento cada individuo, asume un rol y se reproducen. Los caracoles son organismos ovíparos, pero luego de la fecundación, se dará lugar a una postura de huevos.



Chiliborus chilensis



Ejemplares en proceso de eclosión



Huevo y ejemplar recién eclosionado



Caracol recién eclosionado



Cápsulas de huevos de Loco, *Concholepas concholepas*

Foto César Villarroel

Moluscos Marinos de la región de Atacama

En general, la fauna actual de moluscos marinos de la región de Atacama es bastante rica en comparación con otras áreas del norte de Chile, e incluye a 177 especies distribuidas en seis de las Clases reconocidas dentro del Phylum, encontradas tanto en fondos blandos como rocosos, así como en la columna de agua. A continuación, se revisarán las especies consideradas según sus diferentes Clases y registros en la región de Atacama.

Clase Poliplacophora o de los chitones

Los poliplacóforos, conocidos popularmente como apretadores o barquitos, son una de las clases de moluscos más llamativos encontrados en el litoral rocoso de la región; este grupo incluye 11 especies, encontrándose entre ellas las especies más grandes de chitones conocidas para el país. La mayoría de las especies de poliplacóforos encontradas en la región pertenecen al género *Chiton*, todas ellas con una amplia distribución en el intermareal del norte de Chile, con la excepción de especies semi-infaunales como los pequeños *Callistochiton pulchellus* y *Calloplax vivípara*, que viven asociados a fondos de gravas cementadas por esponjas, en sectores rocosos. Destacadas por su coloración son las especies del género *Tonicia*, que poseen vistosos mantos lisos y se encuentran bajo rocas inter-submareales. También en rocas del intermareal es frecuente encontrar el *Ischnochiton pusio*, de tamaño pequeño, generalmente se confunde con juveniles de otras especies de chitones.


Tonicia chilensis


Tonicia chilensis

Foto Gustavo Duarte


Enoplochiton niger

Foto Siomara Astorga


Ischnochiton pusio

Clase Cephalopoda o de los pulpos

Los moluscos cefalópodos son relativamente poco comunes en la región de Atacama, donde solo una especie es comúnmente encontrada en el litoral rocoso del área: el pulpo del norte o pulpo de los Changos *Octopus mimus*, una especie altamente cotizada localmente y que es activamente explotada. El resto de las especies de cefalópodos son encontrados en la columna de agua, destacándose la jibia, *Dosidicus gigas*, una especie de interés comercial.



Pulpo, *Octopus mimus*

Foto: Pablo Zamora



Jibia, *Dosidicus gigas*

Clase Bivalvia o de las almejas, machas, choritos y ostiones

En general, de las 42 especies de bivalvos encontrados en la región de Atacama, estos están representados mayormente por mitílidos (8 especies), especies sumamente abundantes en número y que forman comunidades dominantes en el intermareal somero, como la especie *Perumytilus purpuratus*; y por venéridos (7 especies), que incluyen muchas especies de almejas infaunales de interés económico; mientras que el resto de las especies están distribuidas en otras 18 familias, la mayoría representadas por una sola especie. De interés económico son los ostiones (*Argopecten purpuratus*), y las machas (*Mesodesma donacium*), así como las grandes almejas *Eurhomalea*, *Gari* y *Semele*, que son activamente colectadas por pescadores litorales. Las restantes 36 especies se distribuyen en 13 familias, la mayoría sólo representadas por una o dos especies en la región (y en Chile). Existen algunas especies de pequeño tamaño, que viven asociadas a conchas de otros bivalvos y picorocos como *Meretryx platei*, *Lasaea petitiana* y *Petricola rugosa*. Otra interesante y poco conocida especie, emparentada con las navajuelas y navajas de mar es el escaso *Solen gaudichaudii*, que puede ser encontrado en la playa Puerto Viejo, arrojada por las marejadas. Pocas especies de aguas profundas han sido citadas para la región, la mayoría encontradas en la pesca acompañante del bacalao en la región, las cuales incluyen ejemplares del género *Acesta*, *Saccella* y *Limopsis*, incluyendo posiblemente especies sin describir. La gran mayoría de especies de bivalvos encontrados actualmente en las costas de la región de Atacama están representadas en forma fósiles en los amplios y abundantes depósitos del Cuaternario, Estratos de Caldera, que se encuentran a lo largo de toda la comuna homónima (Guicharrousse et al. 2015). Es de interés también citar a la Ostra japonesa, *Magallana gigas*, única especie de bivalvo introducido presente en la región de Atacama, en instalaciones de crianza en tierra.



Navaja chica, *Solen gaudichaudii*



Ostra japonesa, *Magallana gigas*





Clase Gastropoda o de los caracoles

Los gasterópodos incluyen a los tan conocidos caracoles, presentes en todas las costas de Chile, siendo extraordinariamente abundantes en el intermareal del norte de Chile. La mayoría de las especies citadas para la región de Atacama corresponden a especies de aguas someras, y están representadas por alrededor de 38 familias, siendo la familia Fissurellidae la más abundante en especies (con nueve especies), contando con muchas especies del género *Fissurella*, con amplio interés económico. Otras familias ampliamente representadas en la Región son la familia de lapas Lottiidae, con caracoles con conchas en forma de cono aplanado que viven exclusivamente sobre fondos rocosos en áreas intermareales, particularmente en zonas de alta energía. La familia Muricidae es también numerosa en el área, contando con ocho especies, algunas de ellas con gran interés económico como el loco (*Concholepas concholepas)* y el locate (*Thaisella chocolata*), ambas especies ampliamente explotadas en general. Especies también numerosas en el litoral rocoso incluyen a las Tégulas, de las cuales hay cinco especies en la región, y a especies de caracoles Columbellidae, que viven en fondos blandos y en playas de gravas o arenas gruesas.

Asimismo, se ha citado para la región de Atacama una docena de especies muy interesantes y vistosas de babosas marinas o nudibranquios, incluyendo una especie endémica para la región, la babosa con concha interna *Berthella schroedli*, registrada solo para algunas locaciones alrededores del puerto de Caldera. Otras especies de mucho interés, por la rareza de su familia, incluyen a los caracoles pulmonados marinos *Sarnia frumentum* y *Marinula pepita*, así como a la babosa pulmonada *Onchidella marginata*, especies encontradas en el intermareal rocoso del norte de Chile.



Nudibranquio espalda de fuego, *Phidiana lottini*

Foto Gustavo Duarte



Peltodoris marmorata



Baptodoris peruviana



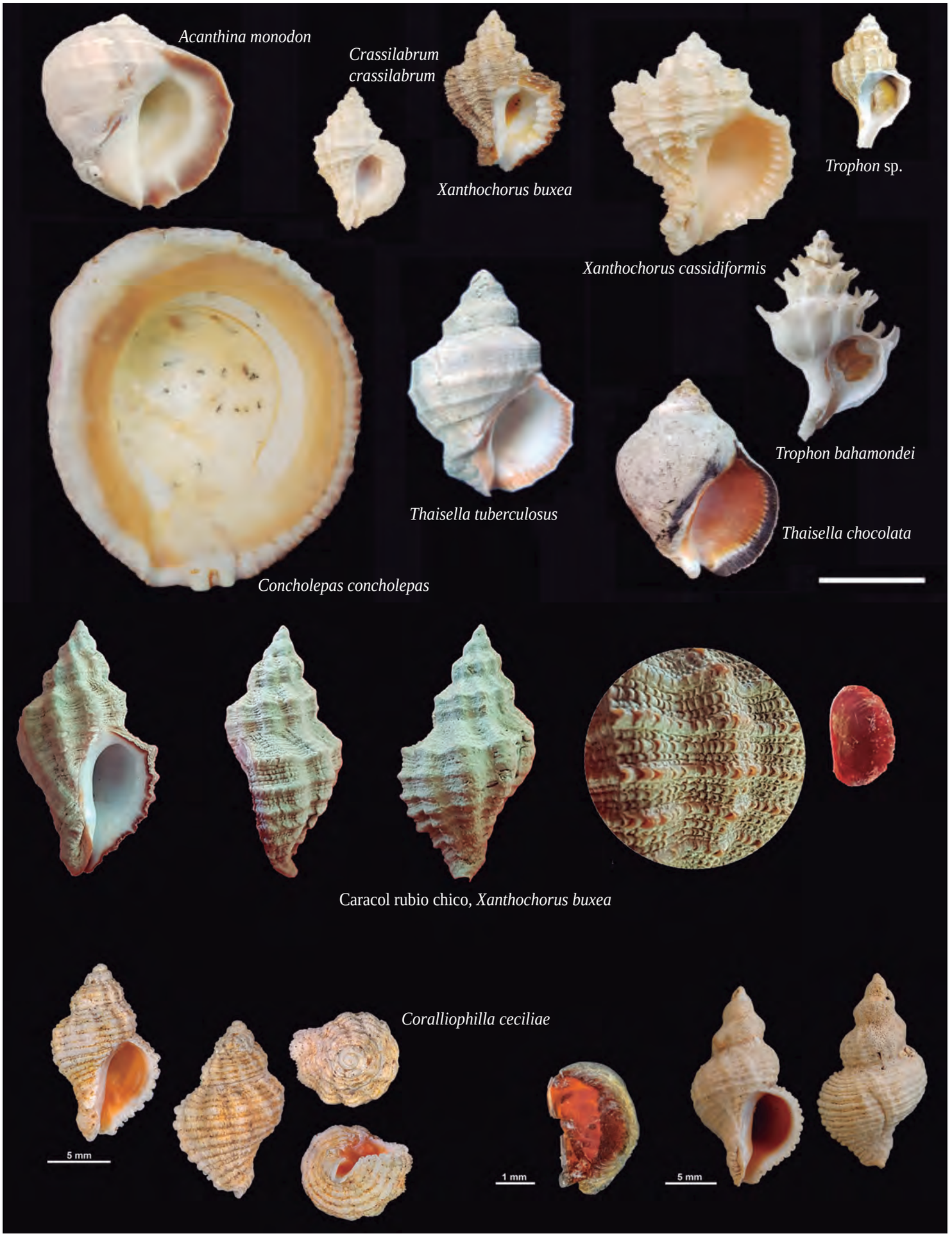
Thecacera darwini

Foto Gustavo Duarte



Doris fontainii

Foto Gustavo Duarte


Acanthina monodon
Crassilabrum crassilabrum
Xanthochorus buxea
Trophon sp.
Xanthochorus cassidiformis
Trophon bahamondei
Thaisella tuberculosus
Thaisella chocolata
Concholepas concholepas
Caracol rubio chico, Xanthochorus buxea
Coralliophilla ceciliae
5 mm
1 mm
5 mm



Marinula pepita



Babosa pulmonada, *Onchidella marginata*



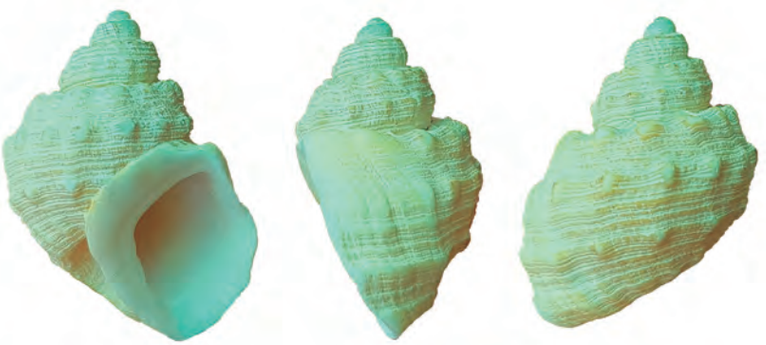
Caracol luna, *Polinices uber*



Sobrerito chino, *Scurra scurra*



Caracol papa, *Sinum cymba*



Cancelaria, *Trigonostoma tuberculosum*





Clase Scaphopoda o de los colmillos de mar

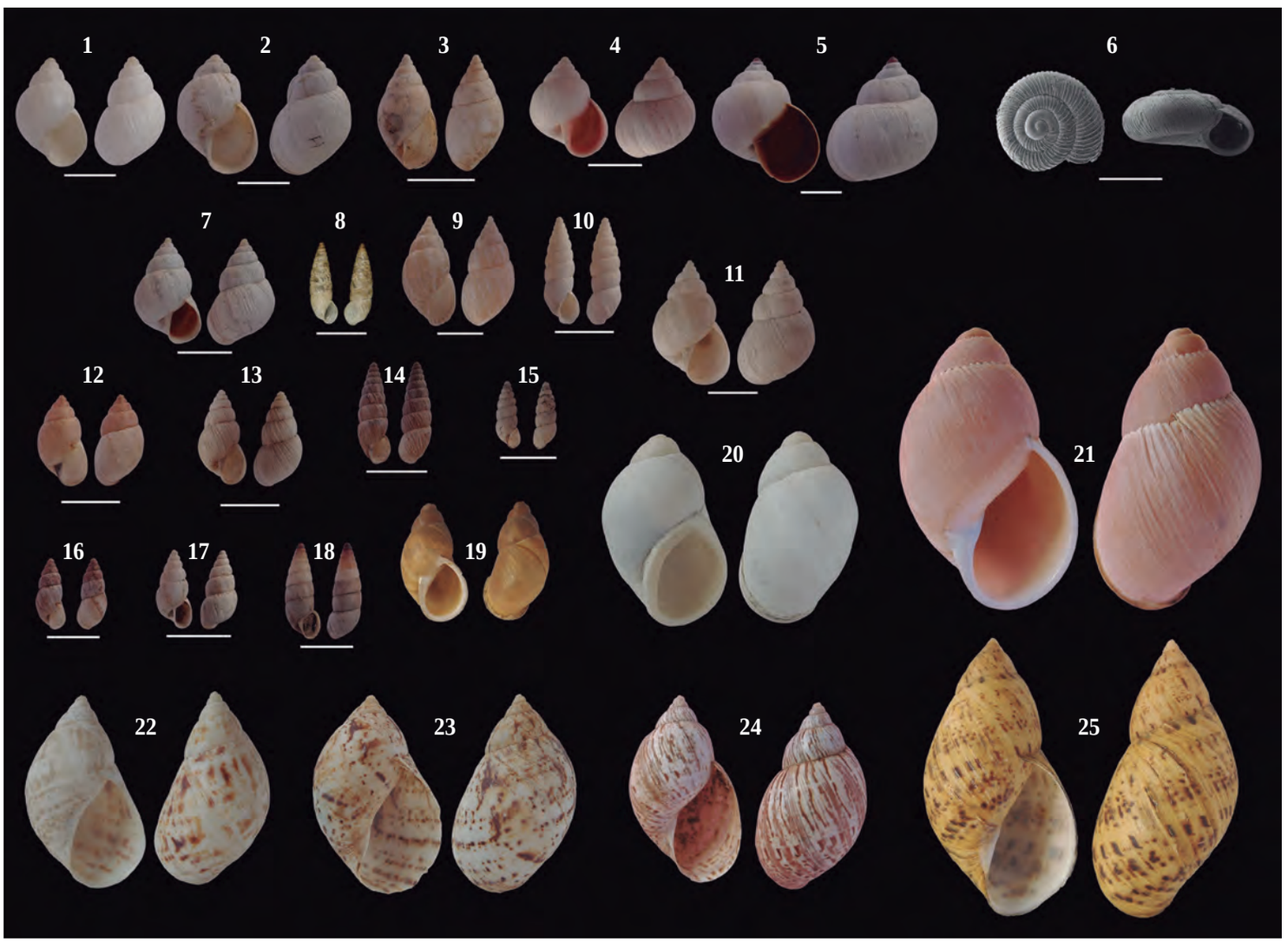
Los moluscos escafópodos conforman una clase pequeña de moluscos, todos ellos habitantes de fondos blandos, que se caracterizan por sus conchas en forma de colmillo. Para la región de Atacama no hay registros previos de esta clase, sin embargo, durante la revisión de material asociado a la pesca de Bacalao en la zona, se pudieron identificar ejemplares de escafópodos, por lo que en un futuro cercano se generarán registros para la región.

Clase Solenogastres

Los moluscos Solenogastres son particularmente raros, contando en la actualidad con alrededor de 297 especies (Mollusca Base 2022), de los cuales alrededor de cinco especies se han documentado para Chile (Osorio 1981). Un solo registro para un molusco solenogastro se indica en este capítulo para la región de Atacama y corresponde a un ejemplar capturado en la fauna acompañante del Bacalao, asociado a cnidarios de aguas profundas.

Moluscos Continentales

La región de Atacama, aun considerando la gran aridez de su territorio, alberga la mayor diversidad de moluscos continentales registrada en Chile (Araya & Catalán 2014, Araya 2015). En general, la mayoría de las especies de caracoles terrestres documentadas para la región se encuentran en una franja longitudinal del litoral entre la costa y la Cordillera de la Costa, con pocas especies documentadas para valles y sectores andinos. Se cuentan alrededor de 41 especies nativas chilenas presentes en la región, las cuales se distribuyen en seis familias: Bothiembryontidae, Bulimulidae, Charopidae, Pupillidae, Strophocheilidae, y Succineidae. Todas estas especies, exceptuando al gran caracol *Chiliborus rosaceus*, posiblemente extinto en la región, poseen conchas de tamaño relativamente pequeño (de máximo unos pocos centimetros), y son especies que viven en el suelo, entre rocas, o enterradas en arena o bajo vegetación nativa. Gran parte de esta fauna (alrededor de 31 especies) pertenece a



Moluscos terrestres nativos de Atacama. 1. *Bostryx albicans*, 2. *Bostryx calderensis*, 3. *Bostryx breurei*, 4. *Bostryx erythrostomus*, 5. *Bostryx erythrostomus*, 6. *Stephacharopa calderaensis*, 7. *Bostryx huascensis*, 8. *Bostryx leucotictus*, 9. *Bostryx irenae*, 10. *Bostryx ischnus*, 11. *Bostryx mejillonensis*, 12. *Bostryx pruinosus*, 13. *Bostryx pustulosus*, 14. *Bostryx pupiformis*, 15. *Bostryx pumilio*, 16. *Bostryx rhodacme*, 17. *Bostryx umbilicaris*, 18. *Bostryx valdovinosi*, 19. *Chiliborus bridgesii*, 20. *Chiliborus pachychilus*, 21. *Chiliborus rosaceus*, 22. *Plectostylus broderipi*, 23. *Plectostylus coturnix*, 24. *Plectostylus elegans*, 25. *Plectostylus variegatus*.

Bulimulidae, todas ellas del género *Bostryx*, mientras que se han registrado cinco especies de Bothiembryontidae, una familia con origen en Gondwana, todas del género *Plectostylus*. La familia Strophocheilidae, representada en Chile solo por el género endémico *Chiliborus*, posee cuatro especies en la región, mientras que las familias restantes están representadas sólo por una o dos especies cada una (Araya & Catalán 2014, Araya 2015).

Los moluscos dulceacuícolas están representados únicamente por gasterópodos de agua dulce, incluyendo varias especies de caracoles de los géneros *Biomphalaria* y *Heleobia*, con especies altamente endémicas. Especies de *Biomphalaria* son encontradas en lagunas y ojos de agua al interior de la región, mientras que *Heleobia* cuenta con especies restringidas a aguadas y manantiales costeros de la Cordillera de la Costa, así como al Río Copiapó (Biese 1944). Es interesante mencionar entre estas especies a *Heleobia deserticola*, cuya localidad tipo es un pequeño manantial encontrado en farellones costeros al sur del puerto de Caldera. Los caracoles *Physa acuta* y *Bioemphalaria schmiereriana* han sido mencionados y descritos como bioindicadores y como componentes muy importante de las comunidades en ecosistemas acuáticos ya que juegan un rol vital en el procesamiento de la materia orgánica y detritus. Estos moluscos se alimentan generalmente de vegetales, detrituso del perifiton que cubre sustratos duros en los ríos, lagos y lagunas. Pueden incluso flotar en la superficie del agua sin romper la tensión superficial, alimentándose de algas flotantes, se pueden encontrar con relativa facilidad en el Humedal de la desembocadura del río Huasco (Cenma 2016), conviviendo con otras especies de caracoles de pequeño tamaño de los géneros *Littoridina* y *Limnaea*.

En cuanto a especies de moluscos introducidas, se han citado sólo 2 especies en la Región de Atacama: el caracol terrestre *Cornu aspersum*, ampliamente presente en jardines y sectores modificados por humanos, y la babosa *Deroceras laeve*, encontrada en zonas húmedas de jardines en entornos urbanos (Araya 2015).



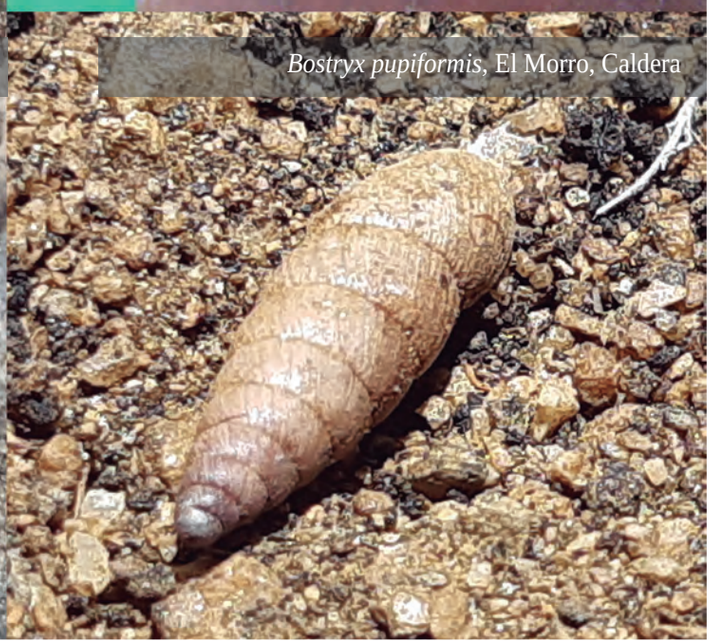
Bostryx albicans cerro El Roble, Caldera



Bostryx guttatus, PN. Pan de Azúcar



Bostryx ischnus, Quebrada del León, Caldera



Bostryx pupiformis, El Morro, Caldera

Tesoros a cientos de metros de profundidad

Explicar el caso de las interesantes especies de moluscos de profundidad de Atacama, no es fácil. Pero puedo contar desde mi experiencia y remontarme a los años de Universidad en los laboratorios de Pesquería de la Universidad Católica del Norte, en Coquimbo, donde un día en una muestra de camarones nailon apareció un hermoso y completo ejemplar de *Aeneator loisae*, la verdad es que no lo podía creer. Era un caracol blanco, delicado y de unos 90 mm de largo, finamente estriado. Luego de ese ejemplar, obtuve y logré identificar muchas especies de profundidad, todas hermosas, algunas veces adornadas con espinas como el *Columbarium tomicici* y *Trophon bahamondei*, otras con densos periostracos (*Limopsis*) y en algunos casos de inmensos tamaños como la almeja gigante, casi translúcida *Acesta patagónica*. A pesar de su gran vistosidad son especies poco conocidas y sin duda que las prospecciones a grandes profundidades, nos van a brindar muchas nuevas e interesantes especies, de estos tesoros malacológicos de nuestras profundidades que aguardan para ser descubiertos. Las especies que se presentan a continuación, fueron obtenidas por la pesca de arrastre del camarón nailon (*Heterocarpus reedi*), la gamba (*Haliporoides diomedeae*), los langostinos colorado (*Pleuroncodes monodon*) y amarillo (*Cervimunida johni*) y el bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*).



Moluscos marinos de profundidad nativos de Atacama. 1. *Trophon bahamondei*, 2. *Aeneator castillai*, 3. *Columbarium tomicici*, 4. *Cancellaria stuardoi*, 5. *Capulus ungaricoides*, 6. *Bathybembix macdonaldi*, 7. *Bathybembix humboldti*, 8. *Trophon* sp. 9. *Acesta patagonica*, 10. *Aeneator martae*, 11. *Diodora codoceae.*

Las conchas blancas y olvidadas

Cuando llegué por primera vez a la región de Atacama y me interné por caminos costeros o cerros dunarios, hace ya más de dos décadas, me llamó profundamente la atención la gran cantidad de conchas blancas esparcidas por todas partes. La observación en detalle me indicó que se trataba de especies de caracoles terrestres muertos y blanqueados por el sol. No se trataba de fósiles de especies de caracoles marinos, como mucha gente pensaba. El tema es que, estos caracoles de tierra endémicos de la región de Atacama, tienen ciclos de vida de un poco más de un año, por lo tanto lo que vemos tirados son muchas generaciones de caracoles, que nacieron de un huevo enterrado bajo la tierra, se desarrollaron y cumplieron su ciclo de vida, incluyendo su reproducción en un año y murieron, dejando sus conchas expuestas a la decoloración por la fuerte radiación solar. Estos verdaderos cementerios de conchas vacías los podemos observar en su plenitud, en cerro Caracoles al frente de playa Ramada en Caldera, correspondiente a conchas de la especie *Bostryx albicans*, en el sector costero de Barranquilla,

correspondiente a la especie *Bostryx erythrostomus* y en sectores costeros de Huasco y Chañaral de Aceituno, de la especie *Chiliborus pachychilus*. No son las únicas especies que han dejado su rastro a través de las conchas vacías, en la región hay innumerables ejemplos, algunos de ellos como *Plectostylus broderipii*, en el Morro, en la comuna de Caldera, *Bostryx holostoma* y *B. eremothauma* ambos de sectores de Chañaral y *B. huascensis*, de la costa de Huasco, por enumerar algunas. Se requieren de urgentes monitoreos para buscar ejemplares vivos y así comprobar que no se trata de especies que ya se extinguieron, y de ser así buscar figuras de protección oficiales para asegurar que no desaparezcan estos increíbles seres nativos de Atacama.



Chiliborus pachychilus, Chañaral de Aceituno



Bostryx erythrostomus, Barranquilla



Bostryx erythrostomus sobre arena en campos dunares de Barranquilla



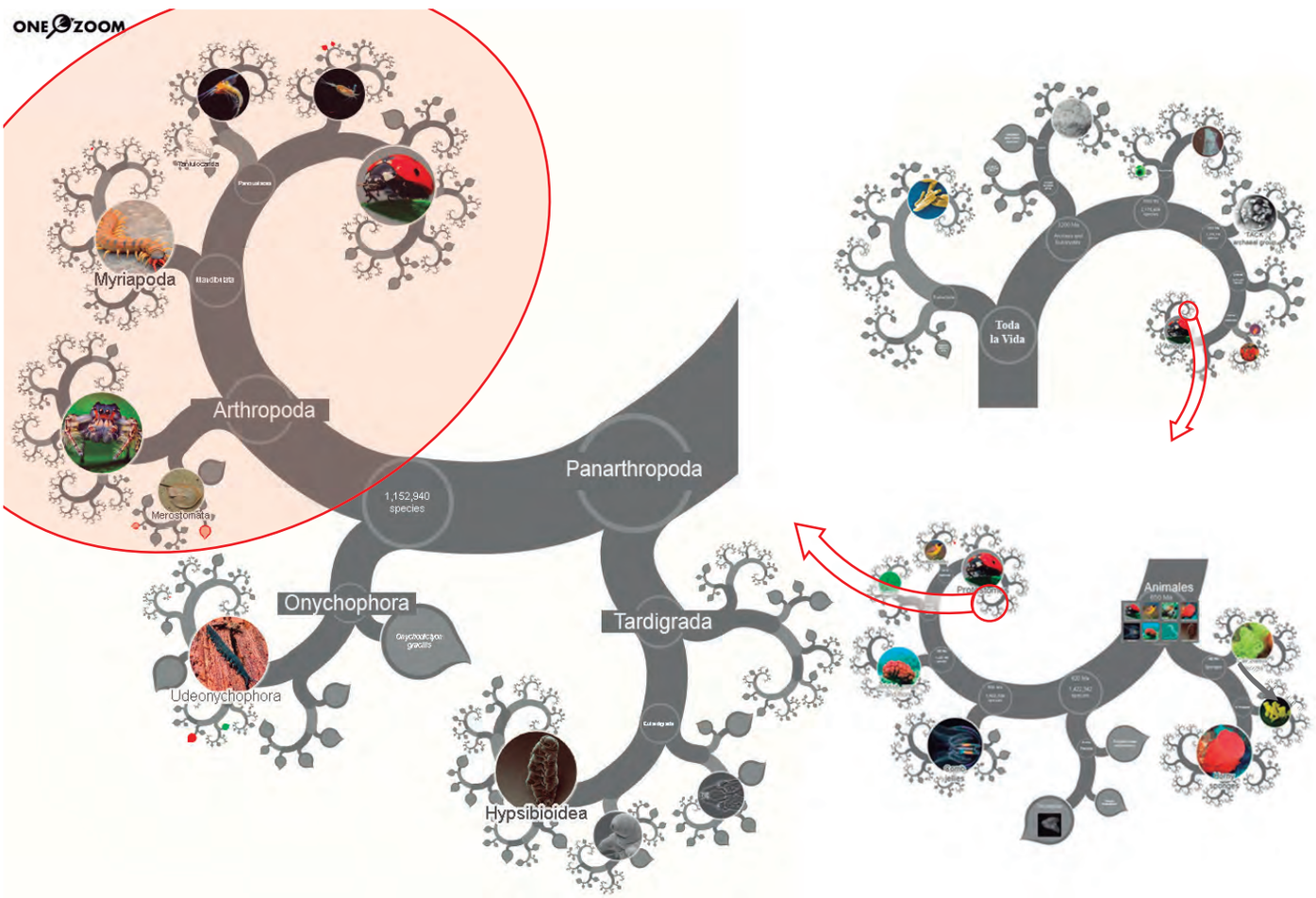
Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 11:153-174

Capítulo 11. Biodiversidad de artrópodos de Atacama (Chile): un grupo hiperdiverso

Jaime Pizarro-Araya, Fermín M. Alfaro, Andrés A. Ojanguren-Affilastro, María de los Ángeles Gallardo, Jorge Pérez-Schultheiss & Martin Thiel

Resumen

Los artrópodos (Arthropoda) son un antiguo grupo de animales invertebrados que constituyen el Phylum más numeroso y diverso del Reino Animal (Metazoa). Su principal característica es que poseen una cubierta exterior dura o exoesqueleto de quitina, compuesta de segmentos unidos por membranas y con varios pares de apéndices articulados. Arthropoda incluye diversos grupos, que se separan y ordenan inicialmente por su aparato bucal y tagmatización (regiones corporales), entre los que se encuentran los grupos quelicerados (Chelicerata) y los mandibulados (Mandibulata). Los quelicerados comprenden los Pycnogonida (arañas marinas) y Arachnida (escorpiones, arañas, solífugos, ácaros y opiliones), y entre los mandibulados se encuentran los crustáceos: Malacostraca (anfípodos e isópodos, decápodos, eufáusidos y estomatópodos), Thecostraca (picorocos), Copepoda, Branchiopoda (artemias), e Insecta (coleópteros, dípteros, lepidópteros, etc), Chilopoda (ciempiés), Diplopoda (milpiés) y Pauropoda. El estudio de los artrópodos es fundamental para el



En el árbol de la vida, dentro del reino Animalia o Metazoa, en la rama terminal del Superphylum Ecdysozoa se encuentra el Phylum Arthropoda y sus dos grupos hermanos (Tardigrada y Onychophora) que conforman el taxón monofilético Panarthropoda. El largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)

desarrollo de diversas áreas del conocimiento ya que constituyen uno de los componentes biológicos más abundantes y diversos, cumpliendo funciones ecológicas como macro-descomponedores, agentes polinizadores, dinamizadores del flujo de energía, como recursos tróficos abundantes. Mediante la revisión de literatura y de colecciones científicas, se analizó por vez primera el estado actual del Phylum Arthropoda en la región de Atacama. En este contexto los objetivos del presente capítulo fueron: 1) describir y diagnosticar el estado del conocimiento de los artrópodos de la región de Atacama; 2) caracterizar la comunidad en términos de diversidad, endemismos y distribución local; 3) identificar problemas y proyecciones a investigar en relación a los artrópodos. La taxonomía y la sistemática predominan como temáticas de estudio, siendo escasos los trabajos macroecológicos y biogeográficos. Se registraron 1.172 especies Arthropoda (lo que corresponde al 7,1% de la diversidad total del Phylum en Chile), 350 familias y 769 géneros; para Chelicerata registramos 149 especies y para Mandibulata 1.023 especies, las clases más diversas fueron Insecta (701 especies), Malacostraca (242 especies), Arachnida (149 especies) y Copepoda (51 especies), mientras que las clases escasamente representadas fueron Chilopoda (5), Pycnogonida (3), Diplopoda (2) y Pauropoda (1). Definitivamente son cifras subestimadas, ya que consideramos que faltan estudios taxonómicos y que existen diversas áreas aún sin relevamiento de información de su biodiversidad, probablemente, aumentarán las cifras de diversidad aún por conocer. Se identifican los cambios ambientales naturales y causados por el hombre que pueden poner en peligro las especies de Arthropoda de Atacama, que van desde la destrucción de hábitat, extracción de agua, loteos de parcelas en sectores de interés de conservación entre otros. Consideramos que la región de Atacama es un laboratorio natural para el estudio de una biota única, ya que el ensamble de artrópodos de Atacama muestra particularidades, en términos de endemismo, micro distribución y de problemas de conservación de diversas especies. Se exponen las líneas de investigación y desafíos necesarios para avanzar en el conocimiento de un grupo hiperdiverso y los problemas en relación a la descripción de especies nuevas, debido al grave déficit de taxónomos, escasos fondos para nuevas exploraciones de esta biodiversidad única.
Palabras clave: desierto, arácnidos, crustáceos, insectos, marino, dulceacuícola, acuática, taxonomía, historia natural.

Introducción

El Phylum Arthropoda es el taxón más diverso en la historia evolutiva de la tierra, y representa alrededor del 80% del número total de especies en el reino animal. Las últimas estimaciones que se proyectan para Insecta consideran una diversidad de 5,5 millones de especies (rango 2,6–7,8 millones), y para los artrópodos terrestres una diversidad de 6,8 millones de especies (rango 5,9–7,8 millones). Estas proyecciones sugieren que las cifras de 1,2 millones de especies de la diversidad actual para artrópodos son conservadoras y están subestimadas. Siguiendo el patrón mundial, y a pesar de que los artrópodos son el taxón más diverso, los programas de estudio y financiamiento en Chile se han enfocado principalmente en las plantas vasculares y animales vertebrados; además, la mayoría de estos taxa corresponden a especies carismáticas, paraguas o biológicamente conocidas. Por su parte el estudio de los artrópodos cuenta con notables deficiencias en el conocimiento taxonómico y sistemático de la mayoría de los grupos, lo que además se ve afectado negativamente por la pérdida de taxónomos en muchísimos grupos a nivel global, y la decadencia en las colecciones biológicas en el mundo.

Actualmente la biodiversidad de Chile se estima en 35.116 especies, de las cuales 16.566 son artrópodos, entre estos, los elementos de Chelicerata corresponden a 1.405, la mayoría arañas y ácaros; entre los elementos de Mandibulata, 167 son miriápodos, 2.551 son Crustáceos y 12.443 corresponden a Insectos, pero según las nuevas estimaciones, la diversidad actual debería proyectarse sobre un 70% de lo actualmente descrito.

Con respecto a la diversidad de artrópodos en el Libro Rojo para la región de Atacama, Pizarro-Araya et al. (2008) documentan unos 128 artrópodos epigeos, con énfasis en coleópteros (93) y en arácnidos (35), pero no se incluyeron elementos voladores, de follaje ni artrópodos marinos y dulceacuícolas. En el presente capítulo y por vez primera se tratan los artrópodos *sensu lato* presentes en la región de Atacama. Para ello, se estudiaron artículos publicados, se revisaron las colecciones institucionales referentes en el país y se complementaron con las bases de datos de los autores en relación a la fauna de artrópodos presente en la región de Atacama (26-29°S). Al respecto los objetivos del capítulo son: 1) describir y diagnosticar el estado de conocimiento de los artrópodos de la región de Atacama, 2) caracterizar la comunidad en términos de diversidad, endemismos y distribución local, y 3) identificar problemas y proyecciones a investigar en relación a los artrópodos.

Artrópodos de Atacama: su historia natural y exploraciones naturalistas

Los primeros registros de la relación de los artrópodos con los primeros pobladores del Atacama costero son la presencia de exoesqueletos de *Pachycheles grossimanus* (cangrejo del chascón) y *Petrolisthes violaceus* (cangrejo del chascón) en conchales en el sector de Copaca 1, asociados al período Arcaico, alrededor del Fase I (10.700 a 9.500 años atrás).

El estudio de los artrópodos de la región de Atacama comenzó con los viajes de Claude Gay (1830-1840), quien envió los insectos colectados en sus trabajos en el norte de Chile a otros especialistas para su estudio (Solier 1840, 1849, 1851), algunos de los cuales se publicaron en la obra de Gay Historia Física y Política de Chile. Posteriormente, en la notable primera expedición al desierto de Atacama realizada por el naturalista alemán Rodulfo Amando Philippi (“Viaje al Desierto de Atacama” 1860), se relataba que: “Una chicharra era muy común en estos lugares, y hacía un ruido tan fuerte que yo creía al principio oír la voz de un pájaro; no eran tampoco raros el *Gyriosomus Wightii* y la *Meloë Sanguinolenta*”. En estos pasajes Philippi se refería a elementos característicos del desierto florido, actualmente *Tettigades chilensis* (Hemiptera: Cicadidae), *Gyriosomus elongatus* (Coleoptera: Tenebrionidae) y *Pseudomeloe sanguinolentus* (Coleoptera: Meloidae), especies endémicas al desierto de Atacama.

Un estudio sistemático más intensivo de la fauna aracnológica y entomológica comenzó recién a partir de la década de 1950. En los años siguientes, el estudio se focalizó principalmente en Tenebrionidae. A partir del 2000 el Laboratorio de Entomología Ecológica de la Universidad de La Serena (LEULS) y la Sala de Colecciones Biológicas del Departamento de Biología Marina de la Universidad Católica del Norte (SCBUCN) han liderado los estudios de los artrópodos terrestres y marinos de la región, respectivamente.

Phylum Arthropoda, taxonomía y sistemática

Los artrópodos son organismos que se caracterizan por poseer patas articuladas, de ahí su nombre que deriva del griego *arthron*= articulación y *pous*=pie. Los artrópodos incluyen una gran

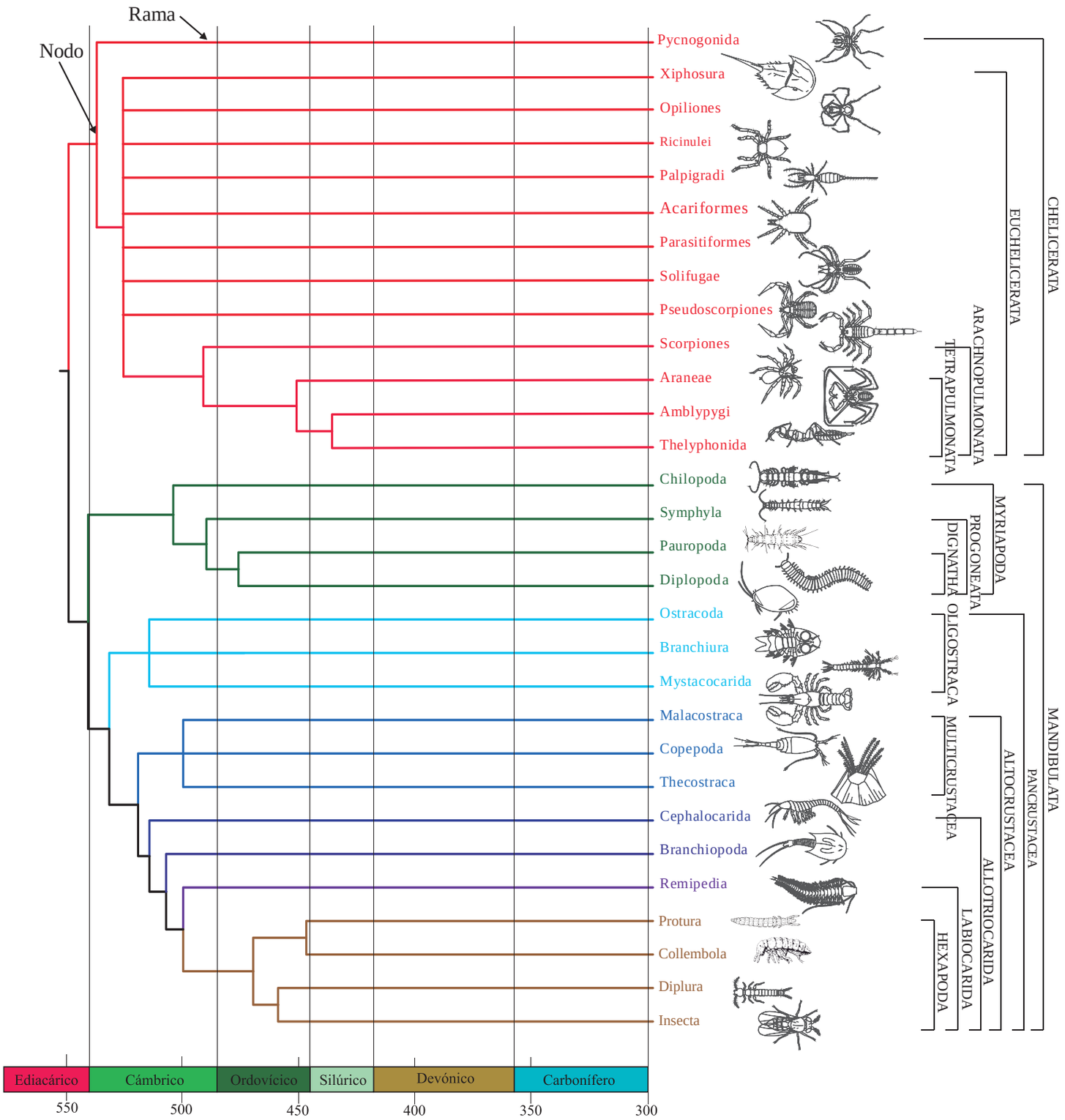


Fig. 1. Relaciones filogenéticas de los Arthropoda recientes según Giribet & Edgecombe (2019).

diversidad de taxa los cuales ocupan variados ambientes, como las arañas, los ciempiés, los milpiés, los insectos, y muchas especies de crustáceos desde las jaibas y centollas gigantes de las aguas profundas, hasta el grupo de organismos más abundantes del mundo, los copépodos del plancton marino, e incluso los chanchitos de tierra que colonizan tanto las alturas de las montañas como los desiertos más áridos del mundo. Los ancestros de los artrópodos vivieron hace más de 550 millones de años en los paleo-océanos. En el Cámbrico ocurrió la primera explosión de diversidad de artrópodos, periodo en el que aparecieron los trilobites que dominaron los océanos por más de 250 millones de años. Durante este periodo también emergieron la mayoría de los

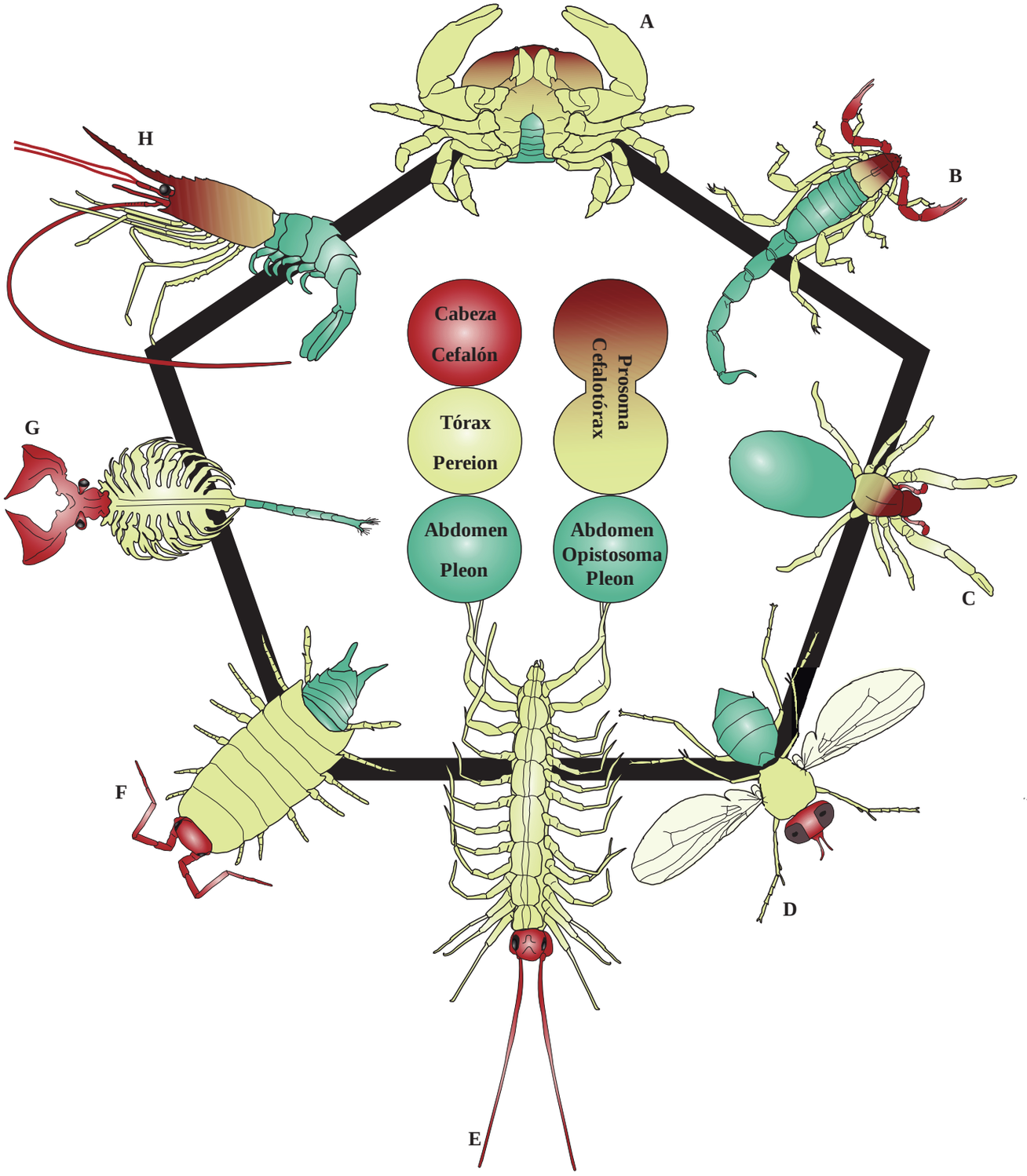


Fig. 2. Diferentes expresiones de la tagmatización dependiendo de los grupos taxonómicos en Arthropoda: (A) jaiba (Brachyura), (B) escorpión (Scorpiones), (C) araña (Araneae), (D) mosca (Diptera), (E) quilópodo (Chilopoda), (F) chanchito de tierra (Isopoda), (G) artemia (Branchiopoda) y (H) camarón nailón (Caridea).

taxa modernos de artrópodos, incluyendo los dos grupos principales: Chelicerata y Mandibulata (Fig. 1). Entre los primeros se encuentran, por ejemplo, los ácaros (e.g. garrapatas), los escorpiones y las arañas, mientras que los Mandibulata incluyen los miriápodos (e.g. ciempiés y milpiés) y los Pancrustacea que contienen múltiples ramas evolutivas. Los Pancrustacea incluyen a diversos grupos de crustáceos como los cirrípedos (picorocos), las langostas y jaibas, los anomuros y organismos más pequeños como pulgas del mar o chanchitos de tierra. Interesantemente, recientes estudios genéticos han confirmado que los hexápodos (= insectos) representan una de las ramas dentro de los pancrustáceos, motivando a algunos investigadores a sugerir que los insectos en realidad podrían ser crustáceos voladores (von Reumont & Edgecombe 2020).

Morfología de Arthropoda

Los artrópodos se caracterizan por poseer cuerpos segmentados y patas articuladas. Generalmente el cuerpo de los artrópodos se divide en dos o tres regiones corporales o tagmas (Fig. 2). Los nombres de las tagmas varían entre grupos taxonómicos, mientras que en insectos se separan en cabeza, tórax y abdomen, en crustáceos se les conocen como cefalón y pleon. La fusión de las dos primeras tagmas (cabeza y tórax) es característica de arácnidos, decápodos y miriápodos. A las tagmas de arácnidos se les conoce como prosoma y opistosoma, mientras que en los crustáceos decápodos sus dos tagmas son llamadas cefalotórax y abdomen (= pleon).

Subphylum Chelicerata

Clase Pycnogonida

Los picnogónidos, más conocidos como “arañas del mar”, representan una pequeña clase de artrópodos que parecen tener el cuerpo formado solamente por patas, característica que les da nombre (del griego, *pycno*=denso, *gony*=rodilla), ya que el resto del cuerpo es muy pequeño. La mayoría de los órganos esenciales se encuentran dentro de las largas patas. Todas las especies conocidas viven en el mar donde se alimentan de pequeños animales o de algas y detritus. Varias especies han sido observadas depredando sobre animales sésiles coloniales como hidrozoos y briozoos, sobre los cuales ramonean, matando y consumiendo solo algunos individuos, pero generalmente dejando las colonias intactas. La reproducción de los picnogónidos es muy inusual ya que son los machos quienes incuban los embriones en desarrollo. Durante el apareamiento la hembra transfiere los huevos al macho quien los fecunda para después portarlos hasta la eclosión de las larvas, en una masa de huevos sobre un par de patas especializadas; este proceso de incubación puede durar varias semanas. Ocasionalmente los machos pueden portar varias masas de huevos

Tabla 1. Número de taxa (familias, géneros y especies) de artrópodos terrestres y acuáticos presentes en la región de Atacama (Chile).

Clase	Orden	Familias	Géneros	Especies
Subphylum Mandibulata				
Malacostraca	Amphipoda	35	51	73
	Isopoda	19	28	36
	Bathynellacea	1	1	1
	Euphausiacea	1	2	2
	Decapoda	45	90	127
	Stomatopoda	3	3	3
Thecostraca	Balanomorpha	1	8	8
	Scalpellomorpha	1	1	2
Copepoda	Calanoida	14	17	24
	Cyclopoida	3	5	13
	Harpacticoida	8	8	10
	Mormonilloida	1	2	2
	Siphonostomatoida	1	1	2
Branchiopoda	Anostraca	1	1	1
	Ctenopoda	1	1	1
	Anomopoda	5	8	9
Insecta	Blattodea	1	1	1
	Coleoptera	45	178	314
	Collembola	3	3	3
	Dermaptera	1	1	1
	Diplura	1	1	1
	Diptera	10	22	34
	Embioptera	1	1	1
	Hemiptera	16	54	70
	Hymenoptera	12	57	133
	Lepidoptera	15	62	87
	Microcoryphia	1	1	1
	Neuroptera	2	2	2
	Odonata	5	6	9
	Orthoptera	7	15	18
	Phasmatodea	1	1	1
	Phthiraptera	1	1	1
	Protura	1	1	1
	Psocoptera	5	5	6
	Siphonaptera	5	9	10
	Thysanoptera	2	5	6
	Thysanura	1	1	1
Chilopoda	Scolopendromorpha	1	1	2
	Geophilomorpha	2	2	2
	Lithobiomorpha	1	1	1
Diplopoda	Polydesmida	1	1	1
	Julida	1	1	1
Pauropoda	Tetramerocerata	1	1	1
Subphylum Chelicerata				
Pycnogonida	Pantopoda	1	2	4
Arachnida	Acari	34	46	56
	Araneae	22	42	60
	Pseudoescorpiones	5	9	10
	Scorpiones	2	4	14
	Solifugae	3	6	6
Total taxa de artrópodos		350	770	1173

provenientes de diferentes hembras. En la región de Atacama se encuentran varias especies (Tabla 1), entre ellas *Achelia assimilis* que vive en algas litorales y en pasto marino (González & Edding 1990). Recientemente se han reportado tres especies del género *Colossendeis* en el océano profundo, donde ocurren a profundidades de alrededor de 2.000 metros (Araya 2016).

Clase Arachnida (ordenes Scorpiones, Araneae, Solifugae, Acari, Opiliones)

En lo que respecta a la clase Arachnida (del griego *-αράχνη -aráchne*=araña, *ιδες*=ides) (Fig. 3), el conocimiento de la fauna de la región de Atacama puede considerarse aún como preliminar, con grandes áreas de la región de las que aún no se tienen datos. Esto se da incluso en el caso de grupos relativamente poco diversos y bien estudiados como los escorpiones (Scorpiones, del latín *scorpĭo*=escorpión), en los que se viene trabajando de manera sistemática en los 20 últimos años. Este es un orden de arácnidos cazadores, epígeos, solitarios y con actividad nocturna, que se encuentra muy diversificado en zonas áridas como las de la región de Atacama. En este grupo se tiene un conocimiento bastante completo de las especies del desierto costero, un conocimiento limitado de las especies de zonas interiores, y un desconocimiento casi absoluto de la fauna Andina. Actualmente se conocen 14 especies de escorpiones para la región de Atacama pertenecientes a las familias Bothriuridae y Caraboctonidae (Figs. 3c-d); de todas estas especies sólo una es andina, siendo el resto de zonas bajas. La mayor diversidad se da en la familia Bothriuridae en el género *Brachistosternus* con 9 especies, le siguen *Bothriurus* y *Rumikiru*



Fig. 3. Diferentes especies de Arachnida registrados en la región de Atacama: (a) *Sicarius thomisoides* (Araneae: Sicariidae) y (b) *Scytodes globula* (Araneae: Scytodidae) registrada en Isla Chañaral, R.N. Pingüino de Humboldt, (c) Juvenil de *Brachistosternus sciosciae* (Scorpiones: Bothriuridae) transportando una presa co-específica de su mismo tamaño, sobre su cuerpo, P.N. Llanos de Challe, (d) *Caraboctonus keyserlingi* Pocock, 1893 (Scorpiones: Caraboctonidae) en Isla Chañaral, R.N. Pingüino de Humboldt, (e) *Ammotrechelis* sp. en el P.N. Pan de Azúcar y (f) *Chileotreca* sp. en el sector Algarrobal, posiblemente ambas especies nuevas para la ciencia.

con dos especies cada uno, mientras que *Caraboctonus* (Caraboctonidae) posee sólo una especie (Fig. 3d). Llama la atención la falta de registros de *Orobothriurus* (Bothriuridae), común en la zona andina chilena y presente tanto al norte como al sur de esta región, aunque seguramente esto sea resultado de la falta de colectas en zonas de altura.

En los últimos años hemos podido observar que, para algunos artrópodos epigeos con baja capacidad de dispersión como los escorpiones, los ríos permanentes que cruzan de este a oeste esta región, juegan un rol preponderante como elementos vicariantes para la separación de especies. Entre estos se destaca el río Huasco que separa comunidades claramente diferentes de especies que ocupan hábitats similares, tal es el caso de *Brachistosternus paposo* y *Brachistosternus scriosciae* (Fig. 3c) en la franja costera al norte de este río, y *Brachistosternus roigalsinai* y *Brachistosternus cepedai* al sur. En el caso de los solífugos (Solifugae, del latín *sōl*=sol y *fugere*=alejarse o huir) el conocimiento es aún más marginal que en los escorpiones. Este también es un grupo de arácnidos cazadores epigeos, y solitarios que posee tanto especies con actividad nocturna como diurna (Figs. 3e-f). A pesar de ser un orden con una diversidad comparable al anterior, sólo posee registros de seis especies en tres familias en Atacama, Ammotrechiidae (con tres géneros y tres especies), Daesiidae (con sólo un género y especie) y Mummucidae (con dos géneros y dos especies). Sabemos, sin embargo, gracias al abundante material colectado por nuestro grupo en los últimos años, que este número no representa la verdadera diversidad del orden en la región y que el número de especies seguramente se duplicará en los próximos años con la descripción de nuevas entidades.

Los ácaros (Acari, del griego *ακαρής akarés*=diminuto, que no se corta) son un taxón principalmente conocido porque algunas de sus especies son parásitas (como las garrapatas) y vectores de enfermedades. Sin embargo, este es el grupo más diversificado dentro de los arácnidos, con especies cazadoras, detritívoras, fitófagas etc. Para la región de Atacama se conocen unas 55 especies pertenecientes a 33 familias; sin embargo, este número no representa la verdadera diversidad de la subclase en la región principalmente debido a la falta de especialistas en varios grupos, particularmente en los de ácaros epigeos. Trabajos preliminares permiten inferir que la diversidad del orden se duplicará fácilmente en los próximos años y que se agregarán varias familias de ácaros epígeos. Muchas especies de este grupo son ectoparásitas de vertebrados, entre ellas se destaca *Eutrombicula nerudai* parásita de lagartijas del género *Liolaemus*.

Los opiliones (Opiliones, del latín *opilio*=pastor) son un grupo de arácnidos nocturnos, epigeos, generalmente omnívoros, muchas veces saprófagos, y en algunos casos cazadores, que se encuentran altamente diversificados en las zonas húmedas del centro-sur del país, siendo marginal su presencia en las zonas áridas (Pérez-Schultheiss 2021). Hasta el momento no existen citas publicadas del orden para la región de Atacama, pero su presencia en regiones aledañas, como en la zona de Paposo (región de Antofagasta), permite inferir que los opiliones también estarían presentes en la región de Atacama, al menos de forma relictual (A. Pérez-González com. pers.).

Las arañas representan el segundo orden más diversificado dentro de los arácnidos. Conocidas popularmente por ser cazadoras de otros artrópodos, generalmente son solitarias, aunque algunas especies son subsociales. Hasta el momento se conocen sólo 59 especies para la región, de las cuales 15 son cosmopolitas y en general están asociadas al hombre. En los últimos 25 años varias familias han recibido bastante atención, por lo que se tiene una idea aproximada de su diversidad en la región, particularmente algunos grupos epigeos del desierto costero como las Oonopidae, Pycnothelidae (ex Nemesiidae) y Sicariidae, entre otros. Sin embargo, aún no han sido estudiadas varias familias en la región, y en grandes áreas tampoco han sido realizadas colectas específicas, como en la zona Andina, por lo que aún resta mucho para estudiar en este grupo. Al orden Araneae pertenecen las únicas especies potencialmente peligrosas para el hombre dentro de los Arácnidos de la región, *Latrodectus geometricus*, que fue accidentalmente introducida por el hombre en la región, *Loxosceles laeta*, que posiblemente también haya sido introducida, *Loxosceles vallenar*, descrita para la región (Brescovit et al. 2017) y *Loxosceles vicentei* recientemente descrita para Copiapó, encontrándose hasta la cordillera de Coquimbo, en el sector Juntas del Toro (Taucare-Ríos et al. 2022).

Destaca entre las arañas de Atacama la especie *Cyrioctea islachanaral*, descrita para la Isla Chañaral, donde es endémica, y que es notablemente similar a especies del desierto de Namibia (Grismado & Pizarro-Araya 2016). Esta araña ha sido propuesta como especie protegida debido a lo limitado de su distribución y a su condición de insular, que la hace particularmente vulnerable (Grismado & Pizarro-Araya 2016).

Subphylum Mandibulata

Clase Crustacea: Amphipoda, Isopoda

Los anfípodos (orden Amphipoda; “pulgas de mar”, del griego *amphi*=ambos, y *podos*=pie) y los isópodos (orden Isopoda; “chanchitos de tierra” y sus parientes acuáticos, del griego *iso*= igual, y *podos*=pie), son los dos grupos más importantes dentro del superorden Peracarida (Fig. 4a, Figs. 5g-l), conteniendo en conjunto más de 20 mil especies de pequeños crustáceos, que pueden ocupar casi cualquier tipo de hábitat acuático, tanto bentónico como pelágico y desde el intermareal hasta profundidades hadales, en todos los océanos del mundo. Además, numerosas especies han colonizado aguas dulces superficiales y subterráneas, e incluso, algunos grupos, como los isópodos del suborden Oniscidea y los anfípodos de la familia Talitridae han colonizado exitosamente ambientes terrestres o semiterrestres.

Estos crustáceos cumplen un rol clave en los ecosistemas, pues suelen presentar altas abundancias, son eficientes consumidores y degradadores de materia orgánica, y sirven de alimento a numerosas especies depredadoras. Muchas especies de anfípodos e isópodos son utilizadas como bioindicadores y pueden ser interesantes modelos de estudio en diversas áreas de investigación, como evolución y desarrollo, biogeografía, ecología, etc.

En Chile, se ha reportado la presencia de 414 especies de anfípodos y al menos 272 especies de isópodos. Sin embargo, los registros en la región de Atacama son escasos, a pesar de que estos crustáceos

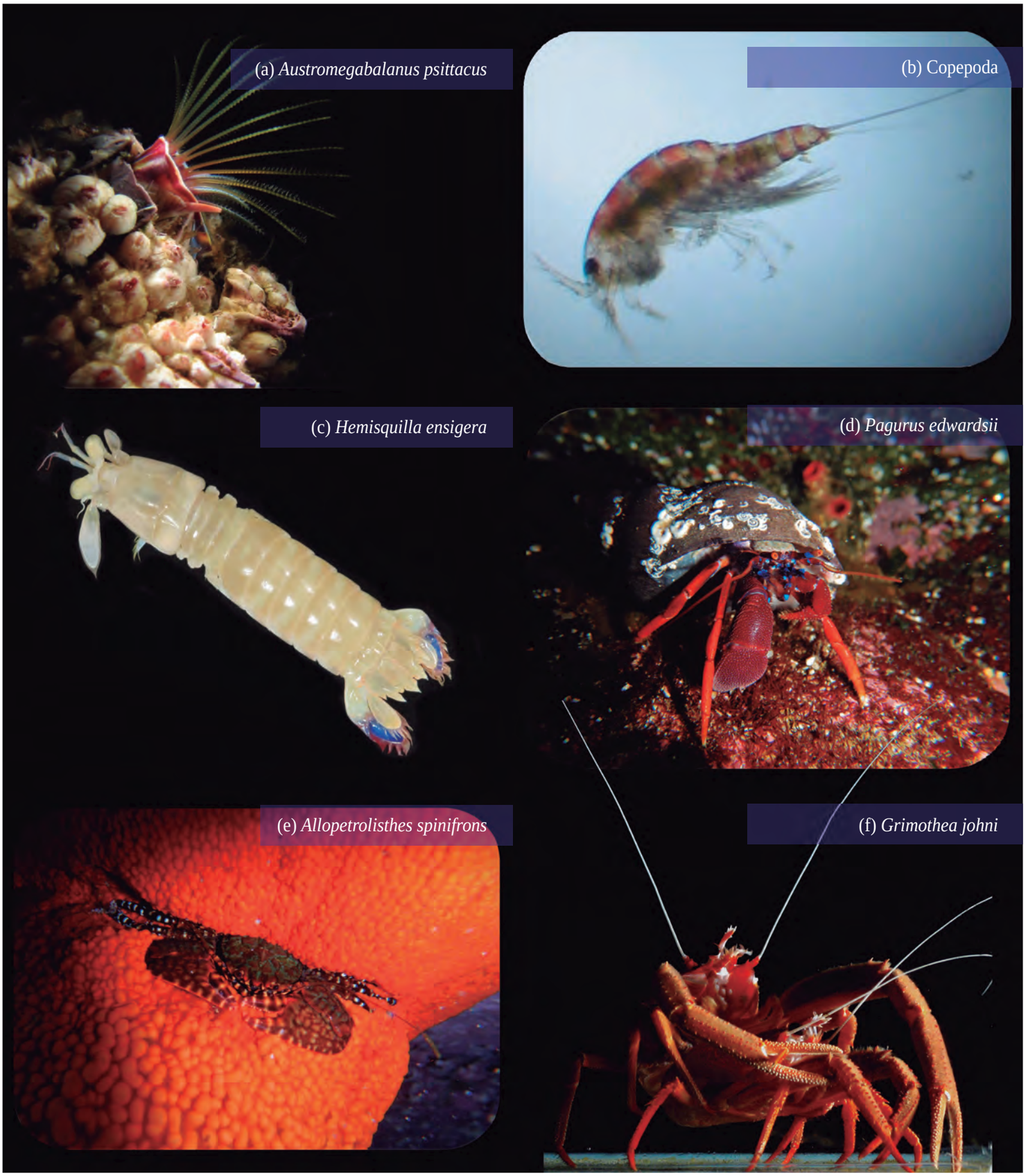


Fig. 4. Diversidad Crustacea encontrados en la Costa de Atacama: (a) *Austromegabalanus psittacus* (Balanomorpha: Balanidae), (b) Copepoda, (c) *Hemisquilla ensigera* (Stomatopoda: Hemisquillidae), (d) *Pagurus edwardsii*, (e) *Allopetrolisthes spinifrons* (Decapoda: Porcellanidae) sobre anemona, (f) *Grimothea johni* (=*Cervimunida johni*; Decapoda: Munididae),



(g) *Alpheus inca* (Decapoda: Alpheidae), (h) *Alpheus* sp. (Decapoda: Alpheidae), (i) *Rynchocinetes typus* (Decapoda: Rhynchocinetidae), (j) *Sunamphitoe femorata* (Amphipoda: Ampithoidae) dentro de su refugio construido con seda, sobre una fronda de *Macrocystis*, (k) *Armadillidium vulgare* (Isopoda: Armadillidiidae) y (l) *Zeuxo* cf. *marmoratus* (Tanaidacea: Tanaididae).

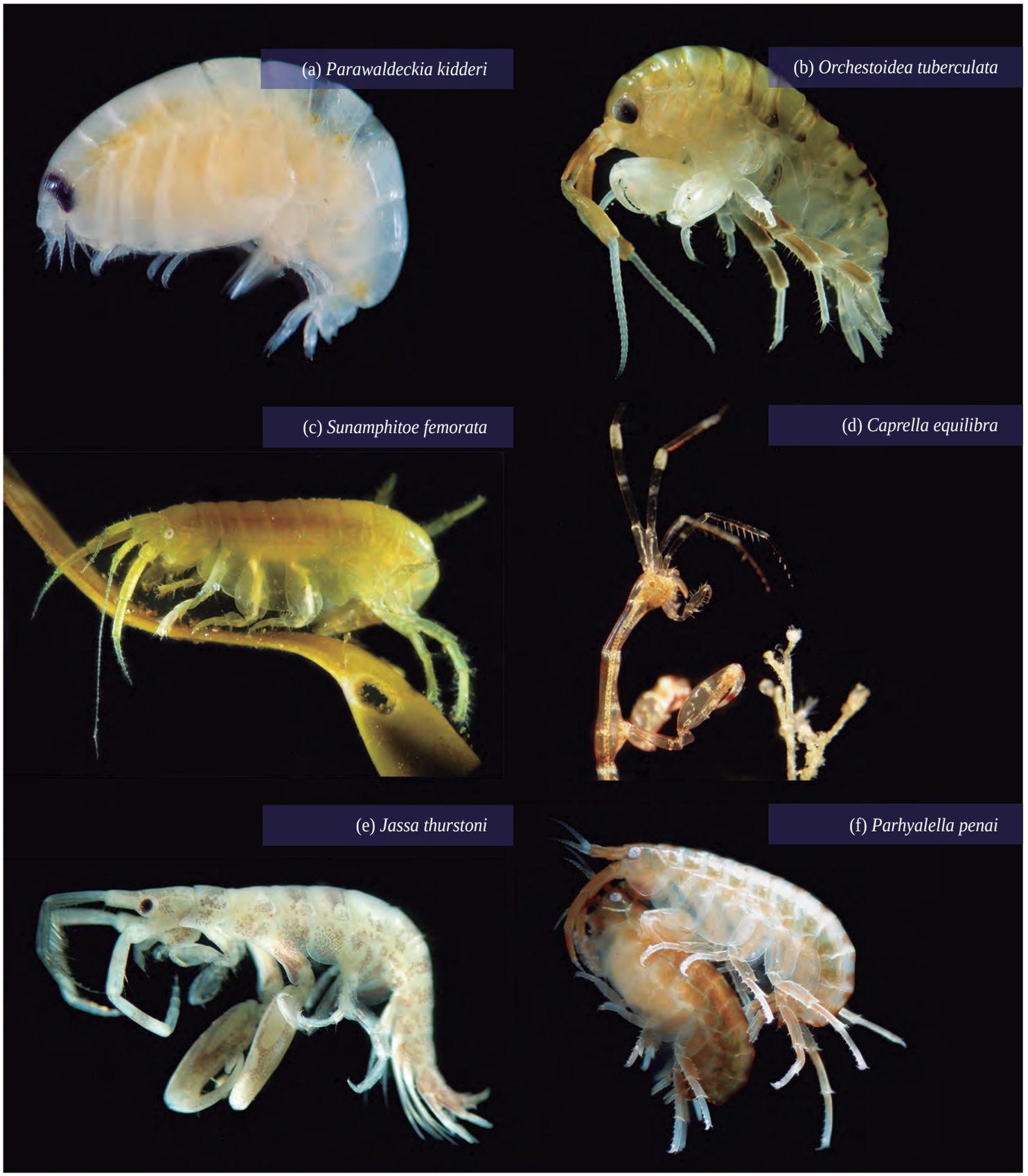


Fig. 5. Diversidad de Peracaridos registrados en la costa de Atacama: (a) *Parawaldeckia kidderi* (Amphipoda: Lysianassidae), (b) *Orchestoidea tuberculata* (Amphipoda: Talitridae), (c) *Sunamphitoe femorata* (Amphipoda: Ampithoidae), (d) *Caprella equilibra* (Amphipoda: Caprellidae), (e) *Jassa thurstoni* (Amphipoda: Ischyroceridae), (f) *Parhyalella penai* (Amphipoda: Dogielinotidae),



(g) *Ischyromene menziesi* (Isopoda: Sphaeromatidae), (h) *Tylos* sp. (Isopoda: Tylidae), (i) *Amphoroidea typa* (Isopoda: Sphaeromatidae), (j) *Chaetilia paucidens* (Isopoda: Chaetilidae), (k) *Excirolana hirsuticauda* (Isopoda: Cirolanidae) y (l) *Porcellionides* sp. (Isopoda: Porcellionidae).

se encuentran entre los más frecuentes en muchos hábitats acuáticos. La mayor parte de las especies registradas han sido mencionadas de forma tangencial, en estudios puntuales de tipo taxonómico, faunístico, ecológico o biogeográfico; mientras que otro conjunto de especies es de presencia inferida, al carecer de registros formales, pero contar con reportes simultáneos al norte y al sur de la región.

La fauna de anfípodos de la región de Atacama, incluye alrededor de 73 especies (Figs. 5a-f), entre las que destacan algunos grupos, por sus hábitos particulares. En zonas costeras es frecuente observar a miembros de la familia Talitridae, los únicos anfípodos que han sido capaces de colonizar ambientes semiterrestres y terrestres. *Orchestoidea tuberculata* es una especie relativamente grande y robusta, que se entierra en la parte superior de playas de arena, para emerger durante la noche y alimentarse de restos orgánicos, principalmente macroalgas depositadas por el oleaje. Otros talítridos, como *Transorchestia chiliensis* y algunas especies no descritas, suelen habitar ocultas bajo todo tipo de refugios en costas rocosas.

En aguas dulces, se pueden encontrar anfípodos representantes de al menos tres especies del género *Hyalella*, que generalmente se ocultan entre las frondas de la vegetación sumergida o entre los sedimentos del fondo en riachuelos y lagunas. Hasta ahora, no se ha reportado la presencia de especies de anfípodos en aguas subterráneas (e.g. cavernas, pozos y bancos de grava al margen de los ríos), sin embargo, su ausencia probablemente se deba a la falta de estudios en este tipo de hábitats.

Sunamphithoe femorata es una especie marina de tamaño medio, que se alimenta y construye nidos sobre la macroalga *Macrocystis pyrifera*, doblando y uniendo las frondas con seda secretada por glándulas especiales ubicadas en los pereiópodos 3 y 4 (Fig. 4j). Una especie similar es *Sunamphithoe lessoniophila*, que, a diferencia de la anterior, puede perforar e introducirse en los estipes de la macroalga *Lessonia berteroana*.

Un hallazgo reciente en aguas abisales y hadales de la Fosa de Atacama, entre los 5 mil y 8 mil metros de profundidad, son los miembros del género *Eurythenes*, entre los que destaca *Eurythenes atacamensis*, una especie carroñera endémica, que alcanza tamaños excepcionalmente grandes, de hasta 8 centímetros. Otro grupo con numerosas especies son los miembros del suborden Hyperiidea, animales exclusivamente pelágicos, la mayor parte de ellos con tendencia a la vida comensal sobre organismos gelatinosos, como salpas y medusas. Estudios recientes han demostrado la presencia de al menos 33 especies de este grupo en la región de Atacama.

Entre los isópodos de la región de Atacama se mencionan unas 36 especies en total, la mayor parte de ellas habitantes de ambientes marinos. Los pocos representantes terrestres del suborden Oniscidea se encuentran asociados a la franja costera, u otros ambientes suficientemente húmedos, e incluyen unas pocas especies no descritas (e.g. *Sciphoniscus* sp., *Benthanoides* sp.) y al menos 3 especies exóticas, que son frecuentes en áreas antropizadas (e.g. *Armadillidium vulgare*, *Porcellio laevis*, *Niambia capensis*).

Una especie particularmente interesante corresponde al Oniscideo endémico *Tylos spinulosus*, que destaca por su tamaño relativamente grande y su capacidad para plegar el cuerpo, formando una bola. Estos animales habitan en la parte superior de playas arenosas, donde excavan para ocultarse durante el día, hábitos que les hacen particularmente vulnerables al impacto de actividades humanas sobre la superficie de las playas, lo que amenaza su conservación.

Los isópodos también son abundantes en zonas intermareales y submareales, donde varias especies carnívoras o carroñeras de los géneros *Macrochiridothea*, *Chaetilia* y *Excirolana* se encuentran enterradas en los niveles medios y bajos de playas de arena. A este mismo nivel, pero en fondos duros, son frecuentes los esferomátidos de los géneros *Cymodocella*, *Dynamenella*, *Exosphaeroma*, *Ischyromene* y *Paradella*, todos ellos característicos por sus cuerpos convexos y capaces de plegarse sobre sí mismos a modo de protección. *Amphoroidea typa* es otro esferomátido, muy común en bosques de macroalgas, donde se asocia principalmente a las frondas de las plantas que le sirven de alimento, en un hábitat que comparte con el anfípodo *Sunamphitoe femorata*. En los bosques de macroalgas también se encuentra el pequeño isópodo *Limnoria quadripunctata* que excava galerías dentro de los discos de fijación del huiro flotador *Macrocystis pyrifera*.

A pesar de la presencia de más de 100 especies de anfípodos e isópodos en la región de Atacama, su conocimiento continúa siendo incompleto y con seguridad, numerosas especies aún esperan ser detectadas. Por otro lado, varias especies registradas en zonas limítrofes por el norte o el sur de la región probablemente están presentes también en Atacama; sin embargo, para confirmar estas suposiciones, se requieren prospecciones sistemáticas, considerando la mayor cantidad posible de hábitats con presencia potencial de miembros de este diverso grupo de crustáceos.

Clase Crustacea, Decapoda

Dentro de los crustáceos, el Orden Decapoda es uno con mayor diversidad de formas, tamaños y colores. Los Decapoda (del griego *deka*=diez y *pous*=pies) se caracterizan por poseer 5 pares de patas en el tórax, ya que los primeros 3 pares torácicos cambiaron su función a alimentación (= maxilípedos). Este Orden incluye muchas especies de gran relevancia ecológica y económica. En la región de Atacama se han registrado 127 especies de decápodos. Entre las principales especies de interés comercial se encuentran las jaibas del Infraorden Brachyura (del griego *brakhús*=corto y *ourá*= cola, Fig. 6g-l), entre las cuales podemos mencionar a la jaiba mora *Homalaspis plana* (Fig. 6j), la jaiba peluda *Romaleon setosum* (=*Cancer setosus*, Fig. 6h), o la jaiba reina *Cancer plebejus*. Estas jaibas típicamente se capturan a escala artesanal con trampas. Muchas especies de jaibas braquiuras que no se explotan pueden encontrarse abundantemente ocupando diferentes ambientes. En las rocas se encuentra la jaiba corredora *Leptograpsus variegatus* y en las playas de arena vive la jaiba fantasma *Ocypode gaudichaudii*, la que habita galerías muy profundas para escaparse del sol y calor del día; individuos grandes pueden excavar galerías de hasta un metro

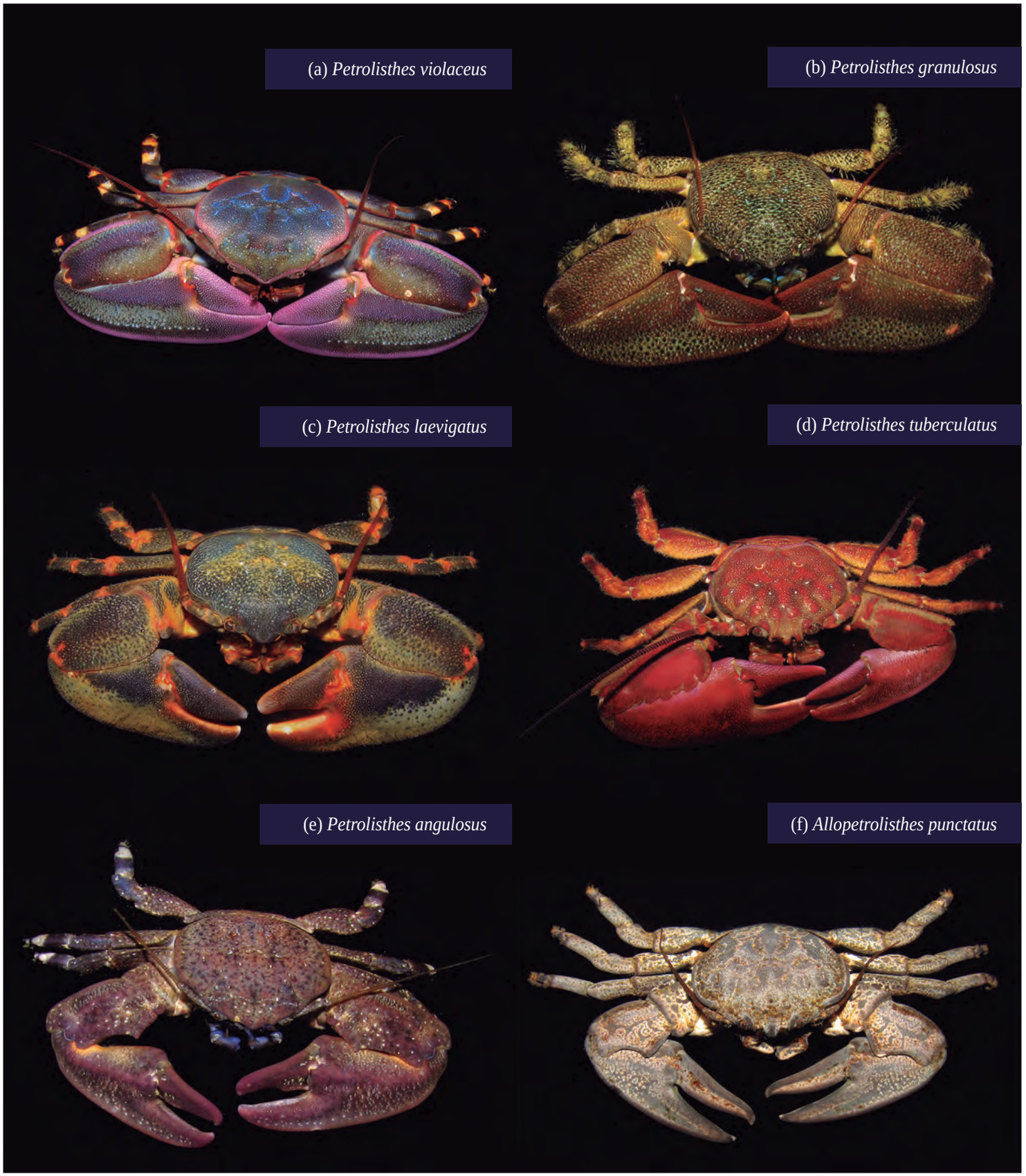


Fig. 6. Diversidad de Anomura (A-F) y Brachyura (G-L) registrados en la región de Atacama: (A) *Petrolisthes violaceus*, (B) *Petrolisthes granulosus*, (C) *Petrolisthes laevigatus*, (D) *Petrolisthes tuberculatus*, (E) *Petrolisthes angulosus*, (F) *Allopetrolisthes punctatus*,



(g) *Cyclograpsus cinereus*, (h) *Romaleon setosum*, (i) *Ocypode gaudichaudii*, (j) *Homalaspis plana*, (k) *Gaudichaudia gaudichaudii* y (l) *Ovalipes trimaculatus*.

de profundidad. Una jaiba enigmática es la jaiba decoradora *Pisoides edwardsii* que se pone algas o esponjas sobre su caparazón para camuflarse y de esta forma "esconderse" de sus enemigos, e.g. gaviotas.

Otro grupo de decápodos muy diversos son los pertenecientes al Infraorden Anomura, entre los cuales se encuentran los langostinos, con dos especies explotadas en la región de Atacama, el langostino amarillo *Grimothea johni* (=*Cervimunida johni*, Fig. 4f) y el langostino colorado *Grimothea monodon* (=*Pleuroncodes monodon*). Ambas especies viven en la zona de mínimo oxígeno, entre ~100 y 500 metros de profundidad, desde donde son capturados por la pesca de arrastre. Este arte de pesca consiste en redes pesadas tiradas por barcos con motores poderosos sobre el fondo de mar (=bentos). Durante este proceso también se arrastran diversas taxa bentónicas, como los corales de aguas frías, especies con muy lento crecimiento y gran importancia ecológica, y es por ello que existen intentos de prohibir la pesca de arrastre. Otros anomuros son las centollas y centollones, de los que en la zona de Caldera se han extraído a *Neolithodes diomedaea*, *Paralomis spinosisima* y *Paralomis otsuaea* de forma exploratoria a profundidades entre 900 y 2.000 m. Entre los anomuros también hay muchas especies muy abundantes y con relevancia ecológica. Están por un lado los cangrejos ermitaños que utilizan conchas de caracoles ya que su abdomen es muy blando, careciendo de la protección del duro exoesqueleto que cubre el resto de su cuerpo. Por otro lado, están los cangrejos porcelánidos, que se caracterizan por sus hermosos colores y por sus quelípedos en forma de tijeras, los cuales son coloridos y frágiles, ya que fácilmente pierden patas u otros apéndices. En la región de Atacama hay por lo menos 10 especies de porcelánidos o cangrejos tijereta (Figs. 6a-f), y la mayoría de ellos vive en la zona intermareal rocosa. Durante la marea baja se esconden debajo de las rocas, pero durante la marea alta salen y se alimentan, filtrando restos de algas y otros detritus de la columna de agua con sus delicados maxilípedos (apéndices bucales).

Finalmente están los camarones, que también son muy diversos. De interés comercial, el más conocido es el camarón nylon *Heterocarpus reedi*, el cual vive y es pescado junto a los langostinos entre ~100 a 500 m. El camarón de roca *Rhynchocinetes typus* (Fig. 4i) es muy abundante en ambientes rocosos de 0 a 50 m de profundidad, donde es un depredador importante, pero también presa muy común de muchos peces de peña. Ocasionalmente es pescado de forma artesanal por trampas, pero no tiene mucha relevancia comercial. Este es muy distinto del camarón de río *Cryphiops caementarius* que habita a todos los ríos del norte de Chile, incluyendo los ríos de la región de Atacama, e.g. el río Copiapó y el río Huasco. El camarón de río es extraído por pescadores que lo capturan a mano o con trampas, y en algunas zonas de la región juega un rol importante como recurso natural. Tanto en las poblaciones del camarón de río como en las del camarón de roca hay algunos machos dominantes, las cuales se pueden reconocer por su gran tamaño y en particular por su enorme quela. Durante la reproducción, estos machos dominantes monopolizan todos los apareamientos, pero si hay muchos dominantes aumentan las peleas entre ellos, y las hembras receptivas quedan liberadas lo que es aprovechado por los machos pequeños que utilizan estas oportunidades para rápidamente aparearse con las hembras.

Los camarones pistola (Alpheidae) no tienen interés comercial, pero son muy abundantes en ambientes rocosos donde los sonidos que generan con su quela pistola acompañan cualquier buceo en la costa de Chile. A diferencia del camarón de roca o del camarón de río, en los cuales los machos dominantes son mucho más grandes que las hembras, en los camarones pistola macho y hembra tienen tamaños similares, y típicamente conviven en pareja. Cohabitan en pequeñas galerías entre las rocas, e incluso una pareja del camarón pistola *Alpheus inca* (Fig. 4g) cohabita con una pareja de *Alpheopsis chilensis*, en un cuarteto de artrópodos.

Clase Thecostraca, Subclase Cirripedia

La mayoría de las especies de picorocos de la región de Atacama son pequeños, pero la especie *Austromegabalanus psittacus* es el picoroco más grande del mundo. Todos los picorocos son sésiles, pero hay algunas especies que colonizan sustratos flotantes. Estos últimos frecuentemente llegan a las costas de Atacama con las corrientes que arrastran algas flotantes como *Macrocystis pyrifera* y *Durvillaea incurvata*. Todos los picorocos son marinos y se alimentan filtrando plancton y detritus con sus patas modificadas para alimentarse (=cirros, Fig. 4a), los cirros son la característica que identifica y da nombre a esta Subclase (del latín, *cirrus*=cirro, rizo, *ped*= pie).

Clase Copepoda

Lejos los organismos más abundantes en el mundo son los copépodos (griego *kope*=remo y *pous*=pies, Fig. 4b). Actualmente se reconocen diez órdenes de copépodos, entre los que se incluyen especies con los más diversos hábitos. Muchos de ellos son pelágicos o se asocian al bentos, y numerosas especies son parásitas, algunas de ellas altamente modificados para este estilo de vida. La mayoría de las especies del Orden Calanoida viven en el plancton donde se alimentan de microalgas y también de otros pequeños animales. En la Corriente de Humboldt las poblaciones de *Calanus chilensis* alcanzan densidades muy altas después de eventos de surgencia que inducen densas concentraciones de microalgas. Estos copépodos son un link fundamental en las tramas tróficas canalizando la tremenda energía proveniente de la productividad hacia niveles tróficos más altos, como peces y aves marinas. Los copépodos del Orden Harpacticoida viven en fondo y en las algas, pero son muy poco conocidos e investigados en la costa de Chile.

Clase Branchiopoda

Esta clase se caracteriza por poseer una lámina branquial en sus apéndices torácicos, estructura que da su nombre al grupo (del griego *branchia*=branquia y *pous*=pies). Reúne a varios tipos de crustáceos de agua dulce, salobre y algunos marinos. Las *Artemia* viven en los salares donde se alimentan de microalgas y representan el principal alimento para los flamencos. En la región de Atacama se ha descrito a *Artemia monica* (=*Artemia franciscana*, Fig. 2g) como un habitante frecuente y dominante del Salar de Atacama. Los

cladóceros principalmente habitan en agua dulce donde representan alimento importante para peces dulceacuícolas. Son considerados bio-indicadores, ya que si las condiciones ambientales son buenas para ellos pueden aumentar mucho su abundancia. Su reproducción es muy particular ya que las hembras pueden poner huevos que no necesitan ser fecundados por los machos; este tipo de reproducción que se llama "partenogénesis" es muy poco común entre los crustáceos, pero ocurre también en otros artrópodos, como los pulgones, que son insectos que parasitan plantas terrestres.

Clase Insecta

Los insectos (del latín, *insectum*=cortar dentro, animales con cortes en su cuerpo) corresponden al taxón más diverso de la región de Atacama (Figs. 7 y 8), con casi 700 especies. Entre sus particularidades, presentan 3 tagmas (cabeza, tórax y abdomen), seis patas y un par de antenas (Fig. 2), las cuales pueden variar en sus formas, colores, y en sus estados de desarrollo (larvas, gayades, náyades o pupas), considerado además que los insectos presentan diversas estrategias reproductivas y cuatro tipos de metamorfosis.

Entre los órdenes más diversos para la región de Atacama, se encuentra Coleoptera (coleópteros) con más de 300 especies, Hymenoptera (abejas, avispas y hormigas) con casi 130 especies, seguido de Lepidoptera (mariposas diurnas y polillas) con 86 especies y Hemiptera con 69 (chinches). Órdenes escasamente representadas son Diptera (moscas y zancudos) con 32 especies y Orthoptera (langostas y grillos) con 17 especies. Otros órdenes con diversidades bajísimas son Psocoptera, Siphonaptera, Thysanoptera, Thysanura. Sin duda, el escaso desarrollo de estudios taxonómicos de diversos grupos de insectos ha generado importantes vacíos de conocimiento de una fauna que por el momento tiene énfasis en los grupos más carismáticos como coleópteros y mariposas.

Insectos del desierto florido

Definitivamente el grupo de las vaquitas (coleópteros del género *Gyriosomus*) contiene los elementos más característicos del desierto florido. Corresponden a un género endémico y erémico (es decir, que vive en el desierto), con casi 40 especies descritas, de las cuales 17 están presentes en la región de Atacama (Figs. 7a-b). Entre ellas se destaca *Gyriosomus kingi* (Coleoptera: Tenebrionidae) endémica de las planicies costeras del Parque Nacional Llanos de Challe (Fig. 7a), *Gyriosomus batesi* endémica de las dunas costeras de Caldera (Fig. 7b) y *Gyriosomus kulzeri* endémica de las dunas costeras del sur de Huasco-Caleta Los Bronces (Fig. 7f). Inicialmente este género había sido reportado como fitófago, alimentándose de plantas rastreras, especialmente de pétalos y partes blandas (Mondaca 2004, Pizarro-Araya & Flores 2004), pero Pizarro-Araya (2010) reporta otras preferencias dietarías, registrando depredación intraespecífica de exoesqueletos, depredación sobre larvas de Noctuidae (Lepidoptera: Heterocera) y depredación a cadáveres de ejemplares de *Liolaemus* spp. (Reptilia: Liolaemidae), estrategias dietarias que dependen de factores intrínsecos fisiológicos de cada especie. Además, *Gyriosomus* muestra un marcado dimorfismo sexual, el cual puede modular la búsqueda y manipulación del alimento de acuerdo al potencial de calidad nutricional, más aún cuando esto ocurre en un ecosistema extremo y además en un periodo de adultez de solo algunas semanas.

Siempre en Coleoptera, otro grupo representativo del desierto florido son las 37 especies de *Pseudomeloe* (Meloidae), género endémico del Cono Sur de Sudamérica; ocho de ellas presentes en Chile, y tres habitan en la región de Atacama. Es frecuente observar a los adultos de *Pseudomeloe sanguinolentus* caminando durante el día en planicies costeras y alimentándose de la vegetación disponible (e.g., *Calandrinia*, *Cistanthe*, *Rhodophiala*, *Solanum*) (Fig. 7c). Los élitros de esta especie no cubren totalmente el abdomen, además como sistema de defensa los adultos expulsan una sustancia sanguinolenta desde su aparato bucal (de ahí su nombre científico). Corresponden a grupos de hábitos detritívoros, ósea fragmentadores de materia vegetal, además forman parte de la dieta para vertebrados como lagartijas (*Liolaemus*), zorros (*Lycalopex*) y otros artrópodos como escorpiones (*Brachistosternus* spp.) y arañas pollito (*Grammostola* spp., *Euathlus* spp.). Aunque no está evaluado para las especies chilenas, algunos *Pseudomeloe* presentan ciclos biológicos complejos que incluyen hipermetamorfosis y hábitos larvarios parasitoides.

En este desierto florido, entre los grupos tope de depredadores en Insecta, se destaca *Calosoma vagans* (Coleoptera: Carabidae) (Fig. 7d), especie de escarabajo de amplia distribución, registrada desde el Parque Nacional Morro Moreno (región de Antofagasta) hasta Valdivia (región de Los Ríos). En la expedición realizada por el proyecto Primer Inventario Nacional de Biodiversidad del SIMEF (Sistema Integrado de Monitoreo y Evaluación de Ecosistemas Forestales Nativos) logramos registrar a *Calosoma rufipennis* en los cordones montañosos interiores del Parque Nacional Llanos de Challe, especie anteriormente registrada en ambientes costeros de Arica a Paposo. Hemos registrado adultos activos durante el día de *Calosoma vagans*, inclusive larvas caminando sobre la superficie del suelo, las larvas y adultos son de hábitos entomófagos, se alimentan principalmente de larvas de mariposas (Lepidoptera), aunque también las hemos observado depredando otros coleópteros o langostas (Orthoptera). Se ha descrito para otras especies de *Calosoma* que las larvas de segundo o tercer estadio pueden entrar en diapausa (proceso de hibernación), antecedentes que podría explicar cómo estos coleópteros logran pasar largos periodos de sequía o de calor extremo, sobre todo para los individuos que habitan el desierto de Atacama.

Entre el grupo de las langostas y grillos podemos encontrar a *Elasmoderus lutescens* (Orthoptera: Tristiridae) (Fig. 7e), especie de amplia distribución en planicies costeras y en los llanos interiores de la región. De hábitos preferentemente fitófagos, se alimentan de la vegetación anual, aunque también la hemos registrado depredando cadáveres de *Gyriosomus* o de ejemplares de su especie. Forman parte importante en la alimentación de invertebrados depredadores como arañas (*Lycinus* spp., *Grammostola* spp., *Euathlus* spp.), carábidos (*Calosoma* spp.) y escorpiones (*Brachistosternus*), como también de zorros (*Lycalopex*) y aves insectívoras como bandurria (*Theristicus caudatus*), chorlo de campo (*Oreopholus ruficollis*) y Mero (*Agriornis livida*).



Fig. 7. Diferentes especies de insectos epigeos registrados en la región de Atacama: (a) *Gyriosomus kingi* (Coleoptera: Tenebrionidae) depredando exoesqueletos de otros *Gyriosomus*, en el Parque Nacional Llanos de Challe, (b) *Gyriosomus batesi* (Coleoptera: Tenebrionidae) en las dunas de Caldera, (c) *Pseudomeloe sanguinolentus* (Coleoptera: Meloidae) en las dunas costeras del Parque Nacional Llanos de Challe, (d) *Calosoma vagans* (Coleoptera: Carabidae) depredando exoesqueleto de *Elasmoderus lutescens*, en los llanos del desierto florido, (e) *Elasmoderus lutescens* (Orthoptera: Tristiridae) en los llanos de Pajonales y (f) *Gyriosomus kulzeri* alimentándose de detritos, al sur de Caleta Los Bronces.



Fig. 8. Diferentes especies de insectos voladores registrados en la región de Atacama: (a) *Vanessa carye* (Lepidoptera: Nymphalidae) en las planicies costeras del P.N. Pan de Azúcar, (b) *Pyrgus fides* (Lepidoptera: Hesperiidae) en laderas de Isla Chañaral (R.N. Pingüino de Humboldt), (c) *Hyles annei* (Lepidoptera: Sphingidae), (d) Larva de *Hyles annei* caminando sobre dunas de Tres Playitas (Huasco), (e) *Copestylum concinna* (Diptera: Syrphidae) libando sobre una flor de copao (*Eulychnia acida* var. *procumbens*) y (f) *Pepsis limbata* (Hymenoptera: Pompilidae), avispa caza tarántulas en Boquerón Chañar.

Nuevas especies de insectos y arácnidos

Con el objetivo de relevar la diversidad de la fauna de artrópodos epígeos del norte de Chile, los equipos del Laboratorio de Entomología Ecológica de la Universidad de La Serena (LEULS) en conjunto con la División Aracnología del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Buenos Aires, Argentina (MACN) realizan periódicamente expediciones en colaboración con el SIMEF. Estas instituciones están proporcionando financiamiento y apoyo para esta investigación, en el marco de un proyecto nacional integrador más amplio que está relevando toda la biota de Chile. Como parte de estos esfuerzos hemos descrito las siguientes especies nuevas: Entre los coleópteros descritos, *Praocis* (*Praocis*) *medvedevi* (Coleoptera: Tenebrionidae) especie endémica del sitio Prioritario Quebrada del León (Flores & Pizarro-Araya 2012), *Luispenaia atacamensis* (Coleoptera: Scarabaeidae) especie sólo registrada en Boquerón Chañar (Mondaca et al. 2019) y *Henicotherus franciscae* (Coleoptera: Chrysomelidae) especie endémica de Isla Chañaral e Isla Choros (Jerez & Pizarro-Araya 2020). Y hemos descrito a *Praocis* (*Mesopraocis*) *arenicola* (Coleoptera: Tenebrionidae), el tenebrio de las dunas, especie colectada en las dunas costeras de los Parques Nacionales Pan de Azúcar y Llanos de Challe (Flores & Pizarro-Araya 2022).

Entre los Arachnida, hemos descrito a *Brachistosternus cepedai* (Scorpiones: Bothriuridae) especie endémica de las dunas costeras entre Los Choros y Chañaral de Aceituno (Ojanguren-Affilastro et al. 2007), *Brachistosternus gayi* especie de altura, endémica de sectores aledaños a Pascua Lama (Ojanguren-Affilastro et al. 2018), *Rumikiru atacama* endémico de quebradas rocosas interiores del P.N. Pan de Azúcar, y *Rumikiru lourencoi* especie que se distribuye desde Taltal hasta P.N. Pan de Azúcar (Ojanguren-Affilastro et al. 2012). Un descubrimiento notable fue el hallazgo de *Cyrioctea islachanaral* (Araneae: Zodariidae) especie endémica de la Isla Chañaral (R.N. Pingüino de Humboldt), cuyo grupo hermano se encuentran en Namibia, es decir, elemento con distribución gondwánica, cuestión que nos hace pensar que esta araña es parte de una fauna pre-desierto, ósea, que ocupaba estos ecosistemas antes del levantamiento de la cordillera de los Andes (Grismado & Pizarro-Araya 2016). Aún nos queda por describir una nueva especie de *Pseudocleobis* (Solifugae: Ammotrechidae) colectada en la precordillera de Inca de Oro durante la primavera de 2022.



Pseudocleobis sp. (Solifugae: Ammotrechidae)

Insectos y arácnidos en categoría de conservación

Actualmente contamos con aproximadamente 150 especies de insectos y arácnidos protegidos en Chile. Para la región de Atacama destacamos la clasificación en estados de conservación de tres coleópteros: *Acalodegma vidali* (En Peligro, EN), *Praocis* (*Praocis*) *medvedevi* (En Peligro Crítico, CR), *Praocis* (*Orthogonoderus*) *insularis* (Extinto, EX), una langosta *Elasmoderus minutus* (Vulnerable, VU), una araña *Cyrioctea islachanaral* (Casi Amenazada, NT) y el primer escorpión en Peligro del cono Sur *Brachistosternus cepedai* (En Peligro, EN).

Un aspecto relevante es la clasificación del primer insecto extinto en Chile, *Praocis* (*Orthogonoderes*) *insularis*, tenebriónido descrito por el entomólogo alemán Hans Kulzer a partir de material recolectado en la Isla Guacolda (1938), isla continental cercana a Huasco que luego fue modificada artificialmente por una empresa minera nacional (1959). Pizarro-Araya et al. (2023) muestran evidencia que respalda la posible extinción local de esta especie en un ambiente que ha sido altamente modificado en los últimos 60

años. La microdistribución de muchísimos grupos de insectos endémicos del desierto de Atacama (e.g., *Gyriosomus*, *Praocis*, *Cnemalobus* entre otros) y la modificación de sus particulares hábitats ha generado, o están generando otras extinciones locales, incluyendo especies que desaparecen antes de haber sido descritas, o siquiera identificadas ("*dark extinction*").

Insectos en agroecosistemas en los valles transversales; plagas y especies introducidas

Los valles transversales del Norte chico de Chile se extienden desde la cordillera de Los Andes hasta el Océano Pacifico y comprenden los valles de Copiapó (27-28° S) y Huasco (28-29° S) en Atacama, y los valles de Elqui (30° S), Limarí (31° S) y Choapa (32° S) en Coquimbo. Estas cuencas comprenden una matriz árida con precipitaciones escasas y dispersas en el tiempo, con ríos de régimen permanente de carácter mixto. En estas áreas, específicamente en los valles de Atacama, se encuentra un gran desarrollo de cultivos frutícolas, hortícolas, anuales y de forrajeras en donde es posible encontrar diversas especies de artrópodos de importancia económica al ser plagas tanto primarias como secundarias.

En cultivos caducos como vid es frecuente observar especies como *Naupactus xantographus* (Coleoptera: Curculionidae) o burrito de la vid y *Pseudococcus viburni* (Hemiptera: Pseudococcidae) o chanchito blanco, este último de importancia en mercados de exportación. Algunas especies de importancia en el cultivo de olivos, en especial en el borde costero de Huasco Bajo, corresponden a *Siphoninus phillyreae* (Hemiptera: Aleyrodidae) o mosquita blanca del fresno y las conchuelas *Saissetia oleae* y *Saissetia coffeae* (Hemiptera: Coccidae). Todas estas especies corresponden a grupos introducidos y de amplia distribución en cultivos frutícolas chilenos. Otras especies importantes corresponden a ácaros del género *Tetranychus* (Acari: Tetranychidae) y a la conchuela negra del género *Parlatoria* (Homoptera: Diaspididae) todos de importancia en cultivos frutícolas.

Insectos de importancia zoonótica

En ambientes interiores del Valle del Huasco es posible observar algunos vectores de Tripanosomiasis americana o mal de Chagas tales como la vinchuca *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) especie de gran tamaño y asociada a ambientes rurales y casas fabricadas con adobe. Otras especies de redúvidos vectores corresponden a *Mepraia spinolai* y *M. gajardoi* ambas especies de menor tamaño y cuyas poblaciones son frecuentes de observar en ambientes áridos y semiáridos, tanto en el interior como en el borde costero de Atacama. Entre los arácnidos importantes en términos zoonóticos se registran algunas especies de arañas ampliamente distribuidas en el país, como las de los géneros *Loxosceles*, *Latrodectus*, *Sicarius* (Fig. 3a) y *Steatoda*, todas las cuales pueden causar síntomas clínicos complejos en humanos como resultado de las toxinas contenidas en el veneno, que en algunos casos pueden llevar a la muerte.

Myriapoda, Clases Chilopoda, Diplopoda y Pauropoda

El estudio de los miriápodos chilenos ha sido escaso. Este desconocimiento se incrementa, aún más si se considera el norte de Chile, en donde los registros son evidentemente vagos y fragmentados. Vega-Román & Ruiz (2018), para quilópodos, escolopendromorfos, listan a las especies *Akymnopellis chilensis* y *Akymnopellis platei* en las localidades de Copiapó y el Oasis de Niebla, La Chipana al norte del río Loa, respectivamente. Para escutigeromorfos, se presume la presencia de *Sphendononema chagualensis* con base a los registros en la zona sur del Perú en el estudio de Sielfeld (2002). Para Pauropoda, se conoce *Allopauropus verrucosus* mencionada por Scheller (1968) para la localidad de Huasco. Para Diplopoda, no hay reportes para la región de Atacama, pero se presume la presencia de *Nopoiulus kochii* citado para la localidad de Cavancha, Iquique y del género *Siphonotus*, reportado para Paposo, Antofagasta. Los miriápodos suelen encontrarse en una amplia diversidad de hábitats terrestres desde el intermareal al sotobosque e inclusive en zonas de alta montaña. Sin embargo, en comparación con otros artrópodos, han atraído una atención limitada, siendo todavía escasamente conocidos. La mayoría de los estudios se han ocupado de descripciones de nuevas especies y problemas taxonómicos, y por lo tanto, para muchos aspectos siguen siendo desconocidos para la región y el país. Este desconocimiento es particularmente significativo entre los milpiés, cuya riqueza estimada de especies debería ser significativamente mayor a la conocida actualmente (Parra-Gómez & Fernández 2022).

Amenazas y vulnerabilidad

En el caso de los artrópodos epígeos que no tienen un uso comercial, las mayores amenazas que estos enfrentan están dadas por cambio en el uso de la tierra por distintas actividades humanas. Debido a la relativa estabilidad ambiental a lo largo del tiempo que han tenido los desiertos del norte de Chile (el desierto de Atacama es uno de los más antiguos del mundo), una gran cantidad de las especies presentes en la región de Atacama se encuentran notablemente especializadas a condiciones particulares. Estas condiciones de estabilidad ambiental a lo largo del tiempo, también han favorecido una notable diversificación de varios grupos que hoy presentan un altísimo grado de endemismo, por lo que varias especies se encuentran acotadas a áreas de distribución muy pequeñas. Todo esto hace que muchas especies de esta región sean muy vulnerables a la actividad humana, ya que cualquier perturbación en las condiciones ambientales en las pequeñas áreas en las que habitan podrían llevar a su extinción. Un ejemplo de esto son las especies ultra-psamófilas (es decir, adaptadas para vivir exclusivamente en sustratos arenosos), presentes en la estrecha franja de dunas costeras del sur de Atacama. Entre estas, *Brachistosternus cepedai* fue la primera especie de escorpión clasificada en una categoría de conservación en Chile (En Peligro) y en el Cono Sur, debido a que el área en la que habita se encuentra amenazada por la actividad minera, turística y agrícola.

En playas arenosas, las poblaciones de varias especies de artrópodos, en particular crustáceos como *Orchestoidea tuberculata* y *Tylos spinulosus*, podrían estar amenazadas por la



Fotografías con luz blanca (a) y luz UV (b) de un juvenil de *Brachistosternus* sp. trepado sobre ramas en búsqueda de larvas de polillas (Lepidoptera: Heterocera), Parque Nacional Llanos de Challe. (c) *Brachistosternus sciosciae* (Scorpiones: Bothriuridae) en cópula en el Parque Nacional Llanos de Challe.

disminución de su principal fuente de alimento, las macroalgas de los géneros *Lessonia* y *Macrocystis*, que están siendo sometidas a explotación económica intensiva en el norte de Chile. Por otro lado, estos crustáceos también son afectados por el uso turístico intensivo de las playas, que modifica su hábitat a través del pisoteo, el aplastamiento por vehículos todo terreno, la limpieza de playas y la construcción de instalaciones recreacionales.

Proyecciones y desafíos para los artrópodos de la región de Atacama, un laboratorio natural

Los artrópodos son excelentes modelos para estudios en biogeografía y evolución, particularmente en el caso de los organismos poco vágiles y estenóicos (i.e., especie que vive en un espacio geográfico limitado) como las vaquitas (Tenebrionidae), los camarones y los escorpiones entre otros. En este sentido la región de Atacama por sus particulares características de aislamiento, diversidad ambiental (desde Los Andes al mar), y estabilidad a lo largo del tiempo de las condiciones en muchos de estos ambientes, se presenta como un notable laboratorio natural para estudiar los procesos evolutivos en estos grupos.

Contribuciones recientes han permitido empezar a reconstruir los procesos de diversificación de algunos de los órdenes de artrópodos de la región. Estos han revelado que los ríos y cadenas montañosas de la región han actuado como elementos vicariantes en algunos casos, pero también como rutas de conexión entre distintas áreas en otros. También se ha podido estudiar el rol de las islas continentales de la región como lugares de especiación y refugio de muchas especies, así como los procesos de intercambio de fauna durante sus períodos de conexión al continente durante los distintos máximos glaciales. Los avances en las técnicas moleculares de los últimos 20 años y su masificación dentro de la comunidad científica, han facilitado enormemente estos estudios; sin embargo, la mayor limitante en este tipo de contribuciones es el "impedimento taxonómico", ya que para poder llevarlos a cabo es fundamental conocer la diversidad de los diferentes taxa.

En los últimos años se observa un avance notable en el conocimiento de la taxonomía de los artrópodos de Atacama; sin embargo, todavía estamos lejos de conocer la verdadera diversidad del grupo en la región. En amplias zonas del territorio poco habitadas y de difícil accesibilidad, aún no han sido llevadas a cabo colectas sistemáticas de artrópodos por especialistas. Un ejemplo de esto es el sector Andino de la región de Atacama del que existen pocos materiales en colecciones institucionales (e.g., Nevados Tres Cruces). A esto debe agregarse que muchos órdenes de artrópodos no poseen especialistas locales en su taxonomía, lo que dificulta aún más el avance en su conocimiento.

Actualmente se desarrollan a nivel nacional distintas iniciativas que están llevando a cabo colectas sistemáticas de distintos grupos en áreas poco estudiadas como la del SIMEF. Este tipo de proyectos de largo plazo, serán fundamentales para avanzar en el conocimiento de la fauna de la región de Atacama y del país.

Agradecimientos

Agradecemos a Francisco A. Squeo (ULS-IEB) por la invitación a participar en el presente libro. Agradecemos a Moisés Grimberg (CONAF) por la autorización de los proyectos 18/2011, 006/2014, 028/2015, 053/2015, 008/2017, 056/2017 (CONAF-SIMEF), a José Luis Gutiérrez (P.N. Pan de Azúcar), Gabriela López (P.N. Llanos de Challe), Cristian Rivera (Isla Chañaral, R.N. Pingüino de Humboldt) y a todo el staff de CONAF de las áreas SNASPE de Atacama, por su enorme apoyo en la logística en los trabajos de campo. Extendemos los agradecimientos a la Dra. Lucila Moreno (Universidad de Concepción) por los antecedentes de Ectoparásitos, al M.Sc. Christian R. González por los antecedentes de Tabanidae, a los Dres. Hernán A. Iuri y Andrés Porta (Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia) por los antecedentes de Solifugae y Acari respectivamente, al Dr. Emmanuel Vega-Román (Programa de Doctorado en Recursos Naturales Renovables, Universidad del Biobío) por los antecedentes de Myriapoda, y al Dr. Roberto Cambra (Museo de Invertebrados G.B. Fairchild, Universidad de Panamá) por los antecedentes de Mutillidae. Extendemos los agradecimientos a la Sala de Colecciones Biológicas UCN (Dr. Javier Sellanes) y a Iván Hinojosa y Francisco Díaz por las fotografías de los crustáceos. Agradecemos a los proyectos DIDULS PR232128 y PEQMEN212124 de la Universidad de La Serena, al financiamiento del Ministerio de Educación de Chile, a través del convenio de ejecución del MINEDUC: Implementación de un modelo competitivo de innovación y creación: preparar la Universidad de La Serena para 2030, ULS19101 y la Evaluación Integrada de Ecosistemas Forestales y Sistema de Monitoreo (SIMEF), Convenio INFOR-IEB, Fotografías de Arthropoda No-Crustacea de Laboratorio de Entomología Ecológica-Fundacion-indomita.org/.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 12:175-183



Capítulo 12 Equinodermos de Atacama: más allá de las estrellas de mar

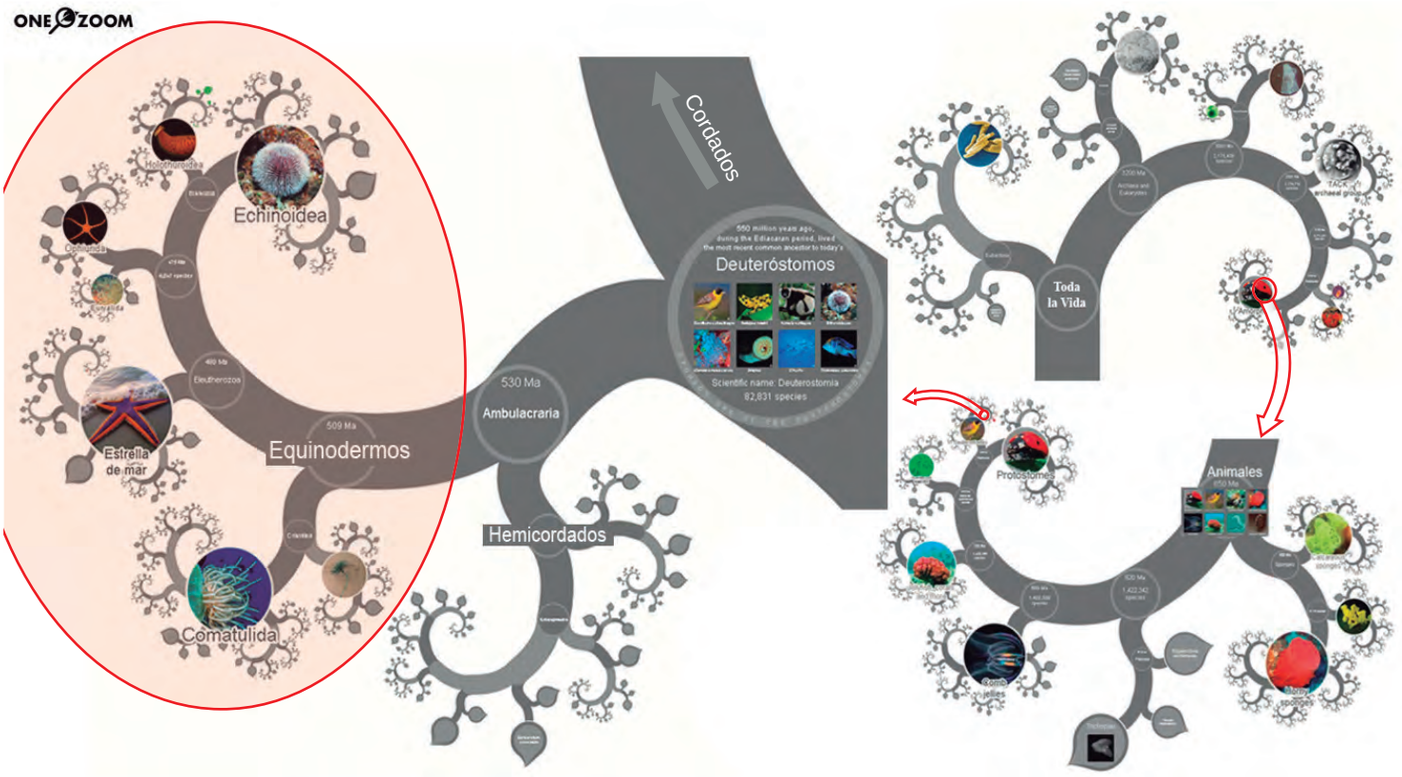
Juan Francisco Araya

Resumen

Los equinodermos son un grupo de invertebrados exclusivamente marinos, reconocidos por su simetría radial pentamérica en adultos, y que incluyen, por ejemplo, a las estrellas y erizos de mar, organismos muy llamativos encontrados a lo largo de todas las costas del mundo. Para Chile se han citado alrededor de 350 especies actuales, de las cuales 29 están presentes en las costas de la región de Atacama, la mayoría en aguas profundas (sólo nueve en aguas someras), mientras que existen registros para cinco especies fósiles, dos aún presentes en el área.

Introducción

El phylum Echinodermata comprende una amplia variedad de especies exclusivamente marinas, son animales Deuterostomados, es decir con segmentación radial, desarrollo embrionario indeterminado, ano procedente del blastoporo y boca de formación secundaria, organismos que aparecen en la historia de la tierra hace unos 550 millones de años atrás, en el período Ediacárico. Los equinodermos y su phylum hermano Hemichordata (Recuadro 12.1), son organismos derivados de Ambulacraria, línea evolutiva que poseen ambulacros o apéndices en forma de tubo para la locomoción y funciones vitales, que aparecen en el período Cámbrico hace unos 530 millones de años. Finalmente el phylum de los Equinodermos hace su aparición como tal hace unos 509 millones de años, siendo uno de los grupos mejor representados en el registro fósil. En la actualidad, se pueden encontrar desde el intermareal hasta la zona hadal (bajo los 6.000 m de profundidad), habitando en ambientes principalmente bentónicos, aunque



El clado Deuteróstomos bifurca en dos ramas, una que dará origen a todos los cordados (ver Capítulos 13 al 18) y la otra rama genera el clado Ambulacraria. Este último clado bifurca en los phyla Hemicordata (ver Recuadro 12.1) y Echinodermata. El largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)

también existen especies pelágicas y bentopelágicas. Los equinodermos son organismos relativamente grandes, correspondiendo en general a macrofauna y megafauna, y son bastante característicos en ensambles locales, dominando a veces las comunidades bentónicas, tanto en fondos duros como blandos, y a veces en gran abundancia, siendo organismos importantes en la compleja trama trófica del bentos marino. Estos organismos cuentan con un extenso registro fósil desde el Cámbrico, y con alrededor de 13.000 especies extintas. Los equinodermos se caracterizan por poseer un esqueleto de carbonato de calcio en alótropo calcita, presencia de un sistema vascular acuífero y aparato ambulacral, y por su llamativa simetría radial pentámera. Los equinodermos modernos se distribuyen en cinco clases ordenadas de acuerdo a su aparición evolutiva: la rama más antigua es la Clase Crinoidea (que tiene su origen hace 509 Ma), que agrupa a los lirios y plumas de mar; le siguen la Clase Asteroidea (480 Ma), que incluye a las conocidas estrellas de mar; la Clase Ophiuroidea (475 Ma), la más abundante en especies, que contiene a las estrellas quebradizas y estrellas canasta; la Clase Holothuroidea (475 Ma), incorporando a los pepinos de mar y, la más reciente, la Clase Echinoidea (475 Ma), que contiene a los erizos de mar, los erizos planos o dólar de arena y las galletas de mar. Los equinodermos incorporan especies carnívoras, herbívoras, detritívoras y filtradoras: por ejemplo, los erizos de mar consumen algas y son un elemento controlador de estas en ecosistemas costeros. Las estrellas de mar, por otro lado, son carnívoras, y depredadores que evaginan el estómago digiriendo directamente sus presas (otros invertebrados), mientras que los pepinos de mar se alimentan pasivamente, filtrando material orgánico del sedimento y en suspensión. Los lirios de mar, por otro lado, capturan partículas de la columna de agua.

En general, la mayoría del conocimiento para este grupo en Chile está referida a especies con interés económico, particularmente al erizo rojo (*Loxechinus albus*), con varios estudios identificando el ciclo reproductivo, su ciclo de vida, desarrollo larvario y metamorfosis, patrones de crecimiento, alimentación y ecología, demografía y pesquería; o en menor medida al erizo negro (*Tetrapygus niger*), una especie muy abundante, asociada con algas gigantes de gran interés económico, y con gran importancia ecológica en ambientes rocosos someros.

Equinodermos de Atacama

En general, estudios sobre equinodermos de la región de Atacama han sido relativamente escasos, destacándose los estudios sobre especies fósiles, como los estudios de Philippi (1887) sobre los fósiles terciarios y cuaternarios, donde describe una nueva especie fósil para Caldera; el trabajo de Gigoux (1916), quien describió una especie fósil de erizo irregular *Encope* para el Mioceno de Caldera (Ver Capítulo 25); el trabajo de Herm (1969) acerca de las faunas marinas del Plioceno y Pleistoceno del norte y centro de Chile, donde se incluyen algunos equinodermos, y el trabajo de Covacevich y Frassinetti (1977) revisando el género *Encope* del norte de Chile. Estudios recientes centrados en especies de la región solo incluyen los trabajos de Manso-Castro y colaboradores (Manso-Castro 2010, 2018) revisando especies de ofiuroideos (estrellas de mar quebradizas), particularmente aquellos asociados con antozoos y esponjas hexactinélidas de aguas profundas. Algunas contribuciones en congresos también han registrado especies de erizos de profundidad del género *Arbacia*, fósiles para el Mioceno de Caldera (Mourgues & Pérez 2014), así como de erizos rojos y negros para localidades cuaternarias de los Estratos Caldera (Roa et al. 2016).

En general, la fauna actual de equinodermos en la región de Atacama es bastante pobre y, con excepción de los registros de la estrella de mar de profundidad de la familia Brisingidae y los lirios o plumas de mar *Feracrinus* sp. y *Monachometra* sp., todas las especies de equinodermos encontradas en el área se encuentran mayormente en fondos rocosos y cuentan con amplia distribución a lo largo del norte y centro de Chile.

El Phylum Echinodermata en la región de Atacama está representada por 29 especies distribuidas en cinco clases: Crinoidea (lirios y plumas de mar), Asteroidea (estrellas de mar), Ophiuroidea (estrellas quebradizas), Holothuroidea (pepinos de mar) y Echinoidea (erizos de mar).

Clase Crinoidea o de los lirios y plumas de mar

Los crinoideos son un grupo particularmente interesante de equinodermos, aun cuando cuentan con una buena representación en el registro fósil, hoy están representados por comparativamente pocas especies, todas ellas encontradas en aguas profundas, y de las cuales se han citado solo 14 para aguas Chilenas (Larraín 1995). El



Clase Crinoidea o de los lirios y plumas de mar

estudio de estas especies en territorio nacional ha sido escaso, con sólo un par de trabajos citando registros de estas especies (Dearborn & Rommel 1969, Codoceo & Andrade 1980). Para la Región de Atacama, esta clase sólo incluye 3 especies encontradas en aguas profundas en el área, 2 de ellas citadas por primera vez en este capítulo. El estudio de la fauna accesoria de la pesquería del Bacalao en aguas abiertas fuera del Puerto de Caldera permitió identificar al crinoideo pedunculado *Feracrinus* sp., colectada en pesca de bacalao fuera de Caldera, en 1500-1800 m de profundidad; y el comatulido *Monachometra* sp, colectada en pesca de bacalao fuera de Chañaral, 1800 m de profundidad. Ambas representan nuevos registros para Chile y para la región. La tercera especie, el comatulido *Florometra magellanica*, es una especie citada desde el norte de Perú hasta la Provincia Magallánica en el sur de Chile (Catalán et al. 2020), rango que incluye a la región de Atacama, pero que no cuenta con registros específicos en la región.

Clase Asteroidea o de las estrellas de mar

La clase Asteroidea es la que cuenta con más especies en la región, nueve, incluyendo especies depredadoras abundantes y dominantes en ambientes someros intermareales y submareales. Las estrellas de mar son los equinodermos más conocidos a nivel local, debido a su abundancia en el intermareal somero, y algunas especies, como el Sol de mar (*Heliaster helianthus*) y la estrella espinosa (*Meyenaster gelatinosus*), son especies ecológicamente importantes debido a que representan depredadores especializados en el intermareal,



Stichaster striatus

Foto: Gustavo Duarte



Odontaster penicillatus

Foto: Gustavo Duarte



Erizo de profundidad *Arbacia spatuligera* y Estrella *Luidia magellanica*

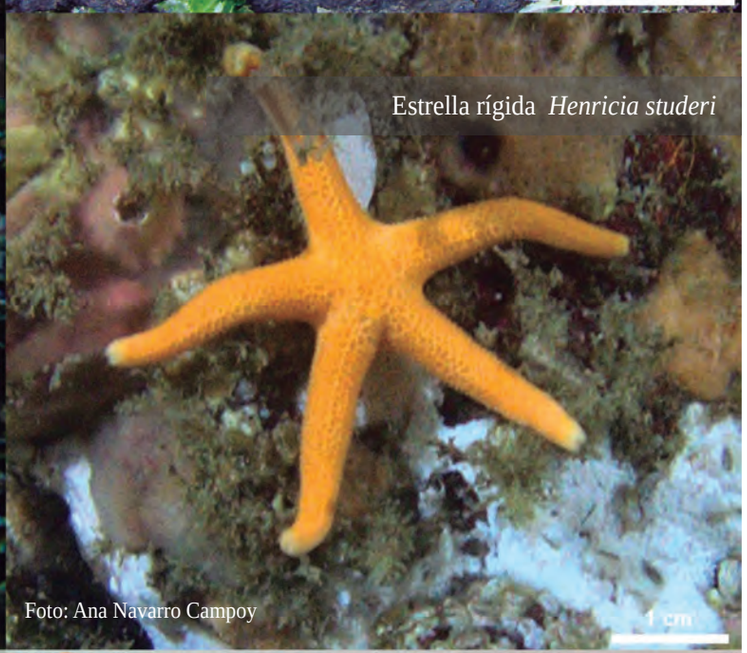
Foto: Ana Navarro Campoy

5 cm


Sol de Mar *Heliaster heliantus*
Foto: Ana Navarro Campoy
5 cm


Estrella espinoza *Meyenaster gelatinosus*
Foto: Ana Navarro Campoy
5 cm


Meyenaster gelatinosus
Foto: Gustavo Duarte


Estrella rígida *Henricia studeri*
Foto: Ana Navarro Campoy
1 cm


Brinsingidae vista dorsal
Foto: Ana Navarro Campoy

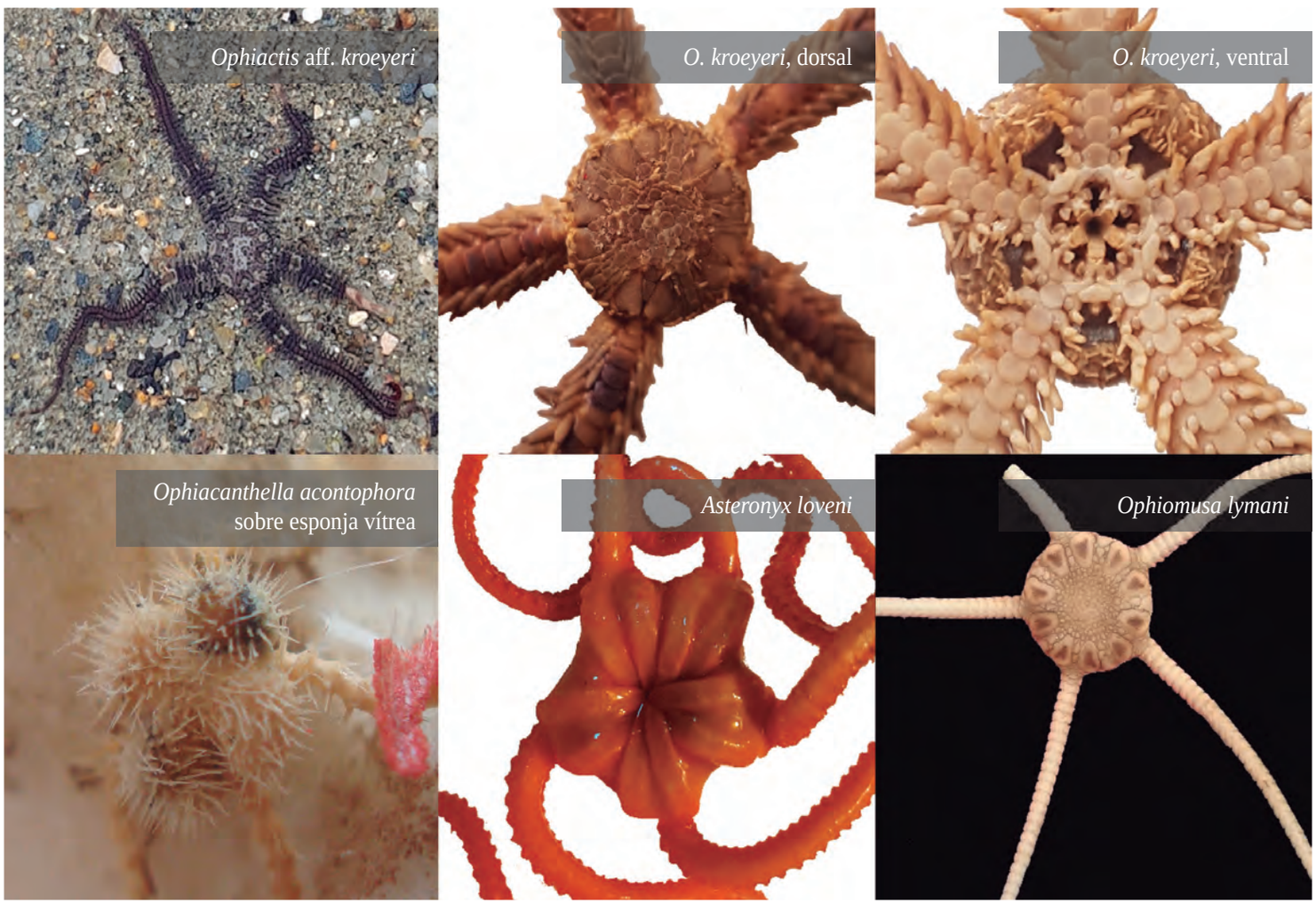

Brinsingidae vista ventral
Foto: Ana Navarro Campoy

donde regulan poblaciones de bivalvos, gasterópodos y a otros equinodermos (Tokeshi et al. 1989). Cuatro de estas especies, *Heliaster helianthus*, *Meyenaster gelatinosus*, *Patiria chilensis* y *Stichaster striatus*, son comúnmente encontradas en el intermareal y submareal somero de toda la costa rocosa de la región y, con excepción de *P. chilensis*, todas ellas constituyen especies llamativas y de gran tamaño; *H. helianthus*, por ejemplo, cuenta normalmente con ejemplares de alrededor de 18 a 30 cm en estado adulto y *M. gelatinosus* puede alcanzar tamaños máximos en torno a los 50 cm. Varias especies de aguas submareales, bajo los 25 m de profundidad, son conocidas, incluyendo a la gran estrella *Luidia magellanica*, con la particularidad de estar asociada a áreas con fondos blandos, así como a las pequeñas estrellas *Henricia studeri* y *Odontaster penicillatus*, asociadas a fondos rocosos; sin embargo estas especies no son tan comunes como aquellas de aguas más someras, y en general han sido citadas pocas veces en la literatura. Se destaca entre las especies de aguas profundas el registro de una especie de Brisingidae de gran tamaño, con brazos de longitud superior al metro de diámetro, el primer registro para la familia en la región de Atacama, asociada como fauna accesoria en la pesquería del bacalao (*Dissostichus eleginoides*) fuera de Caldera, en 1500-1800 m de profundidad.

Clase Ophiuroidea o de las estrellas quebradizas

Este grupo corresponde a nivel mundial a la Clase de equinodermos con el mayor número de especies (Stöhr et al 2012), lo que también se refleja a nivel nacional y de la región de Atacama. Los ofiuroideos son, regionalmente, mucho más abundantes en aguas submareales y profundas, particularmente en fondos blandos, contando con sólo una especie relativamente común en el intermareal rocoso, *Ophiactis* aff. *kroeyeri*, que sin embargo posee una taxonomía confusa en el Pacífico suroriental (Stöhr, com. pers.), es la especie más común de equinodermo ofiuroideo encontrado en aguas someras de la región. La gran mayoría de los registros de ofiuros para la región corresponden a especies asociadas a esponjas hexactinélidas y corales, como la ofiura espinosa *Ophiacanthella acontophora*, que ha sido colectada sobre la esponja vítrea *Caulophacus chilensis*. La ofiura *Asteronyx loveni*, frecuente en corales primnoideos en la región, o la ofiura rigida *Ophiomusa lymani*, encontrada en corales látigo penatulaceos del género *Distichoptilum*. Asimismo, se incluye el nuevo registro, consignado en este libro, de la estrella canasta chilena, *Gorgonocephalus chilensis*, especie previamente registrada para el sur de Chile y cono sur del continente (Jaramillo 1981). Ha sido colectada en un coral primonideo fuera de Caldera, en aguas profundas (1500 m).

A diferencia de la mayoría de las otras clases de equinodermos, varias especies de ofiuros son encontradas exclusivamente en fondos blandos y fangosos, a veces en gran abundancia (Stöhr et al. 2012).





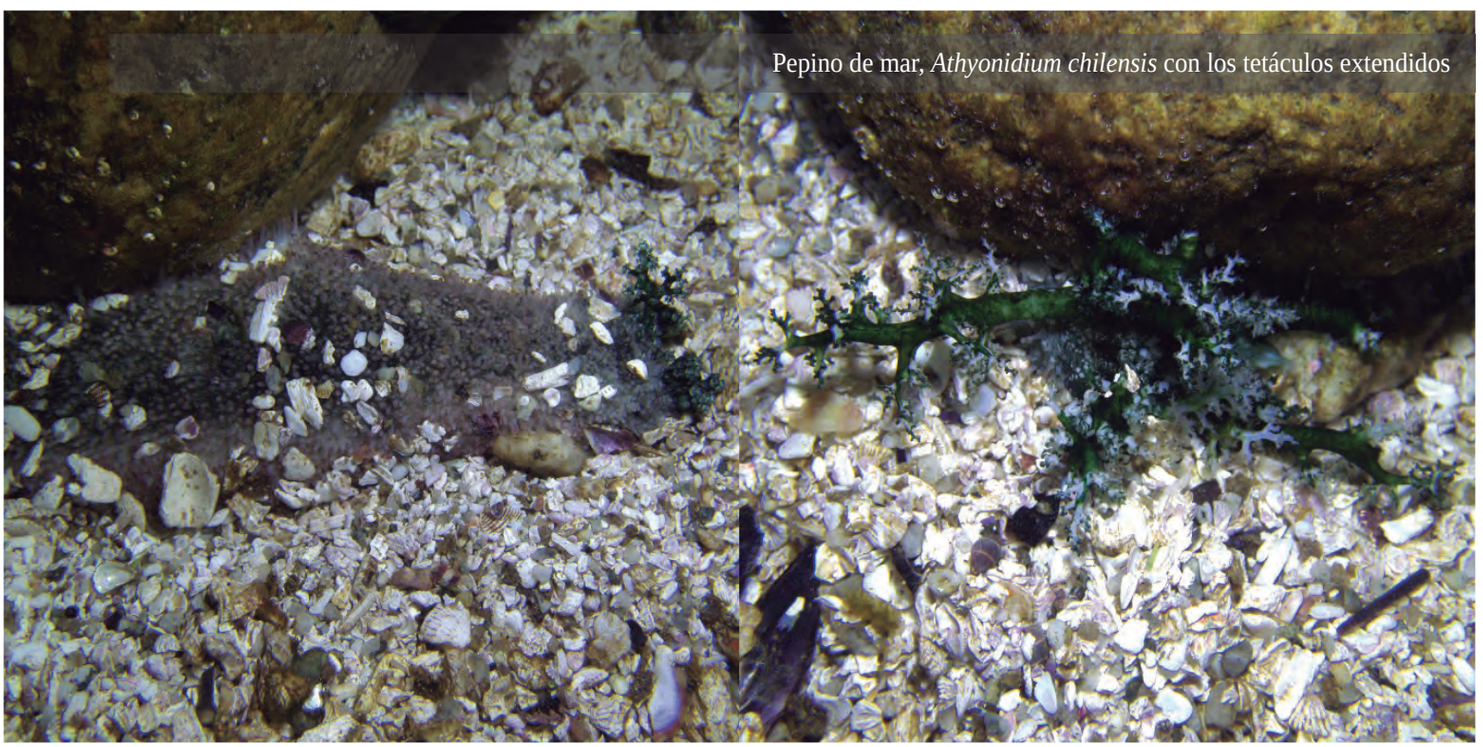
Gorgonocephalus chilensis, gran estrella canasta colectada en un coral primonideo, Caldera a 1500 m de profundidad

Clase Holothuroidea o pepinos de mar

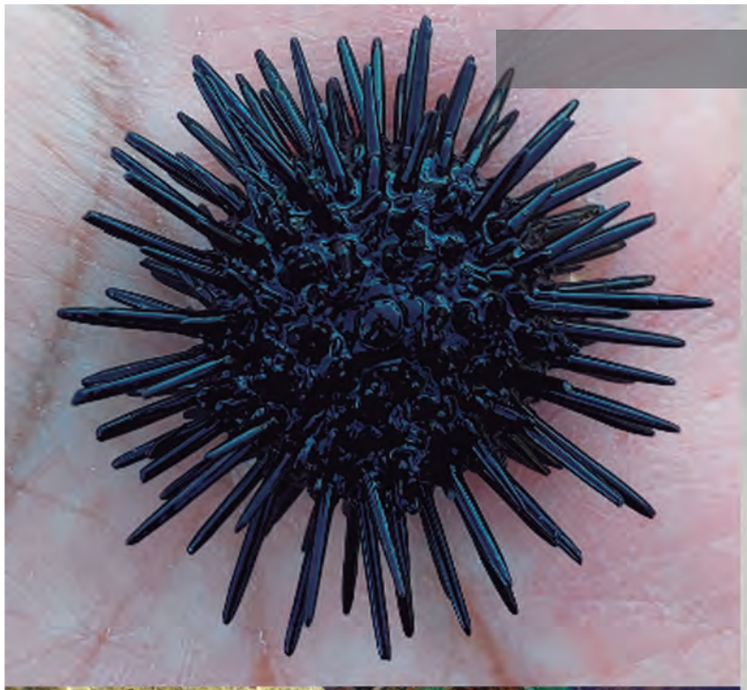
La clase Holoturoidea está representada por cinco especies, de las cuales el pepino de mar *Athyonidium chilensis*, es la única especie encontrada comúnmente en el intermareal y submareal somero, asociada a arena gruesa en fondos rocosos (Pawson 1964, 1969). Este pepino de mar representa, al igual que el erizo *L. albus*, un recurso importante, dado que es una especie comestible de interés comercial, sin embargo, no se poseen datos de desembarco recientes para la región de Atacama. Otras cuatro especies de holoturoideos han sido citadas para las costas de Chile y Perú, y que incluyen a la región de Atacama, sin embargo no existen registros recientes para la zona.

Clase Echinoidea o erizos de mar

Los erizos de mar están representados por sólo tres especies encontradas en aguas someras en la Región de Atacama, dos de ellas, *Loxechinus albus* y *Tetrapygus niger*, ampliamente abundantes y encontradas desde el intermareal hasta alrededor de 100 m de profundidad (Moreno & Molinet 2013), mientras que la tercera, *Arbacia spatuligera*, es encontrada sólo bajo los 20 m de profundidad (Millán et al 2019). *Tetrapygus niger* , el popular erizo negro, es la especie de erizo de mar más abundante a lo largo de las costas de Chile y es particularmente abundante en zonas rocosas de la región de Atacama, mientras que *Loxechinus albus*, el erizo rojo o blanco, es ampliamente buscado por motivos gastronómicos, y

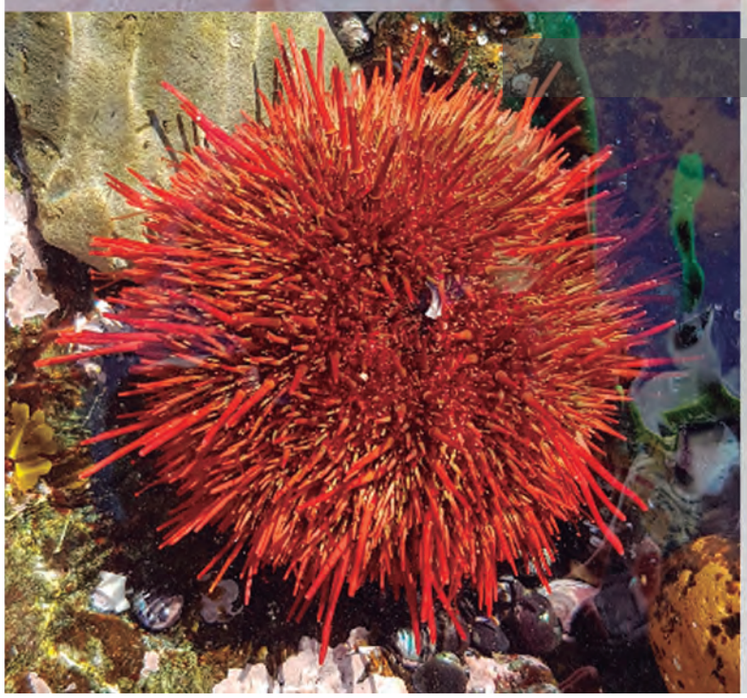


Pepino de mar, *Athyonidium chilensis* con los tetáculos extendidos





Erizo negro, *Tetrapygus niger*





Erizo rojo, *Loxechinus albus*

corresponde al principal desembarco de equinodermos para el norte de Chile (Arana 2005). *Arbacia spatuligera*, es aparentemente abundante en fondos rocosos bajo los 20 m de profundidad, lo que dificulta su prospección y explica la escasez de especímenes en instituciones chilenas.



Erizo de profundidad, *Arbacia spatuligera*

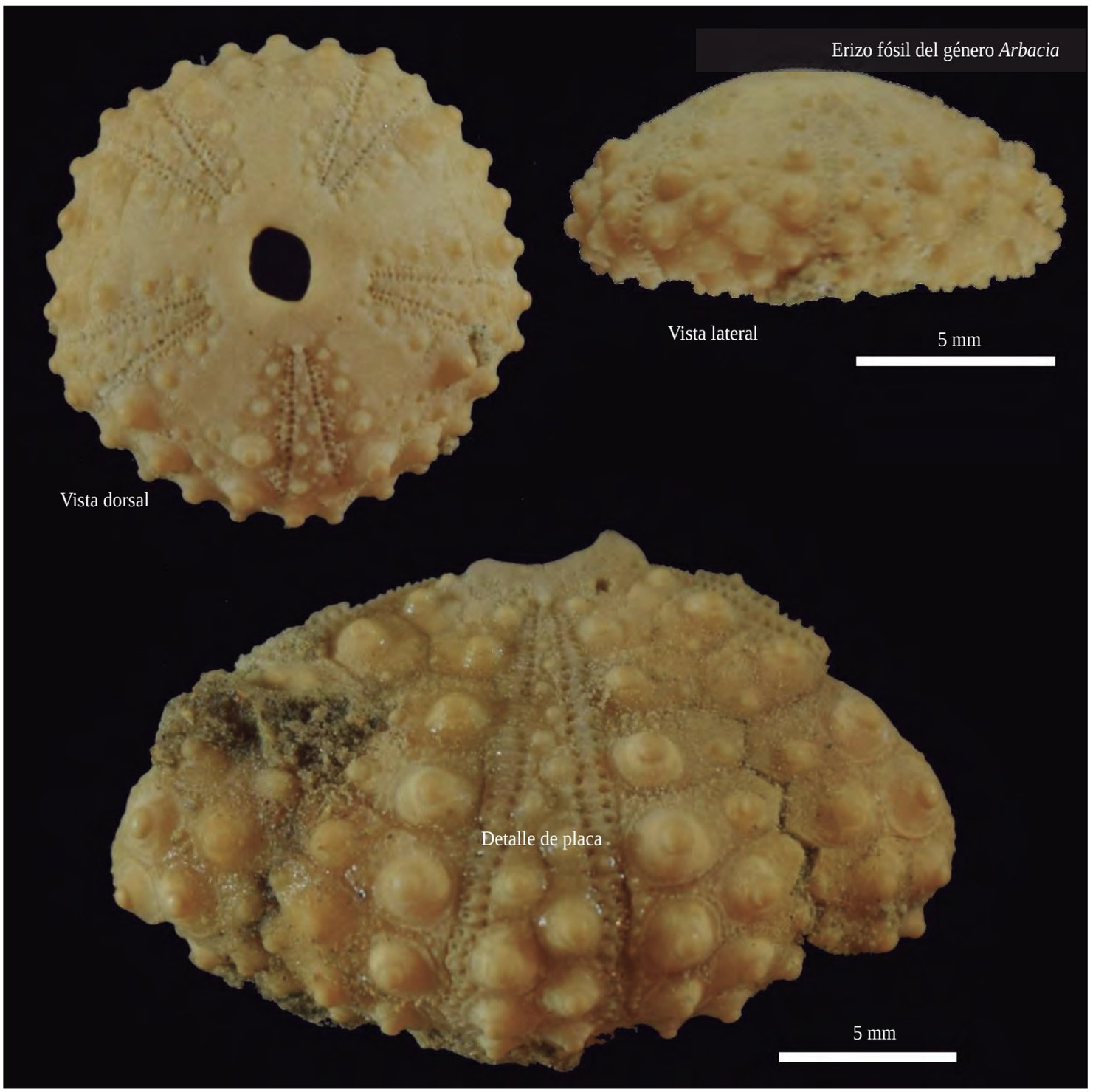
Especies de aguas profundas

La región de Atacama tiene varias pesquerías de aguas profundas importantes, incluyendo diversas naves que trabajan en la pesca del Bacalao *Dissostichus eleginoides* a través de espineles, y en el pasado, con pesca de arrastre capturando langostinos (*Munida* sp.) o camarón nailon (*Heterocarpus reedi*). La revisión de la fauna acompañante en estas pesquerías ha permitido identificar varias especies de aguas profundas presentes en la región, incluyendo especies raras o registradas muy pocas veces en la literatura

científica. Sin embargo, la literatura en estas especies de aguas profundas es aún escasa e incompleta. Un trabajo preliminar reciente (Manso-Castro et al 2018) permitió identificar cinco especies de Ophiuridae asociadas a colonias de *Caulophacus chilensis* Reiswig & Araya 2014, la más grande esponja hexactinellida registrada en el país, así como a diversos antozoos también recuperados como fauna acompañante en pesquerías de aguas profundas en la región.

Especies fósiles

La región de Atacama posee un rico acervo de biodiversidad fósil, principalmente del Neógeno en la zona costera en la Formación Bahía Inglesa (Mioceno) así como de los Estratos Caldera (Cuaternario), entre las que cuentan principalmente vertebrados fósiles y algunas especies de invertebrados fósiles. Entre las especies de equinodermos fósiles destacan las galletas de mar fósiles *Encope calderensis* y *Encope chilensis*, ambas especies endémicas a estratos del Mioceno de la Formación Bahía Inglesa, en el área de Caldera (Roa et al 2016). Asimismo, se han registrado especies de *Arbacia* para esta formación (Mourges & Perez 2014, Roa et al 2016), algunas de ellas representando especies nuevas para la ciencia (en preparación), en sitios específicos como el Cerro Ballena de Caldera. Registros del Cuaternario para los Estratos Caldera incluyen restos de conchas y espinas de las especies



actuales *Loxechinus albus* y *Tetrapygus niger*, confirmando su presencia en el área ya desde el Pleistoceno inferior (Roa et al 2016).

Consideraciones finales

Los equinodermos son uno de los grupos de invertebrados más importantes en el ambiente marino en el norte de Chile y en la región de Atacama, dado que son depredadores tope y dominan áreas de fondos rocosos en aguas someras de la región. Es importante además indicar que ninguna especie de equinodermo en Chile está bajo protección oficial, aunque sí existe para el erizo *Loxechinus albus* una talla mínima de extracción de 6,5 a 7 cm de diámetro, sin una veda de extracción al día de hoy.

Es interesante además notar la baja representatividad de especies de equinodermos de la región de Atacama en colecciones nacionales, particularmente en el Museo Nacional de Historia Natural, donde solo existen cuatro lotes provenientes de Atacama para un total de 985 lotes (Martínez et al 2018). El museo de Zoología de la Universidad de Concepción, por su parte, posee sólo 19 lotes de Equinodermos Chilenos (Artigas & Solar 2015), de los cuales solo unos pocos corresponden a material del norte de Chile. En general, es evidente la gran falta de material depositado, tanto de referencia como de colectas específicas, para muchos de los macroinvertebrados encontrados en el territorio nacional en instituciones chilenas. Es necesario entonces promover la colección de estos organismos para su documentación en instituciones de historia natural en Chile, particularmente para contar con un registro físico de la presencia de estas especies en áreas poco estudiadas del país.



Estrella chica, *Patiria chilensis*

Foto: Claudio Maureira, iNaturalist

Agradecimientos

A Ana Navarro Campoy (Montemar, PUCV) por su ayuda con fotografías de especies de equinodermos chilenos; a Sabine Stöhr (Swedish Museum of Natural History, Estocolmo, Suecia) por su ayuda con literatura y en la identificación de especies de Ofiuroideos chilenos; a Marc Eleaume (Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, Francia) por su ayuda en la identificación de crinoideos del norte de Chile; a Alberto Ahumada (Caldera, Chile) por su ayuda en la colección de material de equinodermos submareales; y a los pescadores de la comuna de Caldera por su ayuda en la colección de especies de fauna acompañante.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 12.1:184



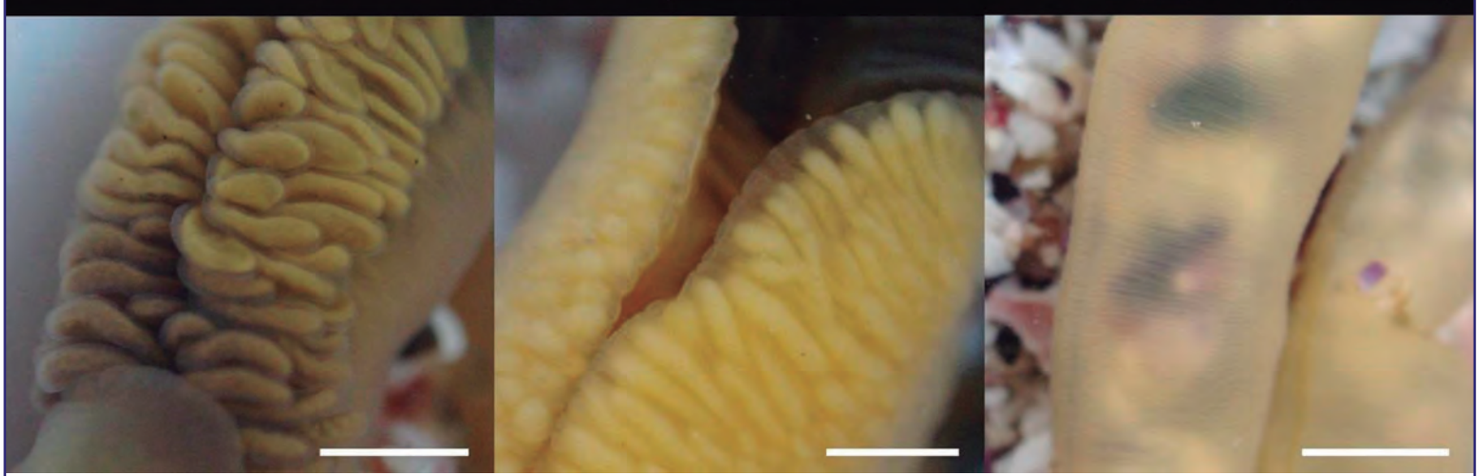
Recuadro 12.1 Hemicordados de la región de Atacama

Juan Francisco Araya

Hemichordata es un pequeño phylum de invertebrados exclusivamente marinos con tres Clases y alrededor de 100 especies descritas (Tassia et al. 2016). Para Chile se han citado 15 especies, de las cuales 10 pertenecen a especies coloniales de la familia Cephalodiscidae (Sielfeld & Guzmán 2010). Los hemicordados, juntos a los equinodermos, conforman el grupo Ambulacraria, y constituyen un grupo hermano al phylum Chordata.

En general los hemicordados se caracterizan por poseer un cuerpo vermiforme y una estomocorda, son detritivoros o filtradores y habitan en el fondo marino, usualmente enterrados en arena o sedimentos. Las dos especies encontradas en la región de Atacama, presentadas por primera vez en este libro, pertenecen a la clase Enteropneusta, del género *Glossobalanus*. Estas especies se han encontrado en fondos fangosos de Calderilla y en arena gruesa en el submareal de playa Ramada, al norte de Caldera. La descripción formal de ambas especies, una de ellas nueva para la ciencia, será presentada en un trabajo futuro.





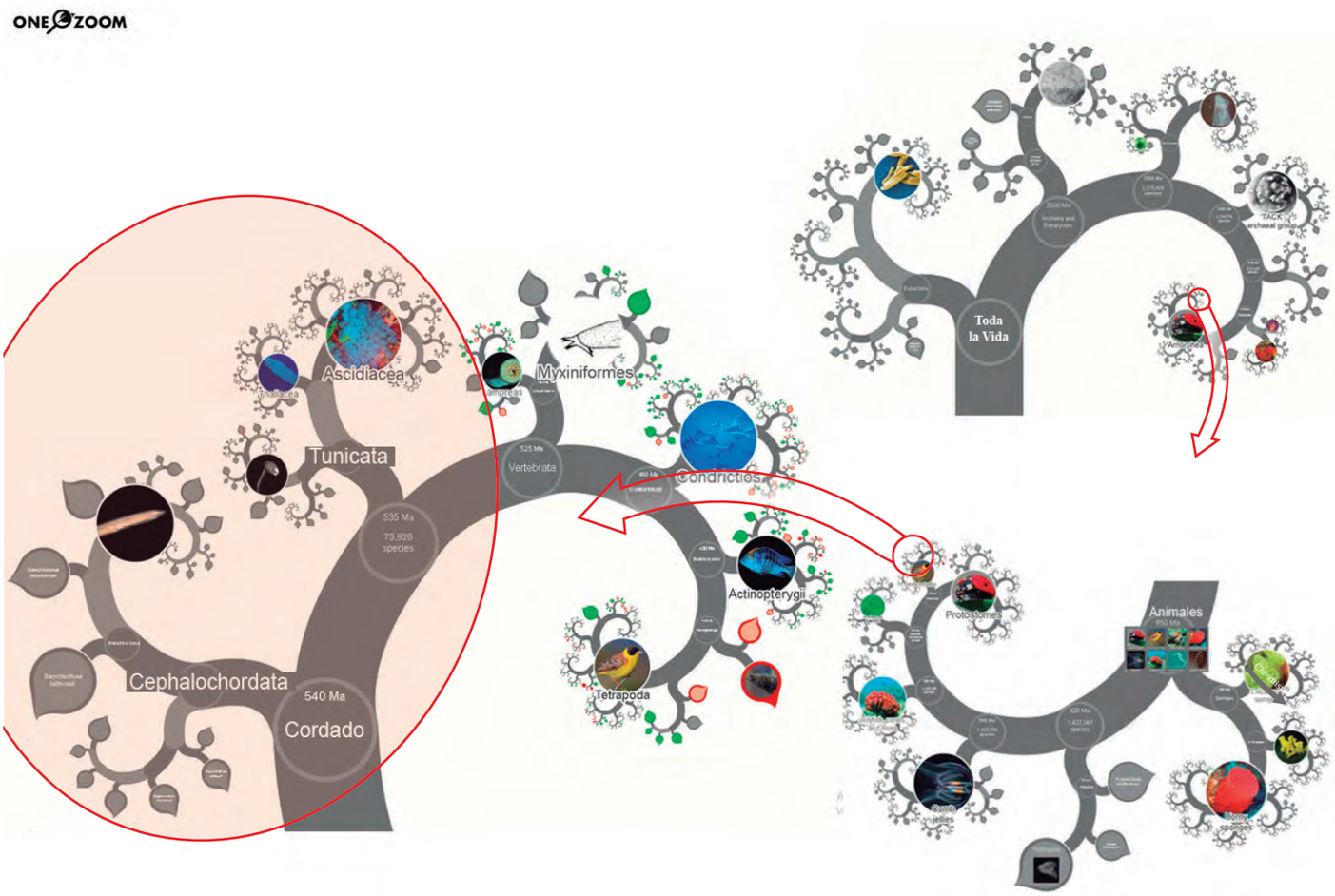


Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 13:185-188

Capítulo 13 Los primeros cordados de la región de Atacama: Cephalochordata y Tunicata

Julio Vásquez

Todos los miembros del phylum Chordata se caracteriza por poseer una estructura embrionaria llamada notocorda o cuerda dorsal. Los primeros cordados corresponden a los Cefalocordados con solo 31 especies en la actualidad y habrían divergido hace 540 millones de años (Ma). El segundo grupo son los Tunicados o Urocordados, que con 3.210 especies en la actualidad habrían aparecido hace 535 Ma durante el periodo Cámbrico) y el tercer grupo, los Vertebrados (o Vertebrata), se originaron hace unos 525 Ma y poseen unas 70.710 especies. En este capítulo ejemplificaremos a estos primeros cordados con el piur*e (Pyura chile*nsis Molina, 1782), una especie de notocordado endémica del Pacífico sureste, que habita entre el intermareal bajo y hasta una profundidad de 70 metros, desde los 10°S en la costa central del Perú hasta el sur de la Isla de Chiloé (43°S) en Chile. El piure es un Tunicado, pariente lejano de los vertebrados puesto que su larva de nado libre tiene un primordio de columna vertebral o notocorda y una faringe perforada, estructuras morfológicas que caracterizan a los vertebrados, y que se reabsorbe al momento de asentarse sobre rocas o cualquier superficie flotante (Vásquez 1983).



Los cordados basales (Cephalochordata y Tunicata) son dos ramas previas a la evolución de los vertebrados en el árbol de la vida. El largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)

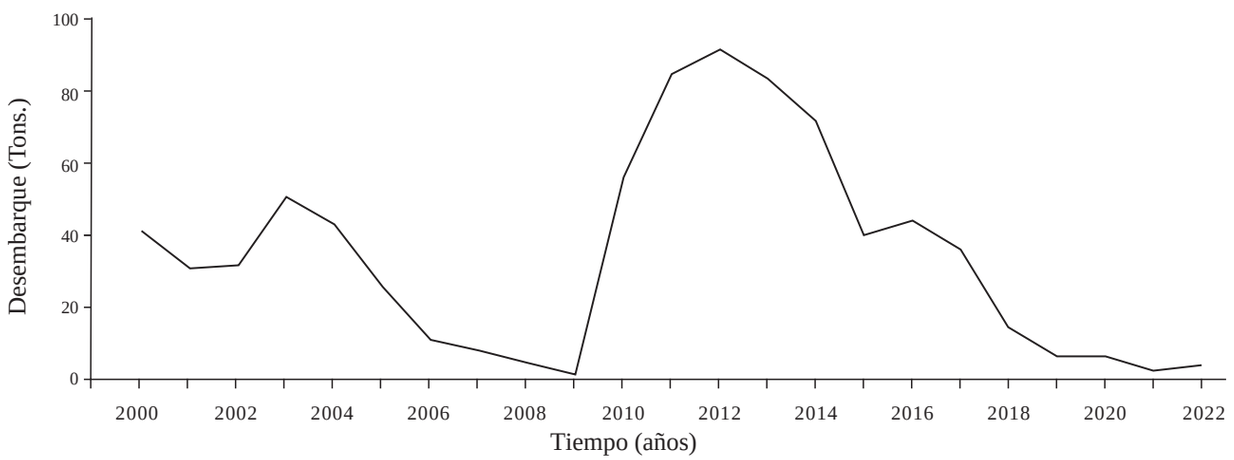


"Colpa o percha" de *Pyura chilensis* cosechada por pescadores artesanales

Colonias de *Pyura chilensis* en cuerdas de cultivo en Bahía Inglesa

Fotos: Cristian Sepúlveda

Pyura chilensis es un organismo colonial, recubierto por una túnica común que incluye numerosos individuos, y le confieren una forma de roca marina. De esta formación rocosa sobresalen un par de sifones que revelan su condición de organismo filtrador, sin embargo, al abrir esta cubierta de celulosa, aparece el invertebrado de un intenso color rojo y del tamaño aproximado de una ciruela. Según el Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura 2020 del Servicio Nacional de Pesca (Sernapesca 2020), en ese año hubo un



Desembarque total anual de *Pyura chilensis* en la región de Atacama (2000-2022, Sernapesca 2022). Gentileza de Instituto Milenio en Socioecología Costera, Data Center SECOS.

desembarque a nivel nacional de 1.729 toneladas de piures. En la región de Atacama, el desembarque de este invertebrado alcanza sus mayores valores entre 2011-2014 con desembarques de 85 Ton/año, disminuyendo significativamente su extracción a 2 Ton/año el 2022.

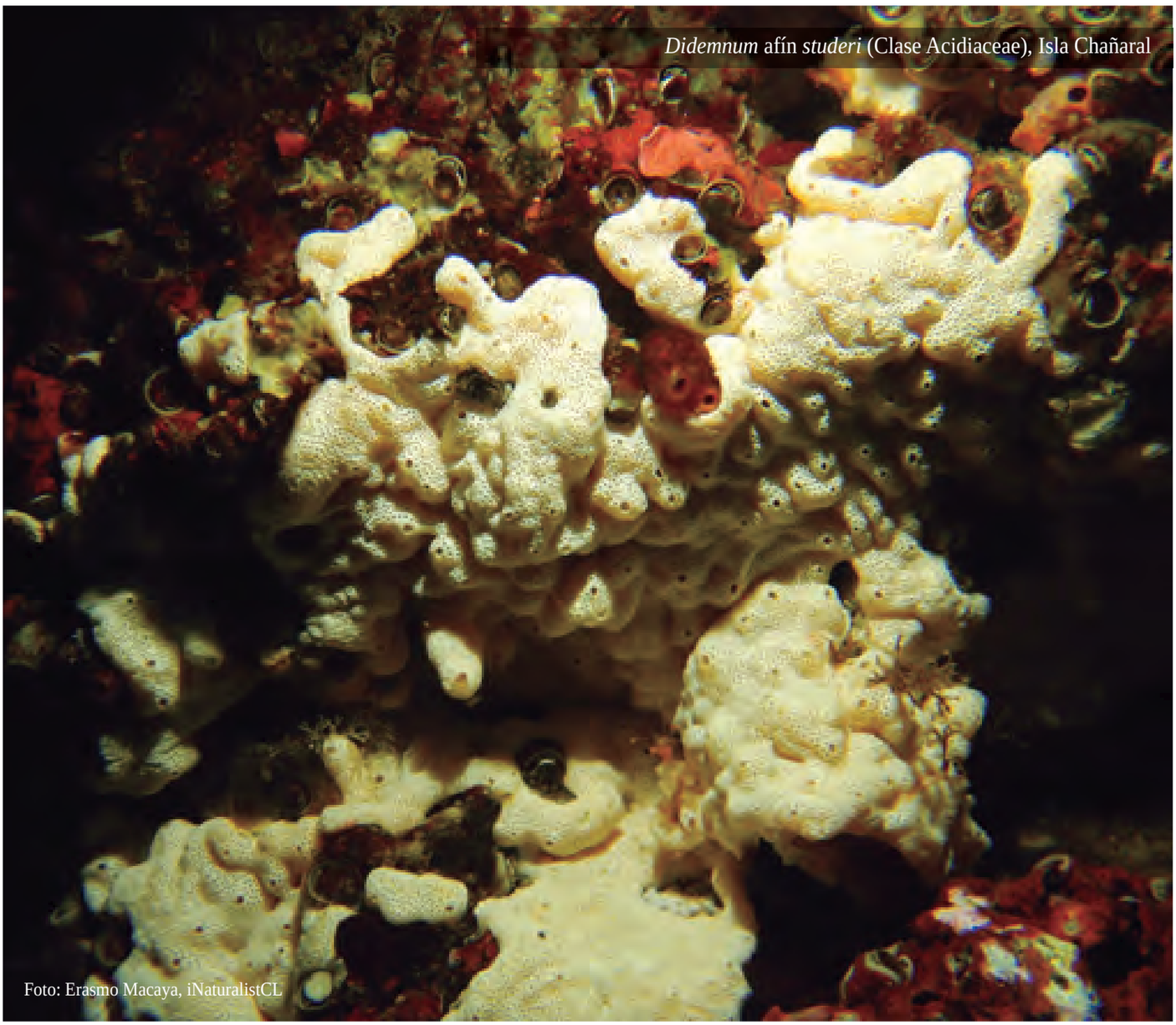
Pyura chilensis a lo largo de la Corriente de Humboldt presenta tres linajes diferenciados: dos de ellos ampliamente distribuidos entre la costa centro sur de Perú y Chile y uno restringido geográficamente a la zona sur. En la región de Atacama y hasta la región del Maule (26°S y 36°S), se encuentran dos de estos haplogrupos mitocondriales, cuya diferenciación genética parece responder a eventos extremos de "El Niño" (Haye et al. 2021).

Al igual que otros organismos costeros como los arrecifes intermareales de poliquetos tubícolas o las poblaciones de grandes algas pardas ("huiros"), las poblaciones de *Pyura* son estructuradores de ecosistemas costeros, concentrando entre sus organismos una alta biodiversidad de algas e invertebrados. *Pyura chilensis* es una de las presas de *Concholepas concholepas* "loco", por lo que su conservación en ambientes naturales impacta fuertemente sobre la abundancia de este molusco bentónico.

Otros representante de Cephalochordata y Tunicata en Atacama.

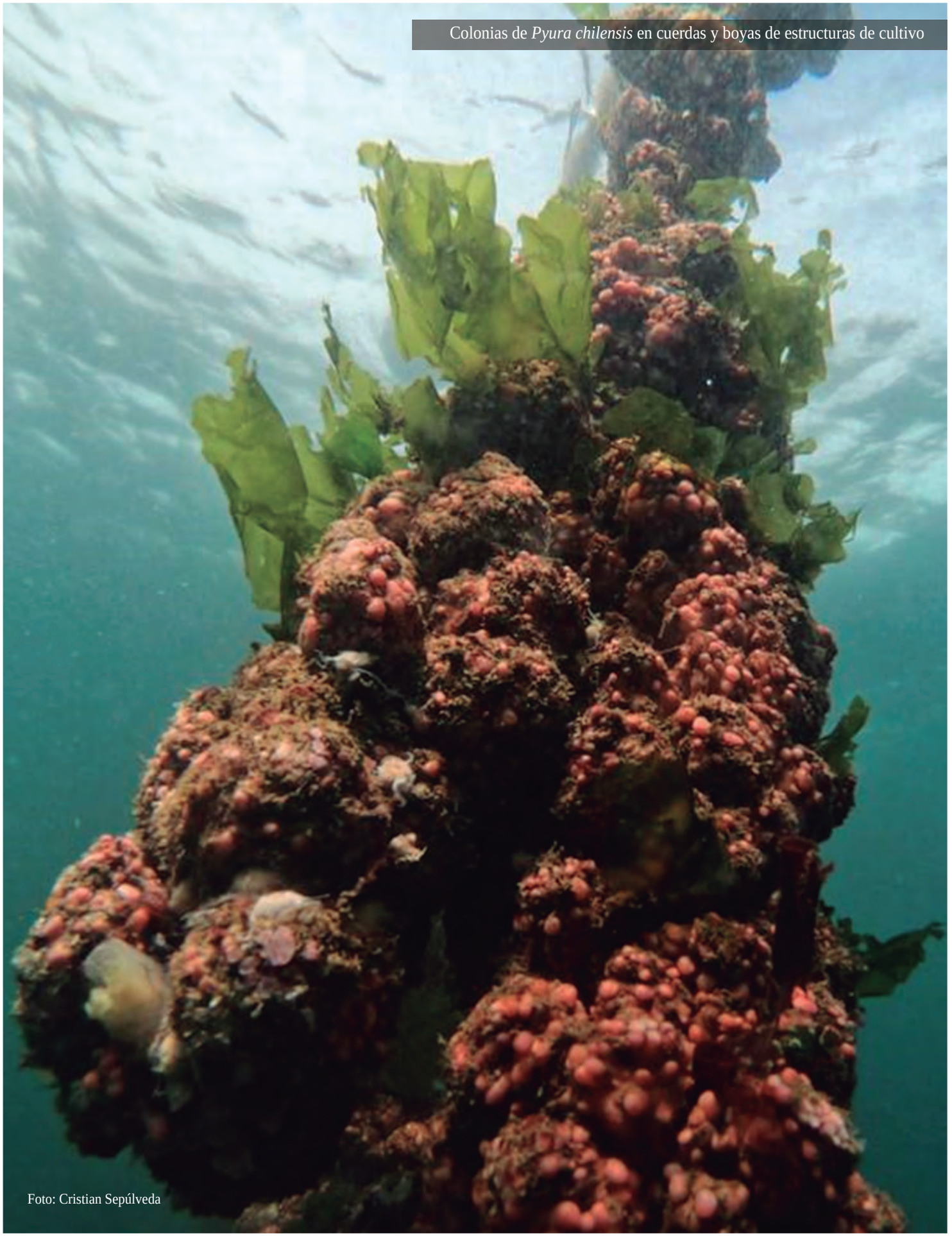
Otro tunicado nativo menos famoso pertenece al género *Didemnum* (Clase Ascidiaceae), ha sido informado para la Isla Chañaral (comuna de Freirina), dentro de la nueva Área Marina y Costera Protegida Archipiélago de Humboldt, en el límite sur de Atacama. Por otro lado, la *Ciona intestinales* (piure blanco) es una ascidia invasora exitosa en muchos sistemas marinos del mundo y en expansión en las costas de Chile, incluido Atacama, asociado a los cultivos de ostión.

Por último, en la pasada década se ha registrado la presencia de juveniles de *Branchiostoma elongatum* (Cephalochrodata) en muestreos de plancton en las costas de centro-norte de Chile (Mujica et al. 2022). Esta especie habita en las costas de Chile y Perú en fondos arenosos someros.



Didemnum afín *studeri* (Clase Acidiaceae), Isla Chañaral

Foto: Erasmo Macaya, iNaturalistCL



Colonias de *Pyura chilensis* en cuerdas y boyas de estructuras de cultivo

Foto: Cristian Sepúlveda

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 14:189-199

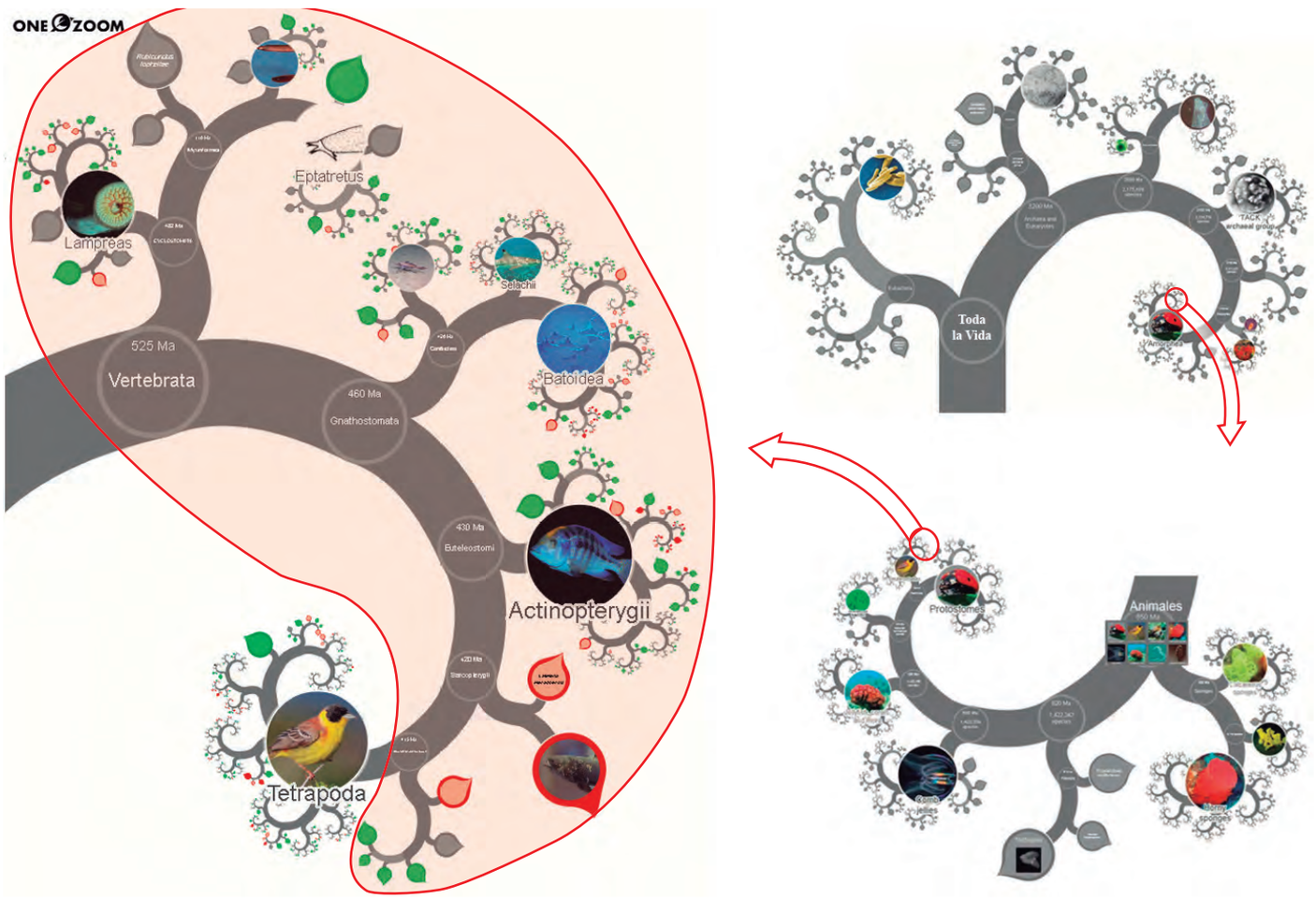


Capítulo 14. Biodiversidad y ecología de los peces de Atacama

Vladimir Garmendia, Ítalo Fernández-Cisternas, Juan Siñuela, Valentina C. Romagnoli, Brian Dyer & Alejandro Pérez-Matus

Resumen

Los peces son vertebrados acuáticos con branquias y apéndices en forma de aleta. En este capítulo sobre peces de Atacama, utilizamos ampliamente el concepto de peces para referirnos a un grupo parafilético (que no pertenecen a una única rama evolutiva y completa) que abarca desde mixinos (e.g. anguila babosa), primitivos peces sin mandíbula que habitan los desconocidos arrecifes mesofóticos, tiburones y otros condrictios (peces de esqueleto cartilaginoso) que habitan y transitan por las costas de la región, y finalmente los peces actinopterigios (aletas radiadas) que se distinguen de los anteriores por tener un esqueleto óseo y presentar una gran biodiversidad taxonómica, de atributos y funciones, siendo además un grupo tremendamente exitoso en colonizar ambientes acuáticos marinos y continentales. En cuanto al origen de los peces marino-costeros de Atacama se postulan tres vías no excluyentes de colonización: subtropical, transoceánica y



En la base del tronco de los vertebrados se encuentran varias ramas que conforman el grupo parafilético de los peces, desde la rama basal de Cyclostomata (peces sin mandíbula), seguida de Condrictios (peces de esqueleto cartilaginoso) y los peces actinopterigios (con aletas radiadas). El largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)

subantártica. El reino marino del Pacífico suroriental donde habitan los peces atacameños es una de las regiones más distantes con respecto al Indo-Pacífico, una región hostspot de biodiversidad y clave en el proceso de radiación de especies para los peces óseos. Por consiguiente, los ensambles de peces de Atacama presentan una baja riqueza de especies, sin embargo, la costa Atacama es parte del productivo sistema de la corriente de Humboldt que sustenta altos niveles de biomasa. Las comunidades de peces pueden ser estudiadas a través de indicadores de diversidad taxonómica (e.g. riqueza especies) y también de rasgos funcionales (e.g. riqueza y dispersión funcional). Estos últimos son valiosos ya que informan sobre procesos que subyacen a las comunidades que hoy conocemos. Para los ensambles de peces de arrecifes costeros de Atacama, datos preliminares indican una alta dispersión funcional similar, en términos relativos, a los de Rapa Nui, lo que indicaría que en estas regiones existen más funciones únicas comparativamente con otras (Chile central y Robinson Crusoe). La cuantificación de interacciones ecológicas es otra forma de entender la ecología de comunidades de peces de Atacama, ya que estas juegan un rol importante en la partición de recursos, al delimitar nichos ecológicos y expandir la disponibilidad de recursos para las especies. Mediante técnicas de muestreo remoto con cámaras estáticas, ha sido posible registrar la conducta de peces sin la presencia de buzos, y medir las interacciones tanto agonísticas (e.g. persecución) como positivas (e.g. limpieza) entre peces del ensamble atacameño. En Atacama, la estrecha relación entre peces y asentamientos costeros data de hace milenios. Actualmente, múltiples factores de perturbación amenazan dicho vínculo y la conservación de los peces del norte de Chile, por ejemplo, la extracción de su principal hábitat, los bosques de huiros. En nuestro país y en la región de Atacama, distintas herramientas de conservación han sido implementadas, algunas de ellas como las áreas marinas protegidas (AMP) demuestran ser efectivas, sin embargo, hoy en día representan un bajo porcentaje de superficie de la costa. Los esfuerzos debieran ser dirigidos a aumentar la proporción de territorios costeros bajo figuras de protección que integren la participación y conocimiento local (e.g. pescadores artesanales). Finalmente, los peces de aguas continentales de Chile son de gran interés porque algunas familias tienen una larga historia evolutiva y relaciones filogenéticas cercanas con grupos de peces en regiones geográficas distantes. En la región se encuentran dos especies nativas de aguas continentales, el pejerrey (*Basilichthys microlepidotus*) y la pocha (*Cheirodon pisciculus*), y también otras especies eurihalinas como la lisa (*Mugil cephalus*) y el puye (*Galaxias maculatus*) con capacidad de transitar entre aguas marinas y continentales.

¿Qué son los peces?

En palabras simples los peces son vertebrados acuáticos con branquias y apéndices (si los tienen) en forma de aletas (Nelson 1994). Se estima que los primeros peces existieron en el planeta hace más de 450 millones de años, y anteceden evolutivamente a cualquier otro animal vertebrado que conozcamos (e.g. anfibios, reptiles, aves o mamíferos). Además, los peces son animales cuya temperatura corporal es dependiente a la del ambiente (i.e. poiquilotermos), y usualmente tienen sus cuerpos cubiertos de escamas (Berra 1981). Sin embargo, inherente a esta amplia definición encontraremos múltiples excepciones, por ejemplo, atunes pueden regular internamente sus temperaturas corporales; anguilas que prescinden de aletas y escamas; o incluso peces pulmonados (Dipnoos) que pueden respirar fuera del agua. La diversidad de especies, formas y hábitats que presenta este grupo de vertebrados acuáticos que denominamos como peces, hace que no sea una tarea trivial su clasificación y comprensión de sus historias evolutivas (Nelson et al. 2016).

Para el presente capítulo, el concepto de peces hace referencia a un amplio grupo parafilético. Este incluye tanto a los primitivos peces sin mandíbula (superclase Agnatha), es decir mixinos y lampreas, como también a los populares peces con mandíbula (superclase Gnathostomata) donde se encuentran desde aquellos con esqueleto cartilaginoso (clase Chondrichthyes) como tiburones, rayas y quimeras, y también el numeroso y diverso grupo de peces con esqueleto óseo (grado Osteichthyes o Teleostomi). La extraordinaria diversidad de este último grupo incluye desde los sorprendentes peces de aletas lobuladas como el celacanto (clase Sarcopterygii) - verdaderos fósiles vivientes - hasta los mayormente conocidos peces de aletas radiadas (clase Actinopterygii) tales como jureles, pintachas o cabrillas, cuya exitosa diversificación los hace la clase con mayor número de especies descritas entre los vertebrados del planeta (Helfman et al. 2009).

Los peces de la región de Atacama, como veremos a través de este capítulo, son una muestra de la fascinante biodiversidad que exhibe este importante grupo de vertebrados. A continuación, no solo conoceremos respecto a la diversidad taxonómica que los caracteriza, sino también sobre sus posibles orígenes, diversidad de rasgos, interacciones y funciones ecológicas que cumplen en sus ecosistemas, además de los distintos ambientes acuáticos que han colonizado, desde los profundos (>30 m) y poco conocidos arrecifes mesofóticos (ver recuadro 14.1) pasando por los arrecifes someros (<30 m) hasta aquellas especies que habitan ríos y aguas continentales en la región.

Parte I: Una breve historia evolutiva y sobre la filogenia de los peces costeros de Atacama

Los ensambles de peces costeros de Atacama se encuentran ubicados en el Reino Marino Oriental dentro de la cuenca del Pacífico Sur, una región templada que se caracteriza por presentar valores comparativamente bajos en riqueza de especies respecto a su contraparte occidental (Pérez-Matus et al. 2022). Esto podría estar explicado por procesos biogeográficos históricos y ligado a las particulares condiciones ambientales que caracterizan a este reino marino, ubicado sobre una estrecha plataforma continental, con aguas costeras altamente productivas que soportan baja diversidad relativa, pero altos niveles de biomasa. Si bien la historia evolutiva de los peces de arrecifes rocosos ha sido escasamente estudiada para los ensambles de esta región del Pacífico, distintos estudios han sugerido orígenes subtropical, subantártico y transoceánico (Ojeda et al. 2000, Navarreteet al. 2014, Beldadeet al. 2021).

La evaluación de riqueza y diversidad mediante muestreos submareales a través de censos visuales de peces realizados por nuestro equipo de investigación en distintas ecorregiones de la cuenca suroriental del océano Pacífico, indicarían a partir del análisis de las estructuras taxonómicas a nivel de familia, que los ensambles de peces de arrecifes de Rapa Nui, Robinson Crusoe y la zona continental de Chile tienen historias evolutivas independientes. El origen del ensamble de peces de Chile continental tendría una influencia subtropical desde el norte y otra subantártica por el sur, en general con bajo nivel (~20%) de endemismo (Ojeda 2000, Pérez-Matus 2022). El trabajo de Ojeda (2000) sugiere que procesos de dispersión e historia evolutiva serían determinantes en la composición taxonómica de estos ensambles. Además, procesos independientes de aislamiento, extinciones y eventos de dispersión transoceánica a través del Pacífico Sur (> 8000 km) con múltiples subsecuentes colonizaciones han dado lugar a una comunidad de peces distintiva en esta región oriental (Burridge et al. 2006).

En particular la región del Pacífico Suroriental, donde habitan los peces atacameños, se caracteriza por representar el punto más distal respecto de la radiación histórica de especies de peces del Indo-Pacífico; por lo tanto, los teleósteos de origen tropical que llegaron a la región no han tenido el tiempo - evolutivo - suficiente para adaptarse a las condiciones oceanográficas propias de este sistema, lo que explicaría la baja riqueza de especies (Navarrete 2014). En términos comparativos, por ejemplo, las distintas estructuras taxonómicas de los ensambles de peces de arrecife del Atlántico, son reflejo de procesos biogeográficos históricos de gran escala como el cierre del Istmo de Panamá y las glaciaciones del Pleistoceno, las que generaron extinciones y reducción de la biota de arrecifes someros (Benderet al. 2013), comparable en alguna medida con lo ocurrido con la fauna de peces de arrecifes de la región (Pérez-Matus 2022).

Parte II. Diversidad taxonómica y funcional de los peces de la región de Atacama

Los patrones de distribución de las especies reflejan cómo las condiciones ambientales pasadas y presentes dan forma a la relación entre biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas (Hooper et al. 2005). Como vimos en la Parte I, los patrones

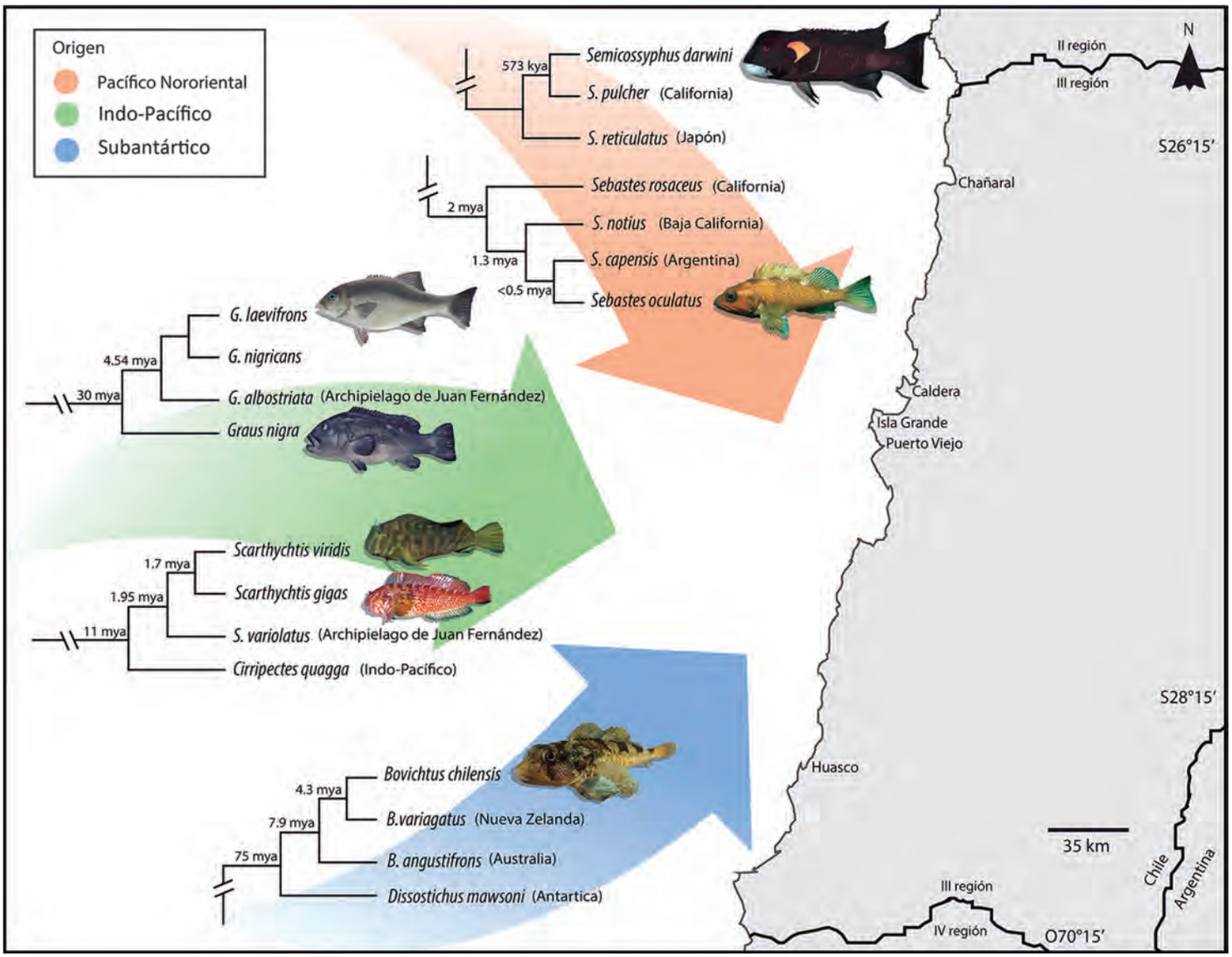


Figura 1. Mapa de las rutas filogenéticas de los peces costeros basado en Hyde & Vetter 2007, Poortvliet et al. 2013, Near et al. 2019, Beldade 2021, Delrieu-Trottin 2022.

Tabla 1. Especies de peces marinos y continentales de la región de Atacama.

Orden	Familia	Especies	Nombre común
Clase Mixini			
Myxiniformes	Myxinidae	*Eptatretus* sp.	Anguila babosa
Clase Chondrichthyes			
Carcharhiniformes	Carcharhinidae	*Prionace glauca*	Azulejo, tiburón azul
Carcharhiniformes	Scyliorhinidae	*Bythaelurus canescens*	Gata café
Carcharhiniformes	Scyliorhinidae	*Schroederichthys chilensis*	Pintarroja
Carcharhiniformes	Triakidae	*Galeorhinus galeus*	Tollo cazón
Carcharhiniformes	Triakidae	*Mustelus mento*	Tollo fino
Carcharhiniformes	Triakidae	*Mustelus whitneyi*	Tollo común
Chimaeriformes	Callorhinchidae	*Callorhinchus callorynchus*	Pejegallo
Lamniformes	Alopiidae	*Alopias superciliosus*	Pejezorro ojón
Lamniformes	Alopiidae	*Alopias vulpinus*	Pejezorro común, tiburón zorro
Lamniformes	Cetorhinidae	*Cetorhinus maximus*	Tiburón peregrino
Lamniformes	Lamnidae	*Isurus oxyrinchus*	Tiburón mako, marrajo dentudo
Myliobatiformes	Myliobatidae	*Myliobatis chilensis*	Raya águila chilena
Myliobatiformes	Myliobatidae	*Myliobatis peruvianus*	Raya águila peruana
Rajiformes	Arhynchobatidae	*Psammobatis scobina*	Raya pequén
Rajiformes	Arhynchobatidae	*Sympterygia brevicaudata*	Raya costera de cola corta
Rajiformes	Arhynchobatidae	*Sympterygia lima*	Raya costera
Rajiformes	Rhinobatidae	*Pseudobatos planiceps*	Pez guitarra
Squatiniformes	Squatinidae	*Squatina armata*	Tiburón ángel
Torpediniformes	Narcinidae	*Discopyge tschuddi*	Tembladera
Clase Actinopterygii			
Anguilliformes	Ophichthidae	*Ophichthus remiger*	Anguila
Atheriniformes	Atherinopsidae	*Basilichthys microlepidotus*	Pejerrey de río
Atheriniformes	Atherinopsidae	*Odontesthes regia*	Pejerrey de mar
Batrachoidiformes	Batrachoididae	*Aphos porosus*	Bagre
Beloniformes	Scomberesocidae	*Scomberesox scombroides*	Agujilla
Characiformes	Characidae	*Cheirodon pisciculus*	Pocha
Clupeiformes	Clupeidae	*Engraulis ringens*	Anchoveta
Clupeiformes	Clupeidae	*Ethmidium maculatum*	Tritre
Clupeiformes	Clupeidae	*Sardinops sagax*	Sardina
Clupeiformes	Clupeidae	*Strangomera bentincki*	Sardina
Gadiformes	Merlucciidae	*Merluccius gayi*	Merluza común
Mugiliformes	Mugilidae	*Mugil cephalus*	Lisa
Ophidiiformes	Ophidiidae	*Genypterus blacodes*	Congrio dorado
Ophidiiformes	Ophidiidae	*Genypterus chilensis*	Congrio colorado
Ophidiiformes	Ophidiidae	*Genypterus maculatus*	Congrio negro
Perciformes	Aplodactylidae	*Aplodactylus punctatus*	Jerguilla
Perciformes	Blenniidae	*Hypsoblennius sordidus*	Cachudito
Perciformes	Blenniidae	*Scartichthys gigas*	Borrachilla del norte
Perciformes	Blenniidae	*Scartichthys viridis*	Borrachilla
Perciformes	Bovichtidae	*Bovichtus chilensis*	Torito
Perciformes	Bramidae	*Brama australis*	Reineta
Perciformes	Carangidae	*Coryphaena hippurus*	Dorado o mahi mahi
Perciformes	Carangidae	*Seriola lalandi*	Dorado, Palometa o Vidriola
Perciformes	Carangidae	*Trachurus murphyii*	Jurel
Perciformes	Centrolophidae	*Seriolella porosa*	Cojinoba
Perciformes	Centrolophidae	*Seriolella violacea*	Cojinoba
Perciformes	Clinidae	*Myxodes viridis*	Doncellita
Perciformes	Congiopodidae	*Congiopodus peruvianus*	Chanchito o Cacique
Perciformes	Echeneidae	*Remora remora*	Rémora
Perciformes	Gempylidae	*Thyrsites atun*	Sierra
Perciformes	Gobiesocidae	*Sicyases sanguineus*	Pejesapo común
Perciformes	Haemulidae	*Anisotremus scapularis*	Sargo

Orden	Familia	Especies	Nombre común
Perciformes	Haemulidae	*Isacia conceptionis*	Cabinza
Perciformes	Hemilutjanidae	*Hemilutjanus macrophthalmos*	Apañado
Perciformes	Kyphosidae	*Girella laevifrons*	Baúnco
Perciformes	Kyphosidae	*Graus nigra*	Vieja
Perciformes	Labridae	*Semicossyphus darwini*	Pejeperro
Perciformes	Labrisomidae	*Auchenionchus* sp.	Chasque
Perciformes	Labrisomidae	*Labrisomus philippii*	Tomoyo
Perciformes	Latridae	*Chirodactylus variegatus*	Pintacha o Bilagay
Perciformes	Nototheniidae	*Dissostichus eleginoides*	Bacalao de profundidad
Perciformes	Pinguipedidae	*Pinguipes chilensis*	Rollizo
Perciformes	Pinguipedidae	*Prolatilus jugularis*	Blanquillo
Perciformes	Pomacentridae	*Chromis crusma*	Castañeta
Perciformes	Sciaenidae	*Cilus gilberti*	Corvina
Perciformes	Sciaenidae	*Sciaena deliciosa*	Roncacho
Perciformes	Scombridae	*Sarda chiliensis*	Bonito
Perciformes	Scombridae	*Scomber japonicus*	Caballa
Perciformes	Scombridae	*Thunnus maccoyii*	Atún
Perciformes	Serranidae	*Acanthistius pictus*	Vieja colorada
Perciformes	Serranidae	*Paralabrax humeralis*	Cabrilla española
Perciformes	Stromateidae	*Stromateus stellatus*	Pampanito
Perciformes	Tripterygiidae	*Helcogrammoides chilensis*	Trombollito de tres aletas
Perciformes	Xiphiidae	*Xiphias gladius*	Albacora, pez espada
Pleuronectiformes	Paralichthyidae	*Hippoglossina macrops*	Lenguado de ojos grandes
Pleuronectiformes	Paralichthyidae	*Paralichthys adspersus*	Lenguado
Pleuronectiformes	Paralichthyidae	*Paralichthys microps*	Lenguado de ojos chicos
Salmoniformes	Galaxiidae	*Galaxias maculatus*	Puye
Scorpaeniformes	Agonidae	*Agonopsis chiloensis*	Acorazado
Scorpaeniformes	Normanichthyidae	*Normanichthys crockeri*	Mote
Scorpaeniformes	Sebastidae	*Sebastes oculatus*	Cabrilla común
Syngnathiformes	Syngnathidae	*Leptonotus blainvilleanus*	Pez aguja
Tetraodontiformes	Molidae	*Mola mola*	Pez luna

biogeográficos contribuyen a una comprensión amplia sobre la distribución geográfica y batimétrica de las entidades taxonómicas, sin embargo, también es posible indagar más específicamente sobre cómo se establecen los rasgos de las especies dentro de las comunidades (e.g. atributos morfológicos, conductuales, fisiológicos, entre otros; Villéger et al. 2008, McLean 2019, 2021). Vincular la riqueza de especies con la distribución de rasgos permite determinar qué procesos biogeográficos, ambientales y/o evolutivos son importantes para describir los patrones que hoy observamos (Kraft et al. 2008). Además, este nivel de conocimiento ayuda a identificar los servicios ecosistémicos que las comunidades biológicas ofrecen a los humanos e informar sobre estrategias adecuadas de manejo y conservación (Bender 2013, Violle et al. 2014, Veach et al. 2017, Pérez-Matus et al. 2022).

Los rasgos funcionales son características medibles en las especies, y que aumentan la aptitud de éstas en un entorno particular (Soberón & Nakamura 2009, Violle et al. 2007, 2014). En este sentido, la ocurrencia de filtros ambientales seleccionan un conjunto de especies que comparten los atributos apropiados para tales condiciones (Wiescher et al. 2012, Bejarano et al. 2017) determinando así la composición de rasgos de una comunidad dentro de una región. Por lo tanto, además de caracterizar a una comunidad por su número de especies (riqueza taxonómica), también podemos hacerlo por medio de un indicador de la riqueza funcional que se obtiene a partir del total de rasgos posibles que se observan en una comunidad, o también a través de la dispersión funcional que da cuenta sobre cuán distintas son las especies dentro de una comunidad de acuerdo a su riqueza funcional (Fig. 2). Entre los atributos funcionales se enlistan el tamaño corporal máximo (TL), el grupo trófico 'grueso' (e.g. carnívoros, herbívoros, omnívoros y planctívoros), y una categoría trófica fina (e.g. carnívoro general, herbívoros y detritívoros, invertívoros móviles y sésiles, omnívoros o planctívoros; Gajdzik et al. 2019, Siqueira et al. 2020, Pérez-Matus 2022). Otros rasgos funcionales son la preferencia de hábitat, como la posición en la columna de agua: especies bentónicas (sedentarias en el fondo), demersales (nadando cerca del fondo), pelágicas (incluidas especies con una alta fidelidad al sitio o especies que migran estacionalmente a un arrecife), el gregarismo basado en especies principalmente solitarias, especies en apareamiento (que pueden formar cardúmenes ocasionalmente) y especies en cardúmenes. También tomamos en cuenta las especies que están activas durante el día (diurnas) o durante la noche (nocturnas) o ambas (Fig. 3). El conjunto de combinaciones posibles de atributos, permite caracterizar en términos ecológicos los ensambles de peces de la región de Atacama, y contrastar sus índices funcionales con

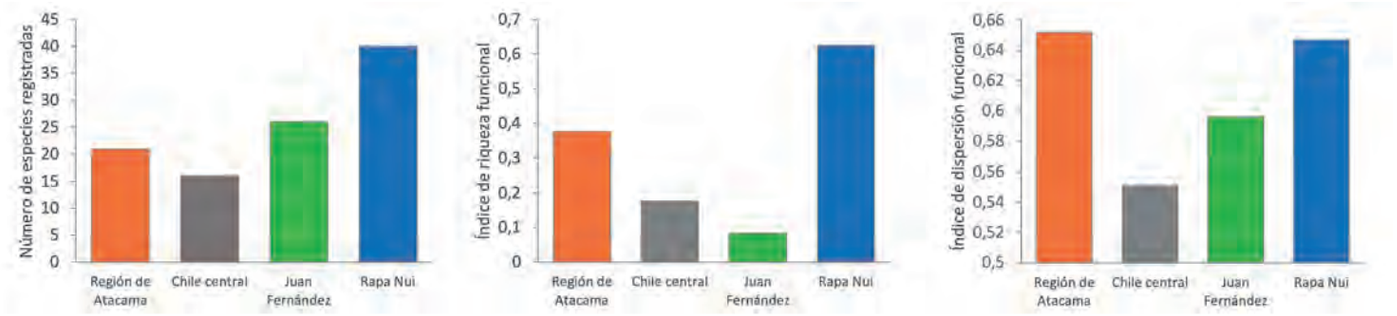


Figura 2. Indicadores de diversidad tanto taxonómica y funcional de los peces de arrecifes de Atacama en contexto con los ensambles de otras regiones de Chile (Rapa Nui, Robinson Crusoe, Chile central) según Pérez-Matus et al. (2017a, 2017b, 2022). Paneles de izquierda a derecha: número de especies (riqueza taxonómica); índice de riqueza funcional; índice de dispersión funcional.

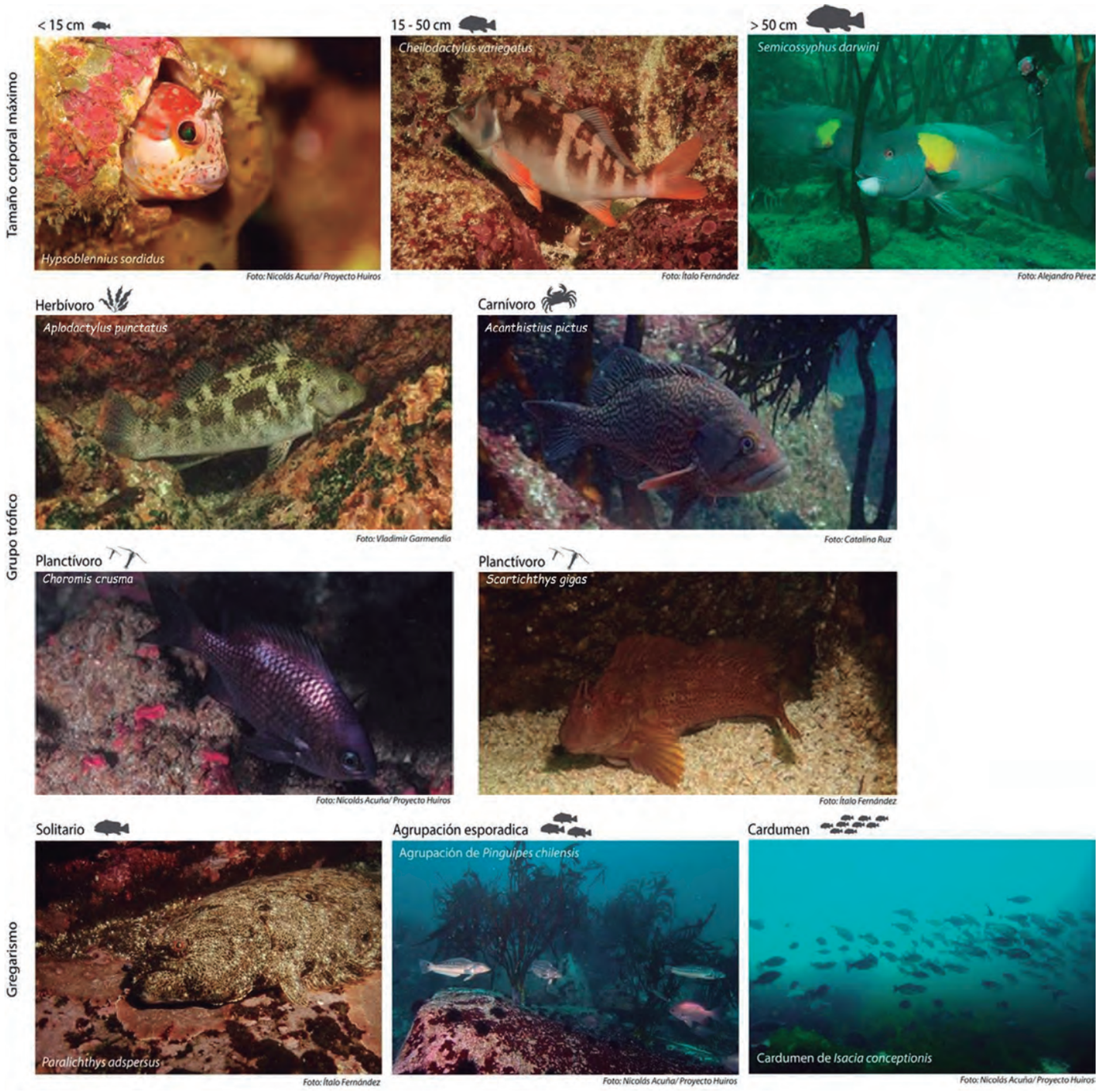


Figura 3. Asignación funcional para algunas de las especies más comunes de la región de Atacama.

respecto a otras regiones.
Al comparar los ensambles de peces de arrecifes entre Chile central, Robinson Crusoe y Rapa Nui, podemos ver que la riqueza taxonómica es más alta en Rapa Nui y Juan Fernández, seguido de Atacama que presentó un total de 20 especies. Además, en términos relativos la riqueza taxonómica y funcional en Atacama son similares si comparamos con las demás regiones (Fig. 2), contrastando con Juan Fernández y Chile central donde la riqueza taxonómica es mayor que aquella funcional. Lo llamativo es que la dispersión funcional, es decir el variabilidad de funciones con respecto a la media total, es alta en Rapa Nui y Atacama, lo que indica que en ambas regiones existen novedades a la caracterización de los roles funcionales de las especies, es decir funciones que son únicas en estos ensamble de peces.

Parte III. Diversidad de las interacciones ecológicas de los peces de la región de Atacama

Las interacciones ecológicas juegan un papel importante en la partición de recursos, delimitando nichos ecológicos y expandiendo la disponibilidad de recursos utilizados para otros (Bay 2001, Kane et al. 2009, Inagaki et al. 2019). Las redes de interacción proporcionan una herramienta útil para comprender procesos ecológicos y evolutivos, ya que resumen el comportamiento de una gran parte de las especies que co-ocurren en una comunidad. En los peces de arrecife, las interacciones agonísticas se expresan como comportamientos agresivos entre individuos, indicativos de competencia por un recurso (e.g. territorio, áreas de alimentación, refugio y sitios de descanso; Peiman & Robinson 2010, Kindinger 2016, Fontoura et al. 2020). Aquellas interacciones agonísticas no consuntivas (e.g. no tróficas) son definidas cuando un pez persigue a otro y provoca un escape, en ausencia de comportamientos asociados con depredación o mutilación (e.g. comer escamas y mucosidades). Así los estudios sobre interacciones ecológicas contabilizan persecuciones y eventos de exhibición (e.g. comportamientos de combate entre dos individuos generalmente de la misma especie) para cuantificar las interacciones agonísticas como un indicador de la competencia inter e intraespecífica por los recursos en disputa (Robertson 1996, Canterle et al. 2020, Fontoura 2020, Nunes et al. 2020).
También se pueden identificar interacciones positivas en los ensambles de peces de arrecife. Una interacción ampliamente conocida es la de limpieza simbiótica, donde un pez elimina los parásitos y/o piel muerta de otro (Losey & Margules 1974, Quimbayo et al. 2018a,b). Otro tipo de interacción positiva - quizás menos obvia que la anterior - es la efectuada por grupos de alimentación de seguidores nucleares, en las que individuos de una o más especies "seguidoras" siguen al(los) individuo(s) de una especie "nuclear" diferente, generalmente más grande, accediendo a los recursos alimentarios en suspensión dejados a disposición por acción de la especie nuclear (Sazima et al. 2007, Teresa et al. 2014, Sabino et al. 2017).
Durante los muestreos submareales por la región de Atacama, hemos desplegado cámaras en los arrecifes someros (<15 m) con el objetivo de cuantificar precisamente las interacciones ecológicas entre estos. Esta metodología es conocida en la literatura científica por sus siglas en inglés como RUV (Remote Underwater Video), la cual nos permite registrar mediante videos remotos el comportamiento de peces sin la interferencia que podría ocasionar eventualmente un buzo.
A la fecha, hemos podido identificar dentro de los ensambles de la región los distintos tipos de interacciones. Por ejemplo, se han observado interacciones agonísticas de persecución entre blénidos congéneres: *Scartichthys viridis* y *S. gigas*, ambas especies bentónicas con conductas territoriales, o interacciones de combate entre individuos de la especie *Chirodactylus variegatus* (Fig. 4).
En cuanto a interacciones positivas se han registrado conductas de limpieza, por ejemplo, de parte de un ejemplar juvenil de *S. gigas* hacia un adulto de *Ch. variegatus*, como también interacciones de "núcleo-seguidor" donde se ha observado que tras la acción de forrajeo de un individuo "nuclear" de *Ch. variegatus*, un juvenil de *S. viridis* saca provecho de la nueva disponibilidad de alimento en suspensión (Fig. 4).

Parte IV. Amenazas a los peces costeros de Atacama

Los peces costeros del norte de Chile han estado sujetos a presiones antropogénicas hace más de 10.000 años (periodo Arcaico). Así dan cuenta los registros fósiles y arqueológicos en la zona norte de nuestro país, donde las comunidades costeras de aquella época se las ingeniaban rudimentariamente para pescar usando redes, arpones y anzuelos de cactus o huesos (Pérez-Matus & Cea 2021). En la actualidad, las presiones ejercidas se han extendido más allá de la mera extracción para el consumo humano, y los impactos de estas se hacen cada vez más importantes. Debido a una escasa o tardía planificación y manejo de la zona costera, hoy en día existen también otras perturbaciones que afectan y comprometen de manera considerable la persistencia local de los ensambles de peces y el funcionamiento ecosistémico marino-costero de la región de Atacama y el norte de Chile. Esto podría ser un problema mayor considerando que sobre un tercio de las especies de la región no tienen una evaluación y/o datos suficientes para definir su estado de conservación (ver Capítulo 20). Algunas de las amenazas reportadas para la zona son la construcción de puertos y otros proyectos industriales en zonas de alto valor ecológico, la contaminación por plásticos y microplásticos, relaves mineros, la falta de regulación de la "pesca deportiva" de peces de roca, y la extracción ilegal - y en alguna medida la legal también - de los "huiros" (macroalgas pardas) uno de los principales hábitats para los peces de arrecifes (revisar Capítulo 21).
Estas múltiples amenazas tanto para peces y ecosistemas marino-costeros del norte de Chile, nos llaman a tomar medidas de manejo para la conservación efectiva de estos, y también a buscar formas de relacionarnos con mayor respeto con la naturaleza y los servicios que ésta nos entrega. Para ello es imprescindible utilizar el conocimiento tanto científico como también tradicional de pescadores artesanales, sobre el cual se ha demostrado un gran valor por su precisión para la estimación de abundancias de sus recursos y porque también brinda legitimidad a las medidas de manejo en un contexto local (Garmendia et al. 2021). Una forma de cuidar y promover la conservación es a través de figuras legales de protección como áreas marinas protegidas y/o reservas marinas

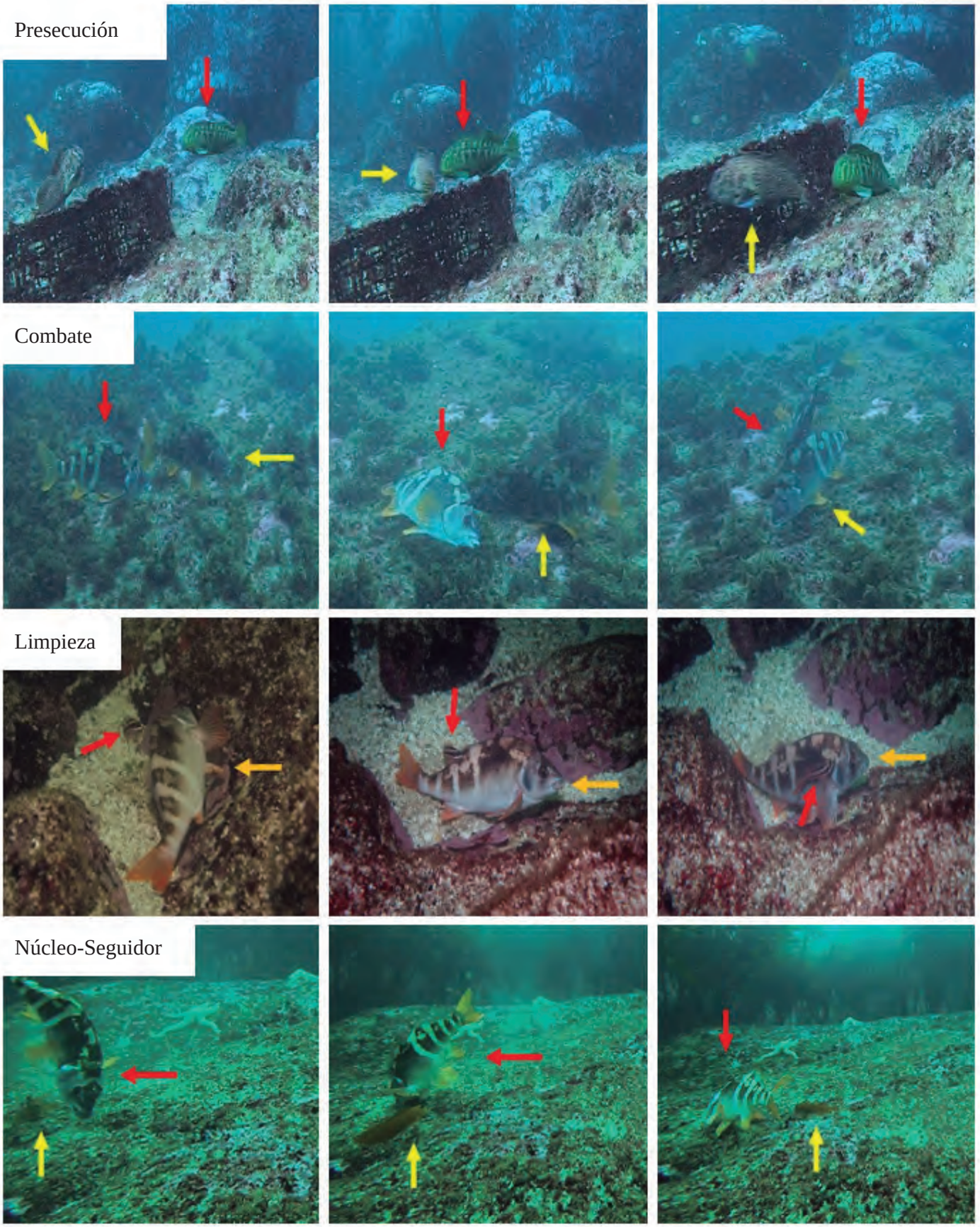


Figura 4. Tipos de interacciones ecológicas de los peces costeros de la región de Atacama, registradas por medio de cámaras remotas submarinas (RUVs). Las flechas rojas y amarillas distinguen a los individuos en cada una de las secuencias de interacciones (ver texto).

(Fig. 6), donde las comunidades locales son partícipes de la elaboración e implementación de los planes de manejo, e incluso de su fiscalización (e.g. pescadores de Chañaral de Aceituno, observación personal). En contraste a las grandes extensiones de superficie oceánica protegidas por el Estado de Chile, para los ecosistemas marino-costeros de la corriente de Humboldt - donde se encuentra inmersa la costa atacameña y la de gran parte del país - apenas se custodia un 2% de ésta (Pérez-Matus 2021), un escueto porcentaje que preocupa considerando que las poblaciones naturales costeras están vulnerables a múltiples factores de perturbación. Otra forma de transitar hacia un manejo y pesca sustentable son las áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERBs), las cuales son territorios costeros administrados por organizaciones de pescadores artesanales, y han demostrado ser

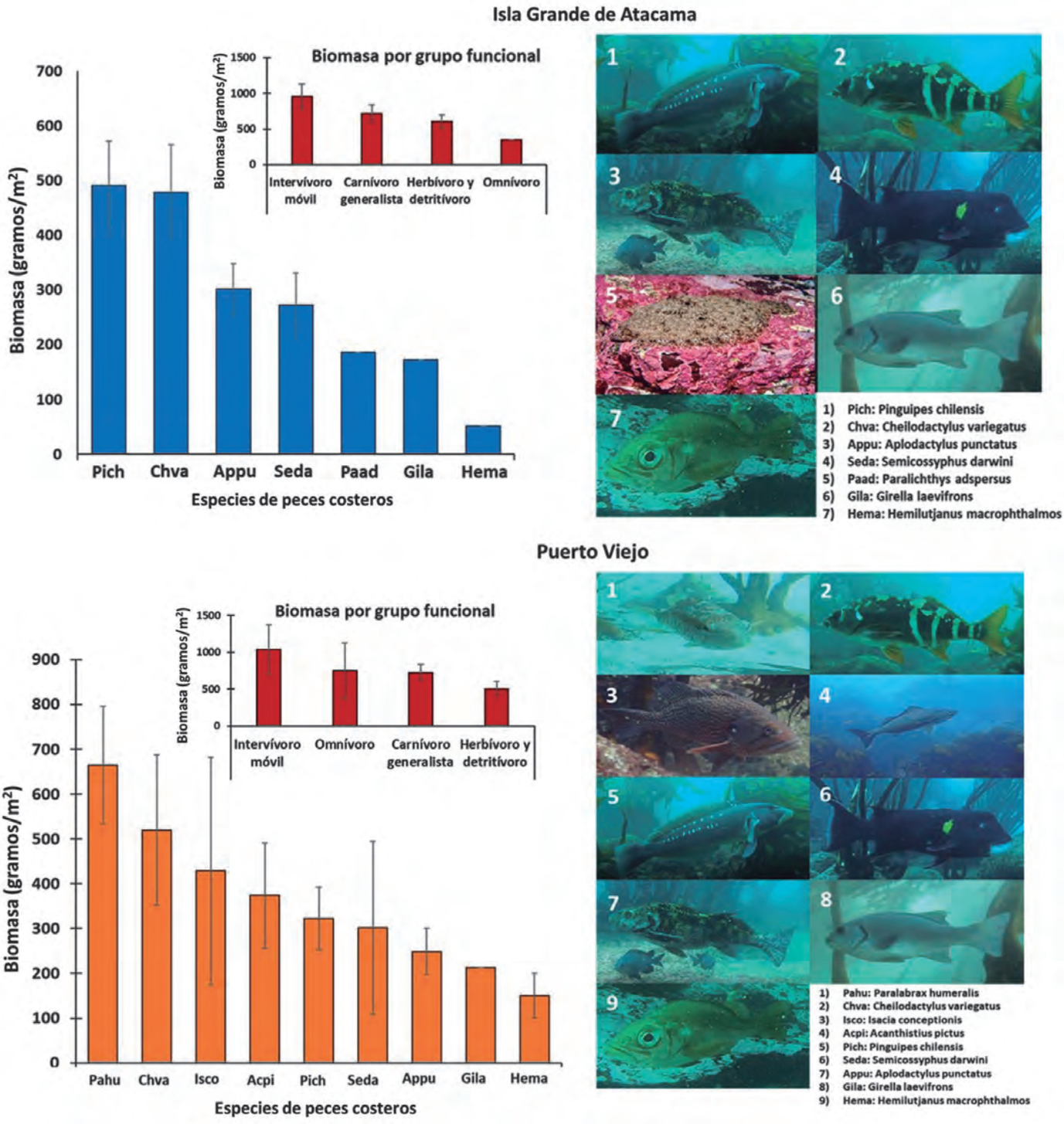


Figura 5. Biomasas de peces costeros registradas a través de cámaras remotas submarinas (RUVs: Remote Underwater Videos), para múltiples sitios en dos localidades de la región de Atacama; panel superior: Isla Grande de Atacama, y panel inferior: Puerto Viejo.

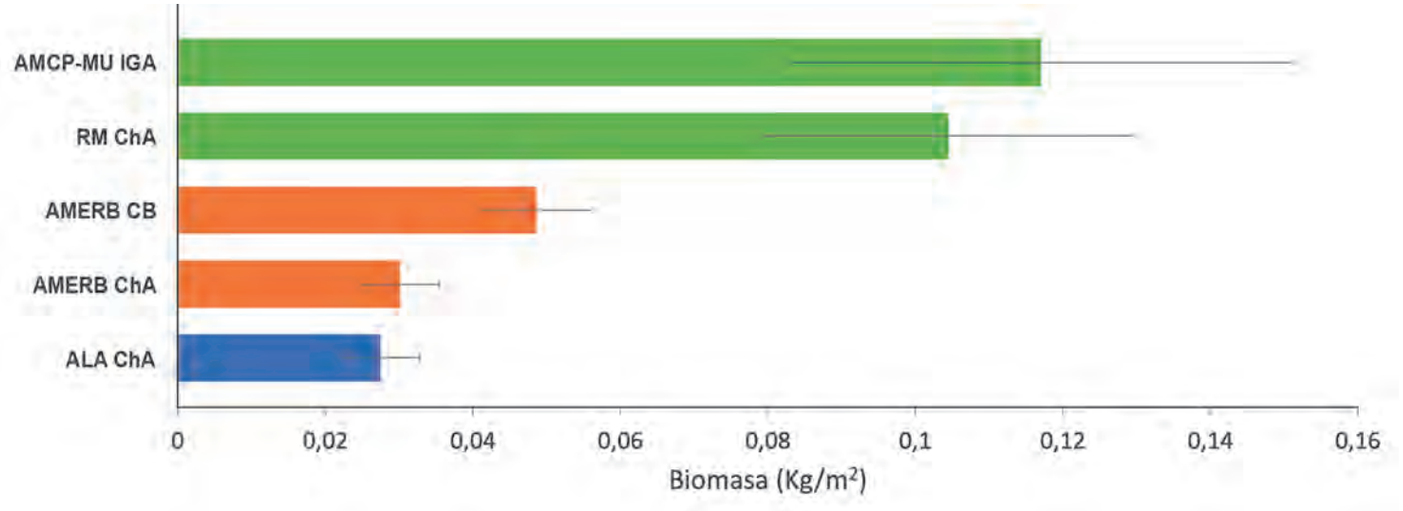


Figura 6. Biomasas (Kg / m^2) de peces costeros para cinco sitios muestreados en la región de Atacama. Se muestra el valor promedio con su error estándar estimado. Los datos fueron obtenidos a través de censos visuales de peces realizados por buzos científicos en múltiples transectos para cada sitio entre los años 2018 y 2022. Los colores distinguen las figuras de manejo/protección de cada sitio (AMCP-MU: Área Marina y Costera Protegida de múltiples usos; RM: Reserva Marina; AMERB: Área de Manejo de Recursos Bentónicos; ALA: Área de Libre Acceso), ChA: Chañaral de Aceituno, CB: Carrizal Bajo, IGA: Isla Grande de Atacama.

una herramienta auxiliar de conservación cuando son bien implementadas (Gelcich et al. 2012, Pérez-Matus 2017a).

Parte V. Peces de aguas continentales de Atacama

Los peces de aguas continentales de Chile son de gran interés porque algunas familias tienen una larga historia evolutiva (e.g. bagres y pochas, ambos ostariophysios de origen Gondwánico), y además, tienen relaciones filogenéticas cercanas con grupos de peces en regiones geográficas distantes como Australia en el hemisferio sur (e.g. percatruchas y carmelitas, Arratia & Quezada-Romegialli 2019; lampreas, Potter et al. 2015; galáxidos, Vera-Escalona et al. 2020) y Norteamérica en el hemisferio norte (e.g. pejerreyes, Dyer 2000b). Los bagres grandes tienen, además, una importancia filogenética dentro del orden Siluriformes (Sullivan 2006). Los bagres del género *Nematogenys*, considerado por algunos como fósil viviente con solo una especie y endémica de Chile, es grupo hermano de la familia Trichomycteridae (393 especies). Ambas familias forman el grupo hermano de los restantes miembros de la superfamilia Loricarioidea (1351 especies, Fricke 2022). Además, Loricarioidea es hermana de Silurioidea cuyo género Diplomystes (7 especies, conocidos comúnmente como tollo de agua dulce) es grupo hermano de todo el resto de la superfamilia (con 2398 especies, Fricke 2022). Esta posición filogenética de *Diplomystes* y *Nematogenys* los hace necesariamente referentes en cualquier estudio comparativo de este numeroso y diverso grupo de peces (Arratia 1987, Sullivan et al. 2006). En cuanto a las especies de pochas del género *Cheirodon* (4 especies nativas + 1 especie introducida), la especie *Ch. pisciculus* es la especie tipo de la subfamilia Cheirodontinae (66 especies), perteneciente a la familia Characidae (1251 especies, Fricke et al. 2022), la de mayor riqueza de especies del orden Characiformes.

Las especies de bagres y pochas mencionadas arriba forman parte de la provincia biogeográfica Chilena dentro de la región Austral (Arratia 1983, Arratia 1997, Dyer 2000a, Abell 2008, Lévêque 2008) cuyos parientes más cercanos están en la región Brasílica. Sin embargo, otros grupos de especies de la provincia Chilena tiene parientes más cercanos en Norteamérica (pejerreyes, Dyer 1998), en Australia (puyes, Berra 2003; percatruchas y carmelitas, Arratia 2019, Capobianco & Friedman 2019). Además de la provincia Chilena, otras dos provincias están presentes en Chile: Titicaca, también conocido como Altiplano sur y Patagonia austral, de Chiloé continental al sur (Dyer 2000a, Abell 2008, Lévêque et al. 2008). Abell (2008) nombró como ecorregión de Atacama aquella entre el río Lluta y el río Copiapó, a veces descrita como una región sin peces, pero que si tiene (entre los ríos Lluta y Loa) al menos una especie de pejerrey nativo del género *Basilichthys* (Dyer 2000b).

La provincia Chilena tiene al río Huasco como extremo norte y único río de la región de Atacama con peces nativos de aguas continentales de Chile: el pejerrey de río *Basilichthys microlepidotus* y la pocha *Cheirodon pisciculus* (Fig. 7). Las otras dos especies que se encuentran en el estuario del río Huasco son especies eurihalinas (que pueden desarrollarse en amplios rangos de salinidad) como la lisa, *Mugil cephalus* y el puye, *Galaxias maculatus* (Fig. 7) que son especies diádromas (que migran entre el mar y aguas continentales con fines reproductivos). La lisa podría ser considerada como catádroma (nace en el mar y permanece un tiempo en el estuario antes de remontar el río para desovar), pero el ingreso a aguas continentales no es obligatorio para todas las poblaciones (Whitfield et al. 2012). El puye en cambio es catádroma marginal (adultos migran desde ríos y lagos a los estuarios para desovar en la vegetación ribereña inundada por las mareas más altas), pero sin alcanzar el ingreso al mar (McDowall 1988, 1997). La presencia de estas dos especies en el río Huasco son registros históricos que no han sido confirmados este siglo. Los ríos Copiapó y Salado no tienen peces nativos, pero pueden albergar en algunos tramos peces introducidos por hombres y mujeres que descartan peces ornamentales o introducen peces para la pesca deportiva.

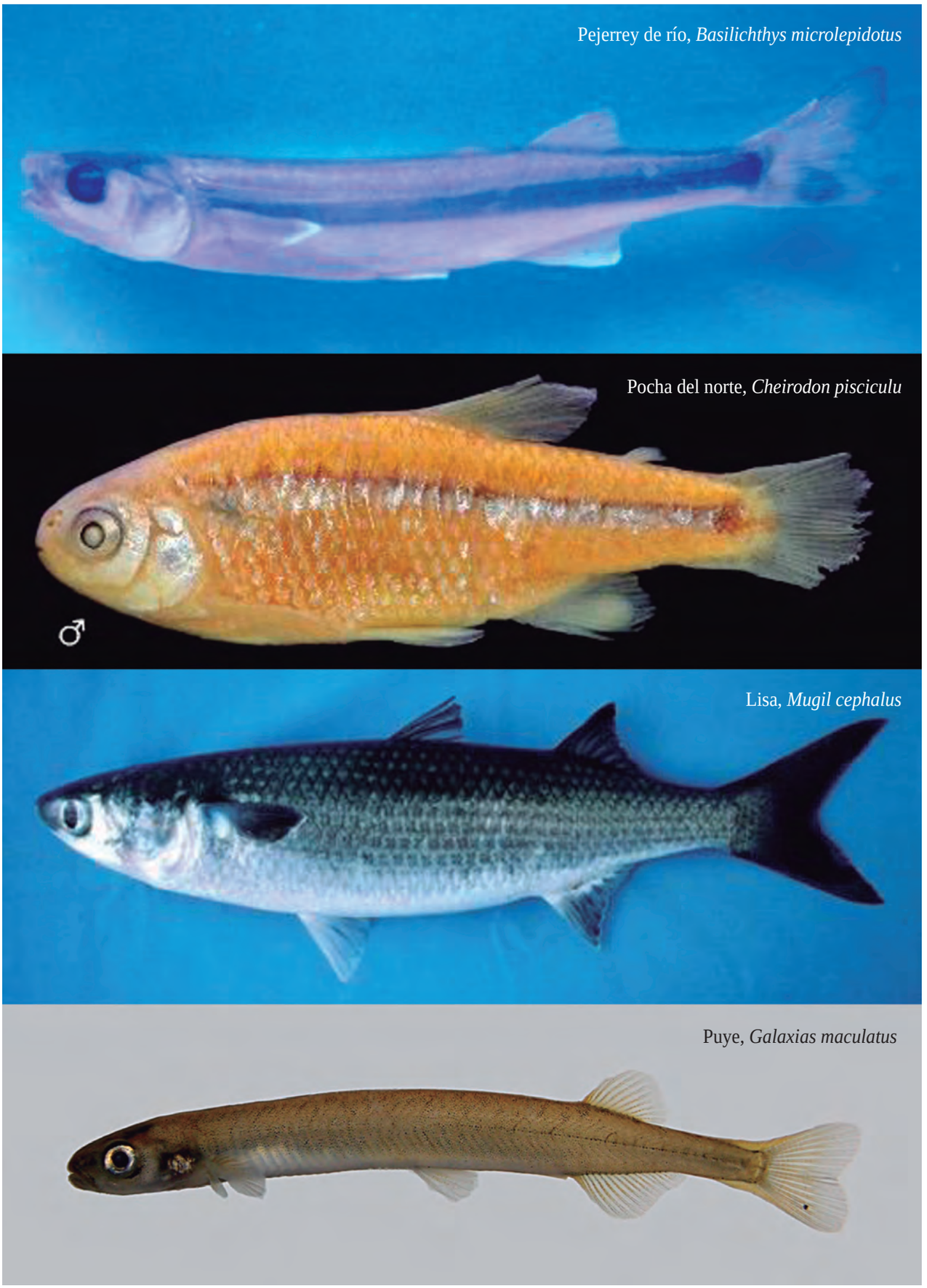


Figura 7. Fotografías de las principales especies presentes en aguas continentales de la región de Atacama. Imágenes de *Ch. pisciculus* y *G. maculatus* cortesía de L.R. Malabarba. Imagen de *M. cephalus* obtenida de Fishbase.org.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 14.1:200-204



Recuadro 14.1 Peces de arrecifes mesofóticos en Puerto Viejo, región de Atacama

Valentina C. Romagnoli, Vladimir Garmendia & Alejandro Pérez-Matus

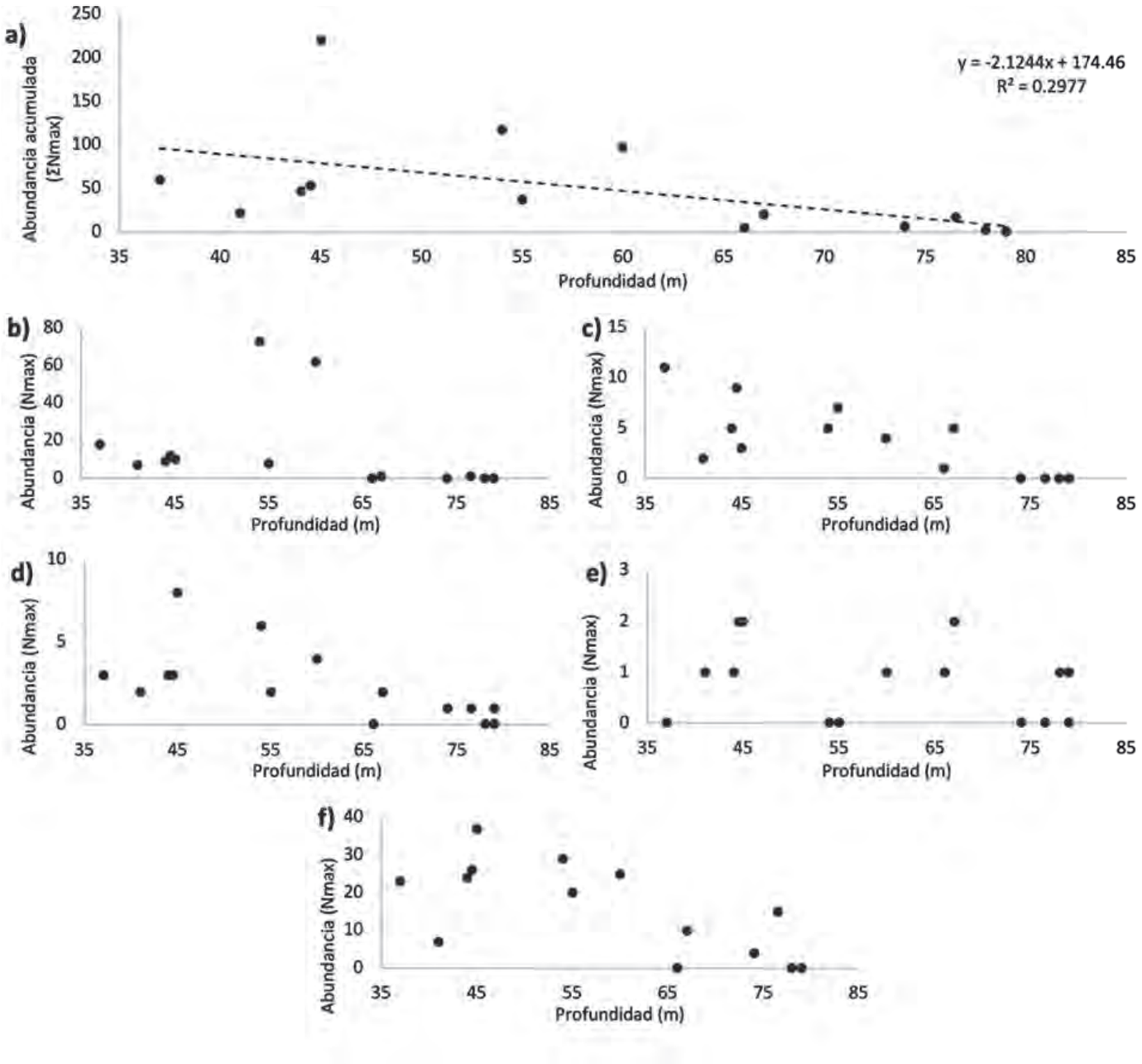
Los ecosistemas mesofóticos son comunidades de organismos marinos principalmente bentónicos y aún dependientes de la luz solar, que se localizan típicamente entre los 30 y 150 metros de profundidad, a las cuales se les ha acuñado el término "mesofótico" dada la tenue intensidad lumínica que caracteriza a estos ambientes (Baker et al. 2016, Loya et al. 2019). Estos ecosistemas más profundos tienen distintas restricciones para investigarlos, entre ellos, las bajas temperaturas y la alta presión del agua. Para estudiarlos, el Núcleo Milenio para la Ecología y Conservación de los Ecosistemas de Arrecifes Mesofóticos Templados (NUTME-UC), entre sus principales líneas de investigación, busca caracterizar la ictiofauna de estos ambientes mediante técnicas de muestreo indirectos, como eDNA y la utilización de cámaras remotas cebadas, conocidas en inglés como BRUV: Baited Remote Underwater Video.

El sistema de muestreo mediante BRUV tiene como objetivo la identificación y cuantificación de peces a partir de la grabación continua de una cámara remota, utilizando cebo para atraer a los peces frente a la cámara. Si bien la utilización de cebo tiene un sesgo metodológico per se, la utilización de BRUVs representa una



Captura de pantalla de un registro de video tomado con un BRUV durante uno de los muestreos en Puerto Viejo, Atacama, a 45 metros de profundidad. Se observan cabrilla (*Sebastes oculatus*), castañeta (*Chromis crusma*), anguila babosa (*Eptatretus* sp.) y rollizo (*Pinguipes chilensis*)

aproximación valiosa para la investigación ya que aumenta la probabilidad que los peces pasen frente a la cámara, y de esta manera puedan ser contabilizados en ambientes de difícil acceso como los arrecifes mesofóticos. Además, el cebo atrae no solo especies carnívoras, sino también a otros grupos tróficos que se acercan a interactuar con la carnada o los peces que se están alimentando (Cappo 2006), generando interacciones ecológicas (ver parte III en Capítulo 14). De igual manera que para la estimación de abundancias con RUVs (Remoted Underwater Video-systems), para evitar el doble conteo de individuos en un mismo video, se utiliza el índice hiperconservador de abundancia Nmax, que corresponde al número máximo de individuos de la misma especie contabilizados en un único fotograma. Hasta junio de 2022, se han realizado preliminarmente un total 15 lanzamientos independientes entre los 35 y 80 metros de profundidad, con luz blanca y porciones de cebo de 1 kg de jurel (Trachurus murphyii), sumando un total de 22 horas y 32 minutos de grabación, y promediando 85 minutos de duración por réplica.



Gráficos de abundancia (índice Nmax) en la gradiente de profundidad. En a) la abundancia acumulada de todas las especies contabilizadas en un mismo lanzamiento; en b, c, d, e y f, la abundancia Nmax de las especies observadas con mayor frecuencia en Puerto Viejo. En b), *Chromis crusma*, c) *Eptatretus* sp., d) *Pinguipes chilensis*, e) *Prolatilus jugularis* y f) *Sebastes oculatus*.



En los arrecifes mesofóticos frente a Puerto Viejo, Caldera, se pueden avistar especies como: *Chirodactylus variegatus* (bilagay), *Chromis crusma* (castañeta), *Congiopodus peruvianus* (chanchito), *Eptatretus* sp. (anguila babosa), *Genypterus maculatus* (congrio negro), *Hemilutjanus macrophthalmos* (apañado), *Isacia conceptionis* (cabinza), *Paralabrax humeralis* (cabrilla española), *Hippoglossina macrops* (lenguado), *Pinguipes chilensis* (rollizo), *Prolatilus jugularis* (blanquillo), *Schroederichthys chilensis* (tiburón pintarroja), y *Sebastes oculatus* (cabrilla común).

Lo interesante de esta información preliminar, es que dichas especies son también habitantes de los arrecifes someros, lo cual convierte potencialmente a estos ecosistemas profundos en un potencial refugio para la diversidad de peces ante los múltiples factores de perturbación que afectan a los sistemas someros de la región. A la fecha se ha estimado una diversidad máxima de 1,73 y promedio de 1,0 (±0,55 SD) de acuerdo al índice de Shannon-Weaver.



Esquema de una estación de video submarino remoto con carnada, BRUV (Baited Remote Underwater Video)



Castañeta, *Chromis crusma*



Cabrilla común, *Sebastes oculatus*



Cabrilla española, *Paralabrax humeralis*

Fotos: Gustavo Duarte



Pinta roja, *Schroederichthys chilensis*



Rollizo, *Pinguipes chilensis*

Fotos: Gustavo Duarte

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 14.2:205-208



Recuadro 14.2 Grandes peces pelágicos de la región de Atacama: generalidades, pesca y conservación

Naití Morales

La zona pelágica es definida como la columna de agua, alejada de la costa y que usualmente se encuentra en el mar abierto (Ritz 2011). Esta zona representa el 99% del volumen de la biosfera. Es donde ocurre casi la mitad de la fotosíntesis (Angel 1993) y se considera que aporta alrededor del 80% de la pesca mundial (Pauly 2002, Game 2009).

La zona pelágica de la región de Atacama puede ser dividida en dos grandes áreas: Una costera y una oceánica (Salgado et al. 2015). Ambas zonas contienen una gran diversidad de especies de peces. Sin embargo, sus condiciones y composición de especies son diferentes. La zona pelágica costera se ubica sobre el talud continental y se caracteriza por ser un área con mucha productividad debido principalmente a los sistemas de afloramiento generados por surgencias locales. A pesar de que las principales especies que habitan esta área son de pequeño tamaño, como la sardina común (*Sardinops sagax*) y la anchoveta (*Engraulis ringens*), estas especies sustentan las pesquerías más grandes de Chile. Por otra parte, la zona pelágica oceánica abarca la columna de agua después del talud continental y se caracteriza por estar fuertemente afectada por los frentes oceánicos. Al igual que en la zona pelágica costera, en la zona pelágica oceánica también encontramos gran actividad pesquera la que está principalmente enfocada a grandes peces pelágicos. Dentro de las especies que habitan esta área existen representantes tanto de la clase Chrondrichthyes (peces cartilaginosos), como el tiburón azul o el mako, y de la clase Actinopterigii (peces óseos de aletas radiadas) como la vidriola, la albacora y el mahi-mahi.



Isurus oxyrinchus (Tiburón mako)

Foto: OceanImageBank, Ron Watkins

Pesquería de las principales especies pelágicas oceánicas de Atacama.

La pesquería en la zona pelágica oceánica se enfoca principalmente a la captura de atunes, peces espada y tiburones oceánicos (Salgado et al. 2015). La captura de estas especies se habría iniciado durante el Holoceno (5.000 - 7.000 años atrás) por parte de los antiguos habitantes del desierto de Atacama (Béarez et al. 2016).

Con aproximadamente 600 toneladas por año, la principal especie que se captura en esta zona es el pez espada (*Xiphias gladius*). El pez espada o albacora es considerada una especie oceánica y



Xiphias gladius (Albacora, Pez espada)

Foto: Marc Toro

altamente migratoria con distribución cosmopolita, aunque en ocasiones puede ser encontrada cerca de la costa (Collete et al. 2022). En la zona norte de Chile, esta especie se acerca a la costa para alimentarse desde el otoño hasta la primavera (Lazo-Andrade et al. 2021). Áreas de desove para esta especie han sido sugeridas en las cercanías de Rapa Nui (Claramunt et al. 2009). En la costa norte esta especie es capturada por la flota artesanal e industrial usando redes de enmalle y palangre. La principal especie de descarte (o by-catch) de esta pesquería es el tiburón azul (*Prionace glauca*) (Acuña et al. 2002). A pesar de esto, los registros de desembarque de tiburón azul son casi inexistentes en esta región si se comparan con los registros de las dos regiones aledañas, la región de Antofagasta y la región de Coquimbo (SERNAPESCA 2018-2021). La gran diferencia puede deberse a que el tiburón azul es comúnmente descartado después de practicar el aleteo, resultando en una subestimación en los registros oficiales de desembarque (Lamilla et al. 2008). La pesquería del tiburón azul tuvo su máximo al final de la década de 1980 llegando a las 120 toneladas en la región de Atacama (Lamilla et al. 2005).

La vidriola o palometa (*Seriola lalandi*) es la segunda especie más capturada en esta área (100 toneladas) Esta especie presenta una distribución transoceánica y puede habitar tanto en ambientes pelágicos como demersales (Swart 2014). En Chile se distribuye en la zona centro norte, además del archipiélago de Juan Fernández y la ecorregión de Isla de Pascua (Sepulveda & González 2017, Morales et al. 2019). En la costa norte de Chile la palometa es capturada usando bolinche durante los meses de verano entre diciembre y abril (Vergani et al. 2008). Un estudio reciente sugiere que esta área constituye un punto de mezcla donde individuos provenientes de dos poblaciones genéticamente diferentes se encuentran (Sepulveda & González 2017), lo que tendría consecuencias importantes para su manejo y conservación.

El tiburón Mako o Marrajo dentudo (*Isurus oxyrinchus*) es una especie con distribución cosmopolita de aguas cálidas y templadas (Compagno et al. 2005). En Chile, se ha reportado desde la región de Arica y Parinacota (18°S) a la región de Los Ríos (39°S), además de las islas oceánicas. El mako es capturado principalmente como by-catch del pez espada usando palangres o redes (Acuña et al. 2001), aunque también es capturado por la flota artesanal en el norte de Chile y sur de Perú como especie objetivo (Acuña et al. 2001, Gilman et al. 2007). A nivel internacional, se considera una de las especies de tiburón más valiosas debido a la cantidad de subproductos que se pueden obtener (carne, aletas, aceites, entre otros). Esto, sumado a ciertas características biológicas propias de la especie, han provocado una disminución significativa de sus



Seriola lalandi (Vidriola, palometa)

Foto: Michel Garcia



Alopias vulpinus (Tiburón zorro, peje-zorro)

Foto: Rafi Amar

poblaciones (ver Rigby et al. 2019). En Chile, el interés por la pesquería de tiburón aumentó sustancialmente debido a la disminución en las tasas de capturas de peces óseos comerciales y el aumento de las restricciones para su pesca (Cerna & Licandeo 2009). Por ejemplo, las tasas oficiales de desembarques tuvieron un alza significativa en la década del 2000 (1999-2009), con valores que iban desde las 237 a las 950 toneladas anuales (SERNAPESCA 2009). En la región de Atacama, los niveles de desembarque presentan dos máximos: el primero ocurre a fines de los años 80´s y el segundo el año 1998 con 500 y 250 toneladas, respectivamente (Lamilla et al. 2005). El promedio anual de los últimos cinco años es de 25 toneladas (SERNAPESCA 2018-2021). Un estudio realizado sobre la pesquería artesanal de esta zona da cuenta que existe una gran incidencia de tiburones juveniles lo que podría indicar que las costas de la región de Atacama están siendo usadas como zona de crianza durante los meses de primavera y verano (Bustamante & Bennet 2013).

El mahi mahi o dorado (*Coryphaena hippurus*) tiene distribución circumtropical, en aguas tropicales y subtropicales. Es una especie considerada altamente migratoria que habita aguas oceánicas y se acerca a la costa durante sus estados juveniles (Moltó et al. 2020). En Chile esta especie presenta un comportamiento estacional, acercándose a la costa en meses de verano y migrando a aguas abiertas durante los meses de invierno probablemente con fines reproductivos (Cáceres-Montenegro 2007). Las capturas mundiales de esta especie han aumentado con el tiempo pasando de 10.000 a



Coryphaena hippurus (Dorado, mahi mahi)

Foto: OceanImageBank, Ellen Cuylaerts

100.000 toneladas en solo 50 años (Moltó et al. 2020). En Chile el mahi mahi es capturado como pesca objetivo, pero también es parte de la pesca incidental del pez espada (Acuña et al. 2002). En la región de Atacama los registros pesqueros de esta especie son poco constantes teniendo como promedio de los últimos 5 años, 24 toneladas por año (SERNAPESCA 2018-2021).

El tiburón zorro o peje-zorro (*Alopias vulpinus*) es una especie con distribución cosmopolita tanto en aguas oceánicas y costeras (Compagno et al. 2005). En Chile, el tiburón zorro se ha reportado

en las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo. Esta especie es capturada como especie objetivo en la región de Antofagasta y como by-catch de la pesquería del pez espada en la región de Atacama (Lamilla et al. 2005). Al igual que para el tiburón azul, los desembarques no son constantes en la región de Atacama, aunque las regiones aledañas presentan niveles mayores (SERNAPESCA 2018-2021). Lo anterior podría explicarse ya que al ser especies de captura incidental sus cuerpos son probablemente descartados antes de llegar a puerto. Desafortunadamente, y a pesar de ser considerado una especie vulnerable a la extinción por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), su conocimiento en Chile es escaso. *Alopias supersuliosus* quien también habita la zona, recibe el mismo nombre genérico en los anuarios de pesca por lo que podemos asumir que el nombre de "peje-zorro" probablemente incluye ambas especies. Actualmente, todas las especies de tiburón zorro cuentan con medidas de protección internacional donde se prohíbe la captura, retención y venta de cualquier ejemplar.



Prionace glauca (Tiburón azul, Azulejo)

Foto: OceanImageBank, Hannes Klostermann

Conservación

Los ecosistemas pelágicos se ven afectados por múltiples amenazas, como la contaminación, el cambio climático y la sobreexplotación (Halpern et al. 2008, Robison 2009). Mientras las pesquerías pelágicas mundiales son responsables de la disminución de las poblaciones por la sobreexplotación (Pauly et al. 1998), el cambio climático altera los patrones de circulación oceánica, interfiriendo con los niveles de producción primaria y secundaria (Cheung et al. 2013a, b). Estos procesos han resultado en una pérdida de biodiversidad y el agotamiento de varias especies objetivo en diversas partes del mundo (Myers & Worm 2003, Myers et al. 2007, Pauly et al. 1998). La pérdida de biodiversidad oceánica afecta la estabilidad del ecosistema, aumenta el riesgo de colapso de una población y reduce su potencial de recuperación (Worm et al. 2006). La conservación de la biodiversidad marina y la mejora de la sostenibilidad de la pesca son importantes desafíos ambientales y económicos (Pauly 2009).

Los grandes peces pelágicos juegan un rol fundamental en el ecosistema, ya que actúan como depredadores tope, regulando el ecosistema y los niveles tróficos inferiores (Stevens et al. 2000, Roff et al. 2016). Desafortunadamente, éstos se encuentran bajo amenaza, dentro de las cuales destacan la sobreexplotación y destrucción de sus hábitats (Robbins et al. 2006, Daskalov et al. 2007, Ferretti et al. 2010, Dulvy et al. 2014). Sin embargo, y en el caso específico de los tiburones, el aleteo resulta una de las prácticas más dañinas para estas especies. El aleteo consiste en remover las aletas descartando posteriormente el cuerpo (Fowler & Séret 2010). Se calcula que sobre el 60% de los tiburones capturados eran víctimas de estas prácticas a nivel mundial (Western Pacific Fishery Management Council 1998). Esta práctica ocurre debido a los altos precios de las aletas tanto en el mercado legal, como en el ilegal (Clarke et al. 2006, Jacquet et al. 2008). En la antigua China, las aletas eran usadas para preparar una sopa históricamente reservada para la realeza (Fabinyi 2011). Actualmente, las aletas son consideradas un ítem de lujo, signo de prosperidad y estatus social (Eriksson & Clarke 2015).

En el norte de Chile, al menos 10 especies son utilizadas en el comercio de aletas, siendo el tiburón azul y el tiburón marrajo o mako los principales afectados (Lamilla et al. 2005, Hernandez et al. 2008). Esto coincide con los registros internacionales (Clarke et al. 2006; Eriksson & Clarke 2015). Cabe destacar que ambas especies están bajo categorías altas de protección por la UICN, lo que implica la necesidad urgente de mayor fiscalización de los desembarques. Con fin de frenar estas prácticas, el aleteo ha sido declarado ilegal en diversos países (incluido Chile) fijado límites en el porcentaje de desembarque (Clarke et al. 2013). Afortunadamente, la prohibición de consumir esta sopa en los eventos oficiales en China desde el 2012, provocó una disminución significativa en precio de compra y por consiguiente del interés de captura.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 15:209-212



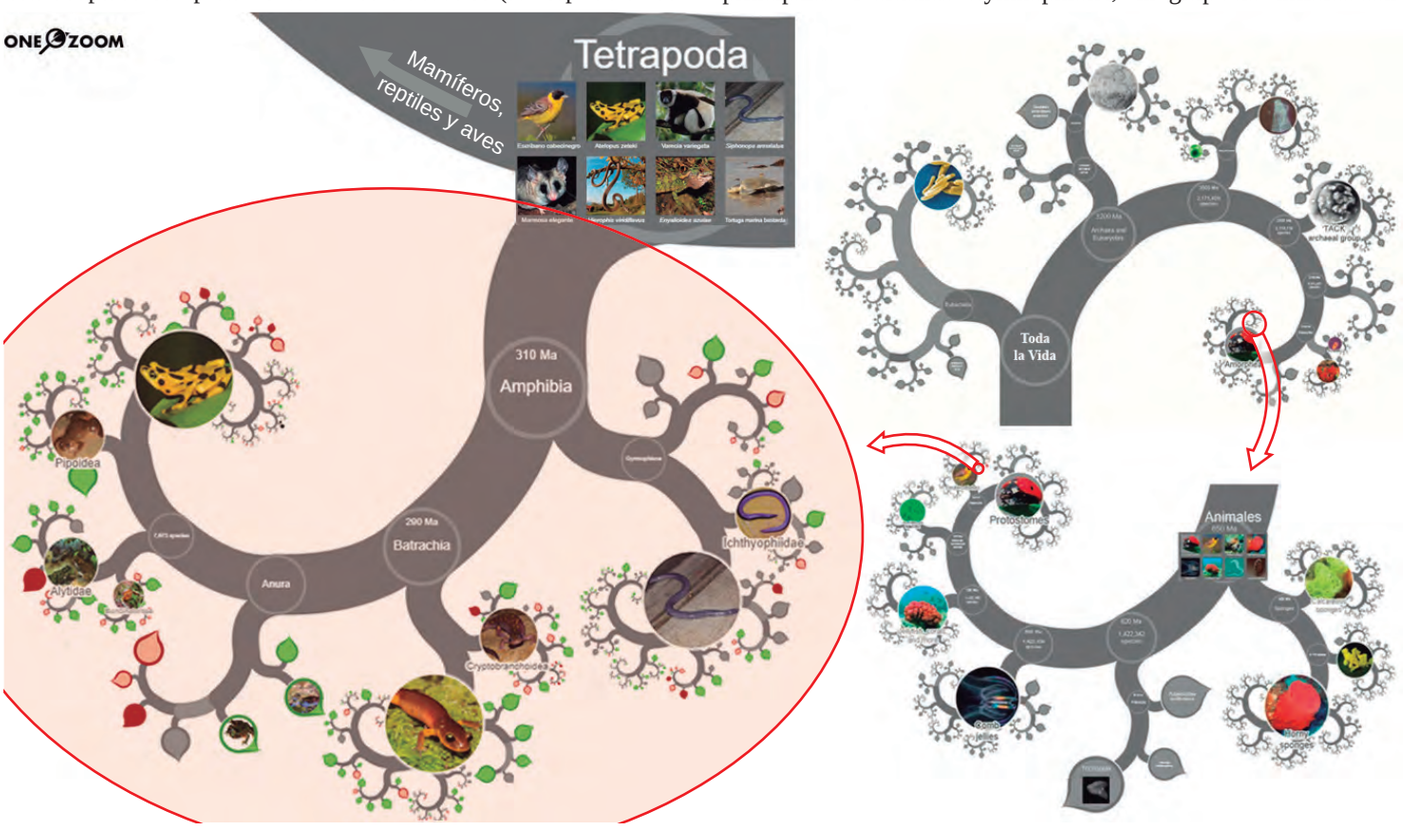
Capítulo 15 Anfibios de la región de Atacama: un grupo amenazado que sobrevive en el desierto

Pablo Fibla, Paola Sáez & Marco A. Méndez

Características generales de los anfibios

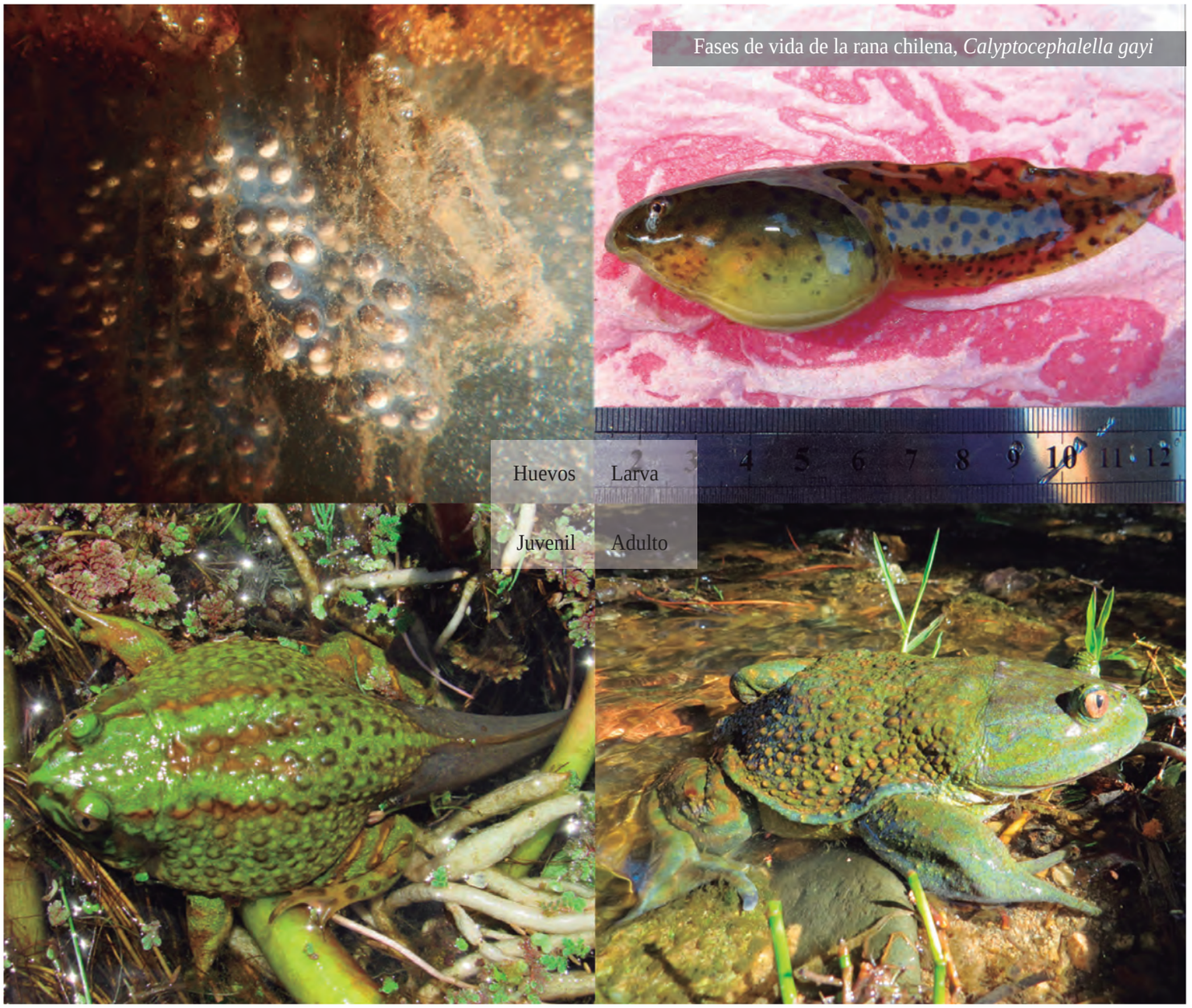
Los anfibios (clase Amphibia, phylum Chordata), tetrápodos de aspecto primitivo, "sangre fría" y piel húmeda, corresponden al único grupo de vertebrados que posee dos fases de vida, las cuales están separadas por un cambio morfológico abrupto que ocurre durante un proceso llamado metamorfosis. De hecho, la palabra anfibios viene de la contracción de dos términos griegos: anfi=de ambas maneras, doble; y bios=vida. ἀμφίβιος (amphíbios) traducido en español sería algo así como "vida de dos modos" o "doble vida", y hace referencia a las notables diferencias morfológicas, fisiológicas y conductuales que existen entre las dos fases de vida de los anfibios, las cuales permiten que larvas y adultos habiten en lugares que a menudo son bastante distintos. Por una parte, la larva de anfibio es acuática, de vida libre, es decir, está adaptada completamente al medio acuático (su respiración se produce a través de branquias y se desplaza con la ayuda de una aleta caudal, como los peces) y una vez que eclosiona del huevo fertilizado es capaz de moverse a lo largo y ancho del cuerpo de agua donde vive. Por otra parte, un anfibio adulto es menos dependiente del agua debido a que posee pulmones, que le permiten respirar aire, y extremidades articuladas, estructuras que los facultan para permanecer largo tiempo fuera del agua. A pesar de lo anterior, los anfibios en general durante su fase adulta habitan lugares húmedos y con poca luz, y muchos grupos mantienen hábitos de tipo acuático durante toda su vida.

Ahora bien, dentro de la clase Amphibia existen varios grupos (gran parte de ellos extintos) entre los cuales está la subclase Lissamphibia, que agrupa a las especies existentes de anfibios de todo el mundo. La subclase Lissamphibia contiene tres grupos principales u órdenes: Gymnophiona, un grupo de anfibios con



Dentro del phylum Chordata, la superclase Tetrapoda se divide en dos ramas, una que da origen a la clase Amphibia y otra al clado de las Amniotas que incluyen a los mamíferos, reptiles y aves. El largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)

forma de lombriz (también conocidas como Cecilias, las que habitan en ambientes tropicales); Urodela (Caudata), que incluye a los anfibios que poseen una cola larga durante las fases larval y adulta (e.g. salamandras y tritones); y el orden Anura (Salientia), que incluye a sapos y ranas, quienes "pierden" la cola larval durante la metamorfosis. En Chile solamente existen anfibios del orden Anura, que corresponde al grupo más diverso de anfibios a nivel mundial.



Anfibios en Chile y la región de Atacama

La zona norte de Chile, a diferencia de la zona sur, se caracteriza por tener un bajo número de especies de anfibios, ya que los lugares que reúnen las condiciones que permiten su supervivencia son escasos. Debemos considerar que los anfibios poseen una fase de vida completamente acuática, y que sus huevos son gelatinosos y no poseen una cáscara calcárea como ocurre en reptiles y aves, haciéndolos particularmente vulnerables a la desecación de su ambiente. Los anfibios son altamente dependientes de la presencia de cuerpos de agua, ya sean vertientes, ríos, riachuelos, esteros, bofedales, etc. Ante esto, uno podría preguntarse… ¿qué hacen estos organismos acuáticos en una de las zonas más desérticas del planeta? La respuesta tiene que ver con la presencia de humedales dentro del desierto, lugares que han albergado y resguardado por siglos formas muy particulares de vida frente al avance e incremento en las condiciones de aridez en el norte de Chile. Es por esta razón por la cual las distribuciones de los pocos anfibios que habitan la zona norte de Chile son altamente fragmentadas, y las poblaciones presentes aquí en general se encuentran aisladas geográficamente.

Actualmente, se conoce que en la región de Atacama habitan tres especies nativas de anfibios: el sapito de cuatro ojos, *Pleurodema thaul* (véase Correa et al. 2007, 2010), el sapo de Atacama, *Rhinella atacamensis* (véase Correa et al. 2008) y la rana chilena, *Calyptocephalella gayi* (véase Mella & Horta-Pizarro 2019); y una especie introducida: la rana africana o rana de garras, *Xenopus*



Sapo de cuatro ojos, *Pleurodema thaul* (hembra adulta)



Hábitat del Sapo de cuatro hojos, hacienda María Isabel, río Copiapó

laevis (véase Mora et al. 2019). El sapo de Atacama, es una especie endémica del norte de Chile, habita en arroyos o quebradas costeras, y en el interior del desierto de Atacama, en cuencas andinas y pre-andinas. Por su parte, en la región de Atacama el sapo de cuatro ojos habita en quebradas costeras con poca disponibilidad de agua, oasis que están en pleno desierto y en vegas andinas (Correa et al. 2007, 2010), uno de los lugares en los que es posible encontrar esta especie, es en la hacienda María Isabel, en el río Copiapó. Posiblemente por las condiciones de aridez imperantes en la región de Atacama, ésta representa el extremo norte de la distribución en Chile para la mayoría de las especies recién mencionadas, y solamente la distribución del sapo de Atacama se extiende más al norte, llegando hasta la región de Antofagasta.



Sapo de Atacama (macho), *Rhinella atacamensis*.

Amenazas actuales para los anfibios

Los anfibios son la clase de vertebrados más amenazada en la tierra, con alrededor de un 40% de las especies en peligro de extinción según la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). En Chile, alrededor del 73% de los anfibios nativos posee algún grado de amenaza (Correa et al. 2019). Entre las principales amenazas actuales para las especies de anfibios chilenas están la pérdida y degradación del hábitat (Valladares-Faúndez et al. 2017, Lobos et al. 2018), las enfermedades emergentes (Bacigalupe et al. 2019, Azat 2022), las especies invasoras (Lobos & Jaksic 2005, Mora et al. 2019) y el cambio climático (Rodríguez et al. 2022).

Entre las principales especies invasoras presentes en Chile se encuentra la rana africana o rana de garras, *Xenopus laevis*. En 1970 la rana africana ingresó a Chile como animal de laboratorio y en 1980 fue registrada en estado silvestre en la Laguna Carén, región Metropolitana (Lobos et al. 2013). Desde entonces, la rana africana ha colonizado rápidamente varias cuencas de la zona central de Chile, que es donde está su centro de distribución, y de la zona norte, llegando hasta la cuenca del río Copiapó (Mora et al. 2019). Aunque el efecto de la rana africana sobre la fauna nativa no está del todo claro, se ha reportado la presencia del hongo quítrido, *Batrachochytrium dendrobatidis*, en poblaciones ferales de *X. laevis* en Chile (Solís et al. 2010), así como la depredación de rana chilena por parte de esta especie (Fibla et al. 2020). *B. dendrobatidis* es un agente causal del declive de poblaciones de anfibios y de la extinción de especies a nivel mundial, por ende, representa una amenaza latente para los anfibios nativos.



Rana africana o rana de garras, *Xenopus laevis*

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 16:213-222



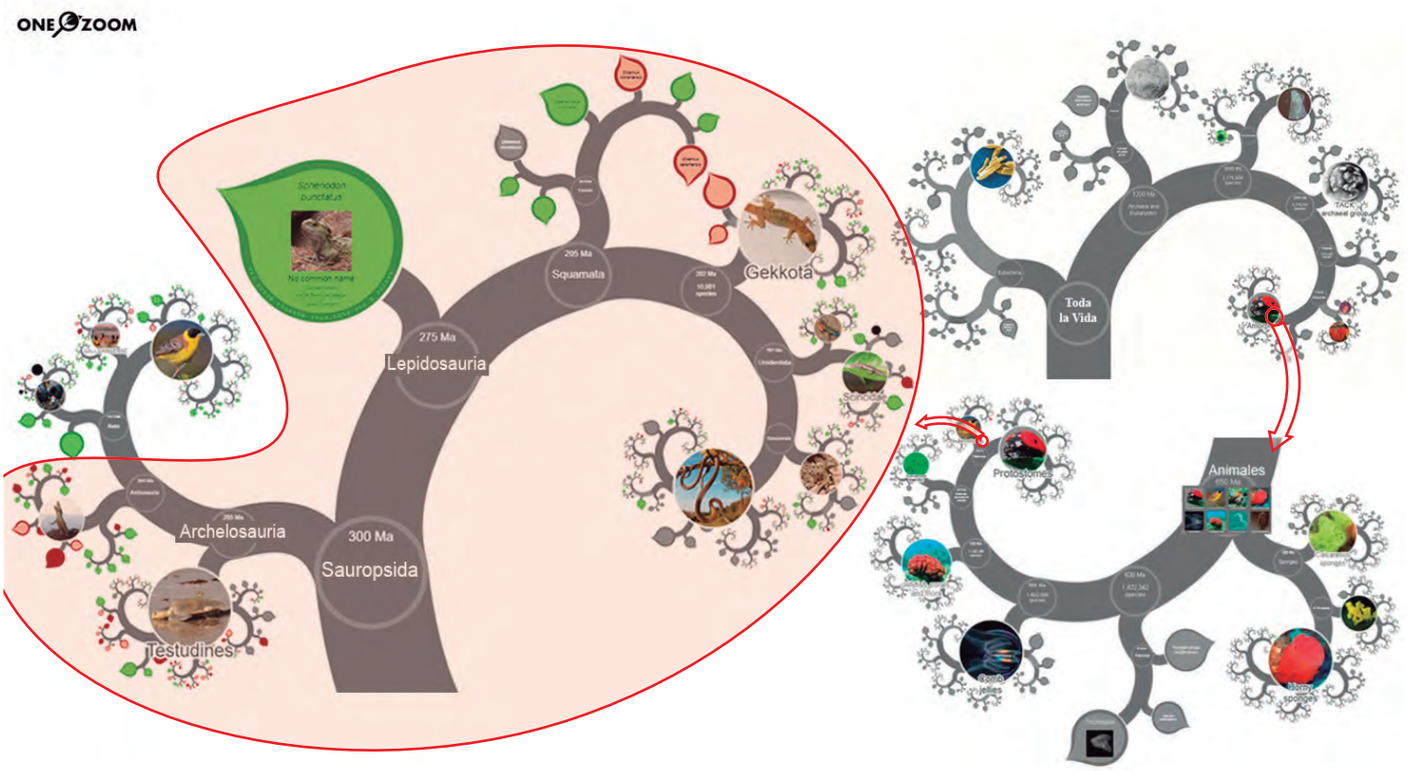
Capítulo 16 Reptiles de la región de Atacama: el mayor endemismo nacional

Jorge E. Mella Ávila

Los reptiles (Sauropsidos) corresponden a dos grupos evolutivos separados con un origen hace 300 Millones de años (Ma). Por un lado, están los Archelosaurios que incluye al Orden Testudines (tortugas) pero también a los cocodrilos y aves (ver Capítulo 17). Las tortugas (Orden Testudines) conforman un grupo monofilético, cuyo origen se ha estimado en cerca de 209 Ma en el Triásico, y de las cinco especies de tortugas marinas presentes en Chile, *Dermochelys coriacea* sería la de origen más antigua, separándose hace más de 120 Ma del resto (ver Ortiz & Moreno 2008). Por otro lado, el Orden Squamata diversificó hace unos 205 Ma.

Los reptiles de Chile incluyen actualmente 140 especies, de las cuales cinco son del Orden Testudines y 135 son del Orden Squamata (Ruiz de Gamboa 2020). De estos últimos, 82 especies son endémicas de Chile.

En cuanto al registro fósil de reptiles en la región (ver detalle en Capítulo 3), destaca el hallazgo de Ictiosaurios marinos en las localidades de Quebrada doña Inés Chica, Pan de Azúcar, Potrerillos, Cerro Blanco y Quebrada de la Iglesia, y que corresponden al Jurásico Inferior y Triásico Tardío (Pardo et al., 2015). Por otra parte, se han registrado Plesiosaurios en Cerro Blanco, interior de Copiapó, asignados al Jurásico Medio (Otero et al. 2015). Finalmente, existen registros de Arcosaurios no avianos (dinosaurios), en Bahía Inglesa, Bahía Salada, Cerro La Isla, Quebrada La Iglesia, Cerro Algarrobita, Quebrada La Higuera y Quebrada La Descubridora, correspondientes al Jurásico, Cretácico Inferior y Cretácico Superior (Soto-Acuña et al. 2015).



En el árbol de la vida, en la misma línea de los Amniota de la que diversificaron los Mamíferos, los Sauropsida se dividen en dos ramas. Por un lado a los Archelosauria (que incluye a tortugas, cocodrilos, y a las aves) y la rama Lepidosauria (que incluye a lagartijas, gecos y serpientes). El largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)

Riqueza, endemismo y distribución

En la región de Atacama se han registrado 27 especies de reptiles. De ellos, cuatro especies son tortugas marinas del Orden Testudines y 23 especies de reptiles terrestres del Orden Squamata. Estas últimas incluye una especie de geco (*Garthia gaudichaudii*), 18 especies de lagartijas del género *Liolaemus* (incluyendo a *L. carezzae*, especie recien descrita para la isla Chañaral, Campos-Soto et al. 2023) , dos especies de lagartos (*Microlophus atacamensis* y *Callopistes maculatus*) y dos especies de culebras (*Philodryas chamissonis* y *Galvarinus chilensis*).

Veintidós de las 23 especies de reptiles terrestres presentes en la región de Atacama son endémicas de Chile, por lo que esta Región es la que posee el mayor endemismo de reptiles terrestres del país (Mella 2017a, 2019). Destacan siete especies por su endemismo a





Liolaemus andinus

la región de Atacama.

Cabe resaltar que recientemente, Abdala et al. (2021) redescriben la lagartija andina (*Liolaemus andinus*), indicando que es una especie microendémica, ya que sólo se encuentra en la Laguna Verde (a 4.316 msnm), cerca del Paso San Francisco, en el altiplano de la región de Atacama.

Casi todas las especies de reptiles presentes en la región de Atacama han sido evaluadas en su estado de conservación, y cerca de la mitad de ellas se consideran amenazadas (ver Capítulo 20). Las especies más amenazadas corresponden a la Tortuga Laúd y la Tortuga boba (En Peligro Crítico), y la Tortuga verde junto con la Lagartija negro-azulada (En Peligro).

En relación con su distribución geográfica, los reptiles terrestres de la región de Atacama presentan una variada gama de patrones, los que se pueden dividir en tres grupos (Mella 2019): (A) Especies con amplia distribución geográfica: presentes en cuatro o más regiones administrativas del país, y corresponden a siete especies: el geco *Garthia gaudichaudii*, las dos especies de culebras (*Philodryas chamissonis* y *Galvarinus chilensis*), la iguana (*Callopistes maculatus*), y las lagartijas *Liolaemus fuscus*, *L. nitidus* y *L. platei*. De ellas, cabe destacar a *L. nitidus* y a *L. fuscus*, cuyo límite norte de distribución sería justamente la región de Atacama. (B) Especies con distribución geográfica moderadamente restringida: presentes en dos a tres regiones administrativas, y corresponden a ocho especies, todas lagartijas y lagartos del género *Liolaemus*. Entre dichas especies, una posee su límite sur en la región de Atacama (*L. audituvelatus*) y otras cinco especies tienen a la región de Atacama como su límite norte (*L. zapallarensis*, *L. silvai*, *L. nigromaculatus*, *L. lorenzmuelleri* y *L. robertoi*). (C) Especies con distribución geográfica restringida: son las especies presentes sólo en la región de Atacama, y corresponden a siete especies: *L. patriciaiturrae*, *L. rosenmanni*, *L. isabelae*, *L. juanortizi*, *L. velosoi*, *L. nigrocoeruleus* y *L. andinus*. Dentro de este grupo, las especies con menor distribución dentro de la región de Atacama son *L. nigrocoeruleus*, presente entre Barranquilla y Caldera (esta última localidad, por confirmar; Mella 2017b) y *L.*

andinus, registrada exclusivamente en la ribera sur de la Laguna Verde.

Ahora bien, analizando la distribución altitudinal de cada especie, se puede realizar el siguiente agrupamiento (Mella 2019): (A) Especies con distribución altitudinal amplia: especies que cubren más de 2.000 metros de rango altitudinal, y corresponden a 11 especies. Entre ellas, se pueden dividir a un grupo de especies que se encuentran entre el nivel del mar hasta pisos intermedios (cercano a los 2.000 msnm), como *Callopistes maculatus*, *Garthia gaudichaudii*, *Liolaemus fuscus*, *L. nigromaculatus*, *L. platei*, *L velosoi* y *L. zapallarensis* y, hay otras especies que se encuentra entre media a gran altura, como *L. rosenmanni*. (B) Especies con distribución altitudinal media: son aquellas especies que cubren entre 500 hasta 2.000 m de rango altitudinal, y suman siete especies). Ejemplos de este grupo son especies preferentemente andinas, como *L. isabelae*, *L. juanortizi*, *L. lorenzmuelleri*, *L. patriciaiturrae* y *L. robertoi*. (C) Especies con distribución altitudinal acotada: son aquellas especies que cubren menos de 500 metros de rango altitudinal, y corresponden a sólo cuatro especies, tres de ellas restringidas a bajas altitudes (zonas costeras): *Microlophus atacamensis*, *Liolaemus silvai* y *L. nigrocoeruleus*, y una especie exclusivamente andina (*L. andinus*).

Origen, diversidad e historia natural

De las cinco especies de tortugas marinas presentes en las costas chilenas, cuatro de ellas se han registrado en la región de Atacama, todas ellas son de amplia distribución en el Océano, por lo que ninguna es endémica de Chile. Estas especies corresponden a *Dermochelys coriacea* (Tortuga Laúd), *Chelonia mydas* (Tortuga verde), *Caretta caretta* (Tortuga boba) y *Lepidochelys olivacea* (Tortuga olivácea).

Las cuatro especies de tortugas marinas registradas en la costa de la región de Atacama son visitantes regulares de las costas chilenas, donde llegan para alimentarse, ya que ninguna se reproduce en nuestro país, cuya actividad reproductiva se concentra en playas arenosas de costas de ambientes subtropicales a tropicales (Ortiz & Moreno 2008). Su presencia en la región de Atacama ha sido reportada sólo puntualmente (con registros esporádicos), como la Tortuga verde (*Chelonia mydas*), registrada en Caleta Chascos, Bahía Salada (Brito et al. 2007) y la Tortuga boba (*Caretta caretta*), en Caldera (Sarmiento-Devia et al. 2015). En el Capítulo 6 se indica también la presencia de Pasto marino (*Zostera chilensis*) en Bahía Chascos, alimento de estas tortugas.

Dentro del Orden Squamata, el grupo más antiguo está representado por el Geco o Salamanqueja del norte chico (*Garthia gaudichaudii*), es cual con 62 mm de largo es el reptil más pequeño



Tortuga Boba, *Caretta caretta*

Foto: Juan Contardo



Tortuga verde, *Chelonia mydas*

Foto: Juan Contardo

de Chile (Mella 2017b). Su avistamiento es difícil, ya que posee una actividad crepuscular a nocturna, con adaptaciones particulares como sus grandes ojos con pupila vertical. Su reproducción es ovípara, y la hembra coloca generalmente un huevo (inusualmente grande en relación a su cuerpo), en suelos arenosos bajo chaguales, cactus rastreros o piedras. Su actividad nocturna determina adaptaciones fisiológicas particulares que la diferencian de los otros reptiles diurnos, como su baja temperatura corporal en actividad (en la noche, entre 22,5°C a 26,4°C), la que se asocia a su comportamiento tigmotérmico (esto es, obtiene calor por contacto con las piedras).

La Iguana (*Callopistes maculatus*), con hasta 50 cm de longitud, es el lagarto más grande de Chile. Posee una amplia distribución geográfica, desde el registro reciente en la Reserva Nacional La

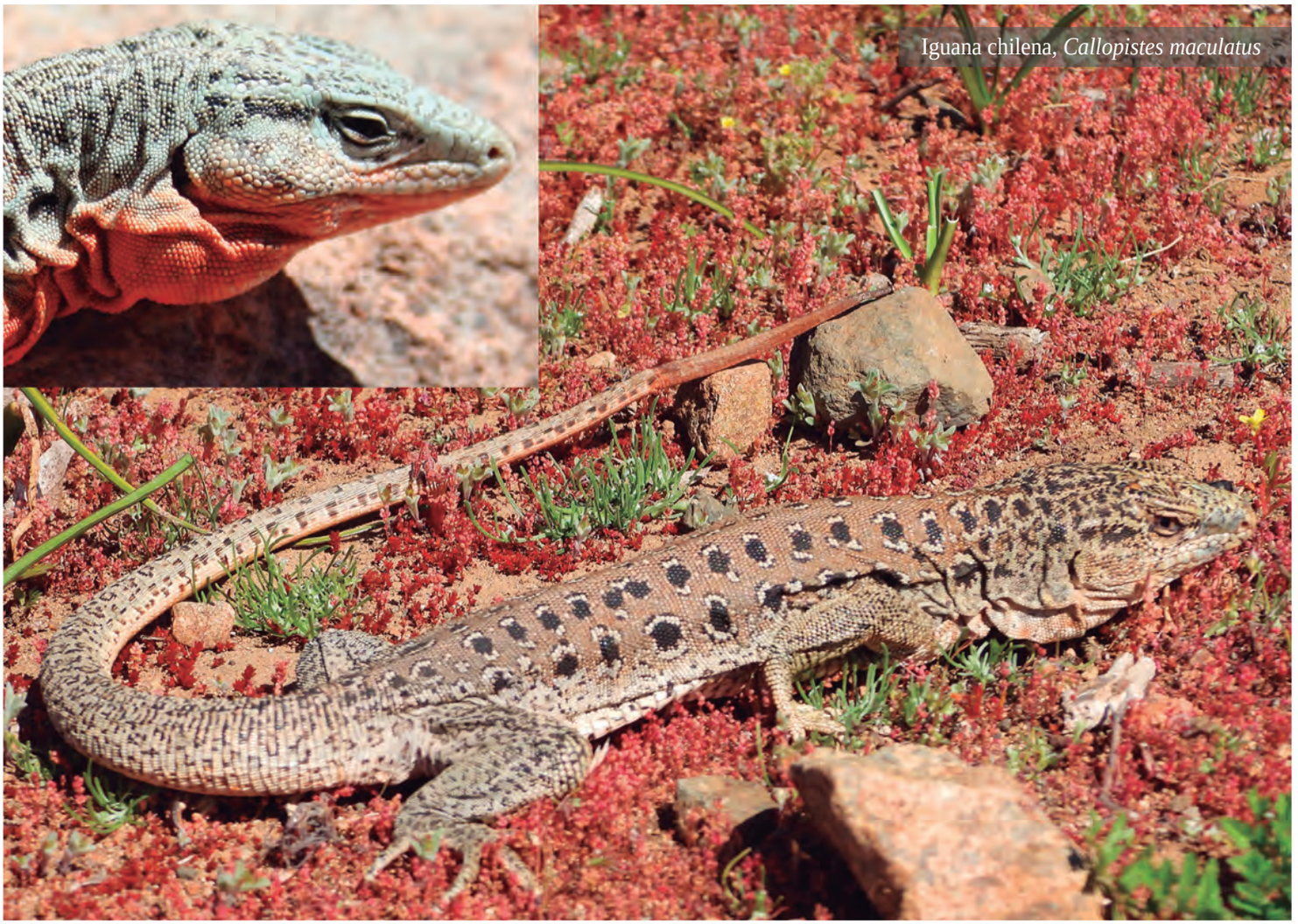


Geco o Salamanqueja del norte chico, *Garthia gaudichaudii*

Chimba, en la región de Antofagasta (Contreras et al. 2020) hasta Cauquenes, en la región del Maule (Donoso-Barros 1966). Los machos se reconocen por su garganta intensamente anaranjada.

De comportamiento muy huidizo ante la presencia humana, es un activo depredador, tanto de invertebrados (coleópteros, anfípodos en zonas costeras) como vertebrados, consumiendo otros reptiles (incluyendo canibalismo), aves y micromamíferos. Debido a su gran tamaño y hermoso colorido, entre 1985 a 1993 se comercializaron al menos 50.000 ejemplares para exportarlos como mascotas, lo que redujo significativamente sus niveles poblacionales (Iriarte et al. 1997).

El género *Liolaemus* es uno de los más diversificados del continente. Actualmente se reconocen al menos 265 especies distribuidas en el cono sur de Sudamérica, y el origen estimado del



Iguana chilena, *Callopistes maculatus*

género se estima en 48,2 millones de años (Morando *et al*. 2020). Laurent (1983) dividió *Liolaemus* en dos grupos (subgéneros): el grupo "argentino" (*Eulaemus*, 150 especies) y el grupo "chileno" (*Liolaemus* sensu stricto, 115 especies), y que se habrían originado a partir de un tronco preandino (antes de la formación de la Cordillera de Los Andes; ver revisión en Torres-Pérez & Lamborot 2008). Cabe mencionar que ambos subgéneros poseen especies presentes en Argentina y Chile. Las especies de *Liolaemus* presentes en la región de Atacama se incluyen dentro del subgénero "chileno", y dentro de él, algunas especies se agrupan filogenéticamente como más semejantes, como *L. fuscus*, *L. nitidus*, *L. velosoi*, *L. platei* y *L. nigromaculatus* (Torres-Pérez & Lamborot 2008).

Dentro de las especies de *Liolaemus* presentes en la región de Atacama, destaca el Dragón de oído cubierto (*Liolaemus audituvelatus*, sinónimo de *Prhynosaura audituvelata* (ver Mella 2017b), el que presenta dimorfismo sexual: la hembra de tonos rosados y el macho con contraste entre colores crema y negro. Esta pequeña especie de 11 cm de longitud, se distribuye entre Caspana (región de Antofagasta) hasta la localidad de Caserón (región de Atacama), y pertenece a un grupo de lagartijas ("prhynosaurianas") compuesta por cinco especies en Chile, todas las cuales se caracterizan por algunas características anatómicas como cabeza equilátera, hocico corto, grandes escamas ciliares (pestañas), cuerpo pequeño y cola proporcionalmente corta. Además, estas especies comparten caracteres ecológicos similares, como distribución geográfica restringida, muy baja frecuencia y abundancia, presente generalmente en suelos arenosos, en ambientes desérticos, con nula o escasa vegetación (Mella 2017b).

Otra especie a destacar es la Lagartija negro-azulada (*Liolaemus nigrocoeruleus*), una especie de tamaño pequeño (14 cm de longitud total), cola larga, de aspecto fino, con extremidades



Dragón de oído cubierto, *Liolaemus audituvelatus*



Lagartija negro-azulada, *Liolaemus nigrocoeruleus*

delgadas y coloración del macho muy llamativa, que le da el nombre. Esta especie, descrita sólo en 2014, se ha registrado sólo en la localidad de Barranquilla (Marambio-Alfaro & Troncoso-Palacios 2014) y probablemente en Caldera, de modo que su distribución geográfica es la más acotada de los reptiles presentes en la región. Habita suelos arenosos con afloramientos rocosos, y con vegetación asociada de hierbas, arbustos y cactáceas. Su distribución restringida determina que, junto con *L. andinus*, son las únicas dos especies que no se encuentran en ninguna área protegida de la región (Mella y Marambio-Alfaro, comunicación personal).

La lagartija de Rosenmann (*Liolaemus rosenmanni*), es una las lagartijas de mayor distribución altitudinal, ya que se ha registrado entre 1.964 hasta 4.200 msnm, desde el Salar de Pedernales hasta el río Nevado (Mella 2017b). Posee dimorfismo sexual, ya que los machos presentan coloraciones mucho más vistosas que las hembras. Es una especie frecuente y muy abundante en los ambientes andinos, cerca de cursos de agua y salares, en terrenos arenosos. Como la mayoría de los reptiles andinos, es vivípara (pare entre una a tres crías), y hay evidencias de posible cuidado parental (ej. hembra en cueva compartida con crías; Mella 2017b).

El género *Microlophus* se distribuye en la costa del Océano Pacífico, abarcando el sur de Ecuador (incluyendo las islas Galápagos), Perú y el norte de Chile, y dentro del grupo se reconocen dos linajes: a) el grupo *occipitalis*, con especies del norte de Perú y Ecuador, y b) el grupo *peruvianus*, con especies presentes en Perú y Chile (Torres-Pérez & Lamborot 2008). Dentro del grupo *peruvianus*, existen evidencias que las especies chilenas no forman un grupo monofilético, conformándose dos clados: uno estaría conformado por el par *Microlophus quadrivittatus-M. theresioides* (el primero de la costa del extremo norte y el segundo del desierto interior), y el otro clado estaría compuesto por *M. atacamensis* (la especie presente en la región de Atacama), el que habría divergido tempranamente del par anterior. Si bien no existen antecedentes de eventos de colonización histórica de *Microlophus* en el norte de Chile ni la antigüedad del grupo *peruvianus*, Heise (1998) sugiere una aproximación, y estima una edad de divergencia de 5 millones de años entre especies del continente y del archipiélago de las Galápagos, de manera que el grupo peruvianus existiría al menos desde el Plioceno.

Sin lugar a duda, el Corredor de Atacama (*Microlophus atacamensis*), es el reptil más frecuente y abundante en la zona costera de la región de Atacama. Es un lagarto de gran tamaño, ya que puede alcanzar los 28 cm de longitud total. Se distribuye desde el sur del río Loa, en la región de Antofagasta, hasta Caleta Arrayán, en la región de Coquimbo (Donoso Barros 1966, Mella 2017a,b). Es tan abundante que es frecuente observar a varios ejemplares concentrados en un par de metros cuadrados, en los



Lagartija de Rosenmann, *Liolaemus rosenmanni* (macho)

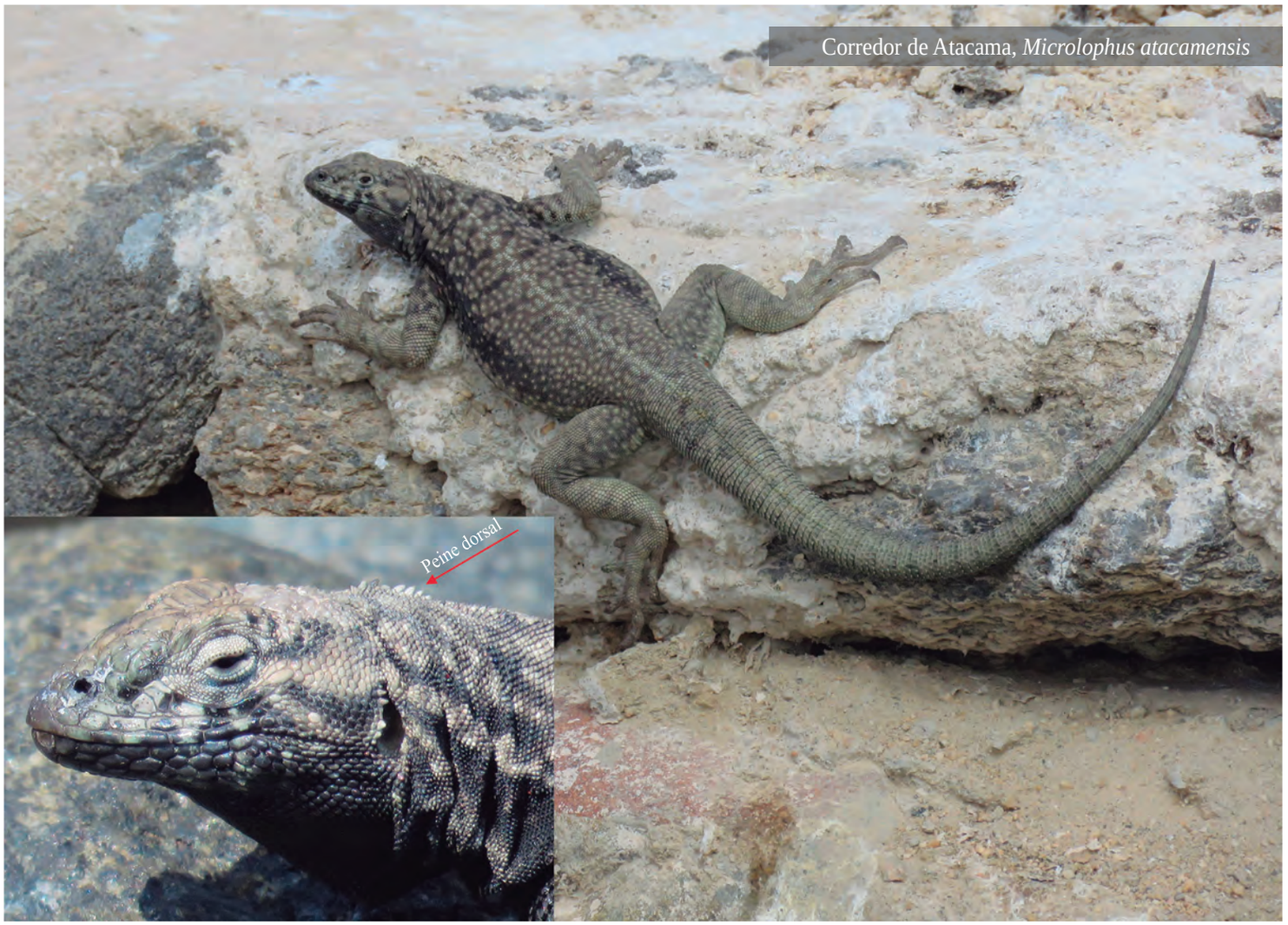


Lagartija de Rosenmann, *Liolaemus rosenmanni* (hembra)

roqueríos costeros, donde se ha cuantificado una densidad entre 5 a 15 individuos/500 m². Su nombre común alude a una característica evidente: es un excelente corredor, ya que incluso en algunos momentos se desplaza rápidamente corriendo en forma bípeda, apoyándose sólo en las patas. Una característica morfológica interesante, y que representa su asociación filogenética con la iguana de las Galápagos, es la presencia del peine dorsal, que corresponde a una hilera de escamas en la línea vertebral, formando una cresta, más evidente en la nuca y en la base de la cola. Otro carácter sobresaliente es que ha sido observado sumergiéndose en las pozas de la zona intermareal (Mella 2017a). Su alimentación denota una importante interacción tierra-mar, ya que su dieta es muy variada, desde vertebrados (con posible canibalismo sobre juveniles), artrópodos (dípteros, isópodos y crustáceos), caracoles, e incluso algas (*Ulva* y *Porphyra*; Mella 2017b).

Otra particularidad de este lagarto es su hábito territorial, ya que el grupo familiar se compone de un macho y varias hembras (hasta nueve), donde el macho ocupa la parte más alta de las rocas, y defiende su territorio, persiguiendo agresivamente a otros machos. Por otra parte, existe un claro uso de microhábitat asociado a la edad, ya que los adultos prefieren el uso de rocas, mientras que los juveniles se encuentran concentrados en las playas arenosas o en zonas de bolones (Vidal et al. 2002).

Recientemente, se ha mostrado que *M. atacamensis* es un bioacumulador de metales, por lo que se puede utilizar como un biomonitor de procesos de contaminación (Marambio-Alfaro et al. 2020).



Corredor de Atacama, *Microlophus atacamensis*

El Suborden Serpentes corresponde al grupo más derivado de Squamata. En Chile están registradas 6 especies de la familia Dipsadidae, de las cuales dos especies de culebras están presentes en la región de Atacama. Ambas se distribuyen desde Paposo en la región de Antofagasta, llegando hasta Valdivia, en el caso de la Culebra de cola larga (*Philodryas chamissonis*) y hasta Chiloé en el caso de la Culebra de cola corta (*Galvarinus chilensis*). Además de las diferencias en tamaño (mucho mayor en la Culebra de Cola larga), y patrón de coloración, el nombre común alude a la diferencia de la proporción de la cola (donde termina la cloaca) en relación con el cuerpo: la Culebra de Cola larga posee una cola de aproximadamente un tercio de la longitud total, mientras que la Culebra de cola corta tiene una cola de cerca de un sexto de su longitud total (Donoso-Barros 1966). Ambas especies son cazadoras, depredando sobre anfibios y otros reptiles (la Culebra de cola corta), aves, roedores y hasta conejos juveniles (la Culebra de

cola larga). Si bien son especies preferentemente terrícolas, también trepan arbustos o árboles, e incluso son buenas nadadoras (Mella 2017b). En cuanto a su reproducción, mientras la Culebra de Cola larga es ovípara (poniendo entre seis a ocho huevos), la de Cola corta es vivípara, pariendo entre seis a ocho crías (Mella 2017b).



Culebra de cola larga, *Philodryas chamissonis*



Culebra de cola corta, *Galvarinus chilensis*



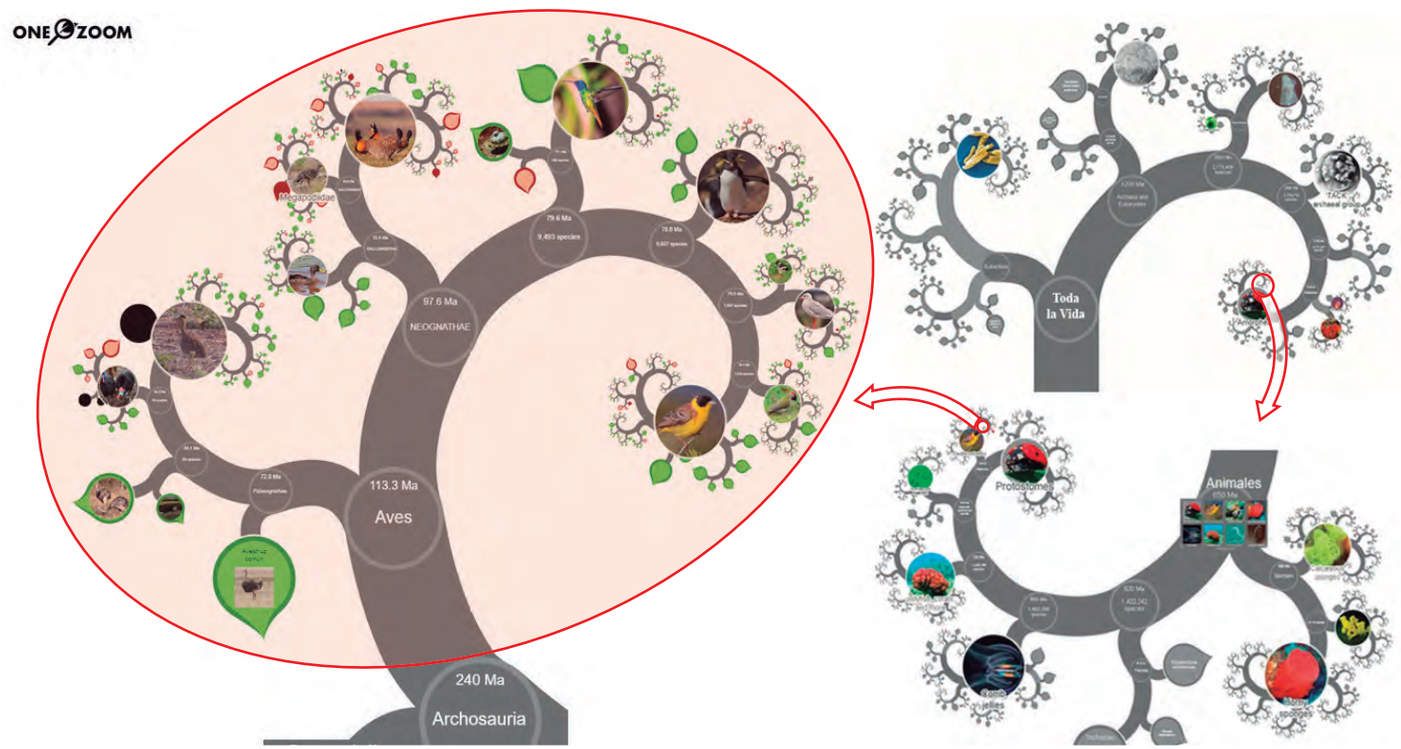
Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 17:223-234

Capítulo 17 Historia evolutiva de las aves de Atacama

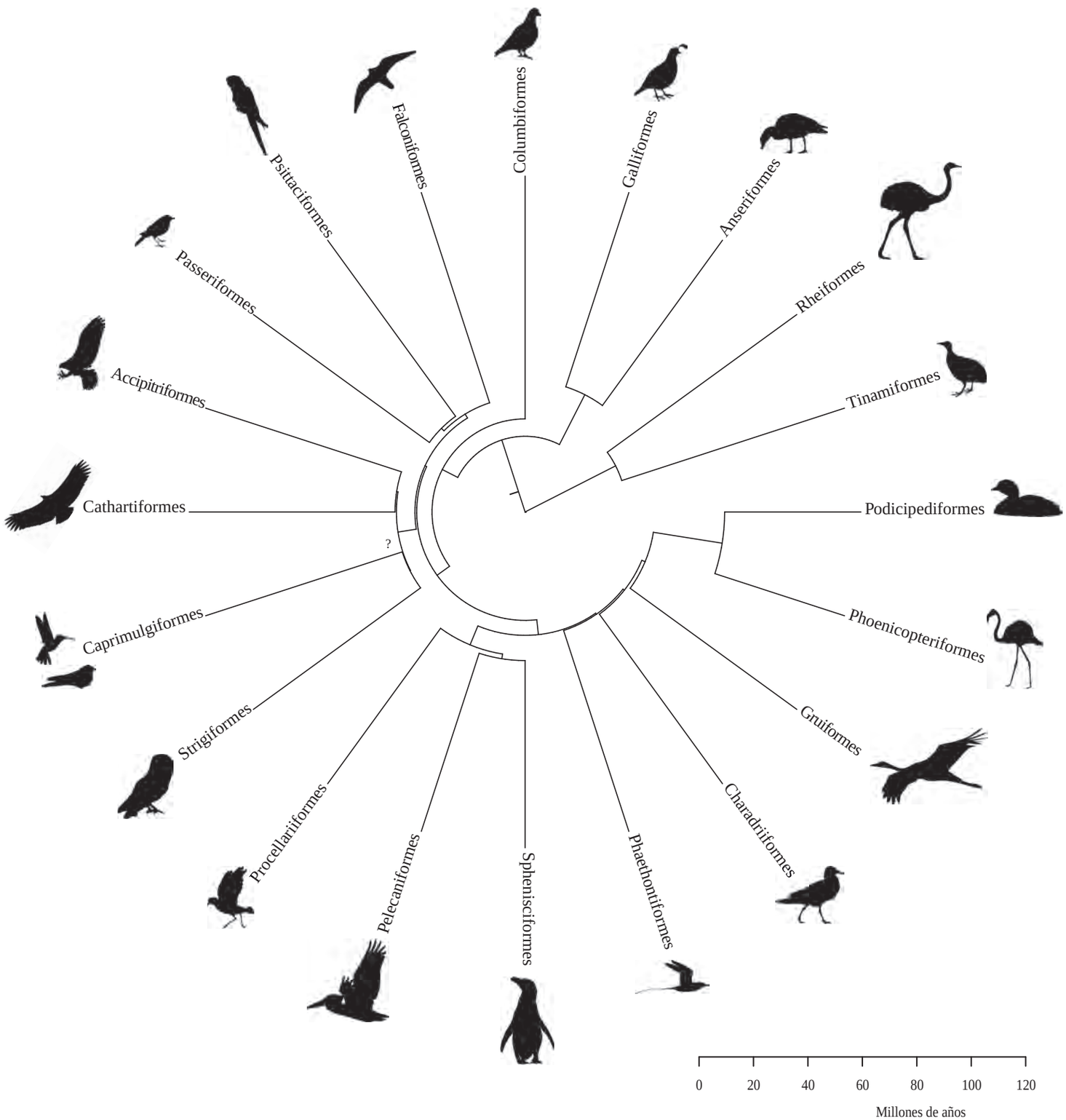
Myriam Ramírez-Herranz & Felipe A. Méndez

Hace 160 millones de años, los terópodos (a los que conocemos como dinosaurios bípedos, o que caminan erguidos, gracias a la forma de su pelvis) comenzaron a desarrollar diversas formas de plumas primitivas en su cuerpo, las cuales se cree que estaban destinadas a la termorregulación principalmente. Estos dinosaurios emplumados evolucionaron en diferentes formas y tamaños, donde un linaje dió lugar a las aves primitivas hace aproximadamente 130 millones de años.

Las aves actuales evolucionaron de este linaje aproximadamente hace 113,3 Ma. Los parientes vivos más cercanos son los cocodrilos y las tortugas; rama de reptiles completamente separada de los Squamata (que incluye lagartos y culebras) (Ver capítulo 16). La rama más antigua de las aves presentes en Atacama corresponde al clado Palaeognathae (del griego: “mandíbulas antiguas”) el cual se originó aproximadamente hace 72,8 Ma, al cual pertenecen el Suri o Ñandú de la puna en el altiplano de Copiapó (*Rhea pennata tarapacensis*, del Orden Rheiformes); y la Perdiz chilena (*Nothoprocta perdicaria*, Tinamiformes). Este grupo de aves caminadoras, de origen relativamente antiguo, poseen poca capacidad de vuelo. Las plumas de Ñandú son primitivas o también llamadas protoplumas, al igual que los Avestruces de África y los Casuarios y Emúes de Australia y Nueva Guinea y los Kiwi de Nueva Zelanda. Estas protoplumas, que estarían asociadas al control de la temperatura y no al vuelo (Agnolin 2016).



La clase Aves, dentro de la superclase Tatrapoda, es la rama terminal del clado Archosauria, una de las dos ramificaciones del clado Sauropsida. El largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)



Árbol filogenético de los órdenes de aves presentes en la región de Atacama. Basado en Jetz et al. (2012), www.Birdtree.org. Las siluetas de las especies de cada orden provienen de Phyloipic.org (créditos de autor en agradecimientos). La posición del orden Caprimulgiformes en este árbol es controversial y probablemente esté ubicado en la base del linaje Neognathae, según el árbol de la vida de Onezoom.com.



Suri o Ñandú de la puna, *Rhea pennata tarapacensis*

Foto: Saskia Hostens, RedAves



Perdiz chilena, *Nothoprocta perdicaria*

Foto: Felipe Méndez, RedAves

El segundo linaje de la clase Aves corresponde al grupo de las Neognathae (del griego: "mandíbulas modernas"), el cual se habría originado aproximadamente hace unos 97,5 Ma. En este clado se encuentra primero el superorden Galloanserae, que incluye los órdenes Anseriformes (patos y gansos) y los Galliformes. En los Anseriformes hay registradas 19 especies en Atacama, todas de la familia Anatidae, donde destacamos al Cisne coscoroba (*Coscoroba coscoroba*), el Piuquén (*Oressochen melanopterus*), el Pato jergón grande (*Anas geórgica*) y el Pato colorado (*Spatula cyanoptera*). En el orden Galliformes está representada por una



Cisne coscoroba, *Coscoroba coscoroba*

Foto: Saskia Hostens, RedAves



Piuquén, *Oressochen melanopterus*

Foto: Saskia Hostens, RedAves



Pato jergón grande, *Anas geórgica*

Foto: Felipe Méndez, RedAves



Pato colorado, *Spatula cyanoptera*

Foto: Felipe Méndez, RedAves

sola especie, la Codorniz californiana (*Callipepla californica*) de la familia Odontophoridae, la cual se trata de una especie exótica naturalizada (= no nativa).

En la siguiente rama basal de grupo de los Neognathae, se encuentra el orden Caprimulgiformes, representada en Atacama por la Gallina ciega (*Systellura longirostris*, de la familia Caprimulgidae). Esta diversa rama culmina en el grupo de los Apodifromes, cuyo origen está datado hace aproximadamente 64,5 Ma, donde se encuentra la familia de los Trochilidae (Picaflores), la cual se originó hace 26 Ma. De las 334 especies representantes de esta familia, en Atacama encontramos sólo a cinco especies, de las que destacamos al Picaflor del norte (*Rhodopis vesper*), el picaflor gigante (*Patagona gigas*) y el picaflor chico (*Sephanoides sephaniodes*).



Gallina ciega, *Systellura longirostris*

Foto: Rubén Barraza, RedAves



Picaflor chico, *Sephanoides sephaniodes*

Foto: Felipe Méndez, RedAves



Foto: Saskia Hostens, RedAves



Picaflor del norte, *Rhodopis vesper*

Foto: Saskia Hostens, RedAves

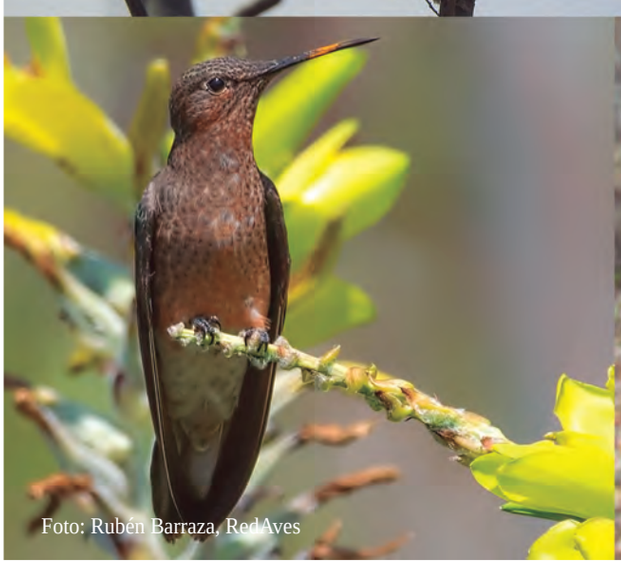
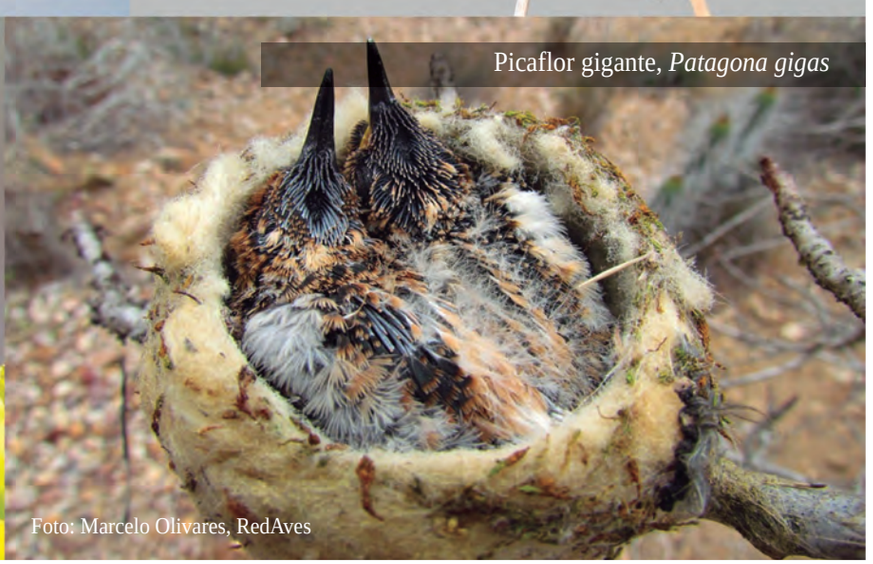


Foto: Rubén Barraza, RedAves



Picaflor gigante, *Patagona gigas*

Foto: Marcelo Olivares, RedAves

Siguiendo la línea evolutiva de nuestro árbol, el primer linaje está representado por el orden de los Phoenicopteriformes (flamencos), cuyo origen está datado aproximadamente hace 17,4 Ma. Este grupo está conformado por 6 especies a nivel global, pudiendo observarse en Atacama tres de ellas, representantes de la misma familia Phoenicopteridae, el Flamenco chileno (*Phoenicopterus chilensis*), la Parina grande (*Phoenicoparrus andinus*) y la Parina chica o Flamenco de James (*Phoenicoparrus jamesi*), el flamenco más pequeño del Nuevo Mundo.

Como linaje hermano encontramos al órden Phaethontiformes (con dos especies de la familia Phaethontidae (Aves del trópico) visitantes ocasionales de ambientes costeros en Atacama. En la siguiente rama nos encontramos con los órdenes de los Podicipediformes (1 familia con 4 especies, incluyendo el



Flamenco chileno, *Phoenicopterus chilensis*

Foto: Rubén Barraza, RedAves



Parina grande, *Phoenicoparrus andinus*

Foto: Marcelo Olivares, RedAves



Parina chica, *Phoenicoparrus jamesi*

Foto: Marcelo Olivares, RedAves



Blanquillo, *Podiceps occipitalis*

Foto: Saskia Hostens, RedAves



Tortolita quiguagua, *Columbina cruziana*

Foto: Freddy Olivares, RedAves



Tortolita cordillerana, *Metriopelia melanoptera*

Foto: Saskia Hostens, RedAves

Blanquillo (*Podiceps occipitalis*) y de los Columbiformes (9 especies de la familia Columbidae, que incluye a las palomas y tórtolas). Entre las especies nativas típicas del despierto destacamos a la Tortolita quiguagua (*Columbina cruziana*) y la Tortolita cordillerana (*Metriopelia melanoptera*).

A continuación, en la siguiente rama encontramos al órden de los Gruiformes, que aparecieron aproximadamente hace 52,7 Ma. En Atacama se observan 10 especies que pertenecen a la familia Rallidae, entre ellas la Tagua cornuda (*Fulica cornuta)* y el Pidén (*Pardirallus sanguinolentus*).



Tagua cornuda, *Fulica cornuta*

Foto: Marcelo Olivares, RedAves



Pidén, *Pardirallus sanguinolentus*

Fotó: Manuel Rojas, RedAves

Seguidamente en la línea evolutiva, nos encontramos con el linaje de las aves marinas y acúaticas, donde en una de sus ramas encontramos al orden de los Sphenisciformes (pingüinos), cuyo origen está datado aproximadamente hace 25,4 Ma. Este órden está conformado por 18 especies, y en Atacama existen registros de tres de ellas, de las cuales sólo es residente, el Pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*, Spheniscidae). En este mismo clado también se encuentra el orden de los Procellariiformes (128 sp), estando presentes en Atacama 26 especies representantes de cuatro familias. Entre estas especies destacan la Golondrina de mar de Wilson (*Oceanites oceanicus*, Oceanitidae), la Fardela negra (*Ardenna grisea*, Procellariidae) y el Petrel de barba blanca (*Procellaria aequinoctialis*, Procellariidae). El orden de los Suliformes (piqueros y fragatas) está representado en Atacama por siete especies de 3 familias, donde destaca el Piquero (*Sula variegata*, Sulidae) y el Cormorán guanay (*Leucocarbo bougainvillii*, Phalacrocoracidae). A continuación, en este linaje de aves marinas y acuáticas, está el orden de los Pelecaniformes (3 familias con 14 especies), siendo las más conspicuas el Pelícano (*Pelecanus thagus*, Pelecanidae), la Garza chica (*Egretta thula*, Ardeidae) y el Cuervo de pantano (*Plegadis chihi*, Threskiornithidae).



Pingüino de Humboldt (juveniles y adultos), *Spheniscus humboldti*

Foto: Saskia Hostens, RedAves

Golondrina de mar de Wilson, *Oceanites oceanicus*

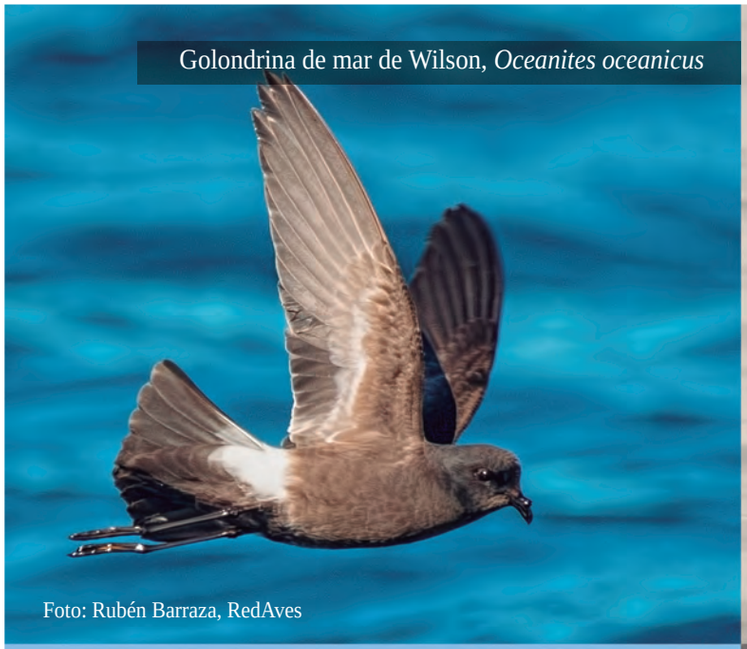


Foto: Rubén Barraza, RedAves

Fardela negra, *Ardenna grisea*



Foto: Rubén Barraza, RedAves

Petrel de barba blanca, *Procellaria aequinoctialis*



Foto: Saskia Hostens, RedAves

Piquero, *Sula variegata*



Foto: Rubén Barraza, RedAves

Cormorán guanay, *Leucocarbo bougainvillii*



Foto: Rubén Barraza, RedAves

Pelícano, *Pelecanus thagus*



Foto: Saskia Hostens, RedAves


Garza chica, *Egretta thula*

Foto: Saskia Hostens, RedAves


Cuervo de pantano, *Plegadis chihi*

Foto: Rubén Barraza, RedAves

En el siguiente linaje evolutivo, encontramos al diverso orden de Charadriiformes, ampliamente representado en Atacama con 7 familias y 62 especies. Dentro de este gran grupo, destacamos al Pilpilén (*Haematopus palliatus*, Haematopodidae), el Chorlo ártico (*Pluvialis squatarola*, Charadriidae), el Chorlito cordillerano (*Phegornis mitchellii*, Charadriidae), el Playero blanco (*Calidris alba*, Scolopacidae), Playero de Baird (*Calidris bairdii*, Scolopacidae), la Gaviota garuma (*Leucophaeus modestus*, Laridae) y la Gaviota andina (*Chroicocephalus serranus*, Laridae).


Pilpilén, *Haematopus palliatus*

Foto: Rubén Barraza, RedAves


Chorlo ártico, *Pluvialis squatarola*

Foto: Rubén Barraza, RedAves


Chorlito cordillerano, *Phegornis mitchellii*

Foto: Marcelo Olivares, RedAves


Playero de Baird, *Calidris bairdii*

Foto: Saskia Hostens, RedAves



Foto: Rubén Barraza, RedAves

Playero blanco, *Calidris alba*



Foto: Saskia Hostens, RedAves

Gaviota garuma, *Leucophaeus modestus*



Foto: Laura Valdivia, RedAves

Gaviota andina, *Chroicocephalus serranus*



Foto: Saskia Hostens, RedAves

Un clado muy interesante incluye el orden de los Accipitriformes, teniendo respesentates dos familias y 7 especies en Atacama, como la Águila pescadora (*Pandion haliaetus*) y el Águila mora (*Geranoaetus melanoleucus*); y por otro lado, el orden de los Cathartiformes o buitres del nuevo mundo, con tres especies de una misma familia residentes en Atacama, como el majestuoso Cóndor andino (*Vultur gryphus*), el ave de mayor tamaño que sobrevuela los Andes. Los adultos son fácilmente reconcibles por su gran tamaño, largos "dedos" en los extremos de las alas y collares blancos. Los juveniles son de un color más grisaceo y tardan aproximadamente cinco años en alcanzar la edad adulta (Birds of the World 2022). Continuando con el clado hermano, encontramos a las rapaces nocturnas del orden Strigiformes (búhos y lechuzas), originándose hace aproximadamente hace 69,5 Ma. En Atacama podemos observar 4 especies representando a dos familias, donde mencionamos al Pequén (*Athene cunicularia*, Strigidae) y la lechuza (*Tyto alba*, Tytonidae).

Águila pescadora, *Pandion haliaetus*

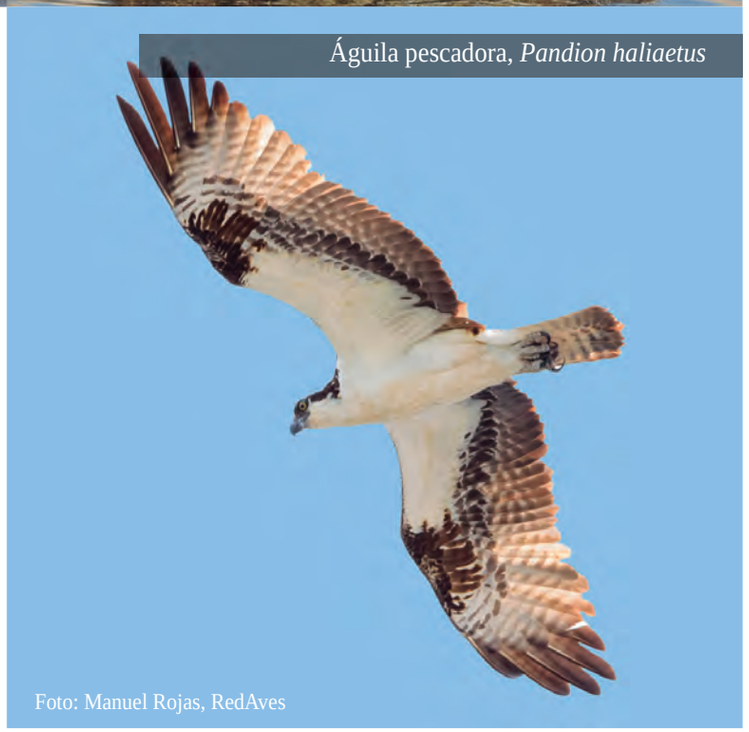


Foto: Manuel Rojas, RedAves



Águila mora adulta, *Geranoaetus melanoleucus*

Foto: Felipe Méndez, RedAves



Águila mora juvenil, *Geranoaetus melanoleucus*

Foto: Saskia Hostens, RedAves



Adulto macho de cóndor andino, *Vultur gryphus*

Foto: Laura Valdivia, RedAves



Juvenil de cóndor andino, *Vultur gryphus*

Foto: Laura Valdivia, RedAves



Pequén, *Athene cunicularia*

Foto: Felipe Méndez, RedAves



Lechuza, *Tyto alba*

Foto: Rubén Barraza, RedAves

A continuación, en el grupo de las Neognathae, continuamos con dos órdenes hermanos, los Falconiformes (hálcones) y los Psittaciformes (loros y cotorras). En la región de Atacama se encuentran 6 especies de falconiformes, pertenecientes a una sola familia, como el Halcón perdiguero (*Falco femoralis*) o el Carancho cordillerano (*Daptrius megalopterus*). Con respecto a los Psittaciformes, en la región solo están representados por el Loro Tricahue (*Cyanoliseus patagonus bloxami*, ver Recuadro 17.2).



Halcón perdiguero, *Falco femoralis*

Foto: Saskia Hostens, RedAves



Carancho cordillerano, *Daptrius megalopterus*

Foto: Saskia Hostens, RedAves

Finalmente, en la rama terminal del árbol evolutivo de las aves, encontramos al linaje más reciente y biodiverso, que corresponde a los Passeriformes, que evolucionaron aproximadamente hace 66,8 Ma. Este orden corresponde a lo que comúnmente llamamos pájaros, y en Atacama podemos observar respresentantes de 15 familias, con un total de 79 especies. De este extenso grupo de aves, podemos encontrar especies tan emblemáticas como el Cometocino de Gay (*Phrygilus gayi*, Thraupidae) Chirihue verdoso (*Sicalis olivascens*, Thraupidae), la Loica (*Leistes loyca*, Icteridae), la Viudita (*Colorhamphus parvirostris*, Tyrannidae), la Dormilona de nuca rojiza (*Muscisaxicola rufivertex*, Tyrannidae), la Tenca (*Mimus thenca*, Mimidae) y el Tapaculo (*Scelorchilus albicollis*, Rhinocryptidae), esta úlima, endémica de Chile.



Tenca, *Mimus thenca*

Foto: Rubén Barraza, RedAves

Agradecimientos

Este trabajo ha sido elaborado con imágenes proporcionadas por miembros de la ONG REDAVES, una Red de Observación y Conservación de Aves Silvestres del norte Chico de Chile (www.redaves.cl - instagram.com/redaveschile - facebook.com/redaves) que tiene como fin contribuir a que las personas establezcan una relación armónica con su medio ambiente natural y humano, promoviendo la observación de aves silvestres, la conservación y protección de los ecosistemas y hábitats vulnerables. Esta ONG ha desarrollado proyectos en el norte chico, con fuentes de financiamiento nacional e internacional, acompañando a miles de personas a través del mundo de la observación de aves. Especial agradecimiento por facilitarnos el uso de sus fotos a los colaboradores Saskia Hostens, Rubén Barraza, Laura Valdivia, Marcelo Olivares, Freddy Olivares y Manuel Rojas. Finalmente queremos agradecer a los autores de las siluetas de la plataforma Phylopic.org, las cuales provienen de: Andy Wilson (*Columba livia*, *Coragyps atratus*, *Falco peregrinus*, *Podilymbus podiceps*), Ferran Sayol (*Callipepla*, *Caprimulgus*, *Cyanoliseus patagonus*, *Rhea americana*, *Tadorna*, *Trochilidae*, *Tyto alba*), George Edward Lodge (*Tinamus major*), Juan Carlos Jerí (*Oceanites*, *Spheniscus humboldti*), Marie-Aimée Allard (*Chroicocephalus novaehollandiae*, *Phaethon lepturus*), Mathieu Pélissié (*Grus grus*), Sharon Wegner-Larsen (*Catharus ustulatus*), Steven Traver (*Pandion haliaetus*) y Annalee Blysse (*Pelecanus occidentalis*).



Cometocino de Gay, *Phrygilus gayi*

Foto: Saskia Hostens, RedAves



Chirihue verdoso, *Sicalis olivascens*

Foto: Marcelo Olivares, RedAves



Loica, *Leistes loyca*

Foto: Felipe Méndez, RedAves



Viudita, *Colorhamphus parvirostris*

Foto: Marcelo Olivares, RedAves



Dormilona de nuca rojiza, *Muscisaxicola rufivertex*

Foto: Saskia Hostens, RedAves



Tapaculo, *Scelorchilus albicollis*

Foto: Felipe Méndez, RedAves

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 17.1:235-240



Recuadro 17.1 Aves de Atacama: riqueza de especies y riqueza funcional

Pamela Núñez, Guillermo Luna-Jorquera, Roberto Aguilar & Alejandro Simeone

Introducción

Las aves han colonizado casi todos los ambientes de la tierra, desde los polos al trópico, y desde el mar hasta los desiertos más áridos y secos del mundo. Las aves son componentes claves de la biodiversidad a nivel global colaborando en el funcionamiento y mantención de los procesos ecológicos a diversas escalas espaciales y temporales. En adición a esto, las aves atraen a un gran número de personas que disfrutan de su observación en los ambientes naturales, prestando así un servicio que beneficia directamente a los humanos.

La avifauna de la región de Atacama se encuentra determinada por la escasa disponibilidad de agua y su geografía. Esta región está ubicada en una zona de transición entre el desierto híper árido de Antofagasta y la región mediterránea árida de Coquimbo (Juliá et al. 2008). Dentro de este territorio se pueden encontrar más de una veintena de órdenes y familias de aves que habitan desde la costa hasta la cordillera pasando por diversos tipos de ambientes. Además, en Atacama se encuentra la formación Bahía Inglesa que contiene fósiles de unas 17 especies de aves que datan del Mioceno medio hasta el Plioceno (ver Capítulo 3).

La Región de Atacama presenta extensas zonas áridas que impone fuertes presiones ambientales, tales como la escasez de agua, las altas temperaturas y la alta radiación solar. Otros factores limitantes tales como la distribución dispersa y escasa de alimento, y de sitios de nidificación o descanso, afectan en modo particular a las aves terrestres. Para hacer frente a estas condiciones las aves han desarrollado diversas adaptaciones que les permiten subsistir y asegurar su descendencia a pesar de la hostilidad del entorno. En general en los vertebrados estas adaptaciones están bien integradas entre sí e incluyen respuestas morfológicas, fisiológicas



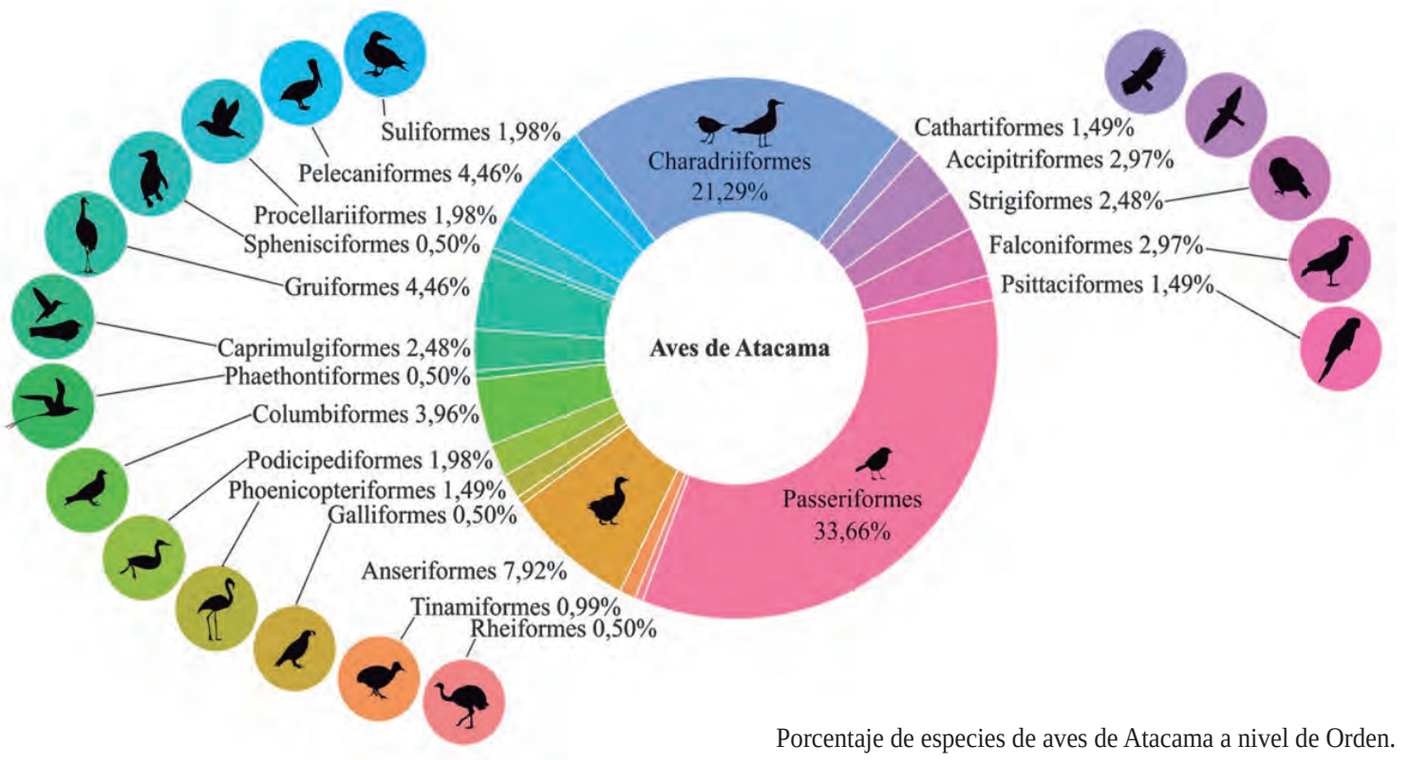
y de comportamiento. Como ejemplo de estas respuestas se pueden observar patrones de coloración (generalmente adaptados a los colores del desierto y matorral seco), la forma y el tipo de consumo de alimento, los patrones de consumo de agua, la regulación del agua corporal, comportamiento de termorregulación, cronología de la reproducción y ecología de la reproducción (Maclean 1996). Cada especie presenta su propio repertorio de respuestas adaptativas cuyo objetivo es equilibrar el consumo de alimento (energía), con los requerimientos de energía para la mantención y reproducción, de tal modo que cada especie presenta sus propias estrategias de vida que les permiten co-existir con las demás especies que habitan la región.

El aumento de las temperaturas y el avance de la desertificación en los últimos siglos ha acentuado la dispersión de los recursos y el aumento de la pérdida de hábitats, lo que ha afectado los patrones de diversidad de aves tanto locales como globales. En ese sentido, el estudio de los patrones de diversidad en zonas áridas junto a los mecanismos subyacentes es de gran importancia para comprender el funcionamiento de los ecosistemas y los impulsores de la biodiversidad. En este capítulo se describe la diversidad de la avifauna de Atacama, incluyendo sus principales características de historia natural.

Riqueza de especies de aves y sus estados de conservación

En la región de Atacama se encuentran 274 especies de aves clasificadas en 22 órdenes y 54 familias diferentes (Billerman et al. 2022). Los órdenes Passeriformes (33,6%), Charadriiformes (25,3%), Anseriformes (7,3%) y Pelecaniformes (6,4%) son los más representados, mientras que las familias más diversas son Tyrannidae (8,9%), Scolopacidae (7,4%), Furnariidae (5,9%) y Thraupidae (5%).

En general, se espera que los niveles de especiación y endemismo



Porcentaje de especies de aves de Atacama a nivel de Orden.

de las aves en las zonas desérticas sean bajos, al igual que el número de especies (Wiens 1991, Maclean 1996). Al igual que en otras zonas áridas del mundo y excluyendo los paseriformes, las familias Furnariidae y Tyrannidae, entre otras, contribuyen de forma importante en la avifauna local de Atacama. El porcentaje de endemismo a nivel de la región no supera el 3%, destacando entre ellas el Canastero (*Pseudasthenes humicola humicola*), la turca *Pteroptochos megapodius*, el tapaculo *Scelorchilus albicollis*, el churrete costero *Cinclodes nigrofumosus* y el churrín del norte *Scytalopus fuscus*). Además, al igual que en el resto del país, en Atacama se encuentran algunas especies de aves introducidas que se han naturalizado y hoy forman parte del paisaje urbano y rural de nuestro país. Algunas de estas especies son la Codorniz *Callipepla californica*, el gorrión *Passer domesticus*, la paloma común *Columba livia*, y la Cotorra argentina *Myiopsitta monachus*. Esta última especie ha sido declarada como plaga por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) por los daños que ocasiona a algunas actividades agrícolas.

Según el Reglamento de Clasificación de especies (RCE; MMA 2021) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN 2022), ambas clasificaciones de los estados de conservación de las especies, el número de especies con un grado de amenaza importante, i.e., Vulnerable (VU), En Peligro (EP) y En Peligro Crítico (CR) es bastante similar en ambos casos (10% y 13% respectivamente). Hasta la fecha del proceso 17 del RCE, cerca de un tercio de las especies de aves presentes en Atacama estaba clasificada (ver Capítulo 20); 27 de ellas en categoría de amenaza, mientras en la UICN la mayoría de las especies (90,6%)

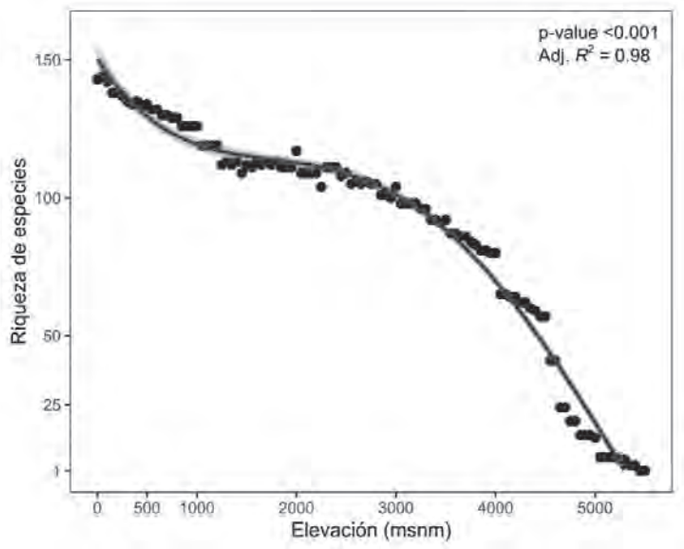
se encuentra en el grado de preocupación menor (LC). De las cuatro especies que están catalogadas En Peligro (EP) según el RCE, solo el Pidencito (*Laterallus jamaicensis*) tiene la misma categoría también en la UICN (2022). La mayoría de las especies que tienen un grado de amenaza alto también presentan tendencias poblacionales en descenso, sin embargo, hay dos especies que necesitan mayor atención pues sus estimaciones poblacionales se desconocen; estas son el Caití (*Recurvirostra andina*) y la golondrina de mar chica (*Oceanites gracilis*, ver recuadro 17.3).

Riqueza de especies de las aves en el gradiente altitudinal

En ecosistemas terrestres la riqueza de especies disminuye al aumentar la elevación debido a la disminución de la temperatura y la productividad (Rahbek 1995). Esta relación ha sido bastante estudiada estableciéndose como un patrón general, sin embargo, la forma de esta relación puede variar según el grupo estudiado, la zona geográfica y la escala espacial (Qian et al. 2022). La importancia de estudiar los gradientes altitudinales y su efecto en la biodiversidad radica en que mejora nuestra comprensión de los factores que dan forma a los patrones de riqueza y diversidad local y global (McCain & Grytnes 2010).

En Atacama, la riqueza de especies está negativamente relacionada con la elevación y muestra tres cambios de pendiente. El segmento altitudinal desde los 0 a los 1000 msnm (metros sobre el nivel del mar) es el que presenta el mayor número de especies. En esta zona hay una mayor influencia de la humedad y nubosidad costera que permite la existencia de vegetación, sobre todo en años lluviosos; además existen humedales y desembocaduras de ríos que en conjunto generan condiciones propicias para una alta riqueza de especies de aves. Entre los 1000 a los 3000 msnm la relación tiene una pendiente menos pronunciada. Este segmento corresponde al clima desértico transicional que es más árido, con menos humedad y precipitaciones que el anterior, y la amplitud del ciclo diurno de temperatura es mayor. Finalmente, en el segmento entre los 3000 y los 5500 msnm ocurre una disminución drástica de la riqueza de especies. Este segmento comprende los climas desierto frío de montaña y tundra de alta montaña (Ver Capítulo 1 y 2). El primero se caracteriza por tener la mayor parte de los días del año despejados con un contraste importante en las temperaturas diarias y con una humedad relativa baja, y el segundo se caracteriza por tener temperaturas que oscilan alrededor de los 0°C todo el año y en la época más cálida no sobrepasa los 10°C. Las precipitaciones son variables y principalmente en forma de nieve y el contraste térmico diario es mayor alcanzando los 15°C. En síntesis, la gradiente ambiental en Atacama es marcada; en altitudes bajas e intermedias las condiciones ambientales son más estables y favorables para albergar una alta riqueza de especies de aves. En ambientes de altura el aumento de la severidad en las condiciones ambientales produce una fuerte superposición de nichos que explica, al menos en parte, la disminución de la riqueza de especies de aves (Díaz & Cabido 2001).

El perfil ambiental y geográfico de Atacama también se ha relacionado con al menos 3 biomas faunísticos diferentes (Mann 1960), el bioma del desierto, bioma de estepa y bioma de alta montaña. El bioma del desierto incluye las comunidades



Relación entre la riqueza de especies de aves y la elevación en la región de Atacama, Chile. El 98% de la disminución en la riqueza se explica por la elevación ($p < 0.001$).

relacionadas a los salares, también asociados a cuencas endorreicas de esta zona, que se encuentran sobre los 3000 msnm Aquí comienzan a aparecer especies como el Suri (*Rhea pennata tarapacensis*), la Parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*), la Kiula andina o Perdiz de la puna (*Tinamotis pentlandii*), la Tagua cornuda (*Fulica cornuta*), la Becacina de la Puna (*Gallinago andina*), la Tortolita cordillerana (*Metriopelia melanoptera*) y el Chorlo de campo (*Oreopholus ruficollis*). A partir de los 2300 msnm también se encuentran especies como el Piuquén (*Chloephaga melanoptera*), la Parina grande (*Phoenicoparrus andinus*), el Chorlo de la puna (*Charadrius alticola*), el Picaflor cordillerano (*Oreotrochilus leucopleurus*), el Caití (*Recurvirostra andina*), la Gaviota andina (*Chroicocephalus serranus*), el Colegial del norte (*Lessonia oreas*), la Dormilona cenicienta (*Muscisaxicola cinereus*), el Minero de la puna (*Geositta punensis*) y el Chirigüe cordillerano (*Sicalis uropigyalis*). El bioma de alta montaña se encuentra sobre los 5000 msnm y está asociado a la puna desértica. Ninguna de las especies que se encuentra en esta zona comienza a aparecer desde los 5000 msnm, sino que están presentes desde altitudes más bajas. Estas especies son la Kiula andina o Perdiz de la puna, la Becacina de la puna (*Gallinago andina*), el Piuquén, el Pato Juarjual (*Lophonetta specularioides alticola*), la perdicita cordillerana (*Attagis gayi gayi*), la Gaviota andina (*Chroicocephalus serranus*), el Cóndor andino (*Vultur gryphus*), el Aguilucho común (*Geranoaetus polyosoma*), el Carancho cordillerano (*Phalcoboenus megalopterus*), el Minero de la puna (*Geositta punensis*), el Minero grande (*Geositta isabellina*), el Churrete de alas blancas (*Cinclodes atacamensis*) y el Cometocino del norte (*Phrygilus atriceps*). Estas especies dependen de la disponibilidad de agua, de alimento y de la presencia de vegetación de la puna, que en la región de Atacama se asocia a vegas y márgenes de salares (Fuenzalida 1950).

A altitudes bajas e intermedias, entre los 0 a los 2000 msnm se

concentra una mayor riqueza de avifauna. Destacan el Minero (*Geositta cunicularia*), Canastero (*Pseudasthenes humicola humicola*), ave endémica para Chile, Golondrina chilena (*Tachycineta leucopyga*), Tenca (*Mimus thenca*), Platero (*Rhoposopina alaudina alaudina*), Trile (*Agelasticus thilius thilius*), Loro tricahue (*Cyanoliseus patagonus bloxami*, ver Recuadro 17.2) entre otras, todas ellas con el límite norte de su distribución en la región de Atacama lo que demuestra la barrera geográfica que significa para muchas especies la zona desértica de la región. En ambientes costeros destacamos al Chorlo ártico (*Pluvialis squatarola*), visitante de verano proveniente del hemisferio norte, el Pilpilén (*Haematopus palliatus palliatus*), la



Becacina de la Puna, *Gallinago andina*

Foto: Roberto Aguilar



Pato Juarjual, *Lophonetta specularioides alticola*

Foto: Felipe Méndez, RedAves



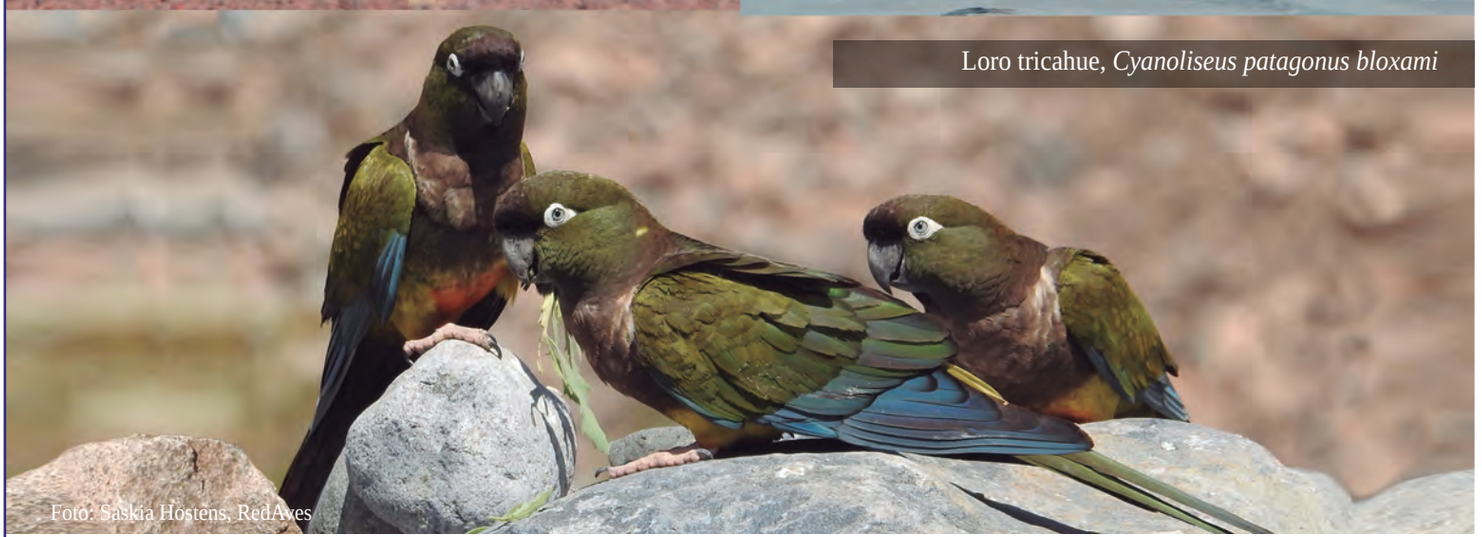
Kiula o Perdiz de la Puna, *Tinamotis pentlandi*

Fotos: Roberto Aguilar



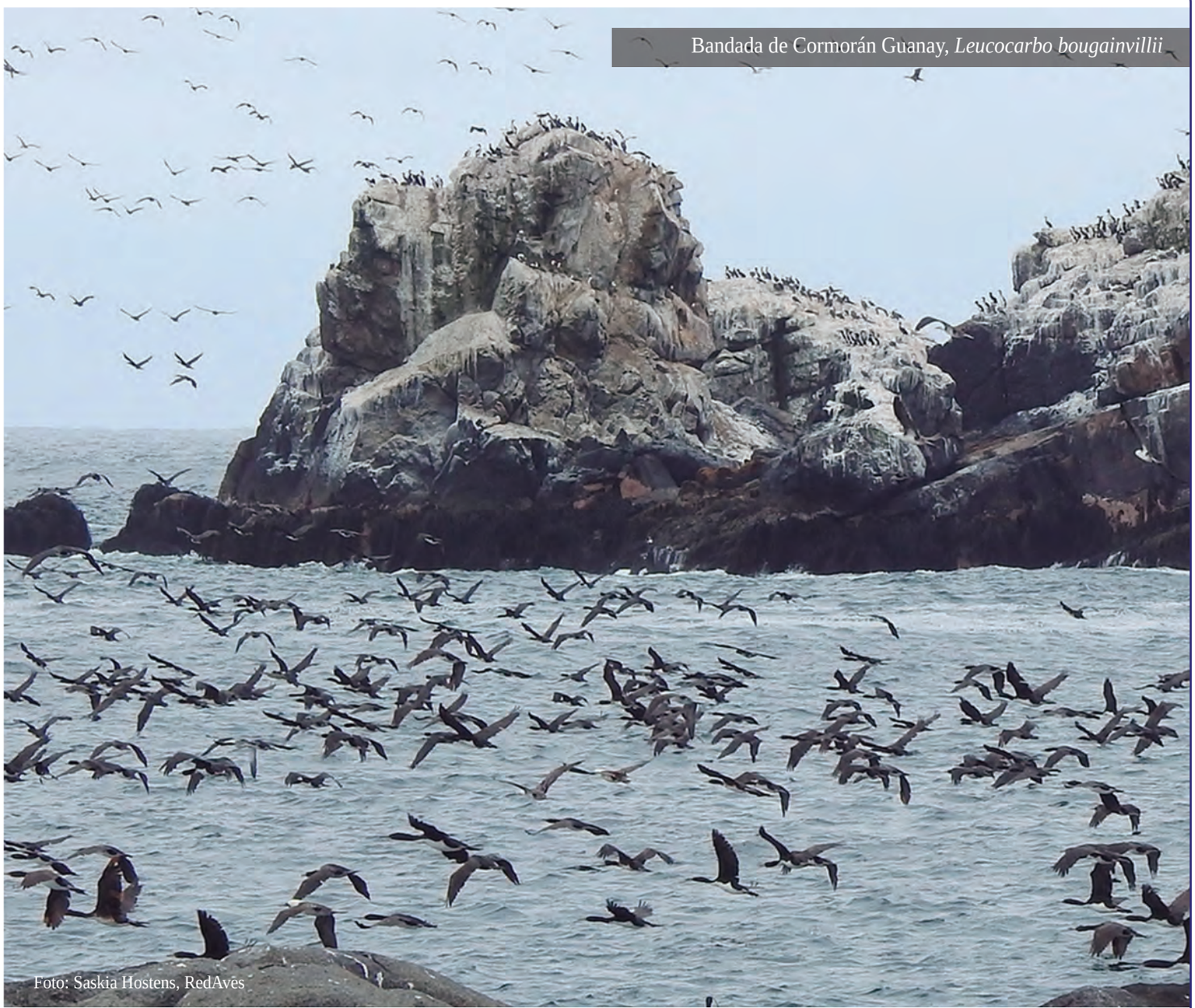
Albatros de ceja negra, *Thalassarche melanophris*

Foto: Saskia Hostens, RedAves



Loro tricahue, *Cyanoliseus patagonus bloxami*

Foto: Saskia Hostens, RedAves



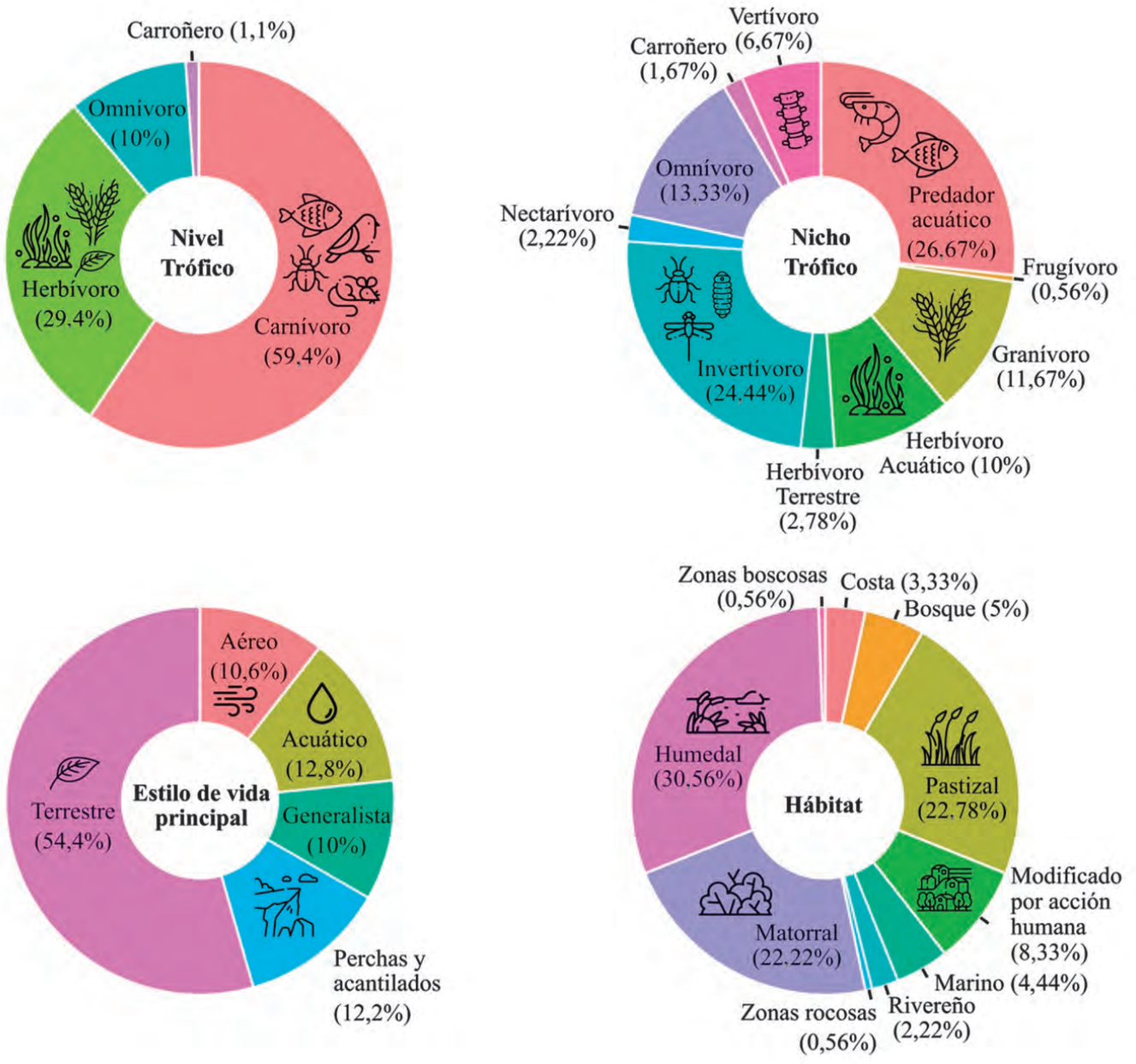
Bandada de Cormorán Guanay, *Leucocarbo bougainvillii*

Foto: Saskia Hostens, RedAves

Gaviota garuma (*Leucophaeus modestus*), el Playero blanco (*Calidris alba*), la Garza azul (*Egretta caerulea*), el Cuervo de pantano (*Plegadis chihi*). Finalmente, en la zona marina pelágica hasta las 200 millas marinas náuticas destacan especies altamente pelágicas tales como la Fardela negra (*Ardenna griseus*) y el Albatros de ceja negra (*Thalassarche melanophris*); estas especies no nidifican en la región y realizan largos vuelos desde el islas lejanas para alimentarse frente a la costa de Chile. En ambientes más costeros se encuentran especies son endémicas del Sistema de la Corriente fría de Humboldt que presentan características de historia de vida y adaptaciones que les permite subsistir en un ecosistema marino afectado por la ocurrencia periódica de los eventos El Niño (Luna-Jorquera et al. 2003); destacan en este sentido especies como el Yunco (*Pelecanoides garnotti*), el Piquero (*Sula variegata*), el Guanay (*Leucocarbo bougainvillii*), el Lile (*Phalacrocorax gaimardi*), y el Pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*).

Nicho trófico, nivel trófico y hábitat de las aves de Atacama

La dieta y el hábitat son rasgos ecológicos que permiten diferenciar grupos de aves según la forma en que utilizan recursos como el alimento y el espacio. La clasificación de las especies de aves de Atacama según su nivel trófico, nicho trófico y estilo de vida principal está basada en la base de datos AVONET (Tobias et al. 2022). Las categorías alimenticias están basadas en la proporción dietética de cada especie donde hay 4 niveles tróficos, carnívoro, herbívoro, omnívoro y carroñero; y 9 nichos tróficos que abarcan los principales recursos utilizados por las aves. La mayoría de las especies de aves se especializan en un solo nivel trófico y, dentro de este, en un solo nicho trófico. El resto son omnívoros que explotan múltiples niveles y/o nichos tróficos (Tobias et al. 2022). El estilo de vida principal está clasificado según su nicho locomotor predominante durante la búsqueda de alimento. Esta es una dimensión independiente de la dieta, ya que hay especies que comen peces y pueden ser acuáticas (ej. pelícano), aéreas (ej.

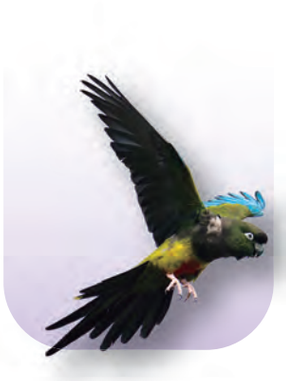


Clasificación de las aves de Atacama según su alimentación y estilo de vida según su: a) nivel trófico, b) nicho trófico, c) estilo de vida principal y d) hábitat principal. Los datos son en porcentaje respecto del total de aves de Atacama (n = 274). Categorías de acuerdo a Tobias et al. (2022).

gaviotín), terrestres (ej. garza) o de perchas y acantilados (ej. martín pescador, en el centro-sur de Chile).

La mayor parte de las aves de Atacama se ubican el nivel trófico Carnívoros (59,4%) seguido por herbívoros (29,4%) y omnívoros (10%); la mayor parte de ellas son son predadores acuáticos (26,6%) o invertívoros (24,4%), es decir, consumidores de invertebrados, seguido por omnívoros (13,3%), y granívoros (11,7%). El estilo de vida principal de las aves de Atacama es terrestre (54,4%) y los principales hábitats son humedales (30,6%), seguido por pastizales (22,8%) y matorrales (22,2%). Además, un porcentaje no menor se ha adaptado a vivir en ambientes modificados por la acción humana (8,3%).

Estos patrones en la alimentación y estilos de vida muestran la importancia de la disponibilidad de agua y la vegetación para las aves de Atacama. Si bien es una zona desértica, estos organismos dependen directamente de la disponibilidad de áreas con agua y vegetación como los humedales, pastizales y matorrales, la vegetación de los valles y los bofedales. Lamentablemente a raíz de la sequía y la extracción desmedida del agua para la minería y la agricultura (Meza & Sturla 2015, Moscoso 2015, Alam & Sepúlveda 2022) estos hábitats se encuentran bajo una presión de degradación cada vez mayor. Así, el impacto de las actividades humanas ha aumentado el riesgo de extinción de algunas especies. La pérdida de hábitats y especies altera significativamente los patrones de riqueza y diversidad tanto locales como globales alterando significativamente el normal funcionamiento de los ecosistemas naturales, poniendo en riesgo nuestra propia existencia como seres humanos.



Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 17.2:241-244

Recuadro 17.2 El loro del desierto

Myriam Ramírez-Herranz

El Loro Tricahue (*Cyanoliseus patagonus bloxami*) es una subespecie endémica chilena del loro barranquero, un psitácido de gran tamaño y vistosos colores, que nos recuerda a otros loros amazónicos. Esta emblemática ave chilena posee una adaptabilidad sorprendente a diversos tipos de ambiente. Sus poblaciones del norte chico (regiones de Atacama y Coquimbo) resisten las dificultades del límite sur del desierto de Atacama, en contraposición con sus poblaciones que habitan el bosque esclerófilo en las regiones de O'Higgins y el Maule.

El loro barranquero es una de las especies más antiguas de los 164 psitácidos presentes actualmente en el Neotrópico (Sudamérica, Centroamérica y las Islas del Caribe), los que diversificaron por el continente americano hace aproximadamente 23 millones de años (Ramirez-Herranz et al. 2024, Jetz et al. 2012). Esta especie se originó aproximadamente hace 10 millones de años en el norte de Chile, y tras un único evento de colonización, cruzó la cordillera y diversificó por Argentina y Uruguay, dando lugar a las otras tres subespecies de loro barranquero que hoy existen. Actualmente es la única especie que persiste de su género (Masello et al. 2011).



Loro Tricahue, *Cyanoliseus patagonus bloxami*
Tamaño: 45 cm (cabeza a cola), 65 cm (con alas extendidas)

Foto: Álvaro Salazar

Se trata de una de las pocas especies de loro que excava su nido en barrancos fluviales de gran tamaño, formando galerías de más de un metro y medio de profundidad (Vargas & Squeo 2014). Esta conducta de nidificación le permite conformar grandes colonias reproductivas. En Atacama, la única colonia reproductiva estable conocida del Loro Tricahue se encuentra en Incahuasi, al sur de la región. Este barranco artificial, es la colonia reproductiva más septentrional de la especie en Chile, con más de 200 individuos reproduciéndose año tras año (Ramirez-Herranz et al. 2017). Actualmente no se tiene registro del establecimiento de ninguna otra colonia reproductiva en la región, aunque se conocen barrancos dispersos de uso intermitente al interior de Cachiyuyo, el Sector del Observatorio de la Silla y Domeyko. Excavar su propio nido tiene un alto costo energético, por ello, año tras año, cada pareja vuelve al mismo barranco para reparar, limpiar y defender su nido. Por esa razón, los individuos permanecen en los barrancos casi todo el año, y solo los abandonan un par de meses tras acabar su temporada reproductiva.

En contra del pensamiento popular, el Loro Tricahue no duerme en los barrancos. Al atardecer, se reúnen formando enormes grupos que se desplazan a sus dormideros. Los loros en el norte presentan el peculiar comportamiento de dormir encima de cactus columnares (*Eulychnia acida*), a los cuales, les quitan las espinas superiores para poder posarse.

Para el Loro Tricahue, los ecosistemas áridos son un constante desafío en busca de agua y alimento. Los individuos recorren grandes distancias diariamente en busca de frutos de arbustos nativos como la algarrobilla (*Balsamocarpon brevifolium*), el carbonillo (*Cordia decandra*), la alcaparra (*Senna cumingii*) y el pacúl (*Krameria cistoidea*). En los últimos años, debido a escasez de agua en afloramientos naturales, es frecuente observar grandes grupos abasteciéndose de esta en majadas o casas, donde las personas les instalan bebederos. Este comportamiento es muy común en las poblaciones del norte, donde los individuos frecuentan estas majadas diariamente.

La caza ilegal, la pérdida de hábitat, y actualmente las electrocuciones en los tendidos eléctricos, son las principales amenazas para sus poblaciones del norte. Tras la prohibición de su caza y la tenencia de individuos, ha ocurrido un cambio en la percepción de las personas para con la especie, siendo conscientes de la necesidad de su protección y cuidado. Una prueba de ello es que en los últimos años el Loro Tricahue ha vuelto a estar presente en localidades históricas de su distribución, tanto en la región de Atacama, como en sus poblaciones del sur (González et al. 2017). Este fenómeno de recolonización de territorios de distribución histórica se puede observar actualmente en localidades del interior de Vallenar o cerca de Copiapó (ver mapa).

El Loro Tricahue es una especie enigmática, además de ser un tesoro evolutivo en Chile. Su gran capacidad de aprendizaje (característica común en los grandes loros) (Sayol et al. 2016) le brinda la habilidad de desarrollar diversas estrategias que le han permitido prosperar en ambientes diversos y exigentes, como los presentes en la región de Atacama.


Pareja de Tricahues


Huevo


Juvenil

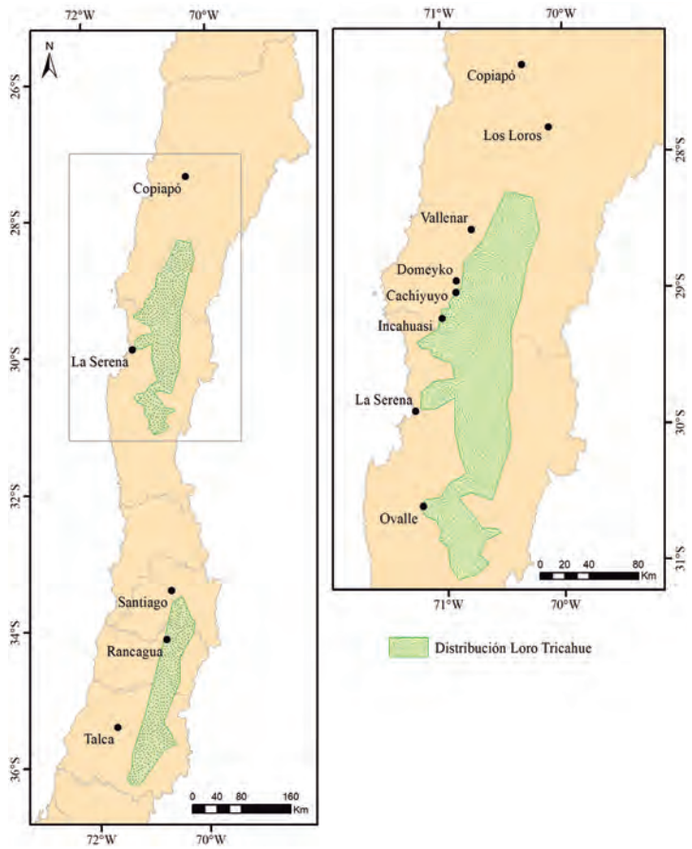




Guardería de juveniles, Cachiyuyo



Lorera Incahuasi



Distribución del Loro Tricahue en Chile y en la región de Atacama (fuente: eBird 2022, BirdLife 2021, GBIF 2020, Universidad de La Serena). Estado de conservación: En Peligro (regiones de Atacama y Coquimbo); Vulnerable (regiones de O'Higgins y del Maule) (Galaz 2005).



Dormidero sobre *Eulychnia acida*



Algarrobilla

Pacúl



Tricahue comiendo fruto de espino

Foto: Felipe Méndez

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 17.3:245-247



Recuadro 17.3 Golondrinas de mar, una vida en el océano después de una vida en el desierto

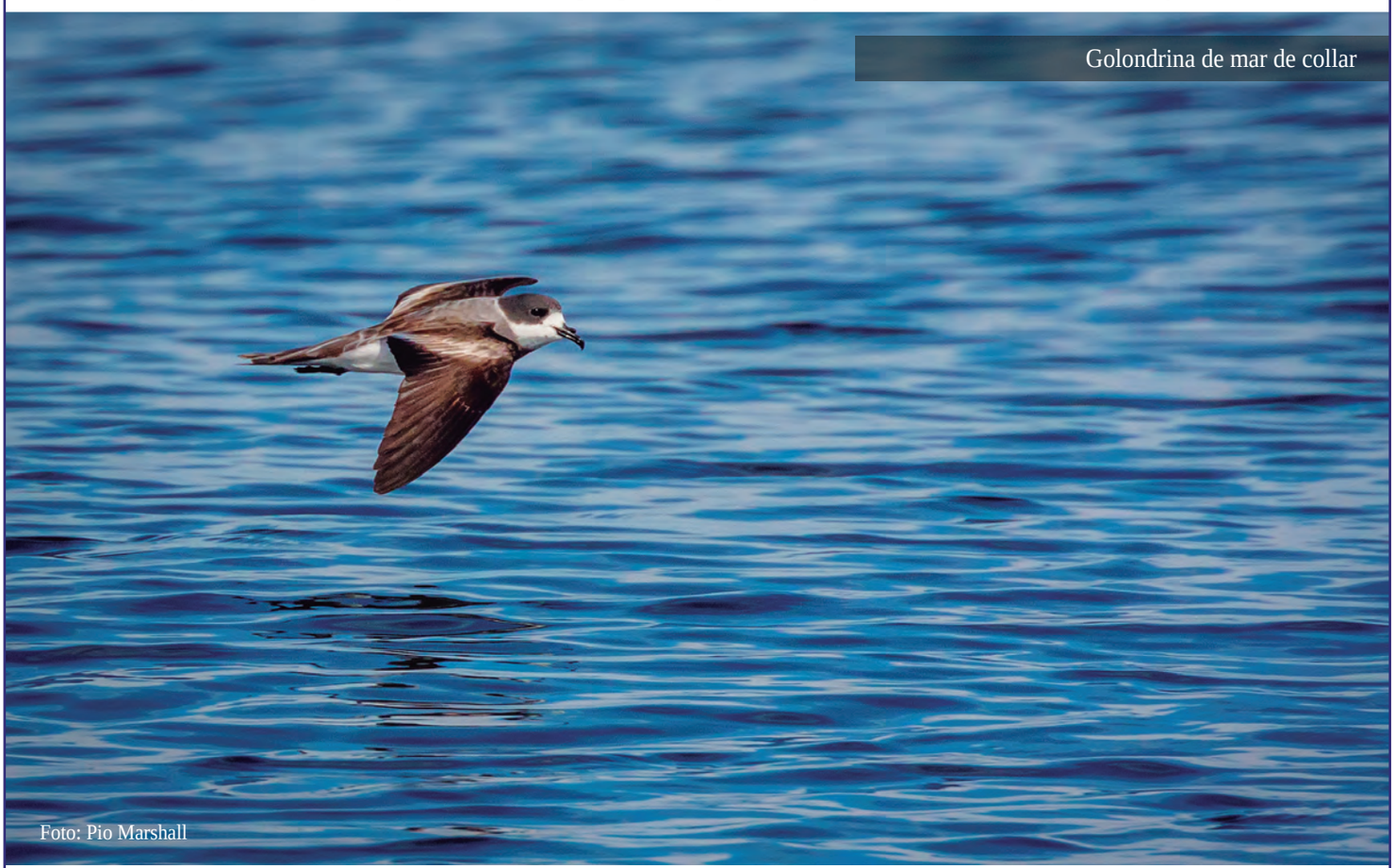
Rodrigo Silva C.

Las golondrinas de mar pertenecen al orden Procellariiformes y de la familia Hydrobatidae y Oceanitidae, son especies fascinantes, que conectan dos mundos opuestos: las aguas frías de la corriente de Humboldt con el calor abrasante del desierto de Atacama.

Estos pequeños petreles habitan aguas marinas alejadas de la costa, donde se alimentan de pequeños cefalópodos y peces. Están adaptadas a la vida en este medio, por lo que poseen un tubo nasal por el que eliminan el exceso de sal y patas palmeadas, con las que se impulsan sobre el agua. Nidifican en pequeñas cuevas naturales, que se ubican en islas y salares, los que visitan durante la noche y reutilizan año tras año.

La nidificación de la golondrina de mar de collar (*Hydrobates hornbyi*) fue, hasta hace poco, uno de los mayores misterios de la ornitología neotropical, pues ningún nido había sido encontrado hasta 2017. Hoy sabemos que la especie anida en la pampa del Indio Muerto, ubicada al noreste de Diego de Almagro, a más de 75 km tierra adentro desde la costa (Barros et al. 2018). Como sus áreas de alimentación se encuentran a más de 30 km al interior del océano Pacífico, esta pequeña ave marina debe realizar viajes de más de 100 km cada noche, para alimentar a sus crías durante un par de minutos y regresar mar adentro. En este mismo sector también nidifica la golondrina de mar chica (*Oceanites gracilis*) (Barros et al. 2020). El estado de conservación en Chile de ambas especies es Vulnerable (Ver Capítulo 20).

La golondrina de mar peruana (*Hydrobates tethys*), anida en la isla Grande de Atacama, en grietas en el suelo o en laderas de quebradas, junto al yunco (*Pelecanoides garnotii*) y el pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) (Luna 2018). Si bien este es el único sitio de reproducción actualmente conocido en Chile, es probable que también nidifican cerca de Arica y la desembocadura



Golondrina de mar de collar

Foto: Pio Marshall

del río Loa.

Las principales amenazas para este grupo son la destrucción de sitios de reproducción por minería y proyectos de generación eólica o fotovoltaica; y la contaminación lumínica, que genera la atracción y caída masiva de juveniles cada temporada (Silva et al. 2020). En ese escenario, es urgente identificar y resguardar los sitios de nidificación en la región y proteger el cielo nocturno, iluminando menos y mejor (Oikonos-ROC-OPCC 2022).

Si bien ha habido avances en su conservación, como la elaboración del Plan de recuperación, conservación y gestión de las golondrinas de mar del norte de Chile; y la nueva norma de emisión que regula la contaminación lumínica, aún es un desafío compatibilizar la



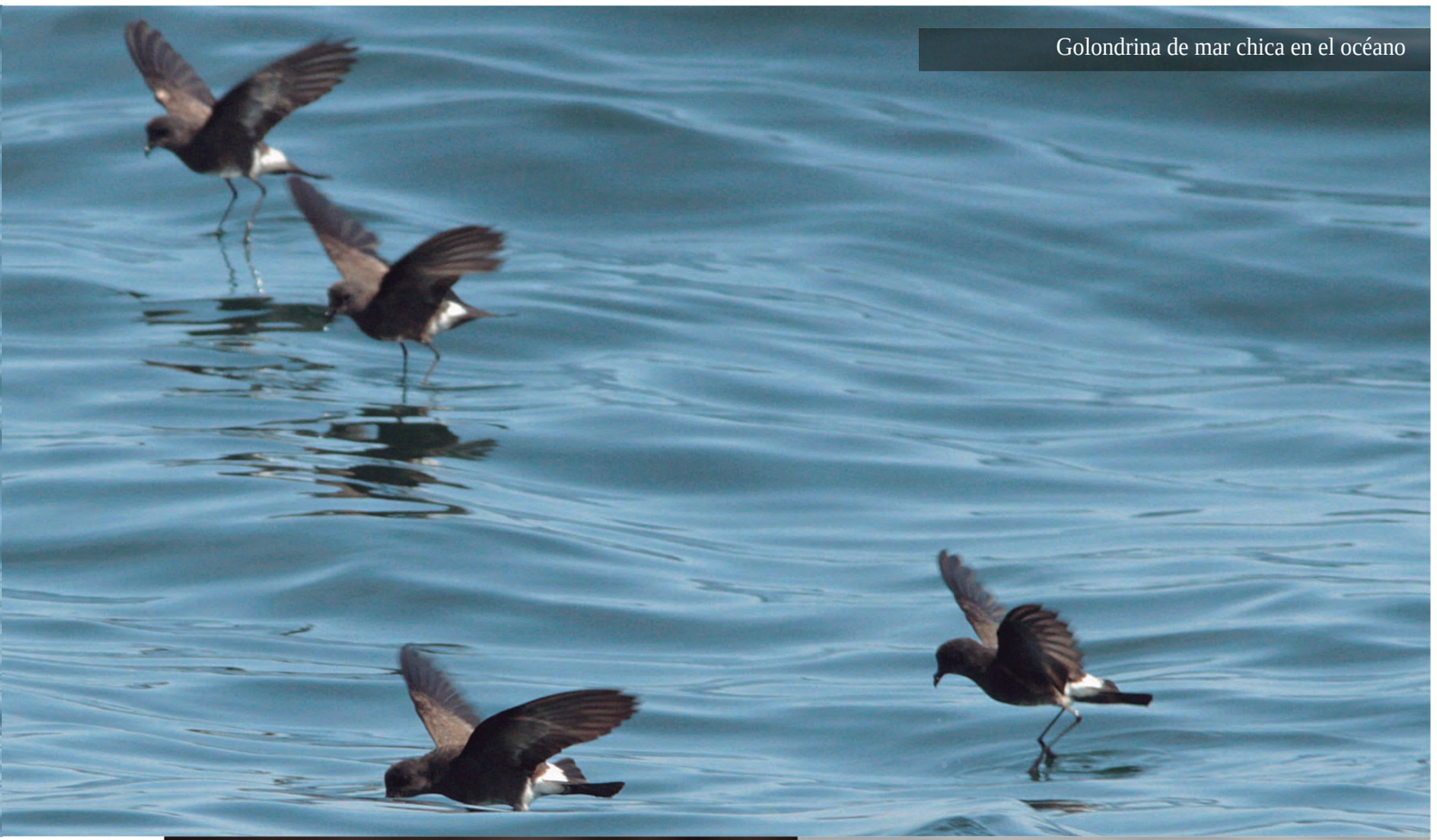


Pampa del Indio Muerto en Diego de Almagro

Foto: Felipe de Groote

generación de energía a través de fuentes renovables con la conservación de sus sitios de reproducción. Todo esto, en un contexto de crisis climática y de biodiversidad.

Aún queda mucho por descubrir en Chile y esto es particularmente cierto para las aves marinas en la región de Atacama. La mitad norte de la región tiene el potencial de albergar sitios de reproducción tanto de las golondrinas de mar chica y de collar, como de la gaviota garuma (*Leucophaeus modestus*); y sus islas, el potencial de albergar la reproducción de las golondrinas de mar chica y peruana. Es de esperar que estas líneas sean una motivación para encontrar y proteger estos sitios.



Golondrina de mar chica en el océano



Golondrina de mar chica en nido

Foto: Cristian Pinto



Golondrina de mar peruana

Foto: Jorge Fuentes

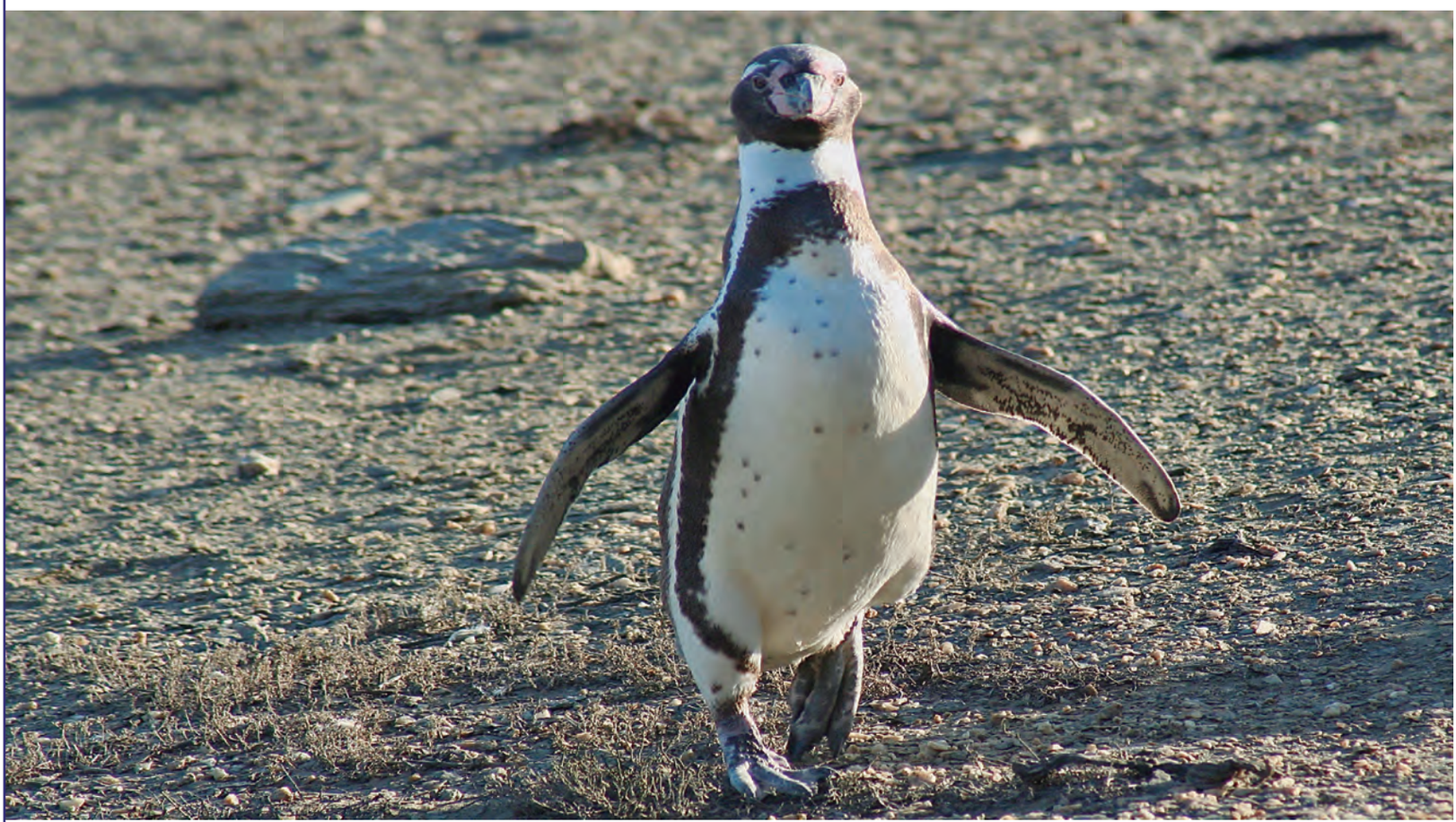
Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 17.4:248-250



Recuadro 17.4 El Pingüino de Humboldt, un buceador experto

Guillermo Luna-Jorquera

El Pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) es una especie endémica del Sistema de la Corriente de Humboldt. Su rango reproductivo se extiende desde isla Foca (5º 12’ S, Perú), hasta la isla Metalqui (42º 12’ S, Chiloé, sur de Chile). En la Región de Atacama las colonias reproductivas más importantes se encuentren en las islas Pan de Azúcar, Grande de Atacama y Chañaral. Durante el periodo reproductivo el peso promedio de los machos y las hembras es de 4.8 kg (rango: 4.5 – 5.6 kg), y 4.1 kg (rango: 3.4 – 4.6 Kg), respectivamente (R. Quispe *datos no publicados*). De alto miden entre 65 a 70 cm. Aunque los machos son más grandes que las hembras, no hay diferencias de plumaje entre los sexos.



Pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) adulto retornando a su nido después de varias horas en el mar.

El Pingüino de Humboldt está muy bien adaptado al buceo. Su cuerpo es robusto, de forma hidrodinámica, sus alas se transformaron en aletas, las patas son cortas y desplazadas hacia atrás lo que les permite caminar erguidos entre sus nidos y la orilla del mar. Las plumas del cuerpo –especialmente las plumas de las alas– son pequeñas, duras y tienen una forma levemente curva. La forma hidrodinámica del cuerpo y el plumaje reducen significativamente la fricción y la turbulencia durante el buceo, lo que les permite ahorrar energía durante la natación optimizando la relación entre el costo de nadar y el ingreso de energía vía alimentación.

Comportamiento en el mar

Durante el periodo reproductivo el Pingüino de Humboldt se comporta como un predador central, esto quiere decir que los padres van al mar para alimentarse y vuelven al nido para reemplazar a la pareja en las tareas de incubación y alimentación de los pollos.



Pingüino de Humboldt en periodo de incubación. Normalmente pone dos huevos y el periodo de incubación dura 42 días aproximadamente.



Pingüino de Humboldt con polluelos pequeños de no más de 5 días de edad. Desde la eclosión hasta aproximadamente los 33 días de edad, los pollos están siempre acompañados de un adulto y la pareja está en el mar alimentándose. Los viajes de alimentación pueden durar desde 3 hasta 24 horas y vuelven al nido a alimentar a los pollos y reemplazar a la pareja

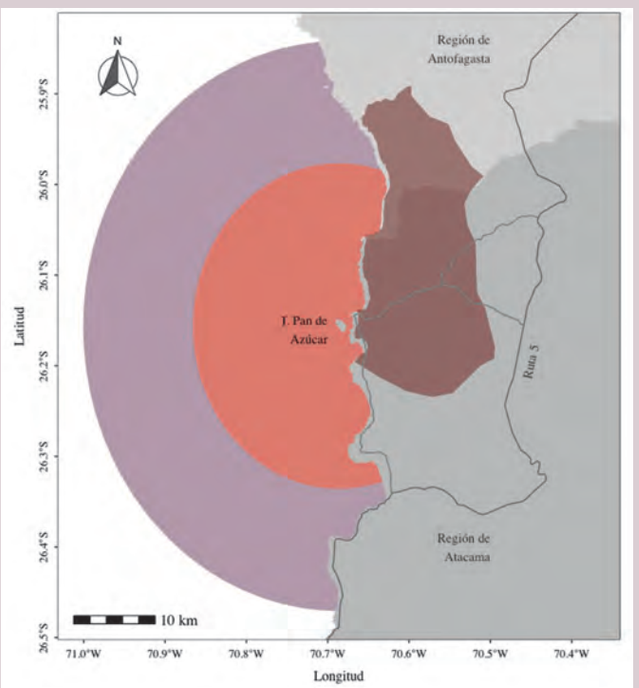


Adulto con dos pollos de más de 33 días de edad. Están mudando el plumón a plumaje de juvenil. Una vez que tengan su plumaje de juvenil completo, lo cual ocurre aproximadamente a los 70 días de edad, estarán listos para ir por primea vez al mar.

Durante la etapa de crianza de los pollos, el rango de alimentación promedio es 20 – 22 kilómetros alrededor de las colonias, aunque el 98% de las veces se encuentran en un radio de 35 kilómetros. Para trasladarse entre las áreas de alimentación y la isla en la cual se ubica la colonia de reproducción, el Pingüino de Humboldt nada a una rapidez promedio de 1,7 m s^{-1} buceando a una profundidad promedio de 1,6 m. A esta velocidad de natación el costo del transporte (i.e., el costo energético de mover un kg de masa corporal por sobre una distancia de 1 metro) se mantiene a un valor mínimo de 7 J [kg m^{-1}]; en otras palabras, nada a una "velocidad crucero" para ahorrar energía que puede usar para aumentar el área de exploración en el mar en busca de sus presas. Y si es necesario escapar de algún predador natural (e.g., lobos marinos, tiburones), puede acelerar ágilmente y alcanzar una rapidez de 6,5 m s^{-1}.

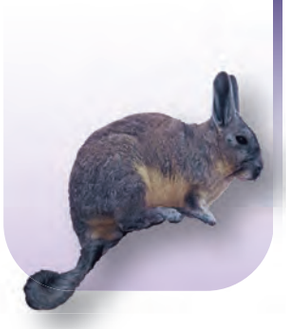
El Pingüino de Humboldt se alimenta principalmente de Anchoveta (*Engraulis ringens*), es un predador altamente eficiente que prefiere cardúmenes pequeños de Anchoveta que se encuentran en el rango de 35 kilómetros alrededor de la colonia. Cuando está cazando acelera a una velocidad promedio de 2,0 m s^{-1}, suficiente para capturar a las anchovetas que nadan en promedio a 0,3 m s^{-1}. Aunque puede bucear hasta los 55 metros de profundidad, el 95% de los buceos de alimentación son entre los 3 y 27 metros, y no necesita bucear más profundo puesto que la Anchoveta se encuentra a una profundidad media de 30 metros; a esta profundidad la luz del sol penetra lo suficiente en la columna de agua lo que le permite al pingüino detectar visualmente a sus presas.

Durante el periodo de crianza de los pollos, un adulto de Pingüino de Humboldt necesita consumir en promedio 530 g de Anchoveta por día. Para la colonia de la isla Pan de Azúcar compuesta por 150 adultos reproductivos (en 2017), la cantidad de Anchovetas necesarias para los 70 días que dura la crianza suma un total de 5,6 toneladas. Si esta demanda de comida supera la disponibilidad de alimento alrededor de la isla, los polluelos pueden morir de hambre. Si esta situación se repite durante varios años, la consecuencia será una disminución de la población del Pingüino de Humboldt.



Rango de alimentación de Pingüinos de Humboldt alrededor de la Isla Pan de Azúcar durante el periodo reproductivo de primavera-verano. La circunferencia más pequeña corresponde al promedio de 20 kilómetros de la costa; la circunferencia más grande corresponde al radio de 35 kilómetros en el cual forrajea el 98% de los pingüinos durante el periodo en que están criando a sus polluelos.

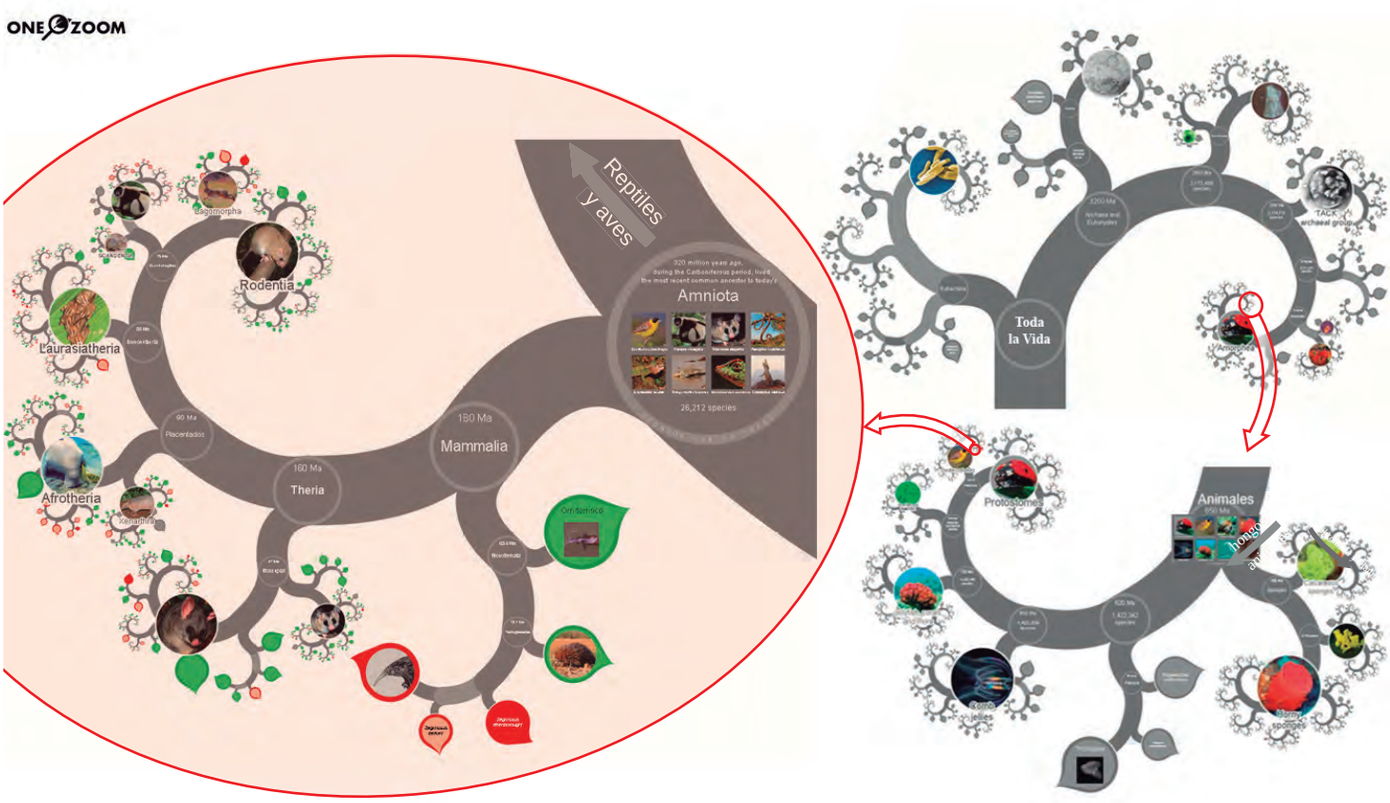
Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 18:251-255



Capítulo 18 Mamíferos de Atacama

Agustín Iriarte & Pablo Valladares-Faúndez

Los primeros mamíferos verdaderos aparecieron hacia finales del periodo Triásico, hace unos 210 millones años (Ma), y se desarrollaron durante la Era Terciaria (Iriarte 2008). Las formas mamíferas más primitivas poseían características morfológicas muy similares a las de los actuales reptiles. Al parecer, hace unos 180 Ma ya se habían adquirido las características propias de los mamíferos: la homeotermia (temperatura corporal regulada internamente), el desarrollo del cerebro, el pelo corporal y, quizás, el viviparismo. Durante 100 Ma, estos mamíferos primitivos, del tamaño de un ratón, vivieron marginados en ese ambiente nocturno. Su alimentación constaba fundamentalmente de insectos y huevos. La verdadera explosión evolutiva de los mamíferos se produjo tras la extinción en masa del final del Cretácico, hace unos 65 Ma, en la que desaparecieron los dinosaurios. Los primeros restos fósiles de mamíferos semejantes a los actuales datan de esta época y, por su dentadura, se sabe que eran insectívoros. Sus descendientes se multiplicaron extraordinariamente en las nuevas condiciones de vida y, en poco tiempo, dieron lugar a los antecesores de la mayoría de los mamíferos que hoy existen (Redford & Eisenberg 1991, Iriarte 2008).



Dentro del phylum Chordata y la superclase Tetrapoda se ubica el clado Amniota, de que se separa la clase Mammalia. La otra rama de Amniota da lugar a reptiles y aves (ver Capitulos 16 y 17). La distancia y largo de las ramas indica la distancia evolutiva entre los distintos organismos (Fuente: OneZoom Core Team (2021), disponible en: https://www.onezoom.org/life.html)



Chungungo, *Lontra felina*

Los mamíferos vivientes se pueden agrupar en 2 subclases principales. Por un lado, está la subclase Prototheria (o Monotrema), la que posee reproducción ovípara y sus glándulas mamarias aún no están desarrolladas por completo; 5 especies en 3 géneros y 2 familias. Por otro lado, la subclase Theria corresponde a mamíferos no ovíparos; se subdividen en 2 infraclases: Metatheria (o Marsupialia): reproducción vivípara, pero sin placenta o con ella muy reducida; 270 especies, 77 géneros y 16 familias. Y finalmente, los representantes de la infraclase Eutheria (o Placentalia): ya con producción vivípara placentaria y con las glándulas mamarias plenamente desarrolladas; 4.000 especies, 970 géneros, 112 familias y 18 órdenes.

La principal característica que define a los mamíferos y que es común a todas sus especies es la presencia de glándulas mamarias en las hembras. Estas glándulas producen leche para alimentar a las crías durante sus primeros meses de vida. Otras características relevantes de los mamíferos son su relativa simplicidad en la estructura craneal y mandíbula inferior (un solo hueso, denominado dentario) con dientes muy especializados, la presencia de un paladar secundario, la aparición de los cóndilos occipitales para la articulación del cráneo con la columna vertebral, la cadena de huesecillos del oído medio que permiten la transmisión del sonido, un olfato muy desarrollado, la mayor complejidad del cerebro, la aparición de un diafragma muscular para separar la cavidad torácica de la abdominal, extremidades torácicas, y el revestimiento de pelos que presenta toda la superficie del cuerpo, entre otras características relevantes.

La región de Atacama posee una alta diversidad de mamíferos, con 71 especies de mamíferos nativos que viven en territorio de Atacama y sus aguas continentales y marinas, distribuidas en siete Órdenes. Entre estas existen 2 especies de marsupiales del género *Thylamys*, un armadillo (Orden Edentata), siete especies de

Tabla 1. Órdenes y géneros de mamíferos terrestres y marinos de la región de Atacama. También se indica, en paréntesis, el número de especies de cada género.

ORDEN DIDELPHIMORPHIA
2 especies del género *Thylamys*
ORDEN EDENTATA
1 especie del género *Chaetophractus*
ORDEN CHIROPTERA
7 Especies de los géneros *Tadarida (1), Desmodus (1), Eptesicus (2), Lasiurus (1)* y *Myotis (2).*
ORDEN CARNIVORA
11 especies de los géneros *Puma (1), Leopardus (3), Lycalopex (2), Conepatus (1), Galictis (1), Lontra (1), Otaria (1)* y *Arctophoca (1).*
ORDEN ARTIODACTYLA
2 especies de los géneros *Vicugna (1)* y *Lama (1).*
ORDEN RODENTIA
19 especies de los géneros *Ctenomys (1), Chinchilla (2), Lagidium (1), Myocastor (1), Abrocoma (2), Octodon (1), Spalacopus (1), Abrothrix (2), Auliscomys (1), Eligmodontia (2), Oligoryzomys (1)* y *Phyllotis (3).*
ORDEN CETACEA
29 especies de los géneros *Balaenoptera (4), Megaptera (1), Eubalaena (1), Mesoplodon(3), Ziphius (1), Hyperodon (1) Physeter (1), Kogia (2), Stenella (1), Delphinus (2), Gramphus (1), Tursiops (1), Lagenorhynchus (2), Feresa (1), Orcinus (1), Pseudorca (1), Globicephala (2), Lissodelphis (1)* y *Phocoena (1).*



Gato andino, *Leopardus jacobita*



Vicuñas, *Vicugna vicugna*



Marmosa o Yaca de la puna, *Thylamys pallidior*



Chinchilla de cola larga, *Chinchilla lanígera*



Vizcacha, *Lagidium viscacia*



Zorro culpeo, *Lycalopex culpaeus*

murciélagos (Orden Chiroptera), once especies de carnívoros terrestres y marinos (Orden Carnívora), 2 camélidos, 19 roedores y 29 cetáceos (Tabla 1). Entre los trabajos pioneros de los mamíferos en Chile destacan el ensayo sobre la historia natural de Chile del sacerdote jesuita chileno Juan Ignacio Molina de 1782 (conocido en Chile como el abate Molina) y la obra historia física y política de Chile: Zoología del naturalista francés Claudio Gay (1847); en el siglo XX destaca el trabajo sobre los mamíferos de Chile de Wilfred H. Osgood (1943) (Iriarte 2008, Valladarez-Faundez 2012, D'Elía et al. 2020).

Esta fauna de mamíferos presenta diversas especies representativas de las zonas altiplánicas (algunas poseen la distribución más austral de dichas especies en Chile), entre las que se cuentan la vicuña (*Vicugna vicugna*), la marmosa o yaca de la puna (*Thylamys pallidior*), el quirquincho de la Puna (*Chaetophractus vellerosus*), el gato andino (*Leopardus jacobita*), el tuco tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*), las chinchillas de cola larga (*Chinchilla lanígera*) y corta (*Chinchilla chinchilla*), ratón de chinchilla de cola corta (*Abrocoma cinerea*) (Miller & Rotmann 1976, Iriarte 2008, Muñoz-Pedreros & Yañez 2009, Valladarez-Faundez 2012).

Las 2 especies de chinchillas (*Chinchilla lanigera* y *C. chinchilla*), fueron objeto de una incesante presión de captura debido al alto precio de sus pieles y se llegó a exportar legalmente desde Chile, más de 7 millones de pieles a mercados europeos y norteamericanos en el período 1828-1910. En diversas zonas de las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo se realizaban capturas masivas de estas especies para su exportación. En 1910, los principales países exportadores de chinchillas (Argentina, Bolivia y Chile), firmaron un tratado internacional para prohibir su captura, comercialización y exportación, el que se constituyó en el primer convenio de este tipo entre países en Latinoamérica (Iriarte 2008, Valladares-Faundez 2012) (Ver Recuadro 18.1).

El primer cuerpo legal de carácter general que protegió a la fauna silvestre terrestre y acuática en Chile, fue la Ley de Caza N° 4.601, del 18 de junio de 1929, y su Reglamento, el Decreto N° 133 del Ministerio de Agricultura (publicado en el Diario Oficial el 9 de marzo de 1993), que incluyeron a especies muy relevantes de la región de Atacama a protección total, tales como el cóndor, la vicuña, las dos especies de chinchillas, entre varias otras (Miller & Rotmann 1976, Iriarte 2008).

Otra ley importante para la conservación de especies de esta región es cuando en 1950, cuando el Ministerio de Economía y Fomento de ese entonces, mediante el Decreto Supremo N° 751, prohibió indefinidamente la caza de chungungos (*Lontra felina*), huillines (*L. provocax*) y lobos finos de dos pelos (*Arctocephalus australis*) en todo el país. Este es el primer cuerpo legal que prohíbe indefinidamente la caza de especies de carnívoros y pinnípedos chilenos (Sielfeld 1983, Iriarte 2008).

Biodiversidad regional de mamíferos en Atacama

La región de Atacama presenta marcada variación longitudinal y altitudinal de la vegetación en concordancia con las grandes unidades geomorfológicas y las diferencias de temperatura y precipitaciones. La zona costera, generalmente expuesta a la influencia de neblinas y lluvias, la pampa desértica con muy escasas precipitaciones, y la zona andina donde la precipitación vuelve a incrementarse. La vegetación costera, llamada desierto costero que se extiende por el litoral, se caracteriza por presentar una marcada zonas de neblinas, camanchaca donde la vegetación alcanza gran desarrollo y se caracteriza por la presencia de cactáceas columnares del género *Eulychnia*, las que se ven asociadas a una gran diversidad de arbustos. En esta zona es posible observar a un elevado número de especies de mamíferos terrestres y muchos marinos (32 especies: una nutria, 2 lobos marinos (género *Otaria* y *Arctophoca*) y 29 especies de los géneros *Balaenoptera* (4), *Megaptera* (1), *Eubalaena* (1), *Mesoplodon* (3), *Ziphius* (1), *Hyperodon* (1) *Physeter* (1), *Kogia* (2), *Stenella* (1), *Delphinus* (2), *Gramphus* (1), *Tursiops* (1), *Lagenorhynchus* (2), *Feresa* (1), *Orcinus* (1), *Pseudorca* (1), *Globicephala* (2), *Lissodelphis* (1) y *Phocoena* (1) (Iriarte 2008, Valladares-Faundez 2012) (ver Recuadro 18.3).

Asimismo, en la pampa desértica, situada en la zona intermedia entre la costa y la cordillera de los Andes, es posible observar una escasa vegetación más abierta que las anteriores y con amplios territorios desprovistos de vegetación en una zona denominada como desierto absoluto. En estas zonas es extremadamente difícil encontrar rastros de fauna de mamíferos, detectándose algunas especies muy resistentes al desierto extremo, como el ratón orejudo del norte (*Phyllotis darwini*), el ratón de pie sedoso de las dunas (*Eligmodontia dunaris*), y la chinchilla de cola larga (*C. lanigera*).

Por otra parte, en la zona de la cordillera de los Andes es posible observar una marcada zonación altitudinal, producto de la influencia combinada del descenso de la temperatura y del aumento de las precipitaciones. Las zonas intermedias del gradiente altitudinal son las que presentan mayor desarrollo estructural de vegetación, porque se encuentran bajo condiciones térmicas, de temperatura y precipitaciones más moderadas. La vegetación de las zonas bajas está limitada por el descenso de las precipitaciones, mientras que las zonas altas, por el de las temperaturas. La composición y estructura de la vegetación también es variable con la latitud. En las zonas andinas bajas se desarrolla un matorral bajo, en los sectores de mayor elevación, generalmente por sobre 4.700 msnm, donde se produce un congelamiento permanente del sustrato, la vegetación es generalmente muy abierta y domina por plantas en cojín o hierbas perennes. En estas zonas es posible observar a especies como el guanaco y vicuña, la chinchilla de cola corta, el zorro culpeo *(Lycalopex culpaeus)*, el gato andino (*Leopardus jacobita*) y el gato del desierto, Gato colocolo *(Leopardus colocolo)*, el quirquincho de la puna *(Chaetrophactus vellorosus)*, el chingue común *(Conepatus chinga)* y el quique *(Galicitis cuja)*, entre otros (Iriarte 2008, Valladares-Faundez 2012).

La mayor biodiversidad se concentra en los sectores costeros y marinos con más de 45 especies, y en segundo lugar en las zonas cordilleranas, asociado a las áreas de puna y prepuna con 23 especies. La menor biodiversidad de mamíferos se concentra en los desiertos interiores, con condiciones de extrema aridez y escasas áreas con vegetación para mantener especies de este grupo.

Convenciones CITES

La CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) es un acuerdo internacional concertado entre los gobiernos, adheridos voluntariamente a la convención. Tiene por finalidad velar porque el comercio internacional de especímenes de animales y plantas silvestres no constituya una amenaza para su supervivencia. La región de Atacama cuenta con un total de 37 especies de mamíferos dentro de alguno de los apéndices CITES (9 en Apéndice I y 28 en Apéndice II), incluyendo un alto número de mamíferos marinos (25 especies) (CITES 2022).

En cuanto a sus estados de conservación de acuerdo a los Procesos de Clasificación de Especies del Ministerio del Medio Ambiente, de las 42 especies de mamíferos de Atacama clasificados, actualmente 13 se encuentran en una categoría de amenaza (Ver Capítulo 20).

En algunas áreas de la región de Atacama también están presentes mamíferos exóticos viviendo de modo silvestre (Tabla 2). Las más comunes son el burro (*Equus africanus*), especie que es muy frecuente en zonas costeras y cordilleranas de la región, produciendo mucho daño a la vegetación nativa. Su presencia se produjo debido al interés por parte de la población local por el consumo de su carne en embutidos y ahora su recaptura anual forma parte de las tradiciones locales, denominado rodeo o arreo de burros, especialmente en sectores de Carrizalillo. Otra especie que es muy común y dañina es el perro (*Canis familiaris*), en muchas ocasiones forman jaurías en medio de áreas desérticas de zonas costeras o en la cordillera. Se alimentan de todo tipo de fauna nativa y doméstica, y en especial de ungulados como el guanaco y la vicuña. Por último, las 3 especies de roedores exóticos son comunes en las zonas cercanas a áreas con actividad humana, en cuerpos de agua (guarén y rata negra) y viviendas habitadas (rata negra y laucha) (Jaksic 1998, Iriarte 2008).

Tabla 2. Especies exóticas asilvestradas que habitan ambientes silvestres fuera del dominio humano en la región de Atacama.

Nombre Común	Nombre Científico	Zona donde vive en estado silvestre
Lagomorfos		
Liebre europea	*Lepus europaeus*	Región de Arica y Parinacota al Estrecho de Magallanes
Conejo europeo	*Oryctolagus cuniculus*	Todo Chile, continental e insular
Roedores		
Laucha	*Mus musculus*	Todo Chile, continental e insular
Rata negra	*Rattus rattus*	Todo Chile, continental e insular
Guarén	*Rattus norvergicus*	Todo Chile, continental e insular
Ungulados		
Cabra	*Capra hircus*	En ocasiones se asilvestran en el norte de Chile
Burro	*Equus africanus*	Regiones de Arica y Parinacota a la de Coquimbo
Caballo feral	*Equus caballus*	En ocasiones se asilvestran en diversas regiones de Chile
Carnívoros		
Perro feral	*Canis familiaris*	Todo Chile, continental e insular
Gato feral	*Felis silvestris*	Se encuentran asilvestrados en diversas regiones de Chile

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 18.1:256-257



Recuadro 18.1 Las chinchillas de Atacama, dos roedores en Peligro de Extinción

Pablo Valladares-Faúndez, Agustín Iriarte, Katherine Ramírez-Meza, César Pizarro Gacitúa, Ignacio Collín, Guillermo Cubillos & Daniel Hilliard

La Familia Chinchillidae está compuesta por tres géneros, *Lagostomus*, *Lagidium* y *Chinchilla*, este último género tiene dos especies reconocidas, *C. lanigera* y *C. chinchilla*. Se han reconocido una serie de fósiles de esta familia, como por ejemplo Neoepiblema, que divergió con el resto de los géneros hace unos 13 millones de años. Por otro lado, *Lagidium* y *Chinchilla* divergen alrededor de 7 millones de años (Marivaux et al. 2020).

Tanto *C. lanigera* como *C. chinchilla* tuvieron una distribución bastante amplia en el cono sur de Sudamérica, contemplándose las altas montañas de Perú, Bolivia, Argentina y Chile, y en este último país *C. lanigera* alcanzaba su distribución desde las costas de las regiones de Antofagasta a Coquimbo. Sin embargo, entre mediados del siglo XIX y principios del XX fueron casi exterminadas en gran parte de este rango distribucional, dándose casi por extintas en los cuatro países. Actualmente se encuentran registradas sólo en Bolivia (Delgado et al. 2018), Argentina (Pietrek et al. 2022) y Chile (Spotorno et al. 2004), descartándose por ahora en Perú. Entre el siglo XIX y principios del XX, la caza indiscriminada de estas especies alcanzó una exportación de más de 7 millones de pieles por los puertos de Chile (Iriarte & Jaksic 1986), y si bien en Argentina no hay estimaciones muy certeras, se estima que en 1824 salieron por Buenos Aires 428 mil pieles (Chebez & Olivera 2008), y cazadores de Salta exportaron un número similar entre 1813 y 1853 (Bennedeti & Conti 2009). Si consideramos la opinión de Albert (1901) en que se exportaban sólo un tercio de las pieles obtenidas, en Chile deben haberse cazado más de 20 millones de ejemplares, y más de 3 millones en Argentina.



Chinchilla chinchilla

Foto: Nicolás Lagos

Las primeras colonias de *C. lanigera* comenzaron a ser redescubiertas en la región de Coquimbo, precisamente donde ahora se encuentra la Reserva Nacional Las Chinchillas. Otras colonias fueron posteriormente identificadas fuera de los límites de la reserva, en áreas de la Quebrada Curicó y de la Quebrada El Cuyano, mientras que una pequeña y aislada colonia de chinchilla fue posteriormente registrada en Corral de Piedras, La Higuera. En la región de Atacama se documentaron colonias en los alrededores de Vallenar (Wolffsohn 1923), y en las cercanías a la ciudad de Caldera, particularmente en la Quebrada El León (Gigoux 1926) y en Morro Copiapó (Gigoux 1935), estas tres últimas al parecer ya extintas (ver Capítulo 25). Sin embargo, Valladares et al. (2014) reportan la primera colonia viva de esta especie para la región (26° 55' 07" S, 70° 21' 32" O), la que se encuentra a 44 kilómetros de la costa y a 1.150 metros de altitud, en medio de un cordón montañoso que atraviesa el valle central desde Copiapó a Caldera, precisamente conectado con los registros previos de Gigoux. Este hallazgo se debió al ataque de perros domésticos de trabajadores mineros que se encontraban en sus faenas, llevando un ejemplar al Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) de Copiapó. Este ejemplar



Hábitat de *Chinchilla lanigera* en montañas costeras de Atacama

Foto: Nicolás Lagos

correspondió a un macho adulto, el que fue posteriormente liberado en la misma zona donde fue recogido. En dicho lugar se encontraron registros de huellas, fecas y revolcaderos en un área de 3,4 km^2, teniendo una estimación de ese momento de 24,7 a 115,4 individuos por km^2, lugar con extrema aridez y muy baja cobertura vegetal, con presencia de *Heliotropium sclerocarpum*, *Tetragonia microcarpa*, *Gymnophyton flexuosum*, *Nolana* sp. y *Eriosyce aurata*, siendo esta última el mayor recurso de alimento y agua para dicha población. No se han documentado nuevas colonias de *C. lanigera*, pero su presencia es altamente probable en el cordón montañoso costero de la región, desde Chañaral hasta Caldera. En el caso de la chinchilla de cola corta, o *C. chinchilla*, su distribución ha estado más documentada para la región de Atacama. Las primeras colonias de esta especie comenzaron a ser redescubiertas en el altiplano de la región de Antofagasta,



Chinchilla lanigera

Foto: Nicolás Lagos



Chinchilla chinchilla

Foto: Nicolás Lagos

específicamente en el Volcán Llullaillaco y alrededores. Sin embargo, en Atacama se descubre una colonia en los límites del Parque Nacional Nevado Tres Cruces (26°49′11″S, 69°05′67″O) gracias a exploraciones realizadas con trampas cámara (Valladares et al. 2012). Consecuentemente se comienzan a descubrir otras colonias de esta especie a lo largo de gran parte del cordón montañoso de la región, desde Pedernales a la Laguna Santa Rosa, todos lugares asociados a la explotación minera, transformándose esta actividad en la mayor amenaza para esta especie (Valladares et al. 2014, Jiménez et al. 2022). Más aún, algunas de estas empresas adquieren compromisos ambientales que implican la relocalización de colonias, con resultado de muerte para algunos individuos (Jiménez et al. 2022) poniendo en tela de juicio la efectividad de estas medidas. Es posible que las colonias de *C. chinchilla* en Atacama sean las más numerosas del país, así como de Bolivia y Argentina, y por lo tanto podrían ser consideradas el mayor acervo genético de la especie, tomando mayor realce su protección para los futuros planes de conservación de la especie.



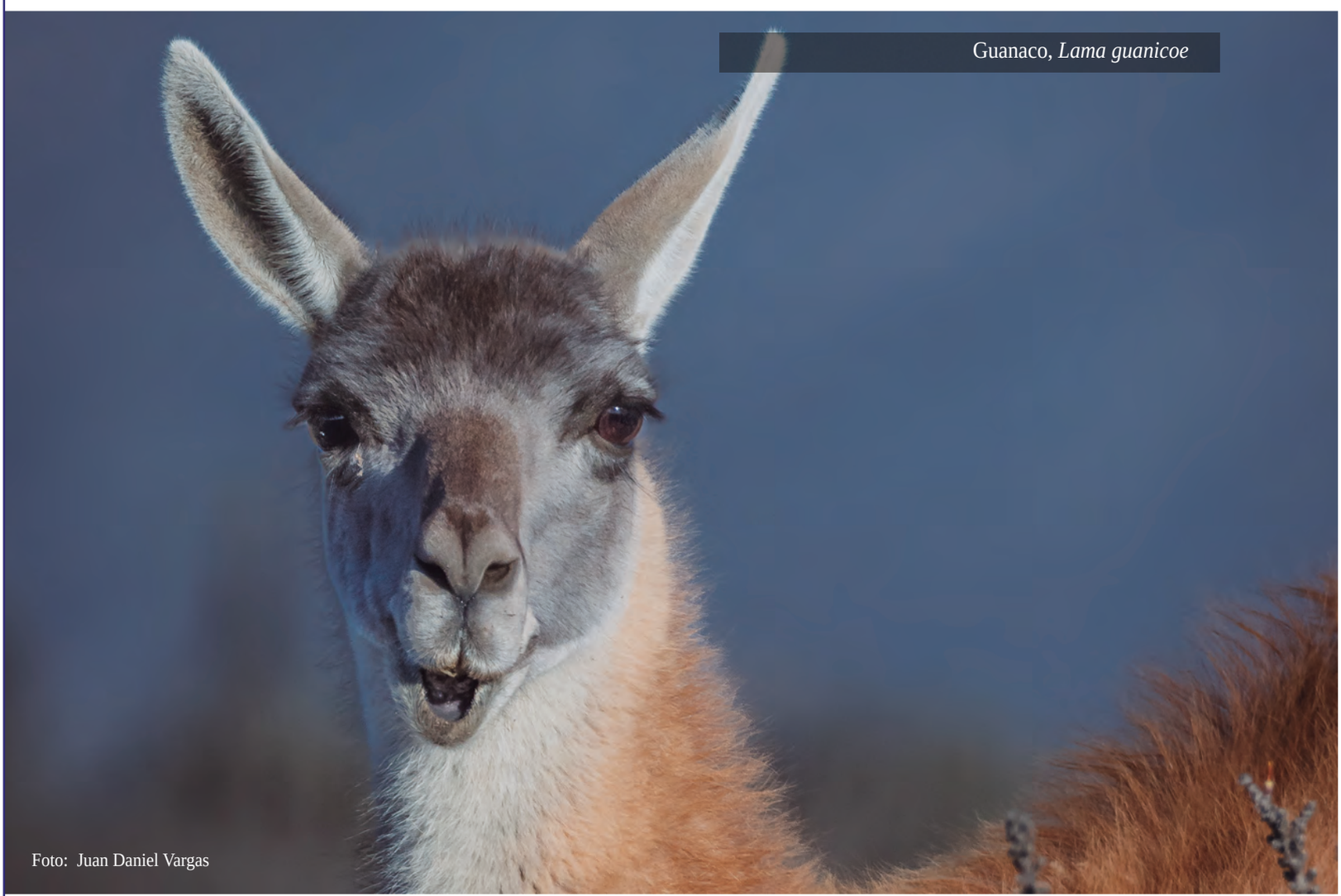
Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 18.2:258-260

Recuadro 18.2 Guanaco en la región de Atacama: habitante de cordillera a mar

Solange Vargas & Mara Espinosa H.

El guanaco (*Lama guanicoe* Müller, 1776) es el más grande herbívoro ungulado silvestre de las estepas de Sudamérica. Es una especie monomórfica con hábitos territoriales, cuidado maternal y poligínica por defensa de recursos. Los guanacos muestran una marcada estructuración social compuesta por tres categorías bien diferenciadas: (1) grupos familiares tipo harenes formados por hembras y chulengos (crías del guanaco), controlados por un macho dominante (relincho), (2) grupos de machos excluidos de la reproducción y (3) machos y/o hembras solitarias.

En los grupos familiares, el macho reúne un harén de hembras, apareándose con ellas de forma exclusiva a cambio de proteger al grupo y los recursos disponibles. Sólo la sustitución del macho dominante como líder del harén permite que otro macho se aparee con las hembras. Los machos juveniles son obligados a dejar el harén a los tres años y se reúnen con otros machos hasta que llegan a una edad en la que pueden formar su propio grupo familiar (Ortega & Franklin 1995, Puig et al. 2008). El guanaco se caracteriza por su alta adaptabilidad fisiológica a condiciones ambientales extremas, lo que le permite distribuirse en una amplia



Guanaco, *Lama guanicoe*

Foto: Juan Daniel Vargas



Grupo Familiar

variedad de ambientes, los cuales incluyen cuatro de los diez más grandes hábitats descritos en Sudamérica como son el desierto y la subxerofitia, sabanas y praderas, pastizales de montaña y bosque templado (Cofre & Marquet 1999). Su rango de distribución va desde el noroeste del Perú (8°S) hasta Tierra del Fuego en Argentina e isla Navarino en Chile (55°S) y desde el nivel del mar hasta los 4500 metros en la cordillera de Los Andes. Su estrategia de pastoreo, enfocada en pastos secos y leñosos, ha permanecido estable durante los últimos 12.000 años (Wheeler 1995). De acuerdo con recientes estudios filogeográficos se reconocen dos subespecies con marcadas diferencias en su distribución geográfica: *Lama guanicoe cacsilensis*, subespecie del noroeste (Perú y el norte de Chile), y *Lama guanicoe guanicoe*, subespecie del suroeste, presente en la meseta central de los Andes (Sur de Chile y Patagonia Argentina) (Marín et al. 2013, González & Acebes 2016).

Dónde está y cómo vive el guanaco en la región de Atacama

En la región de Atacama, el guanaco es considerado una especie Vulnerable (ver Capítulo 19). Se distribuye de cordillera a mar y es posible encontrarlo desde la zona norte de la cordillera de Atacama, sector del Salar de Pedernales hasta el sur del Parque Nacional Nevado de Tres Cruces (CONAF 2021). También presente, aunque menos abundante, en la cordillera del Valle del río Jorquera al sur y la cordillera del valle del Huasco. En sectores costeros, el guanaco está principalmente asociado a los parques nacionales Pan de Azúcar y Llanos de Challe. Y cada vez es más frecuente observarlo en los sectores costeros al sur de la región, así como al sur de la localidad de Huasco, Caleta Sarco y alrededores.

El guanaco cohabitó, en la región de Atacama, con diversas culturas, y fue base fundamental para su alimentación y supervivencia desde tiempos inmemoriales (Bonacic et al. 2014). Parte de esa historia quedó registrada en las pinturas rupestres de la finca de Chañaral.

Sin embargo, esta relación entre la especie y las comunidades perdió su equilibrio, y actualmente el guanaco en Atacama se encuentra amenazado por diversos factores antrópicos. Trágicamente, los ataques por perros de vida libre en áreas silvestres es una de las principales amenazas (Vargas et al. 2016). Esto se suma a los contagios masivos con sarna de las poblaciones silvestres y la caza furtiva. Por otro lado, la transformación del hábitat como resultado del desarrollo industrial, la fragmentación del paisaje y la creación de barreras que impiden el desplazamiento de los guanacos, constituyen las principales amenazas para el desarrollo de procesos ecológicos microevolutivos entre poblaciones locales (Espinosa et al. 2018, Baldi et al. 2016). Como consecuencia la distribución del guanaco en la región no es continua. De acuerdo con recientes estudios genético -poblacionales, las poblaciones de *Lama guanicoe cacsilensis* presentan un nivel elevado de fragmentación, pero poseen una elevada diversidad genética, incluso mayor que las poblaciones sureñas de *L.g. guanicoe* (Espinosa et al. 2018, Marín et al. 2013).



Pintura rupestre. Finca de Chañaral, región de Atacama

Fuente: www.premagallania.cl

Por tal motivo, las poblaciones de guanacos distribuidas en la región de Atacama, así como otras presentes en el norte de Chile, son de alto valor de conservación. Además de esto, la región presenta dos de las tres poblaciones de guanacos costeros conocidas a lo largo de todo su rango de distribución (P.N. Pan de Azúcar y P.N. Llanos de Challe). Tales poblaciones de distribución atípica son de gran interés para la investigación y conservación a nivel local (Espinosa et al. 2018).

Lo que debemos hacer para mantener y preservar al guanaco en la región de Atacama

Atacama es la región que posee casi la totalidad de las amenazas descritas para la especie a nivel nacional (Vargas et al. 2016). Debido a su amplia distribución longitudinal, de cordillera a mar, la conservación de la especie a escala regional implica importantes desafíos. Los esfuerzos regionales para abordar la multiplicidad de amenazas deben ser multisectoriales, desde la generación de conocimiento científico (por ejemplo, actualizar el estado poblacional de la especie en la región), hasta el establecimiento de alianzas estratégicas entre diferentes actores.

Por otra parte, la continua y rápida pérdida de hábitat asociada a actividades antrópicas directas, pero también asociada al cambio climático global, son parte de los grandes desafíos regionales. El cambio climático actúa como impulsor directo que exacerba cada vez más los efectos de otros impulsores sobre la naturaleza. En este sentido, la conservación de la conectividad del paisaje para el guanaco toma especial relevancia bajo el contexto del cambio climático, esto porque la capacidad de las especies para rastrear los cambios en busca de nichos climáticos adecuados, dependerá no sólo de la capacidad de dispersión de las especies, sino también de la conectividad del paisaje (Espinosa et al. 2018).

Con bajos niveles de conectividad, como lo son rutas con alto grado de perturbación humana, se reducen las probabilidades de desplazamiento exitoso (Castillo et al. 2018). En una región como Atacama, donde las poblaciones están altamente fragmentadas, la conservación de la conectividad del paisaje puede considerarse como una importante herramienta para contrarrestar las consecuencias de la fragmentación del hábitat y el cambio climático. Esto también requiere poner énfasis en la conservación de la especie fuera de las Áreas Silvestres Protegidas del Estado, donde el desafío es mayor e implica también establecer estrategias colaborativas con privados y comunidades locales. De hecho, estos espacios ofrecen oportunidades de colaboración únicas, ya que si se considera la integración de conocimiento ecológico local (indígena y no indígena), permitirían el diseño y establecimiento de estrategias de conservación más efectivas. Por último, el temprano involucramiento de la comunidad en el co-diseño de estrategias de conservación ofrece la oportunidad de desarrollar sistemas de alerta temprana que puedan evitar situaciones críticas, por ejemplo, ante casos severos de contagio de sarna (Ferreyra et al. 2022, Acebes et al. 2022).



Cruce de carretera

Foto: Juan Daniel Vargas

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 18.3:261-264



Recuadro 18.3 Cetáceos del Archipiélago de Humboldt, al sur de la región de Atacama

Carlos Olavarría & Susannah Buchan

Los cetáceos corresponden a los mamíferos mejor adaptados a la vida acuática, e incluyen a ballenas, delfines y marsopas. En Chile habitan cerca de 40 especies (Aguayo et al. 1998), lo que corresponde a casi la mitad de la diversidad global. El órden Cetacea comprende dos grupos, los misticetos o ballenas (suborden Mysticeti), con cerca de 15 especies, y los odontocetos o delfines (suborden Odontoceti), con cerca de 75 especies. Los misticetos viven en todos los océanos, y la mayoría de ellos son altamente migratorios. Pasan el verano alimentándose en aguas frías y productivas ubicadas en altas y medias latitudes, y en otoño se trasladan hacia aguas más cálidas para reproducirse y tener crías (Corkeron & Connor 1999). Por otro lado, los odontocetos, se diferencian de los misticetos por poseer dentadura y no realizar grandes migraciones estacionales. A nivel mundial, en recientes años el delfín del río Yangtze (*Lipotes vexillifer*) se ha extinguido y posiblemente pronto la vaquita marina (*Phocoena sinus*).

Una de las áreas importantes para los cetáceos en Chile se ubica al sur de la región de Atacama, en el Archipiélago de Humboldt, donde se han registrado 16 especies (Tabla 1). Esto, en parte, ha llevado a ser reconocida internacionalmente (Mission Blue 2018, Marine Mammal Protected Areas Task Force 2022). A nivel nacional se ha reconocido su importancia para la conservación de estas especies a través del establecimiento de las Reservas Marinas Isla Chañaral (en la región de Atacama) e Islas Choros y Damas (en Coquimbo).

El Archipiélago de Humboldt es reconocido como importante para



Ballena Fin, *Balaenoptera physalus*

Foto: César Villarroel

Tabla 1. Listado de especies de cetáceos del Archipiélago de Humboldt (basado en Fuentes 1987, López & Rivera 2017 y datos no publicados de los autores).

Nombre común	Nombre científico
Suborden Mysticeti	
Ballena azul	*Balaenoptera musculus*
Ballena fin	*Balaenoptera physalus*
Ballena jorobada	*Megaptera novaeangliae*
Ballena sei	*Balaenoptera borealis*
Ballena minke antártica	*Balaenoptera bonaerensis*
Ballena franca austral	*Eubalaena australis*
Suborden Odontoceti	
Cachalote	*Physeter macrocephalus*
Orca	*Orcinus orca*
Calderón de aleta larga	*Globicephala mela*
Falsa orca	*Pseudorca crassidens*
Calderón gris	*Grampus griseus*
Delfín oscuro	*Lagenorhynchus oscurus*
Delfín nariz de botella	*Tursiops truncatus*
Delfín común	*Delphinus delphis*
Delfín liso	*Lissodelphis peronnii*
Delfín de dientes rugosos	*Steno bredanensis*

la alimentación de varias especies de ballenas particularmente las ballenas fin (*Balaenoptera physalus*), azul (*Balaenoptera musculus*) y jorobada (*Megaptera novaeangliae*) (Sepúlveda et al. 2020).

Estudios de dieta (Pérez et al. 2006, Buchan et al. 2021), observacionales (Toro et al. 2016) y de seguimiento satelital (Sepúlveda et al. 2018) muestran que las ballenas fin se alimentan en esta área particularmente de krill (*Euphasia mucronata*) (ver Recuadro 2.3). Esta especie de krill es la más abundante en el Sistema de la Corriente de Humboldt y está asociada con zonas de surgencia costera (Antezana 2010), lo cual explica la relevancia del área para la alimentación de estas especies de ballenas. Las ballenas fin permanecen en el área de manera estacional por varios meses durante y después del verano, con algunos ejemplares permaneciendo incluso durante el invierno. Especies de odontocetos, como el calderón gris (*Grampus griseus*), delfín oscuro (*Lagenorhynchus obscurus*), delfín común (*Delphinus delphis*), cachalote (*Physeter macrocephalus*), y delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) no residente, utilizan el área de manera menos predecible, pero regular (Sepúlveda et al. 2020). Sin embargo, existe una colonia de delfines nariz de botella residente que habita alrededor de las islas Chañaral, Choros y Damas desde al menos el año 1989.

Se ha evidenciado que delfines residentes como no residentes se diferencian en conducta, tamaño grupal y fidelidad al área (Santos-Carvallo et al. 2018). Algunos individuos residen por más de 15 años, usan el área para alimentarse, para reproducirse y criar, y han sido vistos en grupos de entre 15 y 20 delfines. Los delfines no residentes usualmente se ven en grupos más grandes, de hasta 70 individuos (Santos-Carvallo et al. 2018).



Ballena fin, *Balaenoptera physalus* en Chañaral de Aceituno

Foto: Luis González



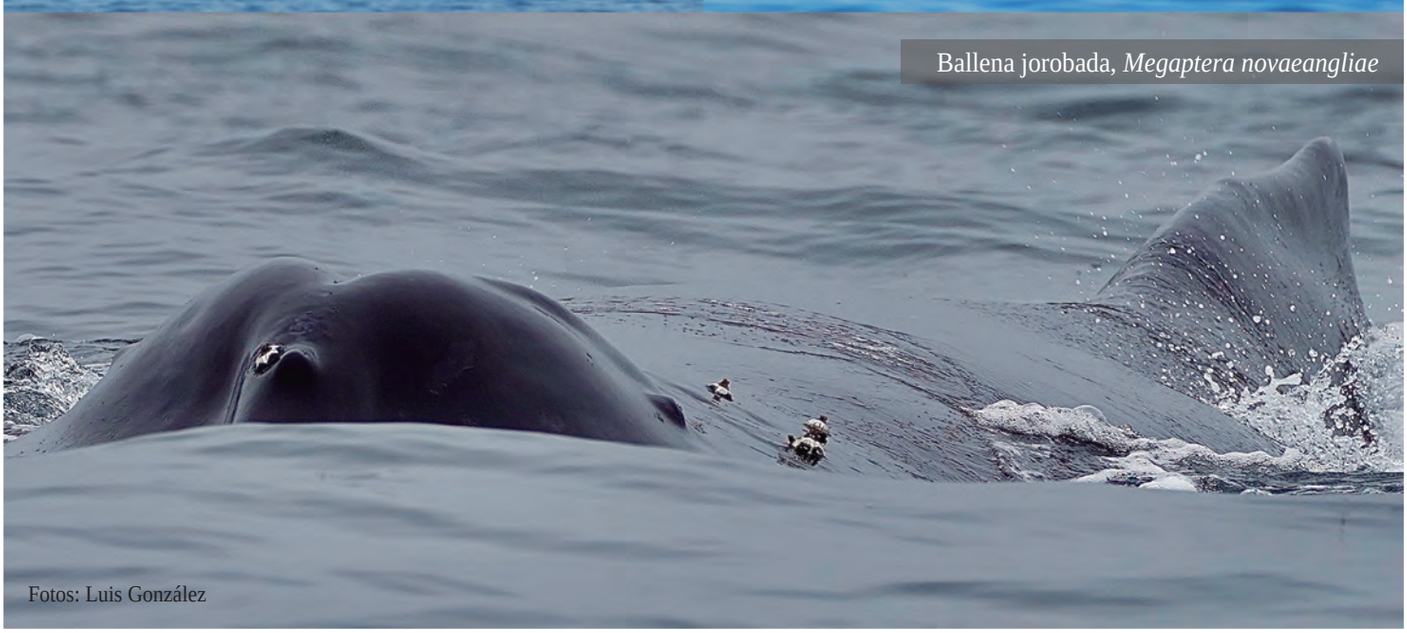
Ballena azul, *Balaenoptera musculus*



Cola de ballena azul



Cola de ballena jorobada



Ballena jorobada, *Megaptera novaeangliae*

Fotos: Luis González



Orca, *Orcinus orca*



Calderón de aleta larga, *Globicephala mela*



Delfin nariz de botella, *Tursiops truncatus*





Delfín liso, *Lissodelphis peroni*



Delfín oscuro o de Fitzroy, *Lagenorhynchus obscurus*

Fotos: Luis González

Unidad III

Conservación y el Ser Humano



Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 19:267-274

Capítulo 19 Pueblos originarios: los hijos de Atacama

Ricardo Catalán Garrido

Los pueblos originarios que ocupan actualmente el territorio de la región de Atacama reconocidos por el Estado de Chile (Ley 19.253 modificada por Ley 21.606 en octubre de 2023) corresponden a los Collas, Diaguitas y Changos. Sin embargo, la presencia de humanos en Chile Central data, al menos, desde hace 15.000 años antes del presente (AP) (i.e, restos de mastodontes con huellas de corte junto a algunos instrumentos de piedra encontrados en Tagua Tagua, o evidencia de cacería de caballo americano en Quereo, datado en más que 11.400 años AP). La región de Atacama era reconocida por su potencial arqueológico desde principios del siglo XX, cuando se escribieron las primeras publicaciones acerca de la prehistoria de estos sectores. Este potencial está ligado a la presencia de conchales, recintos circulares, montículos y evidencias de arte rupestre asociados a restos de materiales arqueológicos, con una ocupación constante desde los primeros pescadores arcaicos durante principios del Holoceno (8.000 AP) hasta tiempos recientes. Este conocimiento aumentó en forma significativa a partir de excavaciones realizadas en las últimas tres décadas del siglo pasado y que resultaron en la declaración como Monumentos Nacionales a sitios cercanos a Copiapó como: Viña del Cerro, La Puerta y Punta Brava.



Restos arqueológicos sector El Morro de Copiapó

Fuente: Mankuk (2017)

Cronología de los pueblos originarios del norte de Chile y región de Atacama

Período arcaico	
11.400 AP a 2.000 AP	Complejo Huentelauquén, primera evidencia de caza de megafauna extinta en Quereo (Los Vilos) (caballo americano hace 11.400 años AP)
	Cultura Chinchorro en el valle de Arica (10.000 AP), cazadores recolectores que desarrollaron la técnica de momificado más antigua del mundo
Período Agroalfarero Temprano	
300-700 d.C.	Nace y se desarrolla el complejo cultural El Molle en los valles del Norte Chico
Período Agroalfarero Medio	
800-1000 d.C.	Complejo "Las Ánimas" ocupa el área del Norte Chico
900 d.C.	Desarrollo de la cultura San Pedro de Atacama en los oasis y la precordillera de la región de Antofagasta
1000 d.C.	Desarrollo de la cultura Diaguita en el Norte Chico
Período Agroalfarero Tardío	
1000-1536 d.C.	Prehistoria alfarera tardía del valle de Copiapó
1000 d.C.-1450 d.C.	Desarrollo de Cultura Copiapó: Copiapóes
1450 d.C.	Conquista incaica del norte de Chile
1540 d.C.	Llegada de los conquistadores españoles al territorio chileno a través del valle de Copiapó (Diego de Almagro 1536, Pedro de Valdivia 1540)

Hoy la arqueología trabaja en forma sistemática, explorando metódicamente un área y registrando todo tipo de hallazgo cultural que allí se encuentra. Similar valor científico se le otorga a una punta de proyectil, un basural prehispánico o un sitio con estructuras, pues todos ellos entregan información valiosa para armar el rompecabezas sobre la vida de nuestros antepasados. Especies emblemáticas como los locos (*Concholepas concholepas*), erizos (*Loxechinus albus*) y lapas (*Fissurella* spp.) han sido parte de la cultura y alimentación de pueblos costeros tan característicos como los Changos y Huentelauquén, ambos con presencia prehistórica en la región de Atacama, que han dejado su huella a través de grandes conchales en diferentes partes del borde costero.

En este capítulo se pretende entregar un panorama general de la prehistoria local y regional, a través de la revisión de períodos y los pobladores o culturas que ocuparon el territorio en esas fechas, ordenadas de manera cronológica, para un mejor entendimiento.
En base a la evidencia espacial y estratigráfica, Cervellino (1995) propone preliminarmente una secuencia cronológica y cultural para la costa de la región de Atacama. Esta incluye 7 períodos, de los cuales los tres primeros corresponden al Arcaico:

I Período de pescadores portadores de litos geométricos poligonales.
Se trata de un pueblo que basaba su subsistencia en la caza de grandes presas y en la recolección marítima y terrestre. Su material



Extensos conchales del Morro de Copiapó, las especies dominantes son el loco, erizo, chitones y lapas

Fuente: Mankuk (2017)

cultural incluye grandes puntas de proyectil pedunculadas y lanceoladas, morteros, raederas, raspadores y piedras horadadas (aún no se sabe su funcionalidad). Sus evidencias se registran en los sitios Puerto Guacolda, Caleta Totoral, Puerto Caldera, Bahía Obispo, Los Médanos, Pan de Azúcar, oasis de Totoral, entre otros. Se les reconoce como bandas muy móviles que explotan preferentemente recursos del intermareal rocoso. Su estrategia de subsistencia, en base a los recursos marinos, se complementó con la explotación del guanaco y de mamíferos terrestres, comprendiendo un rango cronológico que abarcó por lo menos, desde el 10.000 a.C. y se extendió hasta el 5.000 a.C. Lo más llamativo de su cultura son las puntas de proyectiles triangulares con pedúnculo y los litos geométricos o piezas líticas de unos 6 cm de espesor, entre 10 y 20 cm de diámetro, que reproducen figuras geométricas simétricas, con un número variable de lados (Mankuk 2017). No está claro el uso de estas piezas, pero la teoría más aceptada es que eran de usos ceremoniales religiosos. Sin duda es una pieza única, que distingue a este grupo de cazadores pescadores recolectores, que habitaron el litoral de la región de Atacama. Estos litos no se asemejan a otras herramientas prácticas conocidas, y tampoco se han detectado en ellos huellas de uso, por lo que aparentemente no cumplieron un rol pragmático y más bien, se les atribuyeron funciones simbólicas.

Los grupos **Huentelauquén** tienen un modelo de asentamiento para el Norte Chico, con un patrón de movilidad residencial con locaciones logísticas a lo largo de la costa con ocasionales excursiones a los valles del interior. Su ocupación del espacio se habría organizado en torno a dos formas:

Orientación litoral: Temprana red de asentamientos que articulaba campamentos residenciales con campamentos de tareas. En los primeros se realizaban diversas labores y en los segundos se explotaba recursos costeros específicos (Jackson & Méndez 2005). Se habría desarrollado entre los 10.500 a 9.000 a.C., en torno a las bahías con más recursos y biodiversidad para la recolección de moluscos, pesca y caza de mamíferos marinos. La abrasión en los dientes de ciertos esqueletos y los escasos recursos terrestres confirmaron la dieta marítima. Estos emplazamientos representan la temprana colonización de grupos con una fuerte adaptación costera y tradición tecnológica, vinculados a los primeros pobladores del Pacífico Sur. En los campamentos residenciales se observaron conchales, fogones, áreas de manufactura y de procesamiento de herramientas líticas con materias primas locales, y en menor medida foráneas. Los campamentos de tareas se asociaron a conchales medianos donde realizaban actividades limitadas, con predominancia de una especie malacológica predominante en el lugar de asentamiento. Desde estas locaciones, se habrían efectuado ocasionales movimientos hacia los valles interiores y cordillera para la búsqueda de recursos complementarios e insumos como el cuarzo (Jackson & Méndez 2005).

Orientación interior o quebradas: Surgidos entre el 7.500 y el 6.000 a.C. a partir de la movilidad de los grupos costeros, los campamentos en el interior del semiárido habrían sido ocasionales. En ellos se elaboraban instrumentos líticos, se recolectaba y cazaba fauna terrestre, particularmente camélidos, zorros, roedores y aves, y se consumía moluscos en menor proporción (Jackson & Méndez 2005).

Las dos modalidades de asentamientos representarían diferentes momentos:

Primero de cazadores recolectores orientados al litoral con una consistente adaptación costera. De la mano de cambios ambientales que incrementaron la aridez, las locaciones se habrían dispersado hacia valles y zonas cordilleranas con una subsistencia de carácter terrestre (Jackson & Méndez 2005). Los grupos seleccionaban sus emplazamientos en la costa e interior en función del transporte



Conjunto lítico del complejo cultural Huentelauquén

Fuente: www.museoarqueologicolaserena.gob.cl/

hacia los recursos, según un modelo de movilidad residencial (Jackson & Méndez 2005). Por último, el factor social también influye en la configuración de las ocupaciones.

II Período de pescadores especializados: Cultura del anzuelo de concha 1

Este período, también se caracteriza por la denominada "Cultura del anzuelo de concha", o también llamada Complejo Camarones. Este período representa a grupos especializados en la pesca, recolección y caza marina cuyos sitios más representativos se encontraron en Puerto Guacolda, Bahía Carrizal, Caleta Chañaral, Bahía Maldonado, Los Médanos, Caldera y Calderilla; en éstos lo más notable es el hallazgo de anzuelo de valva, especialmente de choro zapato. Eran probablemente sociedades especializadas en la caza del lobo marino, quienes practicaron, además, la pesca y la recolección marítima en profundidad. Vivían en torno a caletas, ensenadas, y especialmente en lugares cercanos a loberías, aunque hoy en día éstas han desaparecido (Mankuk 2017). Se consideran predecesores de los Changos, quienes adoptan los anzuelos y perfeccionan su confección.

III Período de pescadores especializados: Cultura del anzuelo de concha 2

Luego existe un período de pescadores especializados (2.000 a.C. – 10 a.C.). Está representado por grupos de la llamada "Cultura del anzuelo de concha 2", quienes llegan desde el norte por vía marítima. Estos grupos introdujeron un cambio tecnológico en la elaboración del anzuelo de concha, ahora de vástago largo



Secuencia del proceso de elaboración de anzuelos de concha de choro zapato

Fuente: Velásquez (2011)

(accesorio para su amarre), más resistente para la pesca de presas de mayor magnitud, más la introducción del anzuelo y barbas de arpones en hueso (ballena y camélidos). Representaron un período transicional hacia el complejo El Molle o primeros ceramistas, constatándose diferentes manifestaciones materiales de este período en sitios como Bahía Salada (Maldonado), Calderilla y Caldera. En estos lugares de la costa se registraron anzuelos de valva del choro zapato (*Choromytilus chorus*) y estaban finamente pulimentados a través de la técnica de arenado, para suavizar los bordes y así evitar cortes y facilitar la manipulación.

IV Período Formativo Temprano (0-700 d.C.)

Equivalente al período agroalfarero temprano, se trata de un período de pescadores contemporáneos hasta poblaciones tempranas productoras de alimentos. Marca los inicios del trabajo en metales en el interior de la región de Atacama y los grupos Molles, los cuales se habrían desplazado hacia el litoral portando objetos en metal e intercambiándolos por productos marítimos.

Cultura El Molle

Hacia los inicios de nuestra Era, se introduce en la región una serie de avances tecnológicos asociados a la llegada de nuevas poblaciones. Uno de los rasgos más característicos es el uso generalizado de la cerámica, la cual además de su función práctica, constituye un soporte para plasmar contenidos e identidades culturales de diseño. La economía de los pueblos tiende a hacerse cada vez más dependiente de la producción de alimentos vegetales y animales (Niemeyer 1998).

La cultura Molle se desarrolla en el Norte Chico aproximadamente entre el 0 y el 700 d.C., con una organización sociopolítica no centralizada, al parecer con un mando relativamente autónomo focalizado en los diversos valles transversales. Estas diferencias locales se traducen en matices tradicionales que han permitido hablar de subsectores norte y sur dentro de la misma área. Algunos rasgos característicos de la cultura material Molle incluyen el surgimiento de aldeas, el uso de regadío artificial, el trabajo de metales, la cerámica monocroma de formas globulares, el uso de pipas en forma de T invertida y el uso del tembetá. Este último consiste en un adorno de piedra o cerámica que se colocaba en una perforación realizada bajo el labio inferior (Niemeyer 1998).

En cuanto a la industria lítica, aparte de los núcleos y desechos de talla en andesita, riolita y, sobre todo, calcedonia y otras piedras silicificadas, se destacan los siguientes artefactos: retocadores, puntas de proyectil triangulares con y sin pedúnculo, raspadores de uña, raspadores de lomo alto en riolita, andesita y basalto, perforadores, raederas, percutores y tajadores (Niemeyer 1998).

En la cordillera alta de Copiapó, se han estudiado dos sitios Molle. 1) El sitio El Torín está a 2.600 msnm, en la cuenca del río Copiapó, a orillas del río El Potro. Se trata de 57 estructuras tumulares, recintos habitacionales y acequias. Según Niemeyer et al. (1989), "Las evidencias arqueológicas reflejan que la población de El Torín poseía una gran movilidad, con intercambios a grandes distancias; que además de practicar la horticultura de riego artificial, criaba camélidos en las vegas y cazaba en la cordillera". 2) El sitio de Carrizalillo Chico es un complejo aldeano, en el río Pulido, unos 10 km aguas arriba de La Junta. Se destaca la elaboración de la



Tembetá

Fuente: www.museolimari.gob.cl

estructura funeraria, la cual consistía en túmulos, en su mayoría eran de carácter individual y los adultos eran sepultados en posición flectada de cubito lateral o dorsal con las piernas flectadas a un lado u otro (Niemeyer y Cervellino 1998).

V Período Medio (700 d.C. – 1200 d.C.)
Dentro del período agroalfarero medio, se desarrollan culturas de pescadores y agricultores.

Complejo Las Ánimas
Hacia el 900 d.C. se inicia un desarrollo cultural llamado Las Ánimas que conforma el llamado Período Medio del Norte Chico. Este pueblo llega a la zona, instalándose fundamentalmente en el curso medio de los valles y en la costa, aunque recurre a los sectores cordilleranos para la obtención de materias primas como la obsidiana. Los camélidos tienen una gran importancia ritual, depositándose muchas veces como parte de una elaborada funebria. Desde el punto de vista artístico, la decoración de su cerámica constituye la base de los posteriores desarrollos de la llamada cultura Diaguita chilena. Para el valle de Copiapó, se destacan las fortificaciones de Puntilla Blanca y Quebrada Seca. Habría un notorio auge en la agricultura y en las prácticas funerarias, en la metalurgia y ganadería; además de la recolección de recursos marítimos. Los contextos mortuorios adscritos como Ánimas en la costa de Caldera muestran la presencia de camélidos, lo cual para, sería indicativo de un tipo de movilidad vertical y orientada a la complementación de recursos mediante una extensa red de senderos uniendo distintos pisos ecológicos.

VI Periodo de pescadores contemporáneos a poblaciones tardías del desarrollo regional, productoras de alimentos
Nuevas poblaciones llegaron desde el interior (Copiapó y Huasco) cuyas evidencias corresponderían a cerámica Copiapó negro sobre



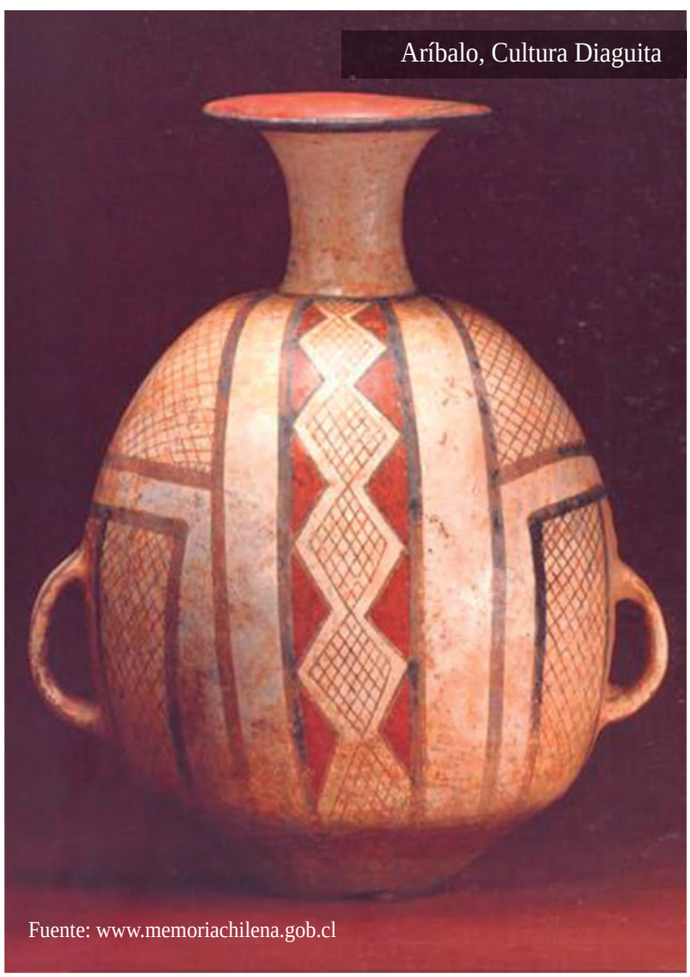
Vasija Trococónica, Complejo Las Ánimas

Fuente: www.museoarqueologicolaserena.gob.cl

rojo, además de grupos del sur (Diaguitas) y del Norte Grande (San Pedro y Gentilar). Castillo (1998) estableció que Caldera y Taltal, son los sitios clásicos de la costa donde confluyeron grupos étnicos prehispánicos de distintos territorios y allí se integraron también los movimientos Diaguitas.

Cultura Diaguita

Hacia el 1.000 años d.C., sin solución de continuidad con el período anterior, se inicia en el Norte Chico su desarrollo cultural más característico, con fuertes nexos con las cumbres Calchaquies en Argentina, la cultura Diaguita chilena. La evolución interna de esta cultura ha sido divida en tres Fases, cada una de las cuales se identifica fundamentalmente por los estilos decorativos de su cerámica, sin duda la más notable de la Prehistoria chilena. Durante la Fase I son característicos el uso de urnas, platos subglobulares profusamente decorados en el interior con bandas blancas sobre fondo rojo, con diseños geométricos en rojo y negro. Esta fase ha sido descrita fundamentalmente en base a hallazgos en Punta de Piedra, Puerto Aldea, Punta de Teatinos y La Serena. En relación con el período anterior (Ánimas), destaca un gran desarrollo de la metalurgia, aplicada en anzuelos, pinzas depilatorias y adornos. En cuanto a las actividades económicas desplegadas en valles y costa, las principales fueron la pesca, la ganadería y la agricultura. Los sitios más característicos de este período están representados en Playa de Carrizalillo, Puerto Guacolda, Bahía Maldonado, Península El Morro, Calderilla, Puerto Chañaral, Caleta Pan de Azúcar, Isla de Chañaral, Caleta Guanillo, Bahía Salada, Puerto Caldera, Caleta Obispito y Caleta Hedionda.



Aríbalo, Cultura Diaguita

Fuente: www.memoriachilena.gob.cl

En relación con el Período Intermedio Tardío en la costa, Castillo (1998) postuló que la presencia de la Cultura Copiapó fue bastante escasa y que sólo es notoria con el Inca. Previo a la dominación incaica, costó establecer un contexto preincaico e incluso, aquellos que puedan ser definidos como tales, deberán ser sometidos a un mayor control, mientras no se cuenten con mayores antecedentes. Si bien, la Cultura Copiapó tiene una ocupación restringida y acotada al valle homónimo, la Cultura Diaguita posee una extensión mayor, abarcando la región de Coquimbo y ocupando tanto el interior de los valles, como la costa, caracterizándose por ser sociedades agro – marítimas, que explotaron de forma directa los recursos costeros, compartiendo espacios e interactuando con poblaciones locales, tal como sucedió para el caso de Caldera. Evidencias de esta situación son sitios exclusivos Diaguita y otros con cerámica de este tipo asociada a una más costera, conformada por fragmentos monocromos con antiplástico grueso, algunas veces de concha molida, que se encuentra desde Taltal a Coquimbo (Mankuk 2017).

VII Periodo de pescadores contemporáneos a la expansión Inca hasta la Colonia

El período agroalfarero tardío se caracterizó por un “decaimiento” en que las poblaciones dominadas por el Inca se constituyeron en enclaves específicos para la explotación especializada de recursos marinos, dependientes de centros administrativos interiores.

Los Changos

Los pescadores continuaron sus modos de vida tradicionales, con un carácter semi-nómada, los cuales durante la Colonia y comienzo de la República serán denominados “Changos”, ésta fue la denominación que se mantuvo luego del período colonial y que incluyó otros nombres, como uros, camanchacas y proanches. Estudios genéticos comparativos de grupos prehistóricos y étnicos actuales, establecen la relación genética entre individuos pertenecientes a la Cultura Chinchorro, que se desarrolló en las costas del Norte de Chile y el Sur de Perú entre 7900 y 4000 AP y descendientes de Changos, siendo éstos entonces los últimos representantes y herederos de la Cultura Chinchorro (Rothhammer 2010). Hoy en día, el término “Chango” hace referencia a los descendientes de generaciones que inmigraron a estas zonas, principalmente a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, en busca de trabajo en la minería y con la ilusión de generación de recursos. En ellos se reconoció la continuidad de la tradición costera y se observa cómo la siguen desarrollando y transformando, a partir de los contextos que les ha tocado vivir, entre ellos, los diversos procesos históricos acaecidos, tales como el auge de la minería, agricultura y la incorporación a los centros urbanos. Los sitios adscritos a este período se corresponden con los del período VI (Recuadro 19.2).

Durante este período, la ocupación del litoral por parte del Inca o grupos locales dominados por éstos fue débil. Los rasgos más visibles del período son grupos aculturados Diaguitas o Diaguita - Inca. Cervellino (1995), infiere que grupos especializados eran dirigidos desde un centro administrativo, ubicado posiblemente en



Balsa Changa de cuero de lobo construida en Chañaral de Aceituno en 1965

Fuente: www.museoarqueologicolaserena.gob.cl

Copiapó. Sin embargo, según Castillo (1998), el Inca revitalizó la ocupación costera, siendo los contextos arqueológicos en Caldera, Bahía Salada y Obispito, los más importantes. Se postuló que los recursos marinos más la posibilidad de comunicación y tráfico hacia los valles sureños, habrían constituido algunas de las motivaciones para asentar poblaciones en la costa. Caldera, habría constituido uno de los "focos" de dominio incaico, el cual, a su vez, respondería a los centros político – administrativos al interior del valle de Copiapó.

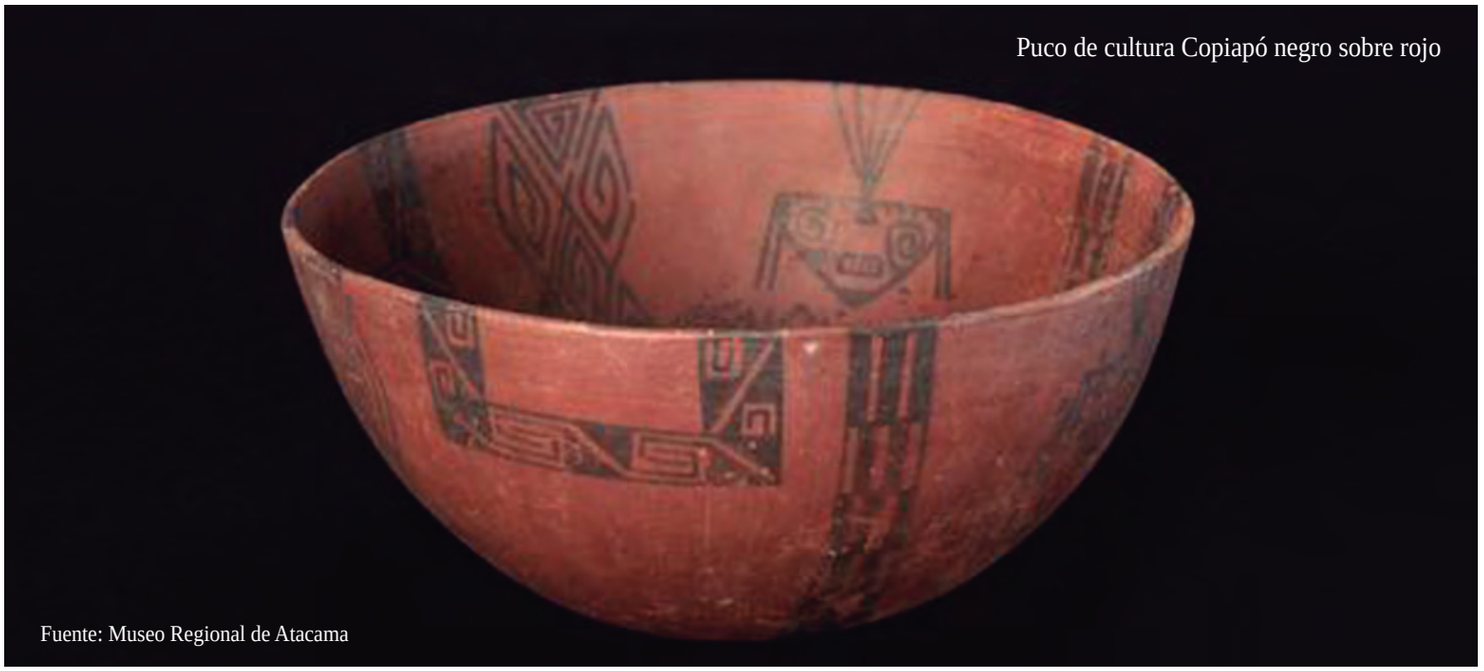
Con la llegada del Inca a Atacama, se produjo un incremento en la explotación de los recursos marinos, espacio que, a lo largo de toda la secuencia temporal fue continuamente habitada por diversas poblaciones. Evidencia de esto, es la presencia de tamberías, junto con material diagnóstico incaico en Obispito, Rodillos, Bahía Obispo, Playa Flamenco, Bahía Salada, Pajonal y Totoral. Asimismo, fragmentos de cerámica Diaguita – Inca, han sido reportados en varios sitios entre Puerto Viejo y Carrizal, entre Huasco y Quebrada Tongoy, en Punta Alcalde y en Isla Chañaral (Cabello et al. 2010).

Los Collas (o Kollas)

Los Collas chilenos son descendientes de familias que emigraron del noroeste argentino y sur de Bolivia en las últimas décadas del siglo XIX. La teoría más aceptada del origen de los collas postula que surgieron de la mezcla de distintos grupos indígenas que habitaban los valles, punas y quebradas andinas del noroeste de Argentina. Durante la dominación Inka y la época colonial, ocurrieron traslados y movimientos de estos grupos andinos. En el período republicano se sumaron migraciones indígenas provenientes del sur de Bolivia. En el siglo XIX la síntesis de estos grupos habría dado origen a una nueva categoría étnica, la cual se denominó "colla". Los Collas poseen un sistema de poblamiento disperso, que ocupa las aguadas y vegas de los fondos de valles y quebradas de la precordillera y el borde de la puna de las provincias de Copiapó y Chañaral. Las comunidades se asientan en el río Jorquera y sus afluentes, en la quebrada de Carrizalillo, en las quebradas de Paipote, San Miguel y San Andrés, en la quebrada de Chañaral e Inca de Oro, en el río Salado en la zona de Potrerillos, hasta la quebrada Jardín y Doña Inés. También en Serranía Poblete, al poniente de la ciudad de Copiapó y en Los Loros. El poblamiento más permanente, se localiza a lo largo del río Jorquera y parte del río Figueroa. En la quebrada de Paipote, se asientan entre sector La Puerta y Vega de Tapia, y en Potrerillos, en la quebrada del Agua Dulce, las aguadas San Juan y Castilla y la quebrada de Doña Inés Chica. El resto del territorio se ocupa en el pastoreo estacional, a través del asentamiento de majadas o puestos ganaderos. El censo de 2002 señala que a la etnia Colla pertenecen 3.198 personas.

Los Copiapóes: la cultura Copiapó

La asignación cultural de una extraña cerámica, conocida ahora como Copiapó negro sobre rojo, ocurrió sólo en las últimas dos décadas del siglo XX gracias a los arqueólogos Hans Niemeyer, Gastón Castillo y Miguel Cervellino, aún estos hallazgos habían sido descritos desde fines del siglo XIX (Díaz et al. 2023). Al principio, se pensaba que el valle de Copiapó había sido ocupado durante el intermedio tardío por la cultura Diaguita chilena y bastante homogénea, de acuerdo al análisis estilístico de la cerámica, unido esto a la ausencia de sitios arqueológicos preservados y, paralelamente, la ausencia de datación, no da cuenta



Puco de cultura Copiapó negro sobre rojo

Fuente: Museo Regional de Atacama

de que la cerámica correspondía a un desarrollo cultural único, pre incaico y completamente diferente a lo conocido. Esta cerámica simboliza la presencia de una población coetánea a la Diaguita, que no permitió la expansión de esta cultura más al norte del valle de Huasco. La población tardía de Copiapó no es Diaguita, sino que corresponde a la Cultura Copiapó. Este desarrollo regional propio, nace a partir del año 1.000 d.C. hasta la llegada del poder Inca-Diaguita hacia el año 1.450 d.C. Algunos investigadores plantean que esta cultura nace a partir de la evolución del horizonte cultural Ánimas (800 d.C. al 1.000 d.C.) y la incorporación de nuevas influencias del área panandina y/o noreste argentino, con la irrupción de la cultura La Aguada (Díaz 2023).

Finalmente, en trabajos como los de Cervellino (1995) se indica la dificultad de establecer una adecuada secuencia cronológica dadas las características de los contextos arqueológicos, con gran alteración antrópica y el coleccionismo. También se postula la mezcla entre poblaciones costeras locales y otros grupos llegados a la costa desde Arica, Pisagua, la desembocadura del río Loa, Cobija y el área de Taltal, junto con Caldera.

Como hemos observado en algunas de las imágenes, hay bastante evidencia de ocupaciones y usos del territorio, sobre todo del borde costero de la región de Atacama. Lamentablemente, mucho de ese patrimonio se ha dañado o perdido irremediablemente, por la extracción de estos elementos para su comercialización. El Consejo de Monumentos Nacionales, según la Ley 17.288 de 1970, es la institución del Estado que tiene la tuición y responsabilidad de protección de evidencia paleontológicas (Ver Recuadro 3.2), arqueológicas y otras del patrimonio histórico del país, lo que incluye lugares, ruinas, construcciones u objetos de carácter histórico o artístico; los enterratorios o cementerios u otros restos de los aborígenes, las piezas u objetos antropo-arqueológicos, paleontológicos o de formación natural, que existan bajo o sobre la superficie del territorio nacional o en la plataforma submarina de sus aguas jurisdiccionales y cuya conservación interesa a la historia, al arte o a la ciencia; los santuarios de la naturaleza; los monumentos, estatuas, columnas, pirámides, fuentes, placas, coronas, inscripciones y, en general, los objetos que estén destinados a permanecer en un sitio público, con carácter conmemorativo. Sin embargo, lo extenso de los territorios y la inaccesibilidad de muchos lugares donde existe patrimonio, hace casi imposible un efectivo resguardo y fiscalización, por lo que el rol de la conciencia personal, es fundamental para mantener nuestra riqueza patrimonial.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 19.1:275-276



Recuadro 19.1 Flora nativa con alto valor etnobotánico para las comunidades indígenas Colla

Claudio P. González Gómez & Valeska Guevara Torrejón

Las Comunidades Indígenas Colla habitan principalmente en la precordillera y cordillera de la región de Atacama, entre los 2000 y 4000 msnm. Una de sus costumbres de vida es la búsqueda de agua y alimento para el ganado caprino en función de las épocas del año (trashumancia). En este sentido se identifican dos migraciones, la veranada y la invernada. Durante estas migraciones los Collas hacen uso de las yerbas que habitan en las laderas de sus cerros y quebradas cordilleranas (González-Gómez & Guevara-Torrejón 2020), laderas, fondos o portezuelos. Estas yerbas son utilizadas principalmente con propósitos medicinales, y si bien, antiguamente este conocimiento y su aplicación se centraba en la figura del "sanador" dentro de las comunidades Colla. En la actualidad este conocimiento y sus aplicaciones es realizado por más de un Colla dentro de un Ayllu (clan familiar). Las yerbas se pueden aplicar como infusiones, macerados, polvos, tinturas, licores, aceites, cremas, pomadas y ungüentos, según el objetivo o malestar que desee tratar.

Entre estas plantas nativas de significancia para las comunidades Colla se encuentran:

Bailahuen (*Haplopappus baylahuen*): Arbusto resinoso entre 30-40 cm de altura que forma matorrales hemisféricos. Poseen inflorescencia tipo capítulo de color amarillo. Habita en la región de Atacama y Coquimbo, entre los 2700 y 3500 msnm. Se toma como infusión para estimular funciones digestivas, aliviar molestias estomacales y como reconstituyente sexual.







Chachacoma (*Senecio eriophyton*): Arbusto leñoso y ramificado que forma matorrales esféricos. Sus hojas son carnosas y están cubiertas por una lana blanca algodonosa. Posee una inflorescencia tipo capítulo de color amarillo. Habita entre las regiones de Antofagasta y O'Higgins, entre los 3500 y 4800 msnm. Se toma como infusión con leche para aliviar los síntomas respiratorios (expectorante) o como infusión simple para aliviar síntomas de la puna. También se preparan cremas y ungüentos para cuidar la piel y realizar masajes.



Flor de la Puna (*Oriastrum sphaeroidale*): Planta pequeña de hasta 3 cm de altura. Sus hojas están cubiertas por una densa lana blanca y entre ellas surge una inflorescencia tipo capítulo, que le otorga un aspecto algodonoso y esférico. Habita entre la región de Antofagasta y Coquimbo, desde los 3200 hasta los 5000 msnm. Se toma como infusión para aliviar los síntomas del mal de altura (puna).





Tola (*Fabiana imbricata*): Arbusto que puede alcanzar hasta los 3,5 m de altura. De aspecto leñoso y ramificado. Sus hojas sésiles están cubiertas por una resina. Su flor es blanca, solitaria y con forma de embudo. Habita entre las regiones de Atacama y Los Lagos, entre los 2600 y 4200 msnm. Se toma en infusión como diurético y para depurar líquidos y grasas. También se preparan tinturas para los mismos propósitos.



Quinchamalí (*Calceolaria pinifolia*): Planta de base leñosa y porción superior herbácea, que forma cojines postrados y resinosos. Posee inflorescencia del tipo cimosa, con corola bilabiada (con forma de zapatito), usualmente amarilla. Habita entre las regiones de Atacama y Valparaíso, entre los 2600 y 4300 msnm. Se utiliza como sahumerio en ritos ceremoniales. Se hierve la yerba y se toma fría para limpiar los riñones. También se preparan tinturas para purificar la sangre, alivia colon y úlceras.







Pingo-Pingo (*Ephedra americana*): Arbusto densamente ramificado que puede alcanzar los 3 m de alto. Sus ramas son delgadas y cilíndricas, con pequeñas hojas en los nudos, casi imperceptibles. Poseen inflorescencia de tipo estróbilo, de color amarillo (masculinos) y anaranjados y carnudos (femeninos). Habita desde la región de Arica y Parinacota hasta la región de Coquimbo, entre los 500 y 4300 msnm. Se hierve la yerba y se toma fría para aliviar afecciones del sistema urinario y síntomas del hielo.





Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 19.2:277-278



Recuadro 19.2 El pueblo Chango

Luis A. Véliz

El pueblo Chango es el penúltimo pueblo indígena en ser reconocido por el Estado de Chile tras años de invisibilización por parte de la historiografía y antropología chilena. El 17 de octubre de 2020, a través de la Ley Nº 21.273, que modifica la ley indígena Nº 19.253, se oficializó el reconocimiento del pueblo Chango como la décima etnia indígena en ser reconocida dentro de la legislación chilena.

En este recuadro se aborda un recorrido cultural y patrimonial sobre el pueblo chango que ha logrado resistir a través de los años conservando un increíble patrimonio cultural que ha sido capaz de resistir a los tiempos modernos y que es importante reconocer, valorar y promover.

En cuanto al origen del pueblo Chango, existe un consenso entre los historiadores y antropólogos, y es que no se constituye a partir de una sola raíz étnica, sino más bien coinciden en que es un concepto impuesto por los colonos para aglutinar a diversas poblaciones de pescadores que vivían en la zona costera, en este sentido las denominaciones como "camanchacos," "camanchangos," o "Changos" eran utilizados para referirse a varios pueblos costeros prehispánicos que habitaban desde el sur de Perú hasta el norte de Chile (Latcham 1910, Bengoa 2004, Berenguer et al. 2008). Fueron conocidos como "uros pescadores", "camanchacas" o "proanches" y a mediados del siglo XVII comenzaron a ser llamados "Changos" (Berenger et al. 2008). Los españoles usaron los términos "uros independientes" o "uros de la costa" para referirse a ellos (Rothhammer et al. 2010). De esta manera, el nombre "Changos" se constituyó a partir de diversas denominaciones y se consolidó como la identificación común para estos pueblos pescadores costeros.



Arte rupestre en el Médano comuna de Taltal

Fuente: www.tarapacainsitu.cl

Diversos registros de la época de Phillipi (1860) dan cuenta que los Changos no solo se dedicaban a la pesca, sino también a la caza y la recolección. Su dieta incluía pescado, mariscos, carne de cabra, leche y huevos, siendo el trigo, maíz y harina algo poco común para su alimentación. Esta base alimenticia da cuenta de diversas actividades económicas que eran fundamentales para la subsistencia de los Changos, especialmente en momentos de condiciones desfavorables en el mar o escasez de recursos, los hombres se dedicaban a la caza de guanacos (Fonck 1912).

Los Changos instalaron sus campamentos habitacionales en las proximidades de fuentes de agua como vertientes, cerca del mar, ríos y quebradas. Estos lugares también funcionaban como cementerios y sitios de expresión artística rupestre. Además, utilizaban viviendas temporales, como cuevas y laderas de cerros costeros, protegidas por pircas u otros materiales. Entre estas construcciones destacaban los "toldos", que eran estructuras adosadas a las rocas, cubiertas con pieles de animales y sostenidas por postes de cactus o costillas de cetáceos. Estos toldos podían formar campamentos base o pequeñas aldeas habitadas por varias familias (Berenguer et al. 2008). Estos lugares, también conocidos como "tolderíos", representaban un espacio físico y social para las unidades familiares changas, conformado por hogares construidos con materiales fácilmente transportables (Castelleti 2019).

Según Philippi (1860), los ranchos de los Changos eran muy sencillos y miserables, se fijaban cuatro costillas de ballena o troncos de quisco y le colocaban cueros de cabra, de lobo marino o algas secas para su construcción.

Los Changos igual se caracterizaban por utilizar el cuero de lobo marino para realizar balsas y el estómago les servía para trasportar y guardar agua. Las formas de ocupación de los Changos de la zona costera se caracterizaron por ser de carácter transitorio o seminómada en el territorio. Esta movilidad se encuentra vinculada de manera directa con el tipo de economía marítima que practicaban y, algunos grupos, al poseer ganado también realizaban rutas tradicionales basadas en la trashumancia.

Las formas de entierros que practicaban los Changos consistían en dejar estirados en una posición extendida y horizontal al cadáver siendo este un rasgo característico de las practicas funerarias de los grupos étnicos que conformaban al pueblo Chango (Latcham 1910), junto con envolver los cuerpos de los difuntos, actividad que, según los arqueólogos, se practicaba desde la cultura de los Chinchorros (Berenguer et al. 2008).

Roberto Álvarez (adelante), el último constructor de balsas de cuero de lobo marino, navegando junto a Higinio Vergara (atrás) cerca de Caleta Chañaral en el año 1940



Fuente: Álvarez (2013)



Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 20:279-286

Capítulo 20 Estado de conservación de la biota de la región de Atacama

Francisco A. Squeo, Reinaldo Avilés, Jaime Pizarro-Araya, Laura Sánchez Jardón & Myriam Ramírez-Herranz

Resumen

En los capítulos precedentes se ha descrito la biodiversidad de distintos grupos de organismos que habitan actualmente la región de Atacama. Considerando los resultados hasta el 18º proceso de clasificación de especies en categorías de conservación (2023), en la región de Atacama se han tratado oficialmente 338 taxa de los reinos Plantae, Fungi y Animalia. De ellos, 9 taxa se les consideran extintos (2,7% de los taxa clasificados), 160 taxa están en una categoría de amenaza (CR = En peligro crítico, EN = En peligro, VU = Vulnerable, 47,3%), 153 taxa en categorías que no alcanza el umbral de amenazada (NT = Casi amenazada, LC = Preocupación menor, 45,3%) y 16 taxa (4,7%) clasificadas con Datos Insuficientes (DD).

El Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres (RCE) chileno

Determinar si una especie se encuentra en riesgo de extinción es relevante dado que permite identificar elementos de la biota amenazada, constituyéndose en una herramienta para orientar las prioridades en materias de conservación.

Utilizando criterios y procedimientos replicables para determinar la categoría de amenaza en que se encuentra una especie, se asegura una mayor precisión y certeza de la clasificación asignada. Por ello, los sistemas de clasificación utilizados a nivel mundial han evolucionado desde apreciaciones de expertos y criterios de tipo subjetivo, hacia el uso de criterios de tipo cuantitativo, que en su mayoría están dirigidos a determinar la probabilidad de extinción de una especie, en un plazo de tiempo determinado (Squeo et al. 2010, Tala et al. 2013), bajo la influencia de la presión de cierto tipo de amenazas.

La necesidad de disminuir las fuentes de clasificación y de entregar mayor certeza jurídica a la categoría de conservación asignada a una determinada especie, se subsanó parcialmente el año 1994 con la publicación de la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente donde se mandató la dictación de un reglamento para clasificar a las especies de fauna y flora según estado de conservación.

Chile generó un sistema de evaluación nacional, y cuenta desde 2005 con un procedimiento oficial y regulado de asignación de un estado de conservación a las especies nativas, con poco más de 1.528 especies evaluadas a la fecha (diciembre de 2023).

Ha habido dos reglamentos de clasificación derivados del artículo 37 de la Ley 19.300, primero fue el Decreto Supremo N° 75/2005 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES), y, actualmente el Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres vigente corresponde al Decreto Supremo N° 29/2012 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Los principales cambios fueron: el reemplazo de las categoría de estado de conservación por las actualmente vigentes para UICN (UICN 2001), la aplicabilidad a un mayor número de grupos taxonómicos (no sólo animales y plantas sino que también algas y hongos), un aumento en el número de miembros del Comité de Clasificación de 12 a 15, la supresión de aprobación de parte del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad a la nómina de especies que serán clasificadas, ajustes en los plazos definidos y la incorporación de algunas consideraciones taxonómicas (Tala et al. 2013).

Praocis insularis (Extinto)



Fuente: clasificacionespecies.mma.gob.cl/

¿Cómo opera en Chile la clasificación de especies según su estado de conservación?

La versión vigente del Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres según Estado de Conservación (D.S. 29/2011 del MMA) establece un procedimiento normalizado que utiliza los criterios y las categorías definidas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN 2001). La clasificación se sustenta con información científico-técnica y el uso de criterios objetivos, y puede ser aplicado a plantas, algas, hongos y animales nativos, según establece actualmente la Ley N° 19.300 de Bases del Medio Ambiente.

La clasificación la realiza un comité científico-técnico administrado por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), donde participan todos los miembros e instituciones que conforman el Comité de Clasificación de Especies. Este está integrado por seis miembros de Servicios Públicos (SAG, CONAF, SUBPESCA, SERNAPESCA, Museo Nacional Historia Natural y MMA) y nueve miembros del mundo científico-académico (tres propuestos por la Academia Chilena de Ciencias, tres por las universidades autónomas y tres por los sectores agrario, forestal y pesquero).

En forma previa a cada uno de los procesos de clasificación, el MMA invita a la ciudadanía, a través de un diario de circulación nacional y su sitio web, a que, en un plazo no mayor de dos meses, proponga especies susceptibles de ser clasificadas. Esta misma invitación es también realizada a los organismos competentes del Estado.

Con la información recibida, así como los antecedentes de que disponga el MMA, se elabora un listado de especies a clasificar, nómina que debe ser aprobada por el Subsecretario del Medio Ambiente, para luego ser transformada en una Resolución del MMA, que se publica en el Diario Oficial, en un diario de circulación nacional y, en el portal electrónico del Ministerio, dándose de ese modo inicio formal al proceso de clasificación de especies. Una vez iniciado un proceso de clasificación, se abre una segunda instancia de consulta pública, en la que la ciudadanía tiene un mes de plazo para aportar antecedentes sobre las especies que serán clasificadas.

Desde el momento en que se inicia el proceso, el Comité de Clasificación cuenta con un plazo máximo de tres meses para elaborar la propuesta preliminar de clasificación, es decir, para asignar a cada especie una categoría de conservación. Para ello, el Comité de Clasificación debe utilizar las categorías vigentes y los criterios que la UICN ha desarrollado para estimar el riesgo de extinción (UICN 2001), así como también las directrices elaboradas por UICN para el uso de los criterios a nivel global y también a nivel regional (UICN 2012, 2014).

Esta propuesta preliminar de clasificación se somete luego a una tercera instancia de consulta pública, para lo cual el MMA la publica en el Diario Oficial, en un diario de circulación nacional y en el portal electrónico del Ministerio. Durante ese período de consulta pública, que dura un mes, cualquier persona natural o jurídica puede formular observaciones o reparos por escrito a la propuesta elaborada por el Comité de Clasificación, debiendo acompañar los antecedentes que justifiquen sus observaciones.

Una vez cerrada esta tercera instancia de consulta pública, el Comité de Clasificación evalúa, en un plazo máximo de 10 días, las observaciones recibidas de parte de la ciudadanía y elabora la propuesta definitiva de clasificación. Esta propuesta es enviada al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático, el cual tiene como función pronunciarse sobre dicha propuesta. Este Consejo posee la facultad de aprobar o rechazar cada una de las clasificaciones propuestas, pero no puede modificar un determinado resultado. Un Decreto Supremo del Ministerio del Medio Ambiente oficializa las categorías propuestas para la lista de especies del respectivo proceso. Con la publicación de dicho Decreto Supremo en el Diario Oficial se completa el Proceso de Clasificación de Especies, y sus resultados son oficiales y válidos a nivel nacional.

La Ley 21.600 que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP), publicado el 6 de septiembre de 2023, indica que este servicio será el responsable en el futuro de formular una propuesta de clasificación al Ministerio del Medio Ambiente,



Leontochir ovallei (EN) y *Lama guanicoe* (VU) en PN Llanos de Challe

Foto: Hugo Pérez

En 18 años en que ha estado operando la clasificación de especies en categorías de conservación (i.e., desde el año 2005 y hasta el 2023), se han terminado completamente, hasta la publicación en el Diario Oficial, un total de 18 procesos.

De las especies nativas registradas en la región de Atacama se han clasificado en total 338 taxa, aunque 16 de ellos en la categoría de datos insuficientes (DD). Del total clasificado, 131 taxa corresponden al reino Plantae, 31 del reino Fungi y 176 del reino Animalia. En una categoría de amenaza hay 160 taxa (CR = En peligro crítico, EN = En peligro, VU = Vulnerable, 47,3%) y 153 taxa no alcanzan el umbral de amenazada (NT = Casi amenazada, LC = Preocupación menor, 45,3%). Ver detalles hasta el nivel de Clase en la siguiente tabla.

Número de taxa presentes en la región de Atacama clasificados en categorías de conservación según el Reglamento de Clasificación de Especies del Ministerio de Medio Ambiente. Se muestran los resultados hasta el proceso 18 de clasificación (publicado en el Diario Oficial el 6 de octubre de 2023). Ver listado de especies clasificadas en el Anexo 1 ubicado en la IV Unidad del Libro.

Reino / Phylum-División / Clase	EX	CR	EN	VU	NT	LC	DD	Total
Reino Plantae	**8**	**2**	**29**	**49**	**23**	**20**	**0**	**131**
División Pteridophyta	**0**	**0**	**0**	**2**	**1**	**3**	**0**	**6**
Clase Filicopsida	**0**	**0**	**0**	2	1	2	**0**	5
Clase Sphenopsida	0	0	0	0	0	1	**0**	1
División Magnoliophyta	**8**	**2**	**29**	**47**	**22**	**17**	**0**	**125**
Clase Liliopsida	1	**0**	4	7	5	3	**0**	20
Clase Magnoliopsida	7	2	25	40	17	14	**0**	105
Reino Fungi	**0**	**0**	**1**	**2**	**1**	**21**	**6**	**31**
División Ascomycota	**0**	**0**	**1**	**2**	**1**	**18**	**5**	**27**
Clase Arthoniomycetes	0	0	0	2	0	4	0	6
Clase Lecanoromycetes	0	0	1	0	1	14	5	21
División Basidiomycota	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**3**	**1**	**4**
Reino Animalia	**1**	**13**	**23**	**41**	**31**	**57**	**10**	**176**
Phylum Arthropoda	**1**	**2**	**4**	**5**	**3**	**4**	**1**	**20**
Clase Arachnida	0	0	1	0	1	0	0	2
Clase Insecta	1	2	3	4	2	4	1	17
Clase Malacostraca	0	0	0	1	0	0	0	1
Phylum Chordata	**0**	**11**	**19**	**36**	**28**	**53**	**9**	**156**
Clase Actinopterygii	0	0	0	3	0	3	0	6
Clase Amphibia	0	0	0	2	1	1	0	4
Clase Aves	0	2	11	15	18	24	1	71
Clase Chondrichthyes	0	4	0	4	0	0	0	8
Clase Mammalia	0	3	5	5	4	17	8	42
Clase Reptilia	0	2	3	7	5	8	0	25
Total	**9**	**15**	**53**	**92**	**55**	**98**	**16**	**338**

Especies declaradas extintas en la región de Atacama

En la categoría Extinta (EX) hay 8 taxa del reino Plantae y una especie del reino Animalia equivalente al 2,7% de los taxa evaluados.

La clasificación del primer insecto extinto en Chile corresponde a *Praocis (Orthogonoderes) insularis*, un tenebriónido descrito por el entomólogo alemán Hans Kulzer a partir de material recolectado en la Isla Guacolda (1938), isla continental cercana a Huasco que luego fue modificada artificialmente por una empresa minera nacional (1959). Pizarro-Araya et al. (2023) muestran evidencia que respalda la extinción local de esta especie en un ambiente que fue altamente modificado en las últimas 6 décadas. La microdistribución de muchos grupos de insectos endémicos del desierto de Atacama (e.g., *Gyriosomus*, *Praocis*, *Cnemalobus*) y la modificación de sus particulares hábitats estarían generando otras extinciones locales, incluyendo especies que desaparecen antes de haber sido descritas o ni siquiera identificadas (i.e., extinciones en la sombra o “dark extinction”).

De las especies extintas del reino Plantae destacamos a *Conyza copiapina* (Asteraceae), *Ivania cremnophila* (Brassicaceae) y *Adesmia odontophylla* (Fabaceae) todas endémicas de la región de Atacama.



Conyza copiapina (EX)

Fuente: clasificacionespecies.mma.gob.cl



Ivania cremnophila (EX)

Fuente: www.herbariodigital.cl



Adesmia odontophylla (EX)

Fuente: clasificacionespecies.mma.gob.cl

Praocis medvedevi (CR)



Fuente: clasificacionespecies.mma.gob.cl

Phoebastria irrorata (CR)



Foto: Saskia Hostens

Galeorhinus galeus (CR)



Fuente: clasificacionespecies.mma.gob.cl

Eriosyce sociabilis (CR)



Foto: Marcelo Rosas

Especies en categoría de amenaza en la región de Atacama

En la región de Atacama hay un total de 160 taxa que están en una categoría de amenaza, equivalente al 47,3% de los evaluados. Trece de los 15 taxa en Peligro Crítico (CR), corresponden al reino Animalia, y 2 a Plantae. Entre ellos destacamos al coleóptero *Praocis medvedevi*; entre los tiburones al cazón *Galeorhinus galeus*; entre las aves, a una pelágica, el albatros de Galápagos *Phoebastria irrorata*; y de reino Plantae, al cactus *Eriosyce sociabilis*. En capítulos y recuadros previos hay otros ejemplos de especies clasificadas en Peligro Crítico, como las tortugas marinas (Capítulo 16), la Chinchilla de cola corta (Recuadro 18.1) o la Ballena azul (Recuadro 18.3).

En la categoría En Peligro (EN) en la región de Atacama hay 53 taxa, 29 de Plantae, 1 de Fungi y 23 de Animalia, y en Vulnerable (VU) un total de 92 taxa, incluyendo 2 taxa del reino Fungi, 49 Plantae y 41 Animalia. En este grupo destacamos al coleóptero *Acalodegma vidali* (EN), la langosta *Elasmoderus minutus* (VU) y al primer escorpión En Peligro del cono Sur de sudamérica, *Brachistosternus cepedai*. Por su endemismo, en categoría Casi Amenazada (NT) destacamos a la araña *Cyrioctea islachanaral*.

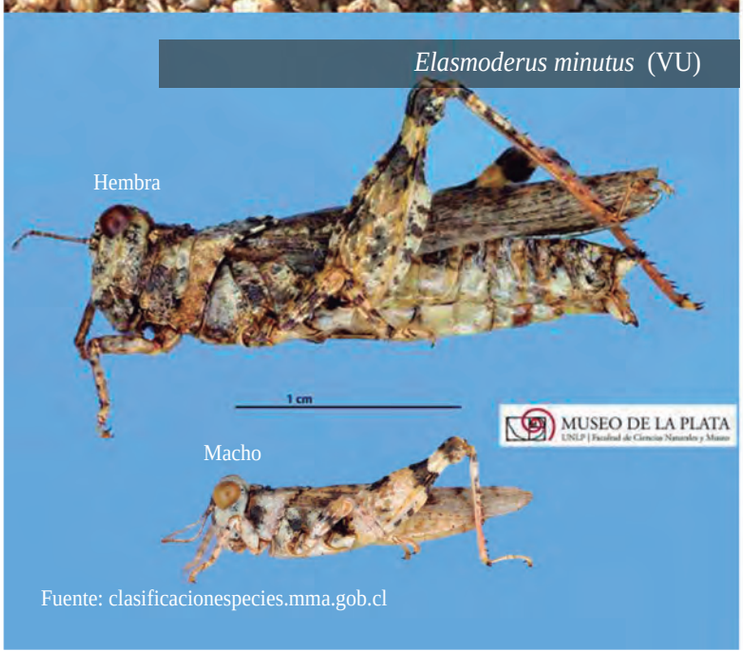
¿Cuántas especies existen en Atacama?

El reto de este libro era acercarnos a un número de especies nativas presentes en la región de Atacama, con foco a los grupos considerados en la Ley de Bases de Medio Ambiente (i.e., de plantas, animales, algas y hongos; que aquí interpretamos como eucariontes multicelulares). En los capítulos del 6 al 18, y en algunos recuadros, los autores proporcionan la mejor y más actualizada información disponible de los taxa nativos para cada grupo. En algunos pocos casos se trata de estimaciones de taxa conocidos para la región, los que probablemente están subestimados. Entre ellos los phyla Priapulida, Nematoda y Loricifera del superhylum Ecdysozoa, donde se estimaron 60 taxa, y en los subphyla Cephalochordata (1 especie) y Tunicata (8



Acalodegma vidali (EN)

Fuente: www.naturalist.org

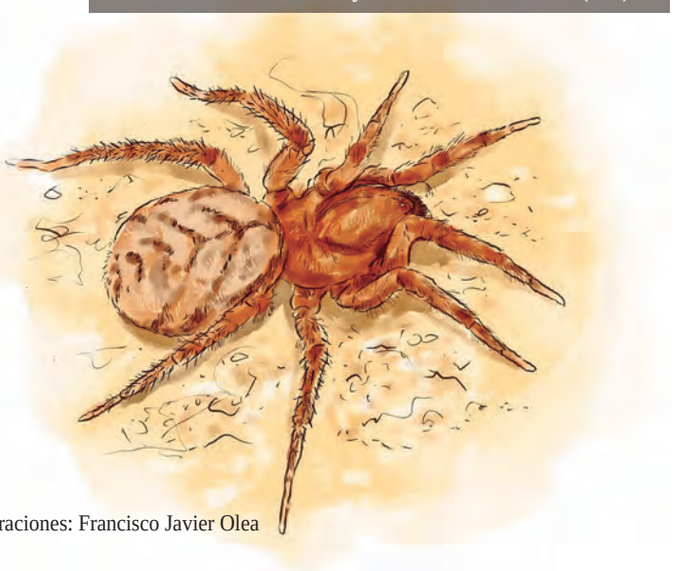


Elasmoderus minutus (VU)

Fuente: clasificacionespecies.mma.gob.cl



Brachistosternus cepedai (EN)



Cyrioctea islachanaral (NT)

Ilustraciones: Francisco Javier Olea

especies) del phylum Cordata. En estos casos se recurrió, además, a fuentes de información complementaria (AlgaBase.org, iNaturalist.cl, GBIF, BirdLife, HerbarioDigital.cl, entre otras).

La mejor información científica disponible a la fecha indica que en la región de Atacama (incluyendo el territorio y maritorio) se han registrado 3.437 taxa nativos. En reino Animalia posee el mayor número de taxa conocidos para la región (2.113 taxa), donde más de la mitad corresponde al phylum Arthropoda (1.172 taxa). Con 1.217 taxa presentes en Atacama, le sigue el reino Plantae. Con mucho menos especies conocidas para Atacama se encuentran los reinos Fungi (cerca de 79 taxa) y Chromista (8 taxa; este número no incluye a las algas unicelulares como las diatomeas, dinoflagelados, algas doradas, entre otras).

De los 3.437 taxa conocidos, a la fecha sólo el 9,8% de ellos ha sido clasificado en una categoría de conservación. Destaca el reino Fungi con un 39,2% de los taxa conocidos clasificados, sin embargo esta proporción podría bajar al incluirse nuevas especies no descritas aún para la región de Atacama. Los reinos Plantae (10,8% de los taxa clasificados), y Animalia (8,3%), muestran valores más cercanos a la media. Del reino Chromista, que incluye a las algas pardas *Lessonia berteroana* (huiro negro o chascón), *L. trabeculata* (huiro palo) y *Macrocystis pyrifera* (huiro flotador), y que son importantes estructuradores de los bosques de algas, ninguna está clasificada.

Dentro del reino Plantae, ningún taxa de las divisiones Rhodophyta (algas rojas), Chlorophyta (algas verdes) y Bryophyta (musgos, hepáticas y antocerotes) ha sido clasificado. Dentro del reino Animalia también hay varios phyla que no han sido evaluados (e.g., Porifera, Ctenophora, Cnidaria, Mollusca, Echinodermata).

En el reino Animalia, el biodiverso phylum Arthropoda tiene clasificado sólo el 1,7% de sus taxa. Dentro de los Cordados, el subphylum Vertebrata tiene el 34,0% de sus taxa clasificados, pero con serios vacíos en el el grupo de peces Actinopterygii (peces con esqueleto oseo, 9,5% clasificados) y un poco menos en los Chondrichthyes (peces con esqueleto cartilaginoso, 42,1%), y en las aves con el 25,9% de sus taxa clasificados. Las clases con más especies clasificadas correponden a Mammalia (59,2%) y Amphibia (100%).

En casi dos décadas de procesos de clasificación, hemos alcanzado tan sólo el 9,8% de la biodiversidad considerada en la Ley de Base del Medio Ambiente. Entre las principales causas de ésta situación se encuentran: la falta de financiamiento del Estado de Chile para apoyar la confección de fichas de clasificación, las que en su mayoría son aportadas en forma gratuita por la comunidad científica (i.e., consolidación de la información para clasificar), pero también de la complejidad para justificar evaluaciones de rangos de distribución y otras características de historia natural de las especies en el esquema de fondos concursables de la ANID, o la poca relevancia que se le da a los trabajos de orden taxonómico y a la mantención de colecciones biológicas. Algunas de estas tareas,

Número de especies clasificadas según RCA y número total de especies registradas en la región de Atacama. Superphylum y phylum del reino Animalia según Giribet & Edgecombe (2020) y Delsuc et al. (2006). En la última columna se indica el capítulo o recuadro desde donde se obtuvo la información. Con un * se indica un número de taxa posiblemente subestimado para ese grupo.

	Número de taxa			Fuente
	Clasificadas	Totales	%	
Reino Chromista	**0**	**8**	0,0%	Cap. 6
División Ochrophyta	**0**	**8***	0,0%	
Reino Plantae	**131**	**1.217**	10,8%	
División Rhodophyta	**0**	**35***	0,0%	Cap. 6
División Chlorophyta	**0**	**5***	0,0%	
División Bryophyta	**0**	**15**	0,0%	Rec. 7.1
División Pteridophyta	**6**	**12**	50,0%	Cap. 7
Filicopsida	5	9	55,6%	
Sphenopsida	1	3	33,3%	
División Magnoliophyta	**125**	**1.150**	10,9%	Cap. 7
Pinophyta	0	4	0,0%	
Liliopsida	20	168	11,9%	
Magnoliopsida	105	978	10,7%	
Reino Fungi	**31**	**79**	**39,2%**	Cap. 8
División Ascomycota	**27**	**56**	48,2%	
Arthoniomycetes	6	9	66,7%	
Lecanoromycetes	21	47	44,7%	
División Basidiomycota	**4**	**18**	22,2%	
División Glomeromycota	**0**	**5**	0,0%	Rec. 8.1

	Número de taxa			Fuente
	Clasificadas	Totales	%	
Reino Animalia	**176**	**2.133**	**8,3%**	
Phylum Porifera	**0**	**8**	**0,0%**	Cap. 9
Phylum Ctenophora	**0**	**4**	**0,0%**	
Phylum Cnidaria	**0**	**72**	**0,0%**	
PROTÓSTOMOS				
SuperPhylum Spiralia	**0**	**320**	**0,0%**	
Phylum Mollusca	**0**	**188**	**0,0%**	Cap. 10
otros phyla de Spiralia	**0**	**132**	**0,0%**	Cap. 9
SuperPhylum Ecdysozoa	**20**	**1.232**	**1,6%**	
Phylum Arthropoda	**20**	**1.172**	**1,7%**	
Arachnida	2	146	1,4%	Cap. 11
Insecta	17	701	2,4%	
Malacostraca	1	242	0,4%	
otras clases de Artropoda	0	83	0,0%	
otros phyla de Ecdysozoa	**0**	**60***	**0,0%**	Cap. 9, Rec. 9.1
DEUTERÓSTOMOS				
Phylum Echinodermata	**0**	**29**	**0,0%**	Cap. 12
Phylum Chordata	**156**	**468**	**33,3%**	
Subphylum Cephalochordata	0	1*	0,0%	Cap. 13
Subphylum Tunicata	0	8*	0,0%	
Subphylum Vertebrata	156	459	34,0%	
Agnatha	0	1	0,0%	Cap. 14
Chondrichthyes	8	19	42,1%	
Actinopterygii	6	63	9,5%	
Amphibia	4	4	100,0%	Cap. 15
Reptilia	25	27	92,6%	Cap. 16
Aves	71	274	25,9%	Cap. 17, Rec. 17.1
Mammalia	42	71	59,2%	Cap. 18
Total	**338**	**3.437**	**9,8%**	

como el inventario nacional de especies, están exigidas por ley al Ministerio de Medio Ambiente, y aunque hay progresos, estos son aún insuficientes. Gracias al aporte del Proyecto Basal 210006 de la ANID, el Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB) desarrolló el sitio www.herbariodigital.cl que reune el catálogo de especies de plantas vasculares y la digitalización de ejemplares de herbarios chilenos (partió con los herbarios CONC y ULS, pero pronto a incorporarse otros en el futuro inmediato). En sus primeros dos años de trabajo, a diciembre de 2023 se habían digitalizado más de 50.000 ejemplares de herbario. Esta plataforma, que estará interconectada al inventario nacional de especies del MMA, permitió obtener números consistentes para la flora vascular (Capítulo 7) y que se utilizaron en este capítulo.



Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 21:287-304

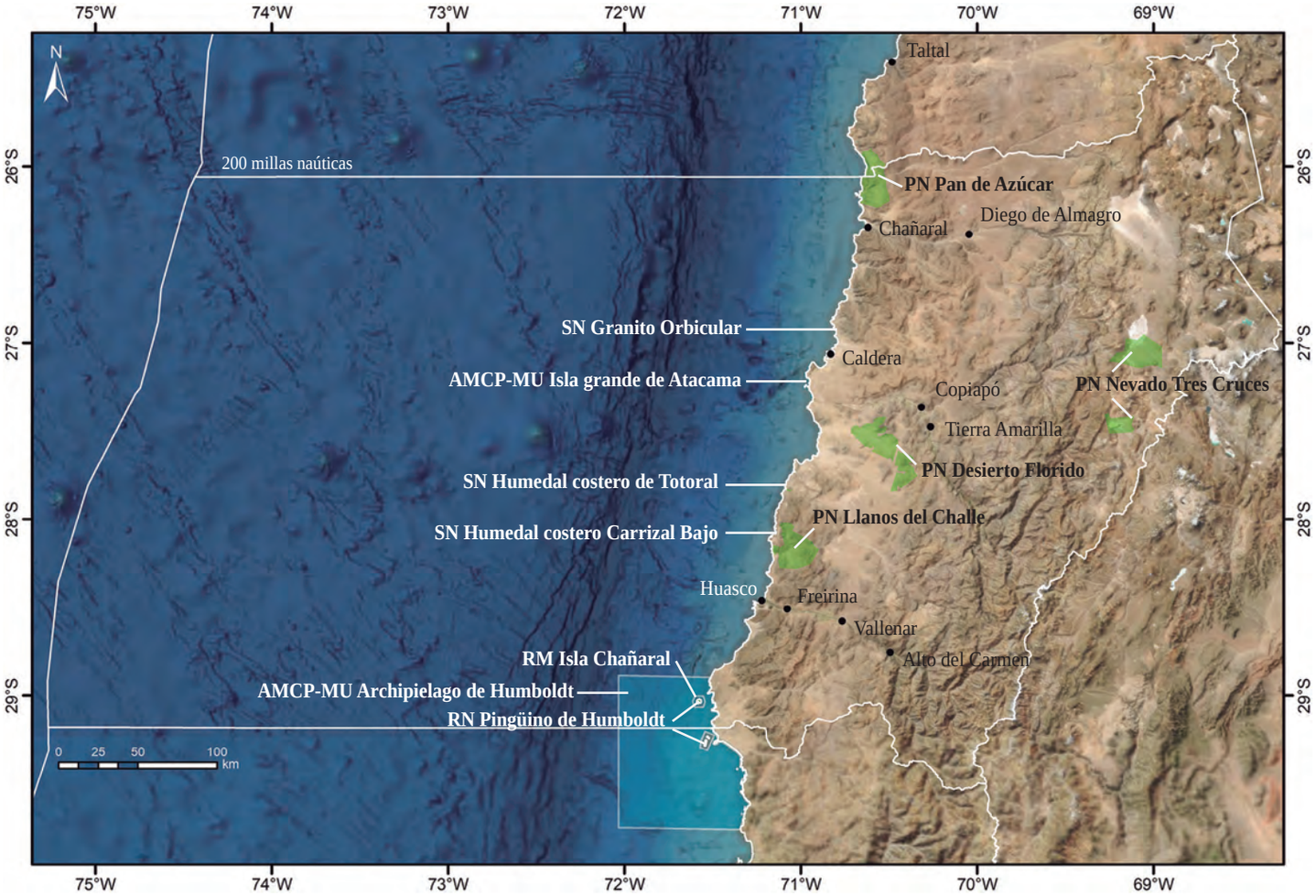
Capítulo 21 Áreas protegidas y sitios prioritarios para la conservación en la región de Atacama

Ricardo Catalán, Francisco A. Squeo, Karina Martínez-Tillería, Álvaro Parra & Carlos Gaymer

Resumen

La región de Atacama tiene una extensión de 75.672 km^2 terrestres a la que se agrega un maritorio de 136.085 km^2 (hasta las 200 mn), lo que suma una superficie total de 211.757 km^2 (ver Recuadro 1.1). En esta extensa superficie, se abarca desde las mayores alturas en la cordillera de los Andes como el Nevado Ojos del Salado, que se eleva hasta los 6.891 metros, correspondiendo a la cumbre más alta de Chile, recorre pampas y cuencas estrechas, serranías precordilleranas y relieves costeros, hasta hundirse en el mar y llegar a profundidades cerca de los 8.000 metros, en la fosa de Atacama. De este vasto territorio 190.351 ha (2,52%) de superficie terrestre y 173.009 ha (1,27%) de superficie marina están protegidas por alguna figura legal, lo que totaliza un 1,72% de superficie regional protegida.

En la región existen 12 áreas con protección oficial, contando con cuatro Parques Nacionales (PN), una Reserva Nacional (RN), dos Áreas Marinas Costeras Protegidas de Múltiples Usos (AMCP-MU), una Reserva Marina (RM) y 4 Santuarios de la Naturaleza (SN). En estos sectores se pretende proteger una muestra representativa del ecosistema de la corriente de Humboldt, del desierto costero, del desierto florido y los ecosistemas cordilleranos de la región. Sin embargo, el porcentaje protegido y representado de cada uno de los diversos ecosistemas terrestres y marinos regionales estan aún muy por bajo de las metas del 30% para el año 2030. Es urgente aumentar la superficie protegida de la región, usando el conocimiento de la biodiversidad regional y herramientas de planificación de apoyo a la toma de decisiones para relevar las áreas de alto valor para la conservación (i.e., sitios



prioritarios), lugares importantes para la conservación del patrimonio natural de la región de Atacama.

Áreas Protegidas

El concepto de área protegida, puede ser bastante amplio, pero básicamente tiene que ver con la existencia de un territorio, administrado con objetivos de conservación. Según la Convención sobre Diversidad Biológica (CBD), un área protegida se entiende como un área definida geográficamente que ha sido designada o regulada y administrada a fin de alcanzar objetivos específicos de conservación.

La ley 21.600 SBAP (que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas), publicada el 6 de septiembre de 2023, define como área protegida, a un espacio geográfico específico y delimitado, reconocido mediante decreto supremo del Ministerio del Medio Ambiente, con la finalidad de asegurar, en el presente y a largo plazo, la preservación y conservación de la biodiversidad del país, así como la protección del patrimonio natural, cultural y del valor paisajístico contenido en dicho espacio. Y tambien diferencia entre área protegida del Estado, como aquella creada en espacios de propiedad fiscal o en bienes nacionales de uso público, incluyendo la zona económica exclusiva, y área protegida privada, como aquella creada en espacios de propiedad privada y reconocida por el Estado conforme a las disposiciones de dicha ley.

Históricamente, el sistemas nacional de áreas protegidas chileno reconocía 11 tipos de áreas protegidas oficiales, de las cuales 5 están presentes en la región de Atacama. En la nueva ley 21.600, las categorías de protección se reducen a sólo seis: a) Reserva de Región Virgen; b) Parque Nacional; c) Monumento Natural; d) Reserva Nacional; e) Área de Conservación de Múltiples Usos; y f) Área de Conservación de Pueblos Indígenas. Los ajustes a estas nuevas categorías de áreas protegidas existentes ocurrirán en los próximos 3 a 5 años.

Parques Nacionales de la región de Atacama

Los Parques Nacionales están establecidos en el D.S. N° 531 de 1967, del Ministerio de Relaciones Exteriores, que aprobó la Convención para la Protección de la Flora, Fauna y Bellezas Escénicas Naturales de los Países de América o Convención de Washington de 1940. El Ministerio de Medio Ambiente ejerce la supervigilancia del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado, actualmente administradas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). En la región existen cuatro Parques Nacionales: PN Pan de Azúcar, PN Nevado Tres Cruces, PN Llanos de Challe y el más reciente PN Desierto Florido.

Parque Nacional Pan de Azúcar: un oasis de niebla

Las áreas silvestres protegidas son espacios destinados por la sociedad para resguardar el hábitat y el bienestar de las otras especies que viven en nuestro planeta. El PN Pan de Azúcar, con 43.754 ha de superficie según su decreto de creación de 1985, de la cual 31.560 ha están en la región de Atacama; es un parque biregional que protege especies endémicas que habitan el desierto costero y que se encuentran en este lugar gracias a la presencia del oasis de niebla asociado al farellón costero y a sus quebradas transversales. Existen variadas especies vegetales como el cachiyuyo (*Atriplex deserticola*) y el allaval (*Adesmia atacamensis*), en la parte más desértica de la unidad. En el lado costero es posible apreciar grama salada (*Distichlis spicata*) y cacho de cabra (*Skytanthus acutus*) y por supuesto cuando florece el desierto, la hermosa y endémica flor de Taltal y Chañaral, la Añañuca rosada (*Paposoa laeta*). En cuanto a la fauna, existe una variedad de especies, como el guanaco (*Lama guanicoe*), la yaca (*Thylamis elegans*), el piuchén (*Desmodus rotundus*) y el chungungo (*Lontra felina*). En aves destaca el piquero (*Sula variegata*), la fardela blanca (*Puffinus creatopus*), el pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) y, además, es uno de los escasos lugares en Chile, donde se puede avistar el águila pescadora (*Pandion haliaetus*).



Nubosidad costera, PN Pan de Azúcar

Foto: José Luis Gutiérrez



Guanaco y *Copiapoa cinerea* var. *columna-alba*



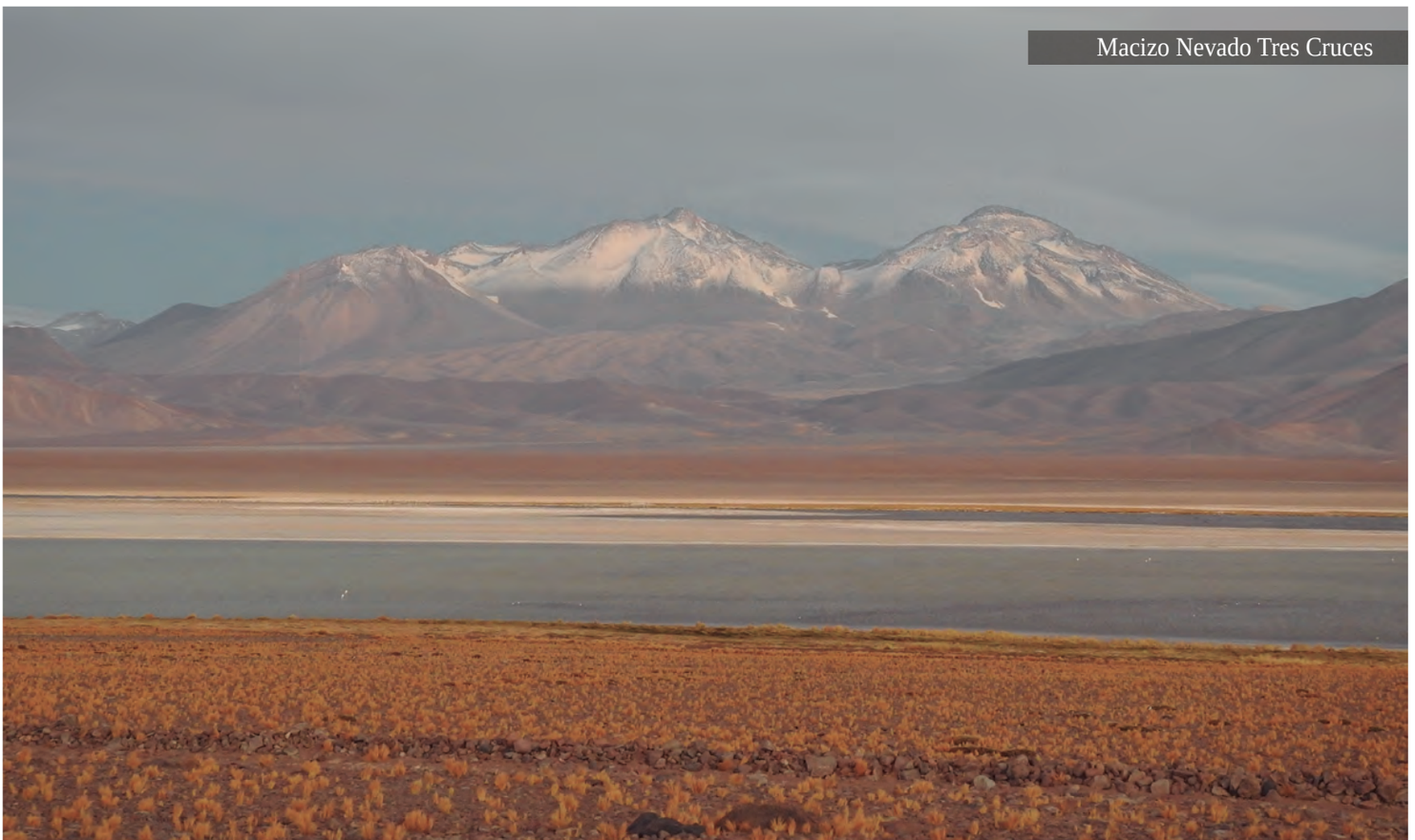
Añañuca rosada *Paposoa laeta*

Parque Nacional Pan de Azúcar

Fotos: José Luis Gutiérrez

Parque Nacional Nevado Tres Cruces: el techo de Atacama

Esta unidad, con 55.575 ha, está inserta en lo que se denomina Desierto Frío de Montaña, caracterizado por una escasa humedad relativa, una gran amplitud térmica tanto diaria como estacional, precipitaciones invernales de preferencia de carácter nival, y en algunos casos precipitaciones estivales originadas por el invierno altiplánico. Por los hábitat y riqueza faunística que poseen, las dos lagunas presentes en el Parque fueron incluidas, según los acuerdos de la Convención Ramsar, en la lista de los Humedales de Importancia Internacional. Por lo que, el complejo lacustre Laguna del Negro Francisco y Laguna Santa Rosa, se transforman en dos lugares únicos y que, además, son también de la mayor superficie del país. Este complejo alberga a grupos de aves, algunas de las cuales se encuentran en categorías de conservación. Los dos sectores del parque están unidos por un corredor biogeográfico, los cuales albergan, una fauna única como las tres especies de flamencos altoandinos, la tagua cornuda, la chinchilla, la vicuña, el guanaco y el puma. La vegetación es escasa, con zonas de puna desértica. En los afloramientos de agua y en riberas de las lagunas, la flora alcanza mayores densidades dominadas por vegas y bofedales, ecosistemas en extremo sensibles y vulnerables, para dar paso a variadas gramíneas y coirones.



Macizo Nevado Tres Cruces



Crías de Vicuña



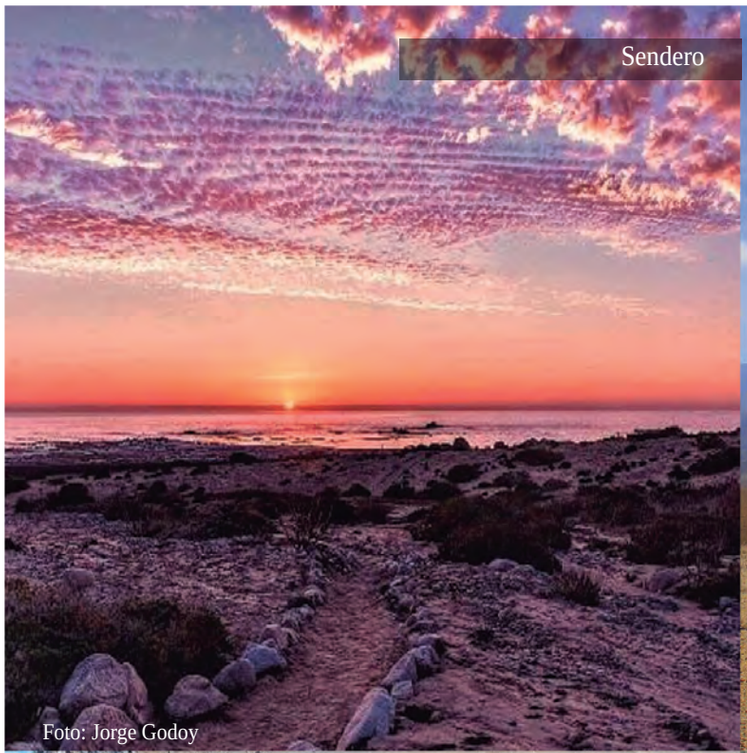
Flamenco chileno juvenil y adulto

Fotos: Érick Díaz Vergara

Parque Nacional Llanos de Challe: donde florece el desierto

El Parque Nacional Llanos de Challe cuenta con una superficie de 44.775 ha. Fue creado a través del DS Nº 946 de 1994, del Ministerio de Bienes Nacionales., con la finalidad de proteger la formación vegetal desierto costero del Huasco. La flora del Parque Nacional está constituida por más de 220 especies distintas, de ellas 206 son nativas de Chile, de las cuales 14 son endémicas de la región de Atacama, y entre las cuales la garra de León y la napina se encuentran en peligro de extinción y otras 14 especies están en la categoría vulnerable.

En cuanto a la fauna, uno de los principales objetos de conservación del parque, es el guanaco (*Lama guanicoe*), el mamífero silvestre más grande de Chile, que está perfectamente adaptado a las diversas condiciones climáticas extremas de zona semidesértica predominante. Además, el parque es una zona de abundante camanchaca, responsable de la cubierta vegetacional principalmente de carácter xerófito. Los valores medios de las variables climáticas presentan una temperatura media anual de 17°C, con 11 a 12 meses secos. Las precipitaciones son, por lo tanto, mínimas en invierno, pero gatilladoras del fenómeno del "Desierto Florido", que en este sector se presenta con gran magnitud en cuanto a cobertura y cantidad de especies.



Sendero

Foto: Jorge Godoy



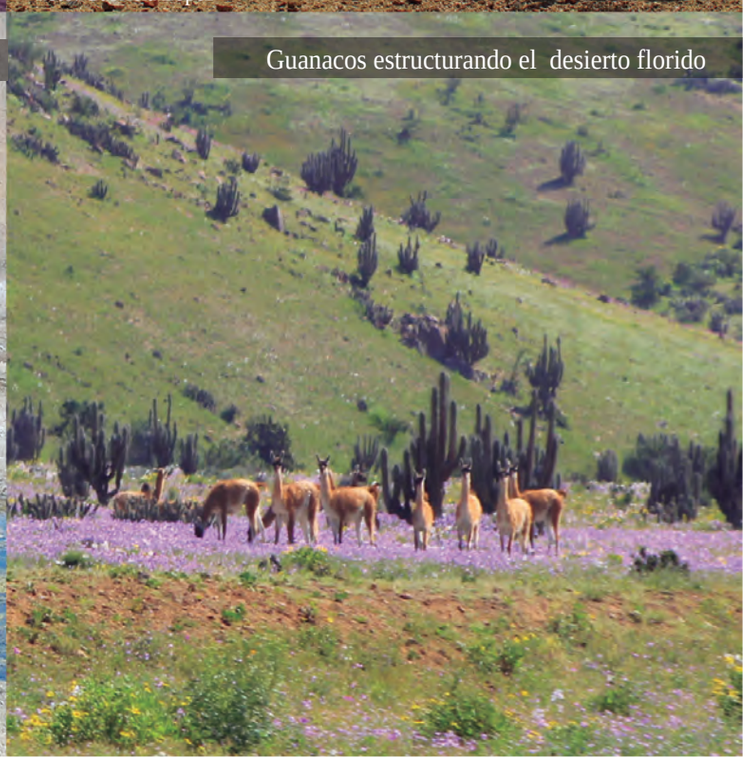
Serranías

Foto: Gabriela López



Familia de guanacos captados por cámaras trampa

Fotos: Gabriela López



Guanacos estructurando el desierto florido

Parque Nacional Desierto Florido: las alfombras de flores

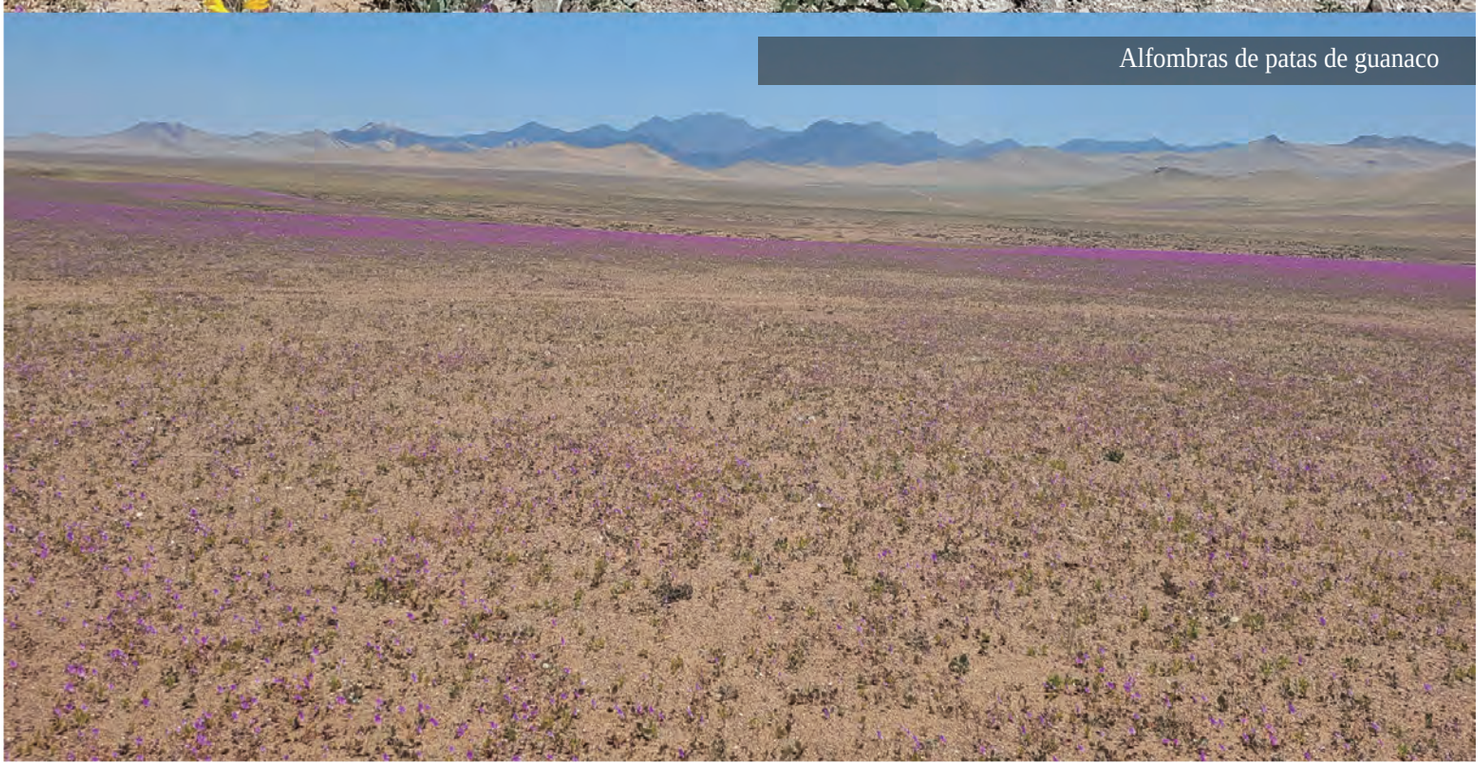
El nuevo PN Desierto Florido, con 57.104 ha, fue creado por Decreto 12 del MMA, publicado en el Diario Oficial el 12 de junio de 2023.

El área abarca las zonas conocidas como Serranías (estribaciones bajas del borde oriental de la Cordillera de la Costa); Llanos de Travesía y Chañarcillo. A las dos primeras se accede desde la Ruta 5 Norte a través de la Ruta C-382, camino de calidad media y que permite recorrer parte importante de ambas zonas.

El objetivo de este Parque Nacional es preservar una muestra del ecosistema Matorral Desértico Mediterráneo Interior de *Skykanthus acutus* y *Atriplex deserticola* en donde se manifiesta, de manera episódica, el fenómeno del Desierto Florido de una singular importancia florística y atractivo turístico, generando un espacio propicio para la investigación científica, la educación ambiental y el desarrollo de actividades reguladas de visitación turística.



Cactáceas, añañucas amarillas y patas de guanaco



Alfombras de patas de guanaco

Reservas Marinas

Las Reservas Marinas (RM) están establecidas en el DS N° 430 de 1991, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción y, en la Ley General de Pesca y Acuicultura (DS N° 238 de 2004, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Reglamento de Parques Marinos y Reservas Marinas). Son áreas de resguardo de recursos hidrobiológicos, con el objeto de proteger zonas de reproducción, caladeros de pesca y áreas de repoblamiento por manejo. Desde la Ley Nº 20.417 (2010), dependen del Ministerio de Medio Ambiente. Anteriormente, el órgano administrador de las RM era el Servicio Nacional de Pesca, dependiente del Ministerio de Economía y eran regidas por la Ley General de Pesca (Nº 18.892 de 1989). En la región existe la RM Isla Chañaral.

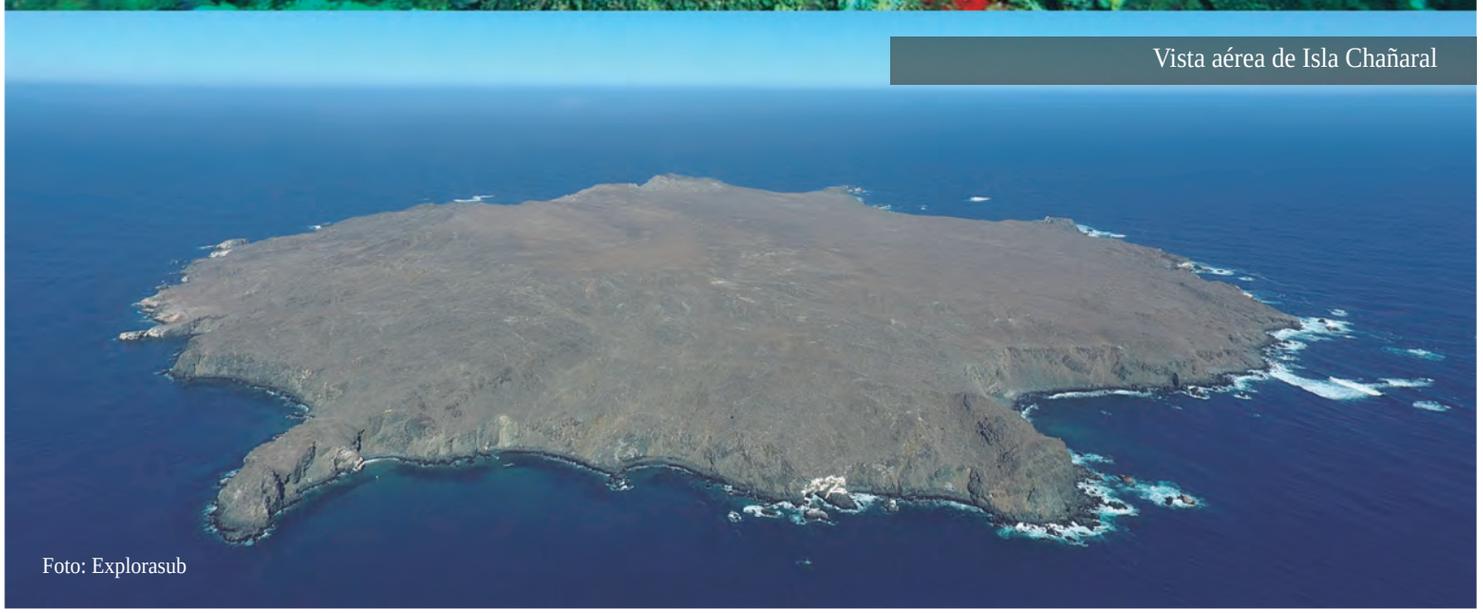
Reserva Marina Isla Chañaral: donde cantan las ballenas

Está ubicada en la comuna de Freirina, provincia de Huasco. Esta reserva, con 2.694 ha, es un área de anidación y protección del pingüino de Humboldt y área de protección de poblaciones residentes de delfines nariz de botella. Además, es un corredor biológico de ballenas, siendo uno de los pocos lugares en Chile donde se pueden observar durante gran parte del año, constituyéndose, además, en uno de los mejores lugares del mundo para observar de cerca a los dos mayores colosos de la historia de la tierra, las ballenas azul y fin (ver Recuadros 18.3 y 23.4). Es también un área de reproducción, asentamiento, reclutamiento y exportación de larvas de moluscos de importancia económica, como los locos y las lapas. La implementación de esta área protegida constituye un punto de referencia para el monitoreo de especies en categoría de conservación y especies bentónicas de importancia comercial, ya que es la única RM de este tipo que cuenta con un Plan de Manejo, para la extracción de cuota transitoria para los recursos loco y lapa y, además, cuenta con una importante participación de actores locales (pescadores, prestadores de servicios turísticos, junta de vecinos, etc.), con los cuales se han regulado las actividades de buceo recreativo y turismo de avistamiento, ejemplo a nivel nacional de turismo amigable y gobernanza compartida entre el Estado y los actores locales.



Castañeta y *Lessonia trabeculata*

Foto: Gustavo Duarte



Vista aérea de Isla Chañaral

Foto: Explorasub

Reservas Nacionales

Las Reservas Nacionales están establecidas en el D.S. N° 531, de 1967, del Ministerio de Relaciones Exteriores, que aprobó la Convención para la Protección de la Flora, Fauna y Bellezas Escénicas Naturales de los Países de América (Convención de Washington de 1940) y, en la Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente. En consecuencia, esta categoría de protección tiene una consagración jurídica formal, de rango legal. El Ministerio de Medio Ambiente ejerce la supervigilancia del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado y actualmente están administradas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), dependiente del Ministerio de Agricultura. En la región de Atacama existe una Reserva Nacional (RN), la Reserva Nacional pingüino de Humboldt.

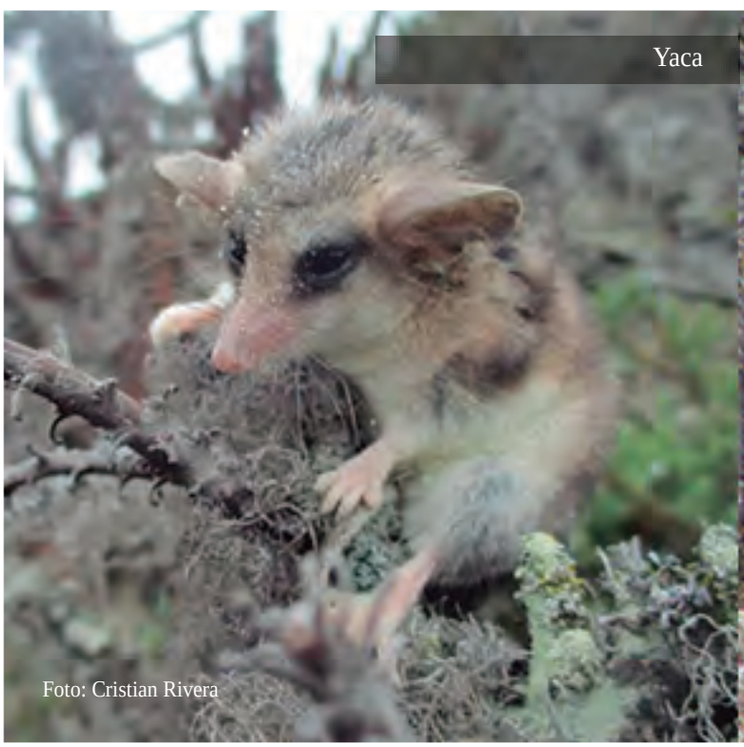
Reserva Nacional Pingüino de Humboldt

La RN Pingüino de Humboldt está conformada por tres islas, es birregional y se ubica en territorios geográficos de la región de Atacama, provincia del Huasco, comuna de Freirina (isla Chañaral, 459 ha), y de la región de Coquimbo, provincia del Elqui, comuna de La Higuera (islas Choros y Damas, 330 ha).

Presenta interesantes ecosistemas diferentes, especialmente terrestres, y sus especies presentan un gran endemismo. Existen 59 especies de plantas vasculares entre las que destacan añañucas amarillas, el lirio del campo (*Alstroemeria philippi*), la cactácea *Eulychnia acida*, el suspiro del campo *Nolana acuminada*, y su congénere arbustivo *N. sedifolia*, entre otras. También se encuentran 68 especies de vertebrados terrestres. Entre los mamíferos destaca la presencia del marsupial yaca (*Thylamys elegans*) y entre los mamíferos marinos y costeros encontramos el chungungo (*Lontra felina*), el lobo marino común (*Otaria flavescens*) y lobo marino fino o de dos pelos (*Arctophoca australis*). Entre las aves está el pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*), con una importante colonia reproductiva, que representa el 80% de la población a nivel mundial. El petrel buceador yunco (*Pelecanoides garmoti*), la bandurria (*Theristicus caudatus*), el halcón peregrino (*Falco peregrinus*) y el piquero (*Sula variegata*). En las islas no hay cursos de agua ni tampoco vertientes y sus suelos son mayormente arenosos.

En su libro Flora de la RN Pingüino de Humboldt, Arancio y Jara (2007) describe para la Isla Chañaral de Aceituno 38 especies de plantas; de ellas 7 corresponden a arbustos (e.g., *Nolana sedifolia*, *Ophryosporus triangularis*, *Oxalis virgosa*, *Tetragonia maritima*), 4 sufrútice (e.g., *Chorizanthe frankenioides*, *Polyachyrus fuscus*), 4 cactáceas (e.g., *Copiapoa coquimbana*, *C. marginata*, *Eulychnia acida*) y 23 herbáceas (e.g., *Alstroemeria philippii*, *Cistanthe cachinalensis*, *Cristaria aspera*, *Oxalis megalorrhiza*, *Tristerix aphyllus*). En sus 507,3 ha (0 a 149 msnm), estas autoras distinguen las planicies oriente y poniente (con abundancia de herbáceas y cactáceas), el sector norte de la isla con laderas y quebradas rocosas (dominada por arbustos y cactáceas), y un perímetro conformado con fuertes acantilados que sobrepasan los 50 m de altitud.

En palabras del propio guardaparques de la RN Pingüino de Humboldt, Cristian Rivera “he podido presenciar en estos 10 años como ha florecido la vida nuevamente en la Isla Chañaral. De ser una gran roca invadida por especies exóticas a volver lentamente a mostrar sus maravillas que permanecieron ocultas por muchos años. Es una gran sensación poder sentir la naturaleza expresarse con todo su color, aroma y belleza escénica, escuchar el canto de las aves, apreciar el ciclo de la vida en cada uno de sus habitantes, es realmente vitalizador. Este refugio rodeado de agua es un verdadero tesoro que celosamente debemos proteger, pues es la esperanza para algunas especies de poder continuar su viaje por el camino de la evolución y para que también las futuras generaciones se puedan maravillar al admirar a tales nobles animales, que esperamos perduren por mucho más tiempo aún cuando ya no estemos, pero que sabremos que hemos contribuido a su conservación”.



Yaca

Foto: Cristian Rivera



Pingüino de Humboldt

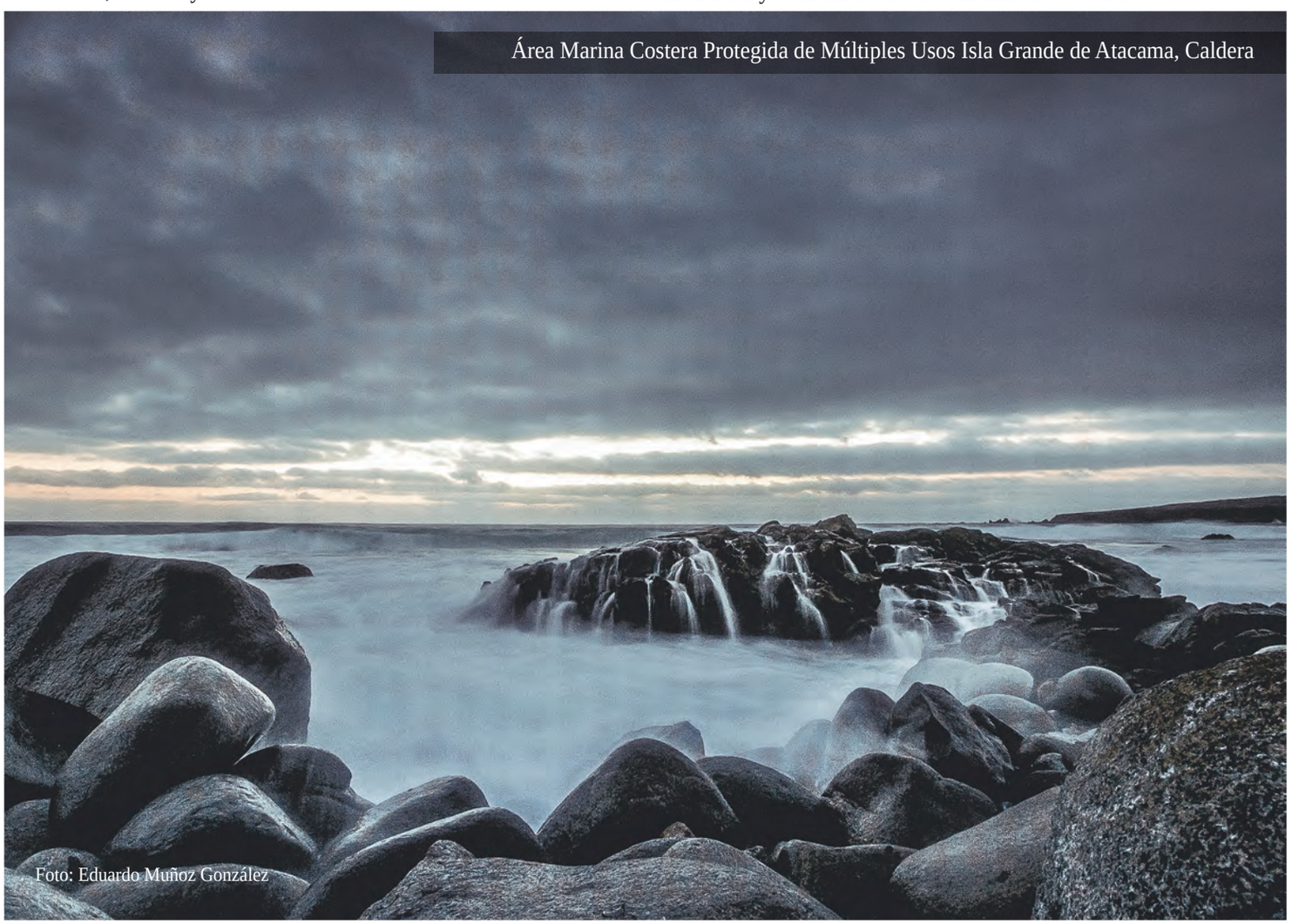
Foto: Gabriela López

Áreas Marinas Costeras Protegidas de Múltiples Usos

Este es el espacio que incluye porciones de agua y fondo marino, rocas, playas y terrenos de playa fiscales, flora y fauna, recursos históricos y culturales que la ley u otros medios eficientes colocan en reserva para proteger todo o parte del medio así delimitado. Este tipo de área se usa a nivel mundial para conservar la biodiversidad, proteger las especies marinas en peligro, reducir los conflictos de uso, generar instancias de investigación y educación y, por desarrollar actividades comerciales y recreativas. Asimismo, otro objetivo de estas áreas es la conservación del patrimonio histórico-cultural marino y costero de las comunidades que las habitan para el desarrollo sostenible del turismo, la pesca y la recreación. Al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS) le corresponde proponer al Presidente de la República la creación de nuevas AP (art. 71, letra c, Ley 19.300); materializar los actos administrativos acordados por el CMS a través del Ministerio de Medio Ambiente (art.73 Ley 19.300) y a ésta última repartición le corresponde proponer políticas, planes, programas, normas y supervigilar las Áreas Marinas Costeras Protegidas de Múltiples Usos (AMCP-MU) (art. 70 letra b y c Ley 19.300). Asimismo, el Ministerio en virtud del art. 70 letra i) y j) puede solicitar la destinación de espacios costeros y marinos afectados como AMCP-MU con el objeto que se los emplee en el cumplimiento de las funciones que le son propias y las mencionadas en dichos literales, constituyéndose en un administrador transitorio de esta categoría. En el norte de Chile existía sólo un AMCP-MU, el AMCP-MU Isla Grande de Atacama, sin embargo el 30 de noviembre de 2023 se publicó en el Diario Oficial la declaración del AMCP-MU Archipiélago de Humboldt con cerca de 574.873 ha en el maritorio de las regiones de Atacama y Coquimbo.

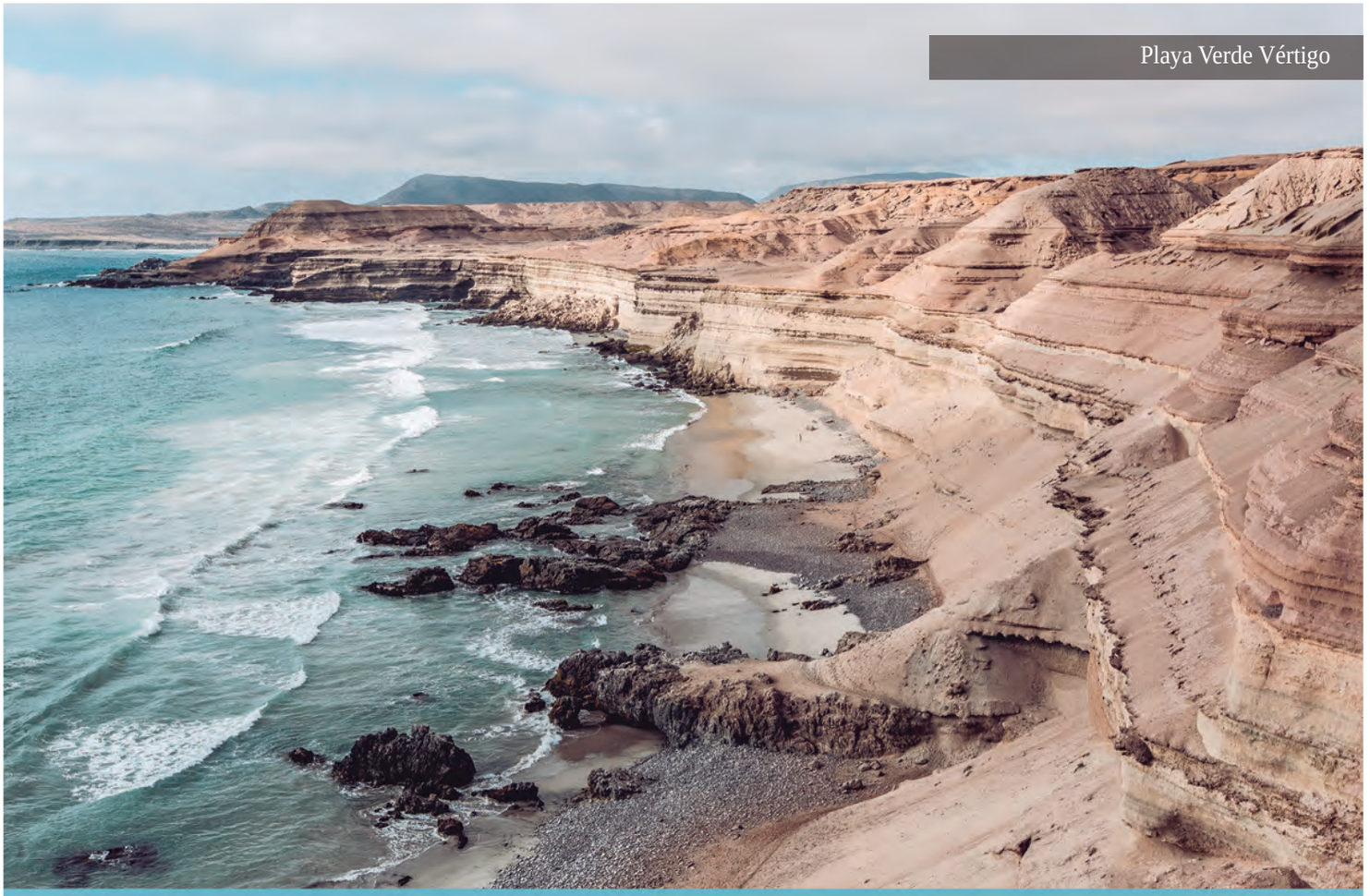
Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos Isla Grande de Atacama: una mirada costera al pasado

Esta AMCP-MU se ubica en la comuna de Caldera, con una superficie marina de 3.646 ha (media milla naútica (=926 m) desde la línea de costa) y 347 ha terrestres, con un total de 3.993 ha. Se extiende entre Punta Morro y la ribera sur del río Copiapó, incluidas las playas fiscales de Isla Grande e Isla Chata Chica. La componente marina incluye columna de agua, fondo de mar y rocas contenidas en media milla marina proyectada desde la línea de costa hacia el océano. Es representativa de sistemas de importancia global y regional, y contiene los hábitats característicos del sistema de surgencias costeras de la corriente de Humboldt y de los ambientes submareales e intermareales del norte de Chile. Comprende sistemas de islas, promontorios rocosos, humedales, salinas costeras, costas rocosas expuestas, semiexpuestas y playas de arenas que constituyen lugares de importancia para la conservación de la biota marina. Este hábitat es generador de propágulos para repoblar las áreas aledañas y mantener la diversidad y abundancia de las comunidades costeras.



Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos Isla Grande de Atacama, Caldera

Foto: Eduardo Muñoz González



Playa Verde Vértigo



Isla Grande de Atacama

Fotos: Eduardo Muñoz González

Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos Archipiélago de Humboldt: un sitio de importancia mundial

El AMCP-MU se ubica en una de las zonas más ricas en biodiversidad del centro-norte de Chile, asociada al foco de surgencia permanente de Punta de Choros. Abarca desde Punta Pájaros, en la comuna de Freirina (región de Atacama, 166.669 ha) hasta Punta Poroto, comuna de La Serena (región de Coquimbo, 408.204 ha), por el sur. Cuenta con más de 574 mil hectáreas, albergando entre sus aguas una enorme cantidad de especies marinas, incluyendo macroalgas, invertebrados, peces, aves y mamíferos marinos. Además, es reconocido como un lugar único de descanso y alimentación de delfines, ballenas, chungungos y lobos marinos. Las aguas del archipiélago son las más productivas del centro-norte de Chile (fitplancton, krill y anchoveta), alberga al 80% de la población mundial del pingüino de Humboldt, 15 especies de cetáceos que se alimentan en el sector, la única colonia residente de Delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) en esta parte del planeta y numerosas especies con categoría de conservación amenazadas. Además de su importancia biológica, es una zona de grandes oportunidades de desarrollo sostenible para las comunidades locales, promoviendo beneficios económicos relacionados con el turismo, la recreación y la pesca. La zona tiene las áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos más productivas del centro-norte de Chile, trabajan casi 900 pescadores artesanales y genera el 80% del desembarque de locos y lapas de la región de Coquimbo. Su carácter de birregional, representa un gran desafío colaborativo en términos de administración y gobernanza, pero a la vez una oportunidad única para proteger ecosistemas marinos únicos que no conocen fronteras regionales.

Extracto del Decreto N°31/2023 del MMA. Declara Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos Denominada "Archipiélago de Humboldt" publicado en el Diario Oficial de la República de Chile el jueves 30 de noviembre de 2023

Artículo 1°. Declara área marina costera protegida de múltiples usos Archipiélago de Humboldt. Declárase el área marina costera protegida de múltiples usos denominada "Archipiélago de Humboldt", que comprende una superficie aproximada de 574.873 hectáreas, y que se encuentra ubicada frente a la costa de las comunas de Freirina, provincia del Huasco, en la Región de Atacama, y las comunas de La Higuera y La Serena, en la provincia del Elqui, en la Región de Coquimbo.

Artículo 2°. Límites y coordenadas. El área propuesta se extiende desde su límite norte por el sector de Punta Pájaros, comuna de Freirina (región de Atacama), hasta Punta Poroto en su límite sur, comuna de La Serena (región de Coquimbo). Los límites del área marina costera protegida de múltiples usos –incluyendo las porciones que no forman parte del polígono-, se encuentran representados en el mapa adjunto, … (nota: el decreto detalla las coordenadas).

Artículo 3°. Objetivo de creación del área. El objetivo del Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos Archipiélago de Humboldt es proteger una muestra representativa de los ecosistemas marinos de Chile central, la biodiversidad asociada, los hábitats, los procesos y funciones ecológicas y los servicios ecosistémicos que se desprenden y que se desarrollan en la zona del archipiélago de Humboldt, como una forma de contribuir a la sustentabilidad de la biodiversidad marina nacional y mundial.

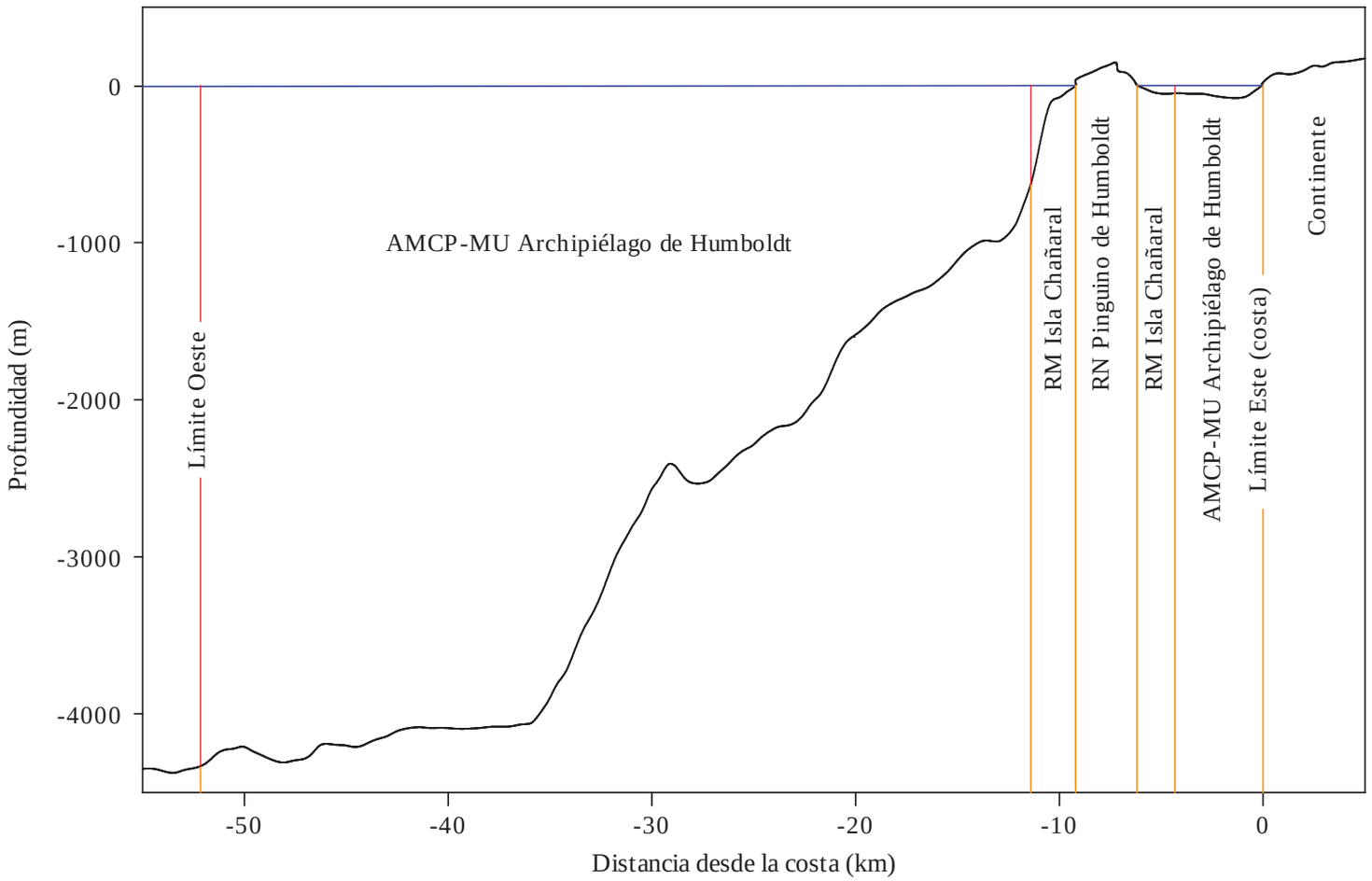
Artículo 4°. Objetos de Protección. El Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos Archipiélago de Humboldt tendrá como objetos de conservación los siguientes:

I. Todas aquellas especies nativas que compartan una distribución en la corriente de Humboldt y por tanto ingresen de manera permanente o temporal al Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos Archipiélago de Humboldt. Así, se puede identificar el siguiente listado ilustrativo de las especies que se comprenden en el objeto de protección de la presente área conforme a lo indicado precedentemente: a) El grupo de cetáceos compuestos principalmente por la ballena fin (*Balaenoptera physalus*), ballena azul (*Balaenoptera musculus*), ballena jorobada (*Megaptera novaengliae*), cachalote (*Physeter macrocephalus*), y el falso calderón o delfín gris (*Grampus griseus*), entre otros, incluyendo sus áreas de residencia temporal, alimentación y sus rutas de tránsito asociadas. Se incluye también, en este grupo, al delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*), considerando su hábitat, zonas de alimentación y la colonia residente; b) Las poblaciones costeras de otros mamíferos marinos como el chungungo (*Lontra felina*) y el grupo de los pinnípedos como el lobo marino común (*Otaria flavescens*) y las áreas donde viven, se alimentan y resguardan como el borde costero, las zonas intermareal y submareal; c) Las aves costeras y marinas y sus áreas de descanso, nidificación, alimentación y desplazamiento, diurno y nocturno, principalmente roqueríos islas e islotes, tales como el guanay (*Phalacrocorax bougainvillii*), lile (*Phalacrocorax gaimardi*) yeco (*Phalacrocorax brasilianus*), piquero (*Sula variegata*), golondrina de mar chica (*Oceanites racilis*), yunco (*Pelecanoides garnotii*), fardela blanca (*Ardenna creatopus*) y otros albatros y petreles; el pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldtii*) y sus áreas de descanso, nidificación, desplazamiento y forrajeo.

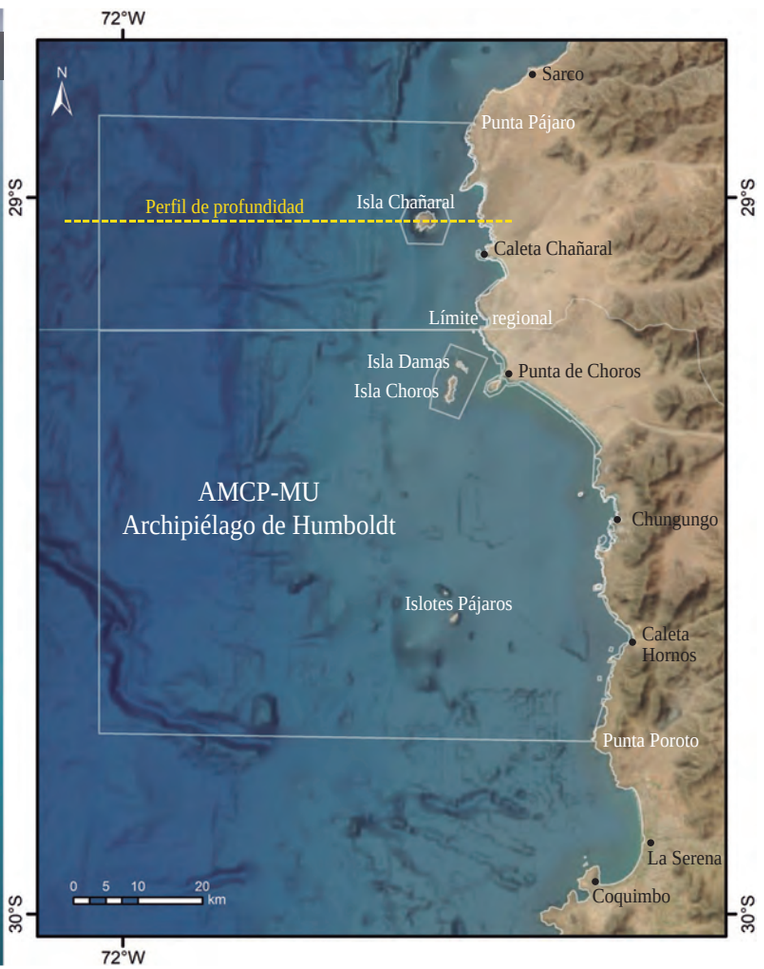
II. Los ecosistemas de islas e islotes, especialmente, los islotes Las Ventanas, Arrecife El Toro o Bajo El Toro, isla Chungungo, islote Los Farallones, islotes Pájaros (o pájaro 1 y 2) e isla Tilgo, así como el fondo marino y columna de agua, y los hábitats y estructuras biológicas captadoras de carbono.

III. Las surgencias marinas características de la zona, que favorecen la presencia de especies que son base de la trama trófica, como el krill (*Euphausia mucronata*) y su rol en la base alimentaria de las diversas especies de ballenas y aves que residen y visitan el área.

IV. Las actividades sustentables de la pesca artesanal.


0
-1000
-2000
-3000
-4000
Profundidad (m)
AMCP-MU Archipiélago de Humboldt
Límite Oeste
RM Isla Chañaral
RN Pinguino de Humboldt
RM Isla Chañaral
AMCP-MU Archipiélago de Humboldt
Límite Este (costa)
Continente
-50
-40
-30
-20
-10
0
Distancia desde la costa (km)


Ballena Fin
Foto: Francis Pérez


72°W
N
Sarco
Punta Pájaro
29°S
Perfil de profundidad
Isla Chañaral
Caleta Chañaral
Límite regional
Isla Damas
Isla Choros
Punta de Choros
AMCP-MU
Archipiélago de Humboldt
Chungungo
Islotes Pájaros
Caleta Hornos
Punta Poroto
La Serena
Coquimbo
0 5 10 20
km
30°S
72°W

Santuarios de la Naturaleza

Sitios terrestres o marinos que ofrezcan posibilidades especiales para estudios e investigaciones geológicas, paleontológicas, zoológicas, botánicas o de ecología, o que posean formaciones naturales, cuya conservación sea de interés para la ciencia o para el Estado. Los Santuarios de la Naturaleza están establecidos en la Ley N° 17.288, de 1970, sobre Monumentos Nacionales. En consecuencia, esta categoría de protección tiene una consagración jurídica formal, de rango legal. Desde la Ley Nº 20.417 (2010), su custodia está a cargo del Ministerio de Medio Ambiente. Anteriormente gestionadas por el Min. Educación y regidas por la Ley de Monumentos Nacionales (Nº 17.288). En la región de Atacama, existen 4 Santuarios de la Naturaleza: Los SN Granito Orbicular, Humedal desembocadura del río Copiapó, Humedal costero de Totoral y Humedal costero Carrizal Bajo.

Santuario de la Naturaleza Granito Orbicular: un baluarte de la historia geológica y los guardianes de los orbículos

En la árida región de Atacama, al norte de Caldera en Chile, yace una joya geológica de inigualable valor: el SN Granito Orbicular. Este sorprendente sitio, hogar de los singulares granitos orbiculares, fascina a geólogos y turistas por igual. Descubierto en los años 70 y abarcando 2,34 ha, este santuario se ha convertido en un patrimonio preciado de la región y en un imán para los amantes de la naturaleza. Los granitos orbiculares coloquialmente llamados "rocas con ojos", son un fenómeno geológico de singular rareza. Sus patrones petrográficos únicos se originan durante procesos magmáticos profundos y lentos, y varían en tamaño desde los 10 cm hasta los 40 cm. Su rareza los ha hecho patrimonio protegido, con estrictas prohibición de extracción.

Durante mucho tiempo este sitio contó con un guardián, Don





SN Granito Orbicular



Don Hipólito, el guardián de la roca

Fotos: Romina Figueroa



Esculturas en piedra de Don Hipólito

Hipólito Avalos, un ex minero nacido en Vallenar en 1940. Trabajó durante 15 años con la municipalidad y era reconocido como el 'Guardián de la Roca'. Él se dedicó a aprender sobre el granito y además al tallado de otras rocas creando bellas artesanías. Desafortunadamente, Don Hipólito falleció el 2014, pero no sin antes dejar una huella imborrable en el corazón del Santuario. Actualmente Gabriel Guerrero, su sucesor, sigue sus pasos de manera admirable. Originario de Copiapó, llegó a Caldera por circunstancias familiares. Al ver el Santuario por primera vez, se sintió llamado a ser su guardián y acudió a la Alcaldesa de Caldera con su propuesta. Como Gabriel explica, "con mucha humildad hago esta labor social acá, intentando ayudar a la comunidad". Bajo su cuidado, el Santuario ha prosperado y se ha convertido en un sitio de gran interés para la comunidad y los visitantes. Este santuario también es hogar de especies únicas como cururos (*Spalacopus cyanus*) y el gaviotín monja (*Larosterna inca*), y es un punto crucial para el fenómeno del desierto florido. Las instituciones locales trabajan incansablemente para preservar este entorno único. Declarado "Santuario de la Naturaleza" en 1981, el lugar ha sido protegido y conservado gracias a los esfuerzos de la comunidad, la municipalidad de Caldera, el Consejo de Monumentos Nacionales y el Ministerio del Medio Ambiente. Esta colaboración ha asegurado que estos testigos silenciosos de la época Jurásica, permanezcan como un valioso testimonio de la historia geológica. A medida que más personas descubran este rincón de Atacama conocerán un relato de dedicación, resiliencia y amor por la naturaleza. El legado de Don Hipolito y la labor de Gabriel resaltan la importancia de la conservación y la educación ambiental. En medio del desierto, las “rocas con ojos” nos observan, protegidas por sus incansables guardianes.

Santuario de la Naturaleza Humedal Desembocadura del río Copiapó: donde termina el río

Con 144 ha, esta área abarca la laguna estuarial y bancos medios estuariales. Este sistema lacustre presenta una variedad de especies vegetales hidrófilas, siendo un sitio de nidificación de avifauna y albergue de aves migratorias, por lo que constituye un paraje de alto valor ecológico. El humedal del río Copiapó posee como principal aporte de agua el río Copiapó, el cual cumple un rol fundamental en el tamaño y condición del humedal, aun cuando en los últimos años el caudal se ha visto muy disminuido. A su vez, la zona litoral de playa Las Salinas, donde desemboca el río Copiapó, presenta elementos geomorfológicos y bióticos que incluyen una barrera arenosa que genera un humedal costero asociado. Es uno de los escasos humedales costeros de la región de Atacama y forma parte del hábitat de aves migratorias de la ruta Pacífico Oeste e incluso de las rutas conocidas como América Interior, Patagonia y del Altiplano Andino. Este humedal es el segundo de mayor importancia para el avistamiento de avifauna de la región de Atacama, con un registro de 114 especies de aves.



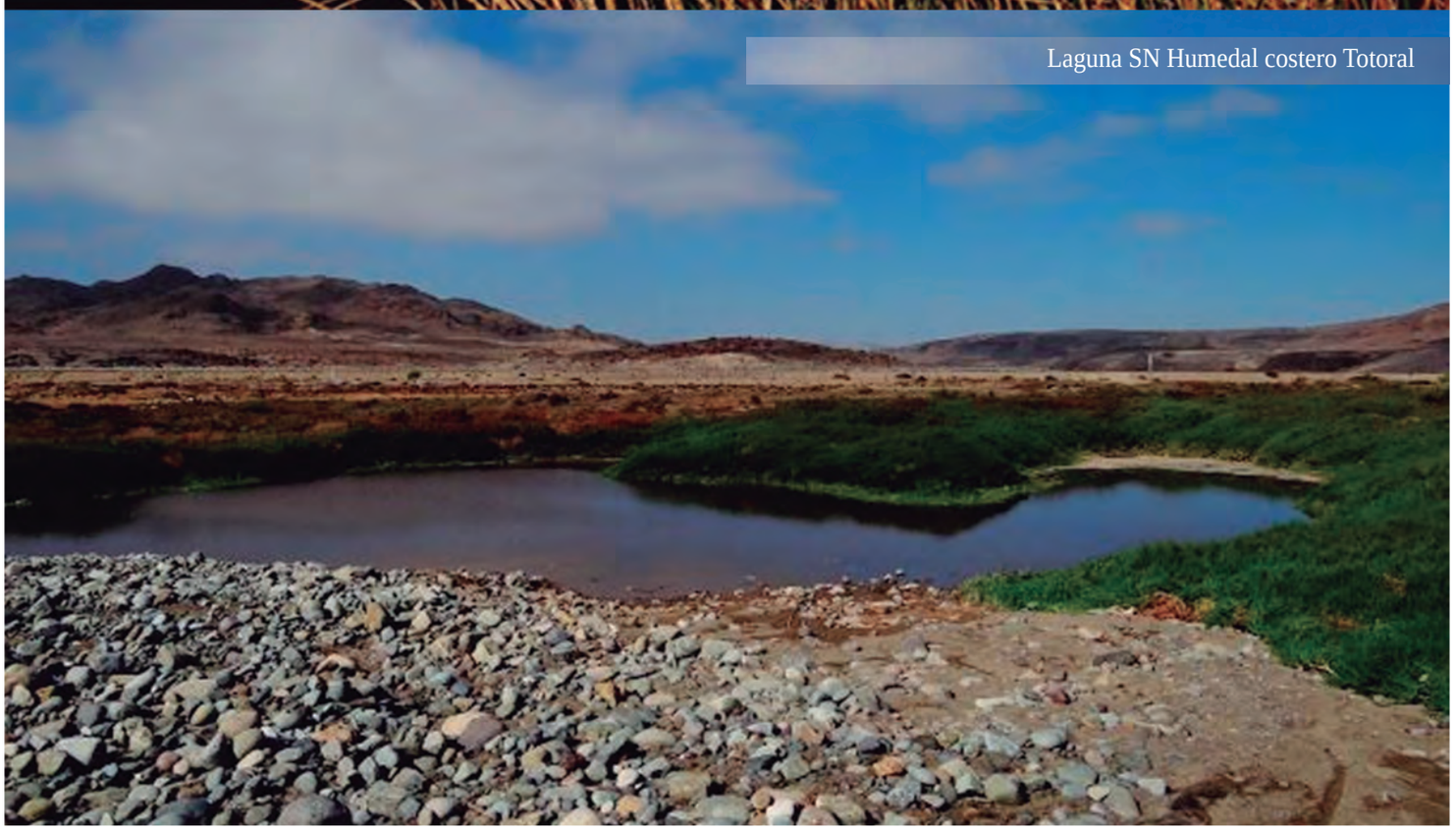
SN Humedal desembocadura del río Copiapó

Santuario de la Naturaleza Humedal costero de Totoral: pequeño oasis costero

El humedal costero de Totoral, con 368 ha de superficie, es un foco de concentración de biodiversidad con alto valor ecológico. El sistema hidrológico del humedal es de muy alta relevancia y está constituido por tres pequeñas lagunas que dan forma a un humedal de tipo estuarino que no presenta escurrimientos superficiales permanentes, por lo que la recarga corresponde principalmente a precipitaciones. Concretamente, este ecosistema presta los servicios de regulación de agua, control de crecidas y recarga de aguas subterráneas, además de brindar un espacio de recreación, ecoturismo, de inspiración y educación ambiental.



Pajonales SN Humedal costero Totoral



Laguna SN Humedal costero Totoral

Santuario de la Naturaleza Humedal Costero Carrizal Bajo: el hogar de los cisnes

La Laguna de Carrizal constituye uno de los escasos humedales costeros del norte de Chile, siendo uno de los más importantes y mejor conservados. Con una superficie de 47 ha, este SN es un foco importante de concentración de biodiversidad. Se encuentran 49 especies de flora, 76 de aves, 10 de reptiles, 2 de anfibios y 12 de mamíferos. La flora presente en el área es de vital importancia para el mantenimiento de este ecosistema. Su importancia radica en su estructura y no particularmente por cuantas especies poseen algún grado de conservación. Las diversas asociaciones vegetales insertas en el área proporcionan una gran diversidad de alimento, refugio y descanso para la fauna y las aves que componen este ensamble aviar. La fauna es de gran riqueza y diversidad, presentando muchas especies con problemas de conservación, como el cururo, el guanaco y el puma. En las palabras de Hugo Pérez, habitante de la localidad y guía de turismo, especializado en Floraciones del desierto, nos comenta que "*se siente muy afortunado de vivir en Carrizal Bajo, puesto que tiene el privilegio de disfrutar de la hermosura del humedal (ya declarado Santuario), el cual alberga a una gran diversidad de flora y fauna, algunas especies viven permanentemente acá y otras van de paso, este lugar les sirve de refugio y resguardo para su reproducción, alimento y descanso. Por estas y muchas otras razones, como comunidad carrizalina, debemos sentirnos y hacernos responsables de cuidar y resguardar esta maravilla de la región de Atacama, y darla a conocer a todo el mundo*".



SN Humedal Costero Carrizal Bajo



Pareja de cisnes coscoroba con crías

Fotos: Hugo Pérez

Las 12 áreas protegidas existentes actualmente en la región de Atacama y que fueron tratadas en este capítulo suman 190.351 ha (2,52%) del territorio y 173.009 ha (1,27%) del maritorio regional, con una superficie total de 363.360 (1,72%) de la región terrestre y marina de Atacama. Estas cifras estan muy lejos aún de la meta 3 (meta 30x30) de la COP15 de la CBD (www.cbd.int/gbf/targets/): "Garantizar y hacer posible que, para el año 2030, al menos un 30% de las zonas terrestres y de aguas continentales y de las zonas marinas y costeras, especialmente las zonas de particular importancia para la biodiversidad y las funciones y los servicios de los ecosistemas, se conserven y gestionen eficazmente mediante sistemas de áreas protegidas ecológicamente representativos, bien conectados y gobernados equitativamente y otras medidas de conservación eficaces basadas en áreas, reconociendo, cuando proceda, los territorios indígenas y tradicionales, y que estén integradas a los paisajes terrestres, marinos y oceánicos más amplios, garantizando al mismo tiempo que toda utilización sostenible, cuando proceda en dichas zonas, sea plenamente coherente con la obtención de resultados de conservación, reconociendo y respetando los derechos de los pueblos indígenas y las comunidades locales, incluidos aquellos relativos a sus territorios tradicionales". Por eso, se requiere avanzar creando nuevas áreas en sitios que ha sido definidos como prioritarios para la conservación.

Sitios Prioritarios para la conservación de la biodiversidad de la región de Atacama.

Los llamados Sitios Prioritarios (SP) para la Conservación de la Biodiversidad, nacen del trabajo realizado en cada una de las regiones de Chile entre los años 2001 y 2002, al amparo de los Comités Regionales de Biodiversidad y coordinados por la entonces Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). En el año 2003, la CONAMA identificó y priorizó este listado de sitios prioritarios para ser incorporados en la Estrategia Nacional de Biodiversidad. Como base estos SP fueron identificados para la aplicación de los procedimientos del Servicios de Evaluación Ambiental, mediante su ordinario Instructivo N° 100143, del 15 de Noviembre del 2010 y el Instructivo N° 103008, del 28 de Septiembre de 2010. Con la promulgación de la Ley 21.600 del 2023, se reconoce que los SP que el MMA identifique en el marco de la planificación ecológica serán categorizados como tales bajo criterios técnico-científicos, y le confiere al futuro Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) la responsabilidad de administrar un sistema actualizado de información de los sitios prioritarios del país, que sea relevante para la gestión de la conservación de la biodiversidad.

La identificación de SP de la región de Atacama, se inicia en el año 2002, contemplando un proceso amplio de participación de los actores de la sociedad atacameña, en ese proceso, Atacama definió un total de 5 Sitios con prioridad urgente de protección: Desierto Florido, Estuario del Río Huasco – Laguna de Carrizal Bajo, Salar de Pedernales y sus alrededores, Lagunas de Huascoalto y Punta Morro – Desembocadura del Río Copiapó. Es así como en estos últimos años y a raíz de la información que se ha mejorado para los sitios identificados en el año 2002 y la nueva información que se ha levantado para otras áreas de la región, a través de rigurosos procesos científicos (Squeo et al. 2008), en el 2009 le permitió a la región revisar y agregar un nuevo conjunto de sitios de alto valor biológico que conforma una Cartera Única regional de Sitios Prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad Atacameña (Comité Regional de Biodiversidad 2009).

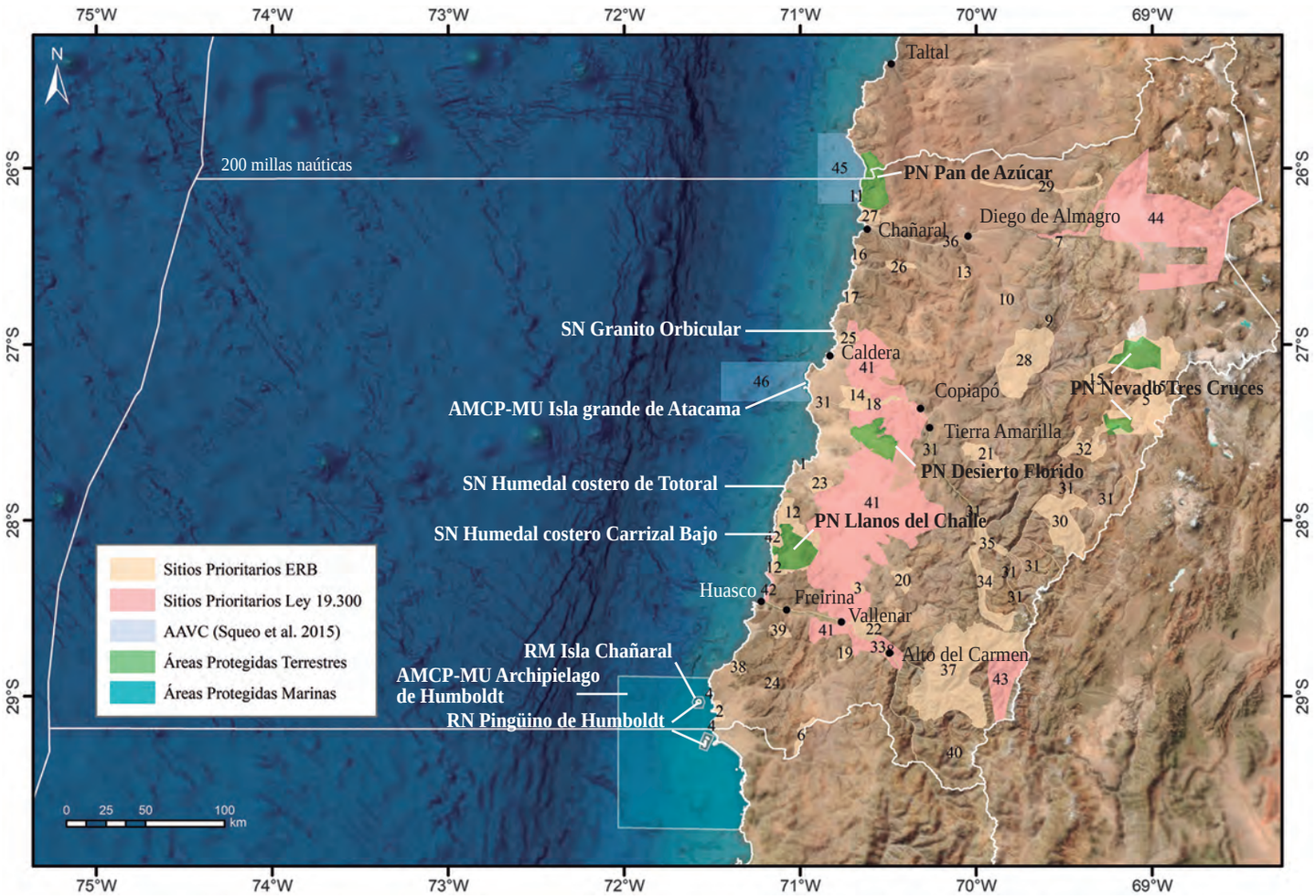
A la fecha de la presente publicación en la región de Atacama existen 44 sitios prioritarios que están reconocidos en la Estrategia Regional de Biodiversidad (ERB) 2010-2017 (Comité Regional de Biodiversidad 2009); a estos sitios podemos sumar algunos más, como las tres AAVC marinas mencionadas en Squeo et al. (2015).

Propuestas de portafolio de nuevas áreas protegidas para la región de Atacama

Existen en la región de Atacama innumerables lugares que, por sus características, son de gran interés para su protección y conservación. Sitios que ameritan algún grado de protección, ya sea por sus potenciales naturales para el desarrollo de actividades socio económicas que ayudan a elevar la calidad de vida de los pobladores, presencia, significación y grado de conservación de sus valores históricos culturales, contribución a la recuperación, restauración, producción, conservación y uso racional de sus recursos y demás valores del área. Además de poseer también altos valores para el turismo, áreas poco alteradas o intervenidas por el hombre, poseer especies vegetales y animales que ameriten un interés científico o educativo y también se pueden añadir lugares que tengan elementos naturales de importancia nacional como animales y plantas con problemas de conservación. Entre estas áreas destacan: a) Ampliación del PN Desierto Florido hacia el sur de Chañarcillo (Squeo et al. 2008); b) Ampliación del PN Llanos de Challe hacia el norte (SP 29); c) Ampliación del PN Pan de Azúcar hacia el Sur (SP 5 Peralillo) y hacia el mar (Squeo et al. 2015); d) Ampliación del PN Nevado Tres Cruces unificando su dos prociones y creando un corredor biológico (SP 13 y 15); e) Ampliación del AMCP-MU Isla grande de Atacama hacia el mar (Squeo et al. 2015), además de incorporar la porción terrestre que es un Bien Nacional Protegido (Squeo et al. 2008).

Agradecimientos

Brindamos nuestros sinceros agradecimientos por las contribuciones para la elaboración de este capítulo a la Corporación Nacional Forestal a través de su Directora de Atacama, Sandra Morales y a los profesionales de esta institución, José Luis Gutiérrez, Gabriela López, César Pizarro, Cristian Rivera, Eric Díaz Vergara, Pablo Arróspide Alonso, Moisés Grimberg, Jorge Godoy, Matías Izurieta y Jorge Mercader. También extendemos nuestros agradecimientos al Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura a través de su Director (S) de Atacama, Claudio Ramírez y al profesional Erick Burgos. Al Tour Operador de Chañaral de Aceituno Luis González, a Hugo Pérez de Carrizal Bajo, a la profesional de la Seremía del Medio Ambiente de Atacama Loreto Valdivia, a Romina Figueroa del Museo Paleontológico de Caldera, a Gustavo Duarte y Francis Pérez.



Sitios Prioritarios Estrategia Regional de Biodiversidad (ENB): 1 Bahía Salada, 2 Carrizalillo, 3 Chacritas, 4 Chañaral de Aceituno (Ampliación Reserva Marina, 5 Corredor Biológico Pantanillo, 6 Cuesta Pajonales, 7 El Jardín, 8 El Maitén, 9 El Pingo, 10 Finca Chañaral, 11 Isla Pan de Azúcar, 12 Llanos de Challe, 13 Los Juanitos, 14 Monte Amargo, 15 Nevado Tres Cruces, 16 Norte Flamenco, 17 Obispito, 18 Piedra Colgada, 19 Quebrada Agua Verde, 20 Quebrada Algarrobal, 21 Quebrada de Serna, 22 Quebrada del Jilguero, 23 Quebrada del Morel, 24 Quebrada El Chañar (La Bomba), 25 Quebrada El León, 26 Quebrada Guamanga, 27 Peralillo, 28 Quebrada San Andrés, 29 Quebrada Doña Inés, 30 Río Cachitos, 31 Río Copiapó, 32 Río Figueroa, 33 Río Huasco, 34 Río Manflas, 35 Río Montosa, 36 Río Salado, 37 RNP Huascoaltinos, 38 Sarco, 39 Sauce Pérez, 40 Tres Quebradas. **Sitios Prioritarios Ley 19.300**: 41 Zona Desierto Florido, 42 Estuario Río Huasco y Carrizal, 43 Lagunas Altoandinas (Grande y Valeriano), 44 Salar de Pedernales y sus alrededores. **Áreas de Alto Valor para la Conservación en la ecorregión marina de Chile Central** (Squeo et al. 2015): 45 AAVC frente a PN Pan de Azúcar, 46 AAVC frente al AMCP-MU Isla Grande de Atacama (fuente: simbio.mma.gob.cl).

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 22:305-312



Capítulo 22 Amenazas y oportunidades para la biodiversidad en la región de Atacama: Desafíos y estrategias para la conservación

Freddy Vargas Parra & Claudio Valdovinos Zarges

En un mundo en constante cambio, la amenaza a la biodiversidad surge como un desafío crítico. Según la Real Academia Española (RAE), amenaza implica la intención de causar daño, y cuando se trata de la biodiversidad, esa amenaza se traduce en un riesgo para la variedad de organismos vivos y sus ecosistemas. Por otro lado, la RAE define biodiversidad como la variedad de especies animales y vegetales en su medio ambiente. La Ley 19300/1994 (Ley sobre bases generales del medio ambiente) amplía esta definición, indicando que es "la variabilidad de los organismos vivos, que forman parte de todos los ecosistemas terrestres y acuáticos, incluyendo la diversidad dentro de una misma especie, entre especies y entre ecosistemas". En consecuencia, la amenaza a la biodiversidad se entiende como la acción de causar daño o perjuicio a los organismos vivos o los ecosistemas. Esta misma ley define el daño ambiental como "toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes". Además, establece que el medio ambiente es "el sistema global compuesto por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química o biológica, socioculturales y sus interacciones, en constante modificación debido a la acción humana o natural, y que condiciona la existencia y desarrollo de la vida en todas sus manifestaciones". En Chile, se considera daño a la biodiversidad cuando existe una pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo de los organismos vivos o los ecosistemas. ¿Cómo se puede determinar, por ejemplo, si la disminución de una población de una especie en particular es significativa? La respuesta radica, en parte, en el conocimiento profundo de nuestro medio ambiente.



Yaca entre residuos

Foto: Nesko Kuzmicic

Es innegable que el medio ambiente es dinámico, y el tan mencionado "equilibrio" no se representa como una línea recta, sino como un constante cambio. Las poblaciones de organismos experimentan fluctuaciones, e incluso, extinciones, lo que nos lleva a preguntarnos, ¿cuál es el problema de este cambio actual?. La respuesta se encuentra en el transcurso del tiempo y en el papel que desempeñamos los seres humanos. Los cambios en las especies, en su cantidad y en las distribuciones de cada una, ocurren en lapsos de tiempo significativos. Aunque todos estamos familiarizados con la Teoría de la Evolución de Darwin, que describe cómo las especies se adaptan y evolucionan a lo largo de millones de años, la realidad es que el cambio ha sido mucho más rápido desde la aparición de la especie humana, *Homo sapiens*, hace unos 200.000 años AP. En los últimos 10.000 años AP, hemos experimentado una transformación sustancial, pasando de cazadores-recolectores a agricultores, lo que ha aumentado la presión sobre el medio ambiente y, especialmente, la biodiversidad, debido al explosivo crecimiento de la población mundial. Cada individuo, incluyéndonos, necesita alimentos, vivienda y vestimenta, pero también aspira a mejorar su calidad de vida, lo que implica una mayor producción de alimentos, expansión de la vivienda y un aumento en la fabricación de productos textiles. Sin embargo, hoy en día, la mejora de la calidad de vida va más allá de lo básico e involucra una amplia gama de productos y recursos adicionales, desde un mejor sistema de salud y educación hasta la posesión de automóviles, dispositivos electrónicos y una variedad de artículos para el hogar. Lamentablemente, la producción de estos artículos requiere el agotamiento de recursos naturales no renovables como el petróleo para la fabricación de plásticos y diversos metales y minerales. La presión sobre el medio ambiente es innegable y plantea desafíos significativos para la sostenibilidad y la conservación de la biodiversidad.

La búsqueda de comodidad ha llevado a un paradójico aumento en la generación de residuos. A pesar de que los productos se envasan en recipientes de menor tamaño para mayor conveniencia, esta tendencia conlleva a una acumulación de basura a largo plazo. Según datos del Ministerio del Medio Ambiente de Chile, la generación de residuos en el país aumentó un 8% entre 2015 y 2020, y en 2019, cada chileno generó un promedio de 1,13 kilos de residuos al día. Es esencial destacar que, además de la preocupación por la generación de residuos y el impacto ambiental, la educación ambiental desempeña un papel fundamental. Promover la conciencia y la responsabilidad ambiental desde edades tempranas puede ser un paso significativo en la protección de la biodiversidad.

A pesar de los avances en normativas ambientales en Chile, se debe reconocer que el enfoque ambiental es relativamente nuevo en comparación con países más desarrollados. La Ley N°19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente, promulgada en 1994, marcó el inicio formal de la estructura institucional dedicada al medio ambiente en el país. Aunque esta legislación se ha fortalecido y modernizado con el tiempo, aún existen desafíos pendientes. Un ejemplo de ello es la reciente aprobación de la Ley que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) en 2023, que se enfoca en las áreas protegidas del Estado de Chile, dejando interrogantes sobre la biodiversidad fuera de estas zonas. Sin embargo, existen instrumentos legales como la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente y el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) que obligan a empresas y proyectos a realizar evaluaciones de impacto ambiental, considerando la biodiversidad y presentando planes de mitigación según la magnitud de los efectos. Además, se han implementado estrategias nacionales como la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030 del Ministerio del Medio Ambiente, que fomenta la colaboración entre diversos sectores para la protección de la biodiversidad y la promoción de prácticas sustentables.



Campamento abandonado Borde Costero Caldera

Foto: Explorasub

Aunque Chile ha avanzado en materia ambiental, queda un extenso camino por recorrer para garantizar un futuro sostenible para la biodiversidad. En este contexto, es fundamental identificar las amenazas a la biodiversidad que, a su vez, abran oportunidades para su mejora.

Amenazas

Las amenazas a la biodiversidad en la región de Atacama no son muy distintas de las que vive Chile en general, aunque hay actividades, así como sitios o localidades específicas en la región que deben ser consideradas. Las amenazas existentes en esta región revelan una serie de desafíos que ponen en riesgo su valiosa biodiversidad. Estas amenazas, que abarcan desde la agricultura y ganadería hasta la minería, la generación de energía, el turismo y recreación, la sobreexplotación de recursos naturales, la propagación de especies invasoras y la desalinización de agua de mar, muestran la complejidad de preservar los frágiles ecosistemas de esta región única. Además, el impacto del cambio climático agrega una dimensión adicional de preocupación al alterar los patrones climáticos y desafiar la adaptación de las especies locales. Comprender y abordar estas amenazas es esencial para proteger la rica biodiversidad de Atacama y asegurar su supervivencia a largo plazo. A continuación, se presentan datos y antecedentes relevantes relacionados con cada una de las principales amenazas identificadas.

Agricultura y ganadería: En la región de Atacama, la agricultura se enfoca principalmente en el cultivo de vides, olivos y hortalizas, mientras que la ganadería se centra en la cría de caprinos. Estas actividades ejercen un impacto significativo en los suelos, la vegetación y la fauna nativa, ocupando áreas que podrían servir como hábitats naturales o zonas de pastoreo. Además, la agricultura depende del uso de agua, tanto superficial como subterránea, siendo este recurso escaso en esta zona del país y sujeto a la influencia del cambio climático. La ganadería, por su parte, puede provocar la erosión del suelo, reduciendo la disponibilidad de alimentos para la fauna nativa y contribuyendo a la degradación de los hábitats naturales. Es importante destacar que si bien estas actividades son esenciales para la economía regional, se requiere un enfoque de gestión sostenible que permita preservar la biodiversidad y los ecosistemas de Atacama para las generaciones futuras (Ver recuadro 22.1).

Acuicultura: En la región, se destacan sectores reconocidos por su actividad acuícola marina, como Bahía Inglesa. En estos lugares, se practica el cultivo de especies tanto nacionales (como el ostión del norte, dorado, palometa) como exóticas (por ejemplo, el abalón). La alta concentración de individuos en espacios reducidos puede provocar un aumento en los niveles de nutrientes debido a las heces que generan, especialmente en áreas con una circulación de agua limitada. Esto puede resultar en la formación de fondos marinos con un alto contenido de materia orgánica, lo que conduce a la aparición de áreas anóxicas, carentes de oxígeno. Este fenómeno puede alterar significativamente la biodiversidad presente en el lecho marino, de manera similar a lo observado con las salmoneras en el sur de Chile. Además, se genera gran cantidad de residuos de las actividades de acuicultura como boyas y cuelgas, las cuales van a dar al borde costero de la región. Por otro lado, los cultivos de especies que requieren alimentación, como el abalón, pueden implicar la extracción excesiva de algas, especialmente algas pardas (*Macrocystis* spp). Por último, la liberación accidental de especies introducidas que logren reproducirse en el entorno puede desencadenar una competencia por hábitat y alimentos con las especies nativas, lo que potencialmente lleva a la disminución o incluso la extinción local de estas últimas.



Cuelga de ostión

Foto: Explorasub

Minería: La actividad minera en la región de Atacama ejerce una presión considerable sobre su biodiversidad. Algunas acciones generadoras de impacto clave son la expansión de la infraestructura minera, la minería a rajo abierto, la liberación de sustancias tóxicas, el alto consumo de agua y la erosión del terreno. La expansión de la infraestructura minera fragmenta los hábitats naturales, causando la pérdida de biodiversidad y la degradación del paisaje. La minería a rajo abierto implica la perturbación de los ecosistemas locales. La liberación de sustancias tóxicas contamina los recursos hídricos y el suelo, perturbando la vida acuática (escasos humedales) y terrestre. El alto consumo de agua agota los recursos hídricos locales, amenazando a especies acuáticas. La erosión del suelo y la sedimentación afectan negativamente a los hábitats acuáticos y terrestres. Estas acciones generan efectos perjudiciales, como la pérdida de hábitats, la contaminación del agua y el suelo, la disminución de poblaciones de especies nativas y la alteración de los ecosistemas. Además, la fragmentación del hábitat y la interrupción de los patrones de desplazamiento amenazan la biodiversidad de Atacama. La implementación de prácticas mineras sostenibles y medidas de restauración ambiental son esenciales para mitigar estos impactos.



Extracción de agua para faena minera. Hábitat de Sapo de Atacama, *Rhinella atacamensis*

Fotos: Ricardo Catalán

Generación de energía: La generación de energía en la región de Atacama presenta desafíos para la biodiversidad. Algunas acciones generadoras de impacto clave son: la instalación de parques eólicos, aunque impulsada por energías renovables, ocupa territorios que podrían ser hábitats naturales. Esto puede llevar a la fragmentación de hábitats y la pérdida de biodiversidad. Además, las aves corren el riesgo de colisionar con las aspas de las turbinas, lo que puede ser fatal. La alteración de rutas migratorias de aves es otra preocupación, ya que puede interrumpir ciclos de vida naturales. En el caso de los murciélagos, su sistema de ecolocalización se ve afectado por el funcionamiento de los aerogeneradores, lo que puede resultar en colisiones.

Turismo y recreación: Las actividades recreativas en la región de Atacama, como el rally y el turismo de intereses especiales, tienen un impacto significativo en la biodiversidad local. Algunas acciones generadoras de impacto clave incluyen la realización de rally en zonas frágiles de vegetación, donde el paso de vehículos destruye hábitats delicados y afecta la flora y fauna locales; el turismo de intereses especiales que genera senderos y perturbaciones en el hábitat y en el comportamiento de las especies, lo que amenaza su supervivencia; el avistamiento de aves y mamíferos marinos que puede alterar el comportamiento de estas especies como sus patrones de alimentación y reproducción; y la presencia humana en áreas sensibles aumenta la presión sobre los ecosistemas frágiles.

Explotación de recursos naturales: La sobreexplotación, especialmente en la pesca, plantea graves amenazas para la biodiversidad en la región de Atacama. Algunas acciones generadoras de impacto incluyen la extracción indiscriminada de recursos marinos, la falta de medidas de manejo adecuadas, la pesca excesiva del loco (*Concholepas concholepas*), la explotación descontrolada de algas pardas y la extracción de recursos de zonas de libre acceso.

En Atacama, se extraen 44 (25%) de los 174 recursos que se explotan a nivel nacional, pero representan sólo el 4,7% de los desembarques nacionales. La falta de medidas de manejo, como vedas y cuotas de captura, permite la sobreexplotación. El loco ha sufrido una fuerte sobreexplotación a nivel nacional, lo que ha



Restos de erizo rojo (*Loxechinus albus*) y Conchales de loco (*Concholepas concholepas*)

Fotos: Nezco Kuzmicic

llevado al Estado a implementar medidas para un manejo adecuado, como vedas, para evitar su extinción. Además, las algas pardas, extraídas en gran parte de zonas de libre acceso, desempeñan un papel fundamental en el ecosistema costero como hábitats para diversas especies, y su sobreexplotación amenaza la biodiversidad al interrumpir procesos ecológicos clave.

Especies invasoras: Las especies exóticas, y en algunos casos invasoras, plantean una seria amenaza para la biodiversidad debido a su capacidad para competir con las especies locales en la lucha por los recursos y su tendencia a carecer de depredadores naturales que las controlen. En el sur del país, ejemplos emblemáticos de esta problemática incluyen al castor y al visón, que generan considerables desafíos tanto para la biodiversidad como para el equilibrio económico y ecológico. Sin embargo, es importante destacar que las especies exóticas no se limitan a organismos fácilmente visibles, como burros, caballos, palomas, gorriones o salmones. También existen especies que no son evidentes a simple vista, o que pasan desapercibidas para el ojo no entrenado, como es el caso de flora e insectos. En la región de Atacama, se observan impactos en la biodiversidad que involucran a mamíferos como burros ferales y perros asilvestrados, avifauna que incluye palomas y gorriones, artrópodos como la mariposa de la col y la chinita arlequín, y en la flora, destacan especies como la hierba del rocío y la ovejita echada. Adicionalmente, en los ecosistemas marinos, las especies exóticas pueden ingresar a través de barcos extranjeros, mientras que en los humedales, se encuentran especies que han sido liberadas desde acuarios, además de algas que también representan una amenaza.

Desalinización de agua de mar: La escasez de agua, especialmente en el norte de Chile debido al cambio climático, ha impulsado la



Hierba del rocío, *Mesembryanthemum crystallinum*

construcción de plantas desalinizadoras en varias regiones del país. Inicialmente, estas plantas estaban destinadas al abastecimiento de la industria minera, pero actualmente su desarrollo se ha asociado a la necesidad de suministrar agua potable a la población humana. Sin embargo, este proceso plantea desafíos significativos para la biodiversidad, tanto durante la construcción como en la operación de estas instalaciones en la zona costera (ver Recuadro 22.3). Durante la fase de construcción, se registran impactos en los recursos hidrobiológicos costeros, que incluyen mamíferos marinos, comunidades inter y submareales, así como peces. Por otro lado, en la etapa de operación de las desalinizadoras, se observa la pérdida de organismos planctónicos, tanto holoplancton (que vive permanentemente en el plancton) como meroplancton (que pasa parte de su ciclo de vida en el plancton). Esto afecta a huevos y larvas de peces, crustáceos, moluscos (por ejemplo, cholga y lapas), equinodermos (erizo) y cefalópodos (pulpo).

Cambio climático: El fenómeno del cambio climático, impulsado por el calentamiento global, ha tenido un impacto significativo en todo el mundo, incluido Chile, que ha experimentado cambios notables en sus patrones climáticos en las últimas décadas. Uno de los efectos más preocupantes es la mega sequía, que ha afectado a la región durante más de 10 años, así como episodios de lluvias extremas. Estos cambios bruscos en el clima no sólo afectan a las poblaciones humanas, sino que también tienen graves consecuencias para la biodiversidad y los ecosistemas. Las especies suelen adaptarse a los cambios ambientales a lo largo de miles y millones de años, pero el calentamiento global ha provocado alteraciones en el entorno en un período relativamente corto desde una perspectiva evolutiva. Esto dificulta que las especies se adapten de manera efectiva a estos cambios repentinos. Como resultado, se producen modificaciones en los hábitats y ecosistemas, lo que puede llevar a la disminución de la abundancia de especies y, en casos extremos, a la extinción de aquellas que son más vulnerables, tanto en la flora como en la fauna.

Oportunidades

Casi todas las actividades humanas plantean una amenaza para la biodiversidad, pero es importante recordar que cada amenaza puede convertirse en una oportunidad para el cambio positivo. Estas oportunidades están estrechamente vinculadas a la conciencia individual y a la comprensión colectiva de que cada acción, incluso la más pequeña, puede ser un paso significativo cuando se suma al esfuerzo de muchos otros, contribuyendo así a un cambio sustancial. Desde la perspectiva del Estado, existen oportunidades que implican la creación de nuevas legislaciones destinadas a la protección y conservación de los ecosistemas únicos y las especies que se encuentran en categorías de conservación. Además, se presentan oportunidades en la declaración de santuarios o parques nacionales, así como en la implementación de programas de investigación financiados tanto por el Estado como en colaboración con entidades privadas. Asimismo, la mejora de las normativas vigentes representa una valiosa oportunidad. Por ejemplo, en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), los proyectos están obligados a abordar y mitigar los impactos significativos a través de medidas de mitigación, reparación o compensación. Sin embargo, surge la interrogante en torno a los impactos que no se consideran significativos. En la actualidad, no existe una obligación clara con respecto a estos impactos de menor magnitud, a pesar de que podrían tener efectos mínimos pero acumulativos sobre la biodiversidad. Es importante explorar la posibilidad de establecer obligaciones específicas para abordar estos impactos, en lugar de depender exclusivamente de compromisos voluntarios por parte de los proyectos.

Las empresas tienen un papel fundamental en la protección de la biodiversidad. Ellas deben cumplir con la legislación nacional, pero no deben limitarse únicamente al cumplimiento normativo. Aunque es esencial que cumplan con las regulaciones vigentes, es igualmente importante ir más allá. Una evaluación de los procesos sancionatorios de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), establecida mediante la Ley Nº20.417 y en funcionamiento desde 2010, revela que muchas empresas han enfrentado sanciones, con multas totales que alcanzan las 100.912,3 UTA. Es relevante destacar que la región de Atacama lidera en multas con un 22,0%, y el sector más afectado es la minería con un 53,1%, seguido por el sector de Energía con un 12,5%. Esto subraya la necesidad de que las empresas vayan más allá del mero cumplimiento legal. Las empresas pueden contribuir significativamente a la protección y conservación de la biodiversidad al respaldar investigaciones, colaborar estrechamente con las comunidades locales, y desarrollar iniciativas en su cadena de valor que promuevan la biodiversidad. Ejemplos de esto incluyen apoyar la creación de viveros de flora y fauna nativa y proporcionar educación a las comunidades vecinas sobre el cuidado de la biodiversidad, entre otras acciones. Aunque muchas empresas están aumentando su compromiso con temas ambientales, aún se requiere un esfuerzo adicional para alcanzar un impacto más significativo en la protección de la biodiversidad.

Cada individuo tiene una valiosa oportunidad de contribuir al cuidado de la biodiversidad. Conscientes de que nuestras acciones cotidianas impactan en el medio ambiente, debemos esforzarnos por reducir este impacto sin sacrificar la calidad de vida. Un ejemplo claro se relaciona con el uso del plástico. Por ejemplo, una bolsa de plástico puede tardar hasta 150 años en descomponerse, y otros tipos de plástico pueden requerir hasta 1.000 años. Por lo tanto, al utilizar menos plástico o reemplazarlo con envases, embalajes y bolsas de papel, contribuimos a minimizar los efectos perjudiciales sobre la biodiversidad. La gestión de residuos es otro aspecto en el que todos podemos aportar significativamente. Esto se logra al consumir menos productos en envases pequeños, que suelen estar hechos de plástico. Al generar menos basura, reducimos la necesidad de espacios para su disposición, evitando la creación de vertederos y rellenos sanitarios no deseados en nuestras comunidades. Nadie desea tener un basurero como vecino, por lo que al reducir nuestra generación de residuos, contribuimos a un entorno más limpio y saludable.

Todos necesitamos recursos como agua, plásticos, alimentos, vivienda, dispositivos móviles modernos y actividades recreativas para mejorar nuestra calidad de vida. Sin embargo, es relevante que seamos ciudadanos conscientes de cómo nuestras acciones afectan a la biodiversidad y al medio ambiente en general. Debemos

esforzarnos por ser parte de la solución y no del problema, brindando un apoyo activo a nuestro planeta, a Chile y, específicamente, a la región de Atacama, con su invaluable biodiversidad. Juntos, podemos marcar la diferencia y contribuir a un futuro más sostenible.

La conservación de la biodiversidad en la región de Atacama es una tarea que involucra a la sociedad en su conjunto, tanto el sector público como el privado, así como la comunidad en general. Varias oportunidades pueden marcar la diferencia en la preservación de los ecosistemas únicos y especies en peligro. Desde el fortalecimiento estatal con políticas y leyes específicas hasta la colaboración empresarial y una planificación territorial adecuada, cada oportunidad es esencial. La gestión integral del recurso hídrico, la protección de hábitats críticos y la restauración de ecosistemas degradados son clave para la sostenibilidad ambiental. La educación ambiental, la investigación científica y la participación comunitaria también son vitales. En conjunto, estas oportunidades representan un enfoque completo para la conservación de la biodiversidad en Atacama, asegurando un futuro donde el equilibrio entre el desarrollo y la protección de la naturaleza sea una realidad duradera. A continuación se presentan algunas de las principales oportunidades existentes:

Fortalecimiento de la Protección de la Biodiversidad por parte del Estado: Desde la perspectiva del Estado, es importante fortalecer la protección de la biodiversidad mediante políticas, áreas protegidas y leyes específicas. Esto garantiza la preservación de ecosistemas únicos y especies en peligro, promoviendo la sostenibilidad ambiental y el equilibrio entre desarrollo y conservación en la región de Atacama.

Colaboración Empresarial en la Conservación: Las empresas pueden tener un impacto positivo en la biodiversidad al respaldar investigaciones, colaborar con comunidades locales y promover iniciativas de biodiversidad en su cadena de valor. Esto contribuye a la conservación y la sostenibilidad.

Planificación Territorial: La planificación territorial adecuada es esencial para proteger la biodiversidad en Atacama. Esto implica zonificar áreas para la conservación y limitar el desarrollo en zonas críticas para la vida silvestre. Además, se pueden establecer corredores ecológicos para conectar hábitats fragmentados, facilitando la migración de especies y fortaleciendo la diversidad genética. La planificación integral considera tanto la conservación como el desarrollo sostenible, equilibrando las necesidades humanas con la protección de la biodiversidad.

Gestión Integral del Recurso Hídrico: La gestión integral del recurso hídrico abarca tanto el agua superficial como la subterránea y busca coordinar y planificar su uso de manera sostenible. Esto implica considerar la disponibilidad de agua en la región y cómo se asigna para diversos usos, incluida la conservación de la biodiversidad.

Políticas de Protección de Hábitats Críticos: Establecer políticas que protejan hábitats clave, como humedales y bosques, es esencial para preservar refugios vitales para la biodiversidad. Al garantizar la integridad de estos ecosistemas, se asegura la supervivencia de especies adaptadas a estas áreas únicas.

Restauración de Ecosistemas Degradados: La restauración de áreas degradadas, como sitios mineros abandonados, ofrece una oportunidad clave para revitalizar hábitats que han sufrido daños ambientales. Al reintroducir la vegetación nativa y restaurar las condiciones naturales, se brinda un espacio vital para la vida silvestre y las especies endémicas de Atacama, fortaleciendo así la biodiversidad.

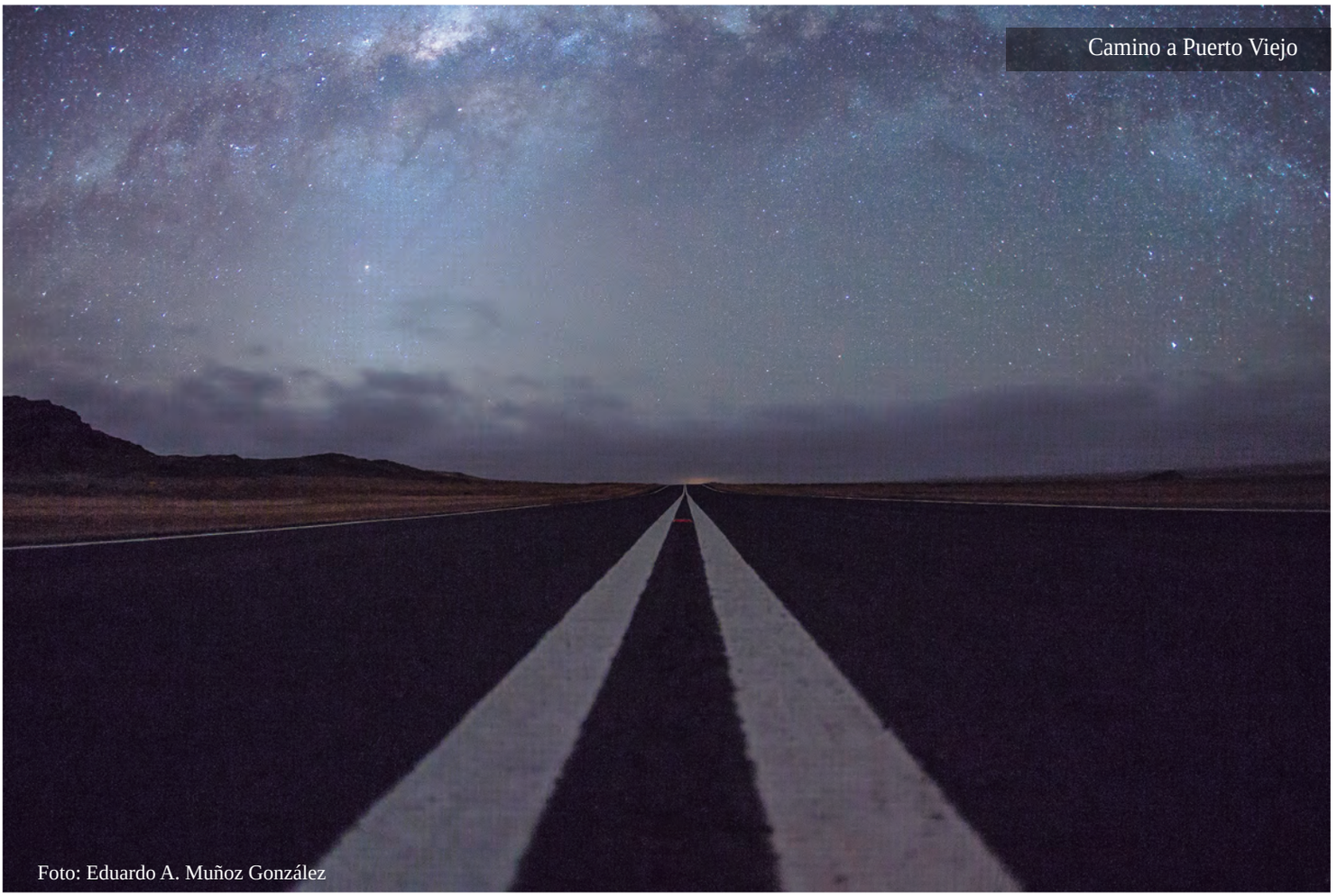
Gestión de Residuos: Mejorar la gestión de residuos es una oportunidad para reducir la contaminación y proteger la biodiversidad en Atacama. Fomentar prácticas de reducción, reutilización y reciclaje disminuye la presión sobre los ecosistemas y evita la acumulación de desechos que podrían dañar la vida silvestre y los hábitats. Además, la educación sobre la correcta disposición de residuos es fundamental para evitar que éstos lleguen a lugares naturales y causen impactos negativos.

Promoción del Ecoturismo Responsable: Fomentar el ecoturismo sostenible en Atacama permite que las personas experimenten la riqueza natural de la región sin dañarla. Esto no sólo genera ingresos locales, sino que también crea conciencia sobre la importancia de proteger los ecosistemas únicos de la zona, impulsando la conservación.

Educación Ambiental: La educación sobre biodiversidad en escuelas y comunidades locales despierta un entendimiento más profundo de la flora y fauna regional. Al enseñar a las personas sobre los ecosistemas de Atacama y su fragilidad, se promueven prácticas de conservación entre las generaciones futuras y la comunidad en general.

Investigación Científica: La investigación científica brinda información sobre la biodiversidad de Atacama. A través de estudios de terreno y análisis de datos, se obtiene una comprensión más completa de las especies locales y los ecosistemas, lo que respalda la toma de decisiones informadas para su protección y manejo.

Ciencia Ciudadana para la Biodiversidad: La participación de la comunidad en proyectos de ciencia ciudadana es una herramienta poderosa para la conservación de la biodiversidad en la región de Atacama. Al involucrar a ciudadanos en la observación y el monitoreo de la vida silvestre y los ecosistemas locales, se recopila información valiosa que contribuye a la comprensión y protección de la biodiversidad. Esto promueve la conciencia ambiental y la colaboración entre la comunidad y los científicos, fortaleciendo la gestión de recursos naturales y la conservación de especies amenazadas en esta región única.



Camino a Puerto Viejo

Foto: Eduardo A. Muñoz González

Participación Comunitaria: Involucrar a las comunidades locales en la conservación empodera a las personas para ser defensoras activas de la biodiversidad. Cuando las personas se sienten conectadas a su entorno y comprenden su importancia, están más dispuestas a adoptar prácticas sostenibles y a colaborar en proyectos de preservación.

Monitoreo Ambiental: Implementar sistemas de seguimiento ambiental continuo permite detectar amenazas emergentes y evaluar el estado de la biodiversidad de manera regular. Esta información en tiempo real facilita la respuesta rápida a los desafíos y garantiza la salud a largo plazo de la biodiversidad de Atacama.

Perspectivas hacia la sostenibilidad de la biodiversidad en la región de Atacama

La región de Atacama se enfrenta a una serie de amenazas que ponen en riesgo su biodiversidad única y frágil. Desde la agricultura y la minería hasta la generación de energía y la sobreexplotación de recursos naturales, estas amenazas ilustran la complejidad de conservar los ecosistemas de esta región. Además, el cambio climático agrega una dimensión adicional de preocupación al alterar los patrones climáticos y desafiar la adaptación de las especies locales. Sin embargo, en medio de estos desafíos, también existen oportunidades valiosas para la conservación de la biodiversidad en Atacama. El fortalecimiento de la protección estatal, la colaboración empresarial, la planificación territorial adecuada y la gestión integral del recurso hídrico son elementos clave para garantizar la sostenibilidad ambiental. La protección de hábitats críticos, la restauración de ecosistemas degradados y la promoción del ecoturismo responsable son estrategias esenciales para preservar la rica biodiversidad de la región.

Además, la educación ambiental, la investigación científica y la participación de la comunidad son pilares fundamentales en este esfuerzo. Al empoderar a las personas para comprender la importancia de la biodiversidad y tomar medidas concretas, se crea un movimiento colectivo hacia la conservación. Cada individuo tiene la oportunidad de contribuir al cuidado de la biodiversidad, desde reducir el uso de plástico hasta participar en proyectos de ciencia ciudadana y adoptar prácticas sostenibles en su vida diaria.

En conjunto, estas oportunidades representan un enfoque completo para la conservación de la biodiversidad en Atacama, asegurando un futuro en el que el equilibrio entre el desarrollo y la protección de la naturaleza sea una realidad duradera. La conservación de la biodiversidad en esta región es una tarea que involucra a la sociedad en su conjunto, y juntos podemos marcar la diferencia y contribuir a un futuro más sostenible y en armonía con la naturaleza.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 22.1:313-314



Recuadro 22.1 Amenazas de la agricultura a la biodiversidad

Carmen Jorquera-Jaramillo

La agricultura es la principal actividad productiva que sostiene la vida humana; a su vez, la propia agricultura depende del suelo y de los servicios que le presta la naturaleza, esto es, servicios ecosistémicos, como la provisión de agua, la polinización, el control de agentes-plaga, entre otros.

¿Cuáles son las amenazas de la agricultura a la biodiversidad?
La agricultura –que en sentido amplio incluye también a las actividades ganadera y silvícola– altera los suelos y la vegetación nativa; cuando es practicada con descuido, puede dejar los suelos improductivos por la erosión, el sobrepastoreo y la destrucción de hábitat.
La necesidad de riego desvía los cursos de agua y el uso inadecuado de tecnologías modernas para asegurar la producción –como el uso excesivo e inapropiado de plaguicidas y fertilizantes– contaminan las aguas superficiales y subterráneas con agroquímicos y elementos minerales, afectando con ello a las especies nativas de flora, fauna y microorganismos.

¿Y la actividad agropecuaria en la región de Atacama?
Los valles agrícolas de la región de Atacama se caracterizan por el cultivo de vides y en menor proporción olivos y hortalizas; en la producción ganadera dominan los caprinos.

¿Cómo amenaza la actividad silvoagropecuaria a la biodiversidad regional?
La expansión de la agricultura hacia suelos marginales en los valles agrícolas de la región de Atacama se ha centrado principalmente en el cultivo de vides, destruyendo hábitat al habilitar los suelos para cultivo; asimismo, ha usado los recursos hídricos más allá de la disponibilidad nominal para riego, además de la sobre fertilización de los suelos y la aplicación de plaguicidas que alcanzan los cursos de agua. Si bien la masa ganadera (principalmente de caprinos) es fluctuante –porque depende de la productividad anual de las praderas naturales– la ganadería extensiva ha afectado a diversas especies de flora y consecuentemente, a la fauna que se sustenta en ellas.



Incendio forestal sector Chamonate

Foto: Boris Burgos, Conaf Atacama

Al menos 30 especies de plantas nativas amenazadas son directamente afectadas por la agricultura, la ganadería o ambas, destacando *Salix humboldtiana* (sauce chileno) y *Typha angustifolia* (totora) afectadas por el uso agrícola del agua; *Geoffroea decorticans* (chañar), *Neltuma (Prosopis) chilensis* y *Neltuna flexuosa* (algarrobo dulce) afectados por la expansión de terrenos de cultivo, mientras que *Bridgesia incisifolia* (rumpiato) y *Carica chilensis* (palo gordo) son especies tradicionalmente ramoneadas por el ganado caprino.

Muchas otras especies de flora que aún no alcanzan la categoría de amenaza son afectadas por la expansión de la agricultura, la erosión de los suelos, el desvío del agua, el pisoteo, el ramoneo o por el consumo directo por los animales. La alteración de la flora, indudablemente altera a la fauna nativa que depende de ella.

Servicios que presta la biodiversidad a la actividad silvoagropecuaria:

- Protección del suelo
- Reciclaje de nutrientes
- Control del microclima local
- Regulación de procesos hidrológicos
- Regulación de la abundancia de organismos indeseables
- Polinización



Agricultura de exportación en fondos de valles

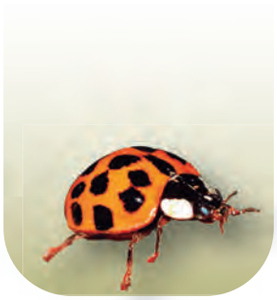
Fuente: www.elmercurio.com/campo/noticias/noticias/2017/11/21/atacama-cambio-climatico-y-la-competencia-externa-los-desafios.aspx

¿Cómo puede aportar la actividad silvoagropecuaria a reducir sus amenazas a la biodiversidad regional?

Proteger los suelos de la erosión no sólo significa prolongar la vida de la propia agricultura, sino reducir los efectos de la pérdida de suelos sobre sitios aledaños. Igualmente, hacer un uso más eficiente de los recursos hídricos, respetando los caudales ecológicos, aportará a reducir el impacto sobre especies nativas que dependen directamente de la provisión de agua. Reciclar los desechos orgánicos contribuirá a reducir la erosión de los suelos, a retener el agua en los suelos y permitirá economizar en el uso de fertilizantes químico-sintéticos. Aumentar la biodiversidad dentro de las propiedades agrícolas –especialmente con plantas nativas perennes– junto con reducir el uso de plaguicidas, contribuirá al control natural de organismos - plaga y a la mantención y aumento de poblaciones de polinizadores nativos, al proporcionarles alimento y refugio.

En la medida que cuidemos las especies nativas de flora y fauna, también extenderemos sus servicios a la propia actividad agrícola y pecuaria, en tanto éstas dependen de los servicios ecológicos que presta la biodiversidad nativa y cultivada.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 22.2:315-317



Recuadro 22.2 Especies exóticas, una amenaza creciente sobre Atacama

Rafael A. García, Eduardo Fuentes-Lillo & Aníbal Pauchard

La región de Atacama es la zona más septentrional del hotspot de biodiversidad de Chile Central. La flora nativa está compuesta por 988 especies, donde un 54,3% corresponden a especies endémicas, las cuales se concentran en las zonas costeras de la región (Letelier et al. 2008). Sin embargo, debido a las actividades humanas que se desarrollan en la región (ver Capítulo 22), como la minería, pesca, agricultura y el turismo, se ha fomentado el transporte, establecimiento y expansión de especies de plantas y animales exóticos en varios ecosistemas. En la región de Atacama, existen cerca de 255 especies naturalizadas (especies exóticas que forman poblaciones sin apoyo humano), de las cuales sólo una pequeña fracción corresponde a especies invasoras que ocasionan pérdida de biodiversidad producto de la competencia o depredación que ejercen sobre las especies nativas o generan pérdidas económicas, principalmente sobre las actividades agrícolas que se realizan en la zona (Fuentes et al. 2020). Las condiciones ambientales extremas, acrecentadas por los efectos del cambio climático, y el alto endemismo de la biodiversidad de Atacama, la hacen particularmente susceptible a los efectos negativos de las invasiones biológicas. Acá detallamos algunos ejemplos de plantas y animales exóticos con potencial de afectar la conservación de la biodiversidad nativa de la región.



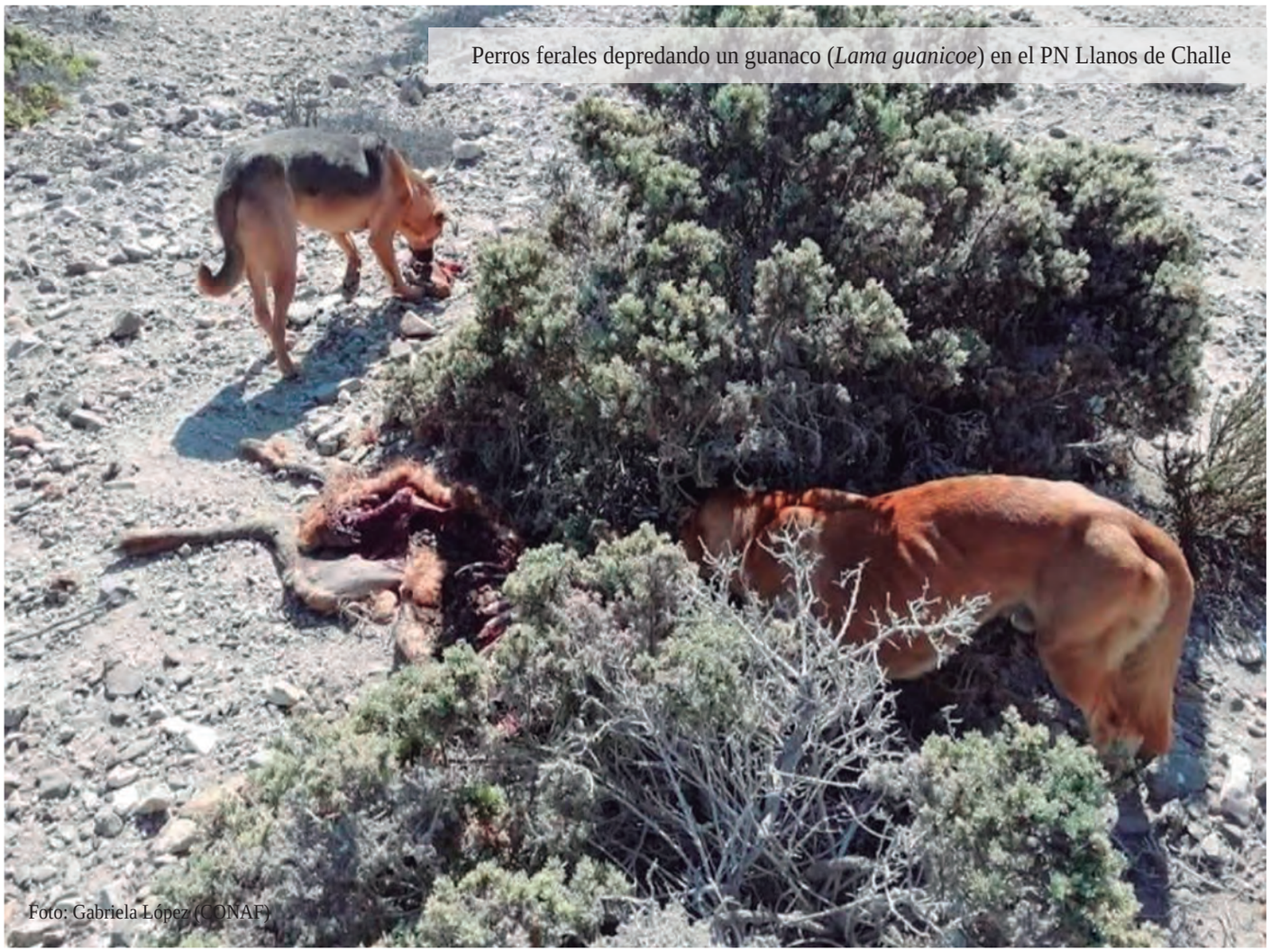
Burros ferales pastando la escasa vegetación, Quebrada de Chañaral cercana a Domeyko

Fauna Invasora

En la región de Atacama existen pocos registros documentados para este grupo, con solo diez animales y 40 insectos naturalizados (Fuentes et al. 2020). Bajo este contexto, destacamos especies puntuales que son las que generan mayores impactos sobre la biodiversidad. Los Burros Ferales (*Equus asinus*) (PNUD 2017), fueron introducidos en América en el siglo XVI como animal de carga, es una especie naturalizada, que invade principalmente zonas precordilleranas de Tarapacá, costeras y precordillera de Atacama y ecosistemas costeros de la región de Coquimbo, las poblaciones fluctúan entre 1.600 a 3.300 individuos (González et al. 2015), existiendo un importante solapamiento de nicho entre burros y camélidos nativos. Además, del evidente daño por ramoneo a la vegetación nativa, incluso en sectores donde se produce el desierto florido, se ha determinado que genera daños en la agricultura, principalmente por consumo y pisoteo, generando pérdidas

económicas de un 71% en los ingresos anuales de los agricultores rurales, siendo la alfalfa el cultivo más dañado. Así como los burros ferales provocan un gran impacto sobre las especies nativas, los perros (*Canis lupus familiaris*) de libre desplazamiento (free ranging dogs, ferales/asilvestrados), son los causantes de muchos ataques contra la fauna nativa, incluso al interior de áreas protegidas. Por ejemplo, en los Parques Nacionales Llanos de Challe y Pan de Azúcar y, la AMCP-MU Isla Grande de Atacama, afectan principalmente a poblaciones de zorros y guanacos. Con una abundancia en aumento, debido a la falta de una tenencia responsable de mascotas, pueden generar un impacto de mayor magnitud particularmente en zonas periurbanas y rurales (Cepeda-Mercado et al. 2014). En cuanto a las aves, pese a la presencia de especies exóticas generalistas como el gorrión (*Passer domesticus*) y la paloma (*Columba livia*) (Fuentes et al. 2020), hay pocos registros de presencia en literatura para ambientes naturales. Recientemente, se ha registrado también la presencia de la cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*), en la localidad de El Salvador y en la ciudad de Copiapó registradas en el año 2018.

Dentro de los artrópodos que han llegado a la región se puede destacar a la Mariposa de la col (*Pieris brassicae*) (Zúñiga-reinoso & Mardones 2014). Esta especie nativa de Europa, introducida en Chile durante la década de los 70 producto del transporte de hortalizas, genera impactos importantes sobre cultivos de crucíferas



Perros ferales depredando un guanaco (*Lama guanicoe*) en el PN Llanos de Challe

Foto: Gabriela López (CONAF)

y umbelíferas y sobre especies de lepidópteros nativas en las zonas que invade. Las poblaciones de esta especie, en la región de Atacama corresponden a las más septentrionales dentro del país, asociada principalmente a cultivos de alfalfa (Zuñiga-Reinoso & Mardones 2014). La Chinita arlequín (*Harmonia axyridis*) es considerada una especie invasora de la zona centro y sur de Chile, sin embargo, su presencia ya fue registrada el año 2014 en la región de Atacama. La chinita arlequín genera importantes impactos sobre las especies nativas de artrópodos como también sobre los cultivos que invade (Grez et al. 2016).

Flora Invasora

En la región se pueden encontrar 148 especies que corresponden a especies vegetales naturalizadas, representando cerca de un 20% de la flora total de la región. Dentro de este grupo destaca la Hierba del rocío (*Mesembryanthemum cristallinum* y *M. nodiflorum*). Esta planta exótica que se encuentra presente desde la región de Antofagasta hasta la de Coquimbo, es considerada una especie invasora en las tres islas de la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, Parque Nacional Llanos de Challe y PN Pan de Azúcar y variados ecosistemas naturales incluso en sectores donde se



Hierba del rocío, *Mesembryanthemum cristallinum*

expresa el fenómeno de desierto florido. Es un fuerte competidor de especies nativas, debido a su capacidad de absorber la humedad del suelo. Además, genera acidificación de los suelos, lo que impide el reclutamiento de especies nativas (Madrigal-González et al. 2013). En el sur de la región de Atacama está concentrada en ecosistemas que han sido altamente perturbados por herbívoros nativos y exóticos y actividades humanas, mientras que en ecosistemas no perturbados se encuentra frecuentemente asociado al cactus endémico *Eulychnia acida* que facilita su establecimiento (Madrigal-González et al. 2013).

Un caso especial es el de la "ovejita echada" (*Cylindropuntia tunicata*), un cactus del cual no hay certeza sobre su origen aun cuando la evidencia apunta a pensar que se trata de una especie exótica. En ese sentido se debe monitorear sus poblaciones, especialmente en áreas de interés ecológico, como las presentes en el PN Pan de Azúcar. En estos sectores invadidos, puede generar impactos sobre la biodiversidad, principalmente desplazamiento de plantas nativas como también la muerte de algunos animales nativos (Sheehan & Potter 2017).

La amenaza y el arribo de nuevas especies es creciente, esto asociado al aumento de las actividades humanas en la zona. Esto queda de manifiesto con el hallazgo, hace unos años, de *Volutaria tubuliflora*, especie nativa del norte de África, adaptada a climas mediterráneos áridos y desérticos, la cual fue registrada por primera vez creciendo en orilla de caminos entre las ciudades de Copiapó y Vallenar (Teiller et al. 2014). Pese a su identificación y reporte oportuno, a la fecha no se han tomado acciones que apunten a erradicar o contener la expansión de los individuos detectados, sobre todo considerando que sus principales poblaciones se encuentran cercanas al nuevo Parque Nacional Desierto Florido.



Ovejita echada, *Cylindropuntia tunicata*

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 22.3:318-319



Recuadro 22.3 Plantas Desalinizadoras ¿Una amenaza a la biodiversidad costera?

Dagoberto Arcos Rojas

Fundación Chile, en su informe sobre los Escenarios Hídricos 2030 ha señalado que la creciente escasez de agua dulce en la zona norte y centro del país, causada por su sobreexplotación y las reducciones de precipitaciones, así como el aumento de temperatura por el Cambio Climático, limitará el uso del vital recurso por parte del uso urbano, agrícola y minero.

La situación de aumento de la demanda de agua para consumo humano e industrial no es nueva en el mundo y desde hace muchos años que países como España, Arabia Saudita, Oriente Medio y Norte de África, países circundantes al Mar Mediterraneo, Emiratos Árabes Unidos, Kuwait y Qatar entre otros, usan la tecnología de desalinizar el agua de mar para abastecer a su población, la agricultura y la industria.

La desalinización no es ajena en el desarrollo humano ya que fue usada por primera vez por los navegantes griegos en el siglo IV a.C., para evaporar agua de mar y obtener agua dulce, y en Chile hay indicios de su uso en 1872 en las salitreras del norte.

En Chile actualmente, se estima que existen más de 25 plantas industriales desalinizadoras y un número indeterminado de pequeñas plantas en sectores costeros que tienen como única fuente de agua dulce lo que les entrega la planta desalinizadora

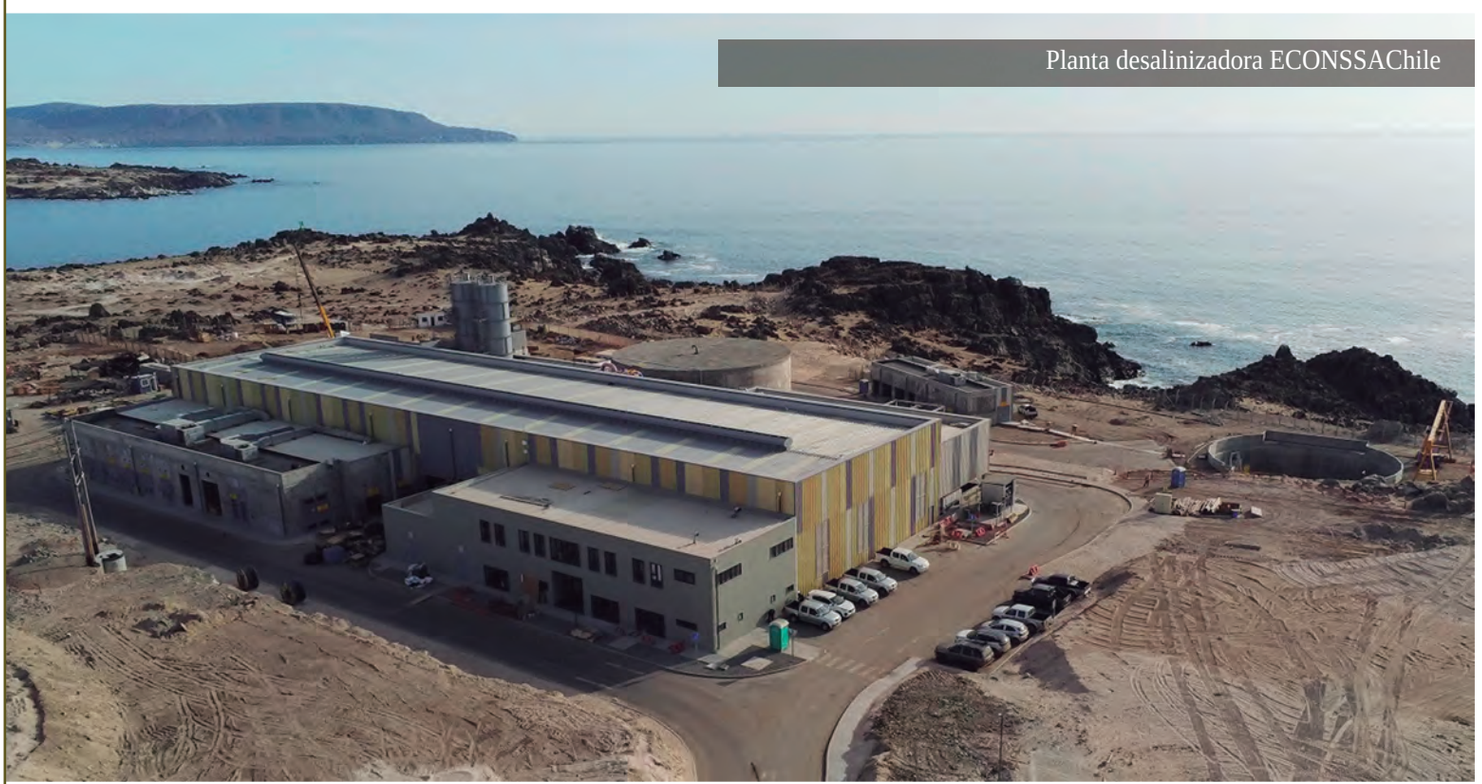
¿Cómo funciona una planta desalinizadora? (Nota: según la RAE Desalinizar es “Quitar la sal del agua del mar o de las aguas salobres, para hacerlas potables o útiles para otros fines.” y Desalar es “Quitar la sal a algo, como a la cecina, al pescado, etc.”).

Una manera muy simple de explicar es, primero, se extrae agua de mar, segundo, se incorpora en un proceso industrial donde se le extrae la sal, y tercero, la salmuera finalmente se devuelve al mar y el agua dulce sin sal se almacena y se prepara para sus distintos usos.

Estos pasos son bastante más complejos, pero de manera simple se puede explicar su significado:

1.- Extraer agua del mar: significa captación mediante una tubería a cierta profundidad y bombas de succión hacia la etapa de pretratamiento. El proceso requiere de mucha energía eléctrica, la que puede ser de origen solar o eólica.

2.- Etapa de filtrado: para ello se necesita filtros donde se tamiza el agua para extraer partículas grandes primero y un microfiltrado



Planta desalinizadora ECONSSAChile

para partículas más pequeñas, para finalmente un proceso de filtrado químico por floculación para aquellas partículas más finas. La etapa de filtrado termina con la eliminación de bacterias y microorganismos.

3.- Etapa de filtrado de la sal: Esta es la más importante y que se realiza a través de los bastidores de ósmosis inversa. Esta parte del proceso es el corazón de las plantas desalinizadoras, y los bastidores o filtros se encargan de separar la sal del agua. En esencia, una bomba a presión hace pasar el agua salada a través de un sistema de membranas semipermeables, que sólo permiten la salida de las moléculas de agua, reteniendo las sales.

4.- La etapa final: se compone de dos partes: por un lado, el agua filtrada pasa a la etapa de post tratamiento y almacenamiento, en donde el agua se trata para ser apta para el consumo humano u otro uso (e.g., agricultura, minería). Por otro lado, la salmuera sobrante es devuelta al mar mediante diferentes tuberías y difusores. Estos métodos son importantes para no afectar la vida de los organismos marinos en la zona costera.

¿Dónde están los potenciales conflictos con la biodiversidad?

Tanto la captación del agua de mar y la disposición final de la salmuera pueden afectar la biodiversidad: desde la succión de agua que contiene microorganismos, microalgas, huevos y larvas de peces, pero también puede atrapar aves (e.g., pingüinos) y mamíferos marinos (chungungos), hasta la disposición final de la salmuera y su efecto sobre la vida submarina aledaña.

El problema que se enfrenta con el vertido de la salmuera es que se devuelve al mar, en una concentración muy superior, 2 a 3 veces mayor a los mismos iones de sales del agua de mar. Igualmente, se devuelve al mar otros residuos químicos como los que se usan para floculación, eliminar bacterias y aquellos usados para la limpieza de las membranas. También se incluyen sustancias biocidas (“antifouling”) para reducir el crecimiento de algas y otros organismos dentro de las tuberías. Estos residuos, sean líquidos o fangos, deberían ser tratados mediante sistemas de depuración antes de verterse a la zona costera para reducir el impacto sobre el ambiente y la biodiversidad.

El gran problema de la salmuera que se devuelve al mar es el aumento de la salinidad en la zona costera vecina y de la mayor temperatura lo que puede provocar un descenso del contenido de oxígeno disuelto si se realiza en áreas costeras con baja circulación. Es un hecho que, si la dilución y dispersión de la salmuera en el área costera es baja, puede afectar a las praderas de algas, poblaciones de moluscos y peces litorales, entre otros.

Dos amenazas adicionales a la biodiversidad se presentan con la instalación de nuevas Plantas Desalinizadoras, particularmente en la costa del centro norte de Chile, debido a la existencia en estos territorios de varios endemismos locales (e.g., copiapoas, nolanas) y zonas de alta biodiversidad. Las amenazas incluyen por un lado el impacto directo sobre el terreno donde se construye las obras (planta, acueductos y caminos de acceso), y por otro lado, debido al alto requerimiento de energía utilizada en el proceso, el acceso a energías renovables cercanas, como campos eólicos o solares, las que a su vez también impactan grandes extensiones de terrenos.

Varios países desarrollados, como España o Australia, poseen Normas para la instalación y operación de Plantas Desalinizadoras, pero Chile no posee una Norma Nacional que considere nuestras peculiaridades, especialmente en las costas del norte-centro de Chile (surgencias costeras, corrientes, alta biodiversidad y endemismos locales, entre otros). Esta Norma Nacional debería incluir una preocupación especial por la localización espacial de las obras en tierra y mar, el diseño de sistemas de captación de agua de mar con bajas velocidades de succión, la evaluación de las corrientes de las zona costera y diseño de emisarios submarinos con difusores, el uso de tecnologías de mayor eficiencia para reducir volumen o la concentración de la salmuera y la reducción del consumo de energía eléctrica, y monitoreo permanente del ecosistema en la zona de influencia durante la operación.

La costa de Chile es una zona que gracias a la presencia de la corriente fría de Humboldt que, juntamente con las zonas de surgencias de aguas a lo largo de la costa, nos ofrece lugares adecuados para instalar plantas desalinizadoras y aprovechar zonas de dilución y dispersión naturales para la salmuera y no afectar la vida marina. Encontrar el lugar adecuado es la norma principal antes de decidir dónde instalar una planta.



Emisario y difusores

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 22.4:320-322



Recuadro 22.4 Pesquería de algas pardas en Atacama y amenazas a su sustentabilidad

JM Alonso Vega, Nicole Piaget & Helmo Pérez

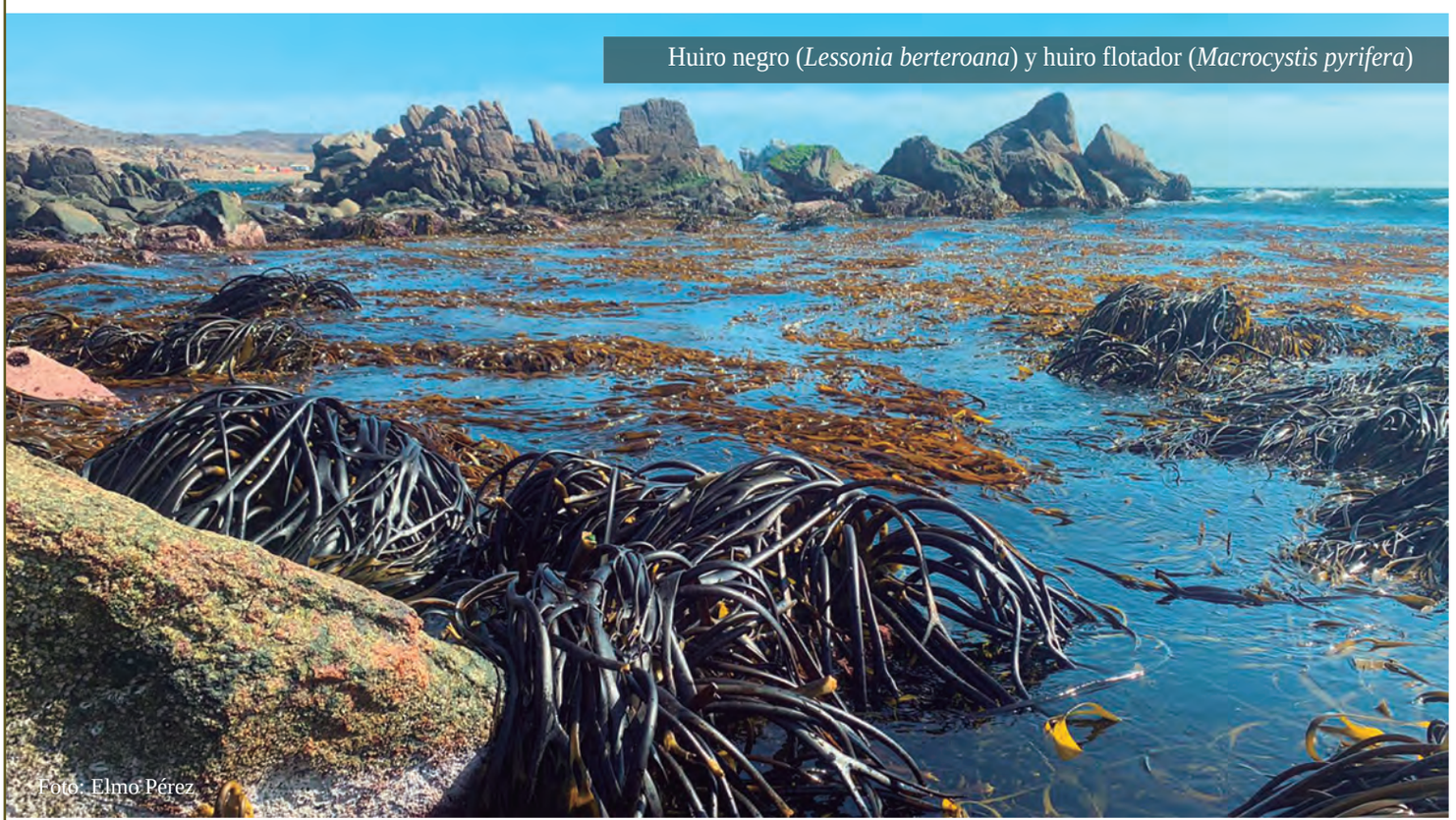
Las algas pardas (Ochrophyta, Laminariales) son un grupo de especies conspicuas de la costa rocosa expuesta al oleaje de Atacama (ver Capítulo 6). Las poblaciones de huiro negro *Lessonia berteroana* forman el cinturón intermareal, mientras que las poblaciones de huiro palo (*Lessonia trabeculata*) forman bosques submareales. En cambio, las poblaciones de huiro flotador (*Macrocystis pyrifera*) tienen una distribución fragmentada y restringida a los ambientes protegidos al oleaje.

Los aspectos biológicos y ecológicos (i.e., taxonomía, distribución, crecimiento, morfología, reclutamiento, reproducción, stock, mortalidad, estructura de tallas, relación longitud-peso, talla y edad crítica, evaluación indirecta, evaluación directa, medio ambiente, oceanografía), así como pesqueros (i.e., desembarque, esfuerzo de pesca, rendimiento de pesca) y socio-económicos de las algas pardas han sido profundamente estudiadas en el norte de Chile a través de proyectos de investigación científica (i.e., FONDECYT, FONDEF), y pesquera (i.e., FIPA, FIC-R) por más de 40 años.

Históricamente, Atacama se ha caracterizado por el volumen de algas pardas desembarcadas y transformadas en productos de exportación, así como por una compleja cadena extractiva. El huiro negro representa casi el 60% del desembarque nacional. Del total de la biomasa de algas pardas desembarcada, el 95% del desembarque proviene de áreas de libre acceso y un 5% desde Áreas de Manejo y de Explotación de Recursos Bentónicos (AMERBs). Debido a que la explotación de algas pardas en las AMERBs es mínima, en comparación con las áreas de libre acceso, éstas actúan como zonas de resguardo.

En los 528 km de borde costero de Atacama hay 21 caletas de pescadores: 9 ubicadas en la provincia de Huasco, 9 en Copiapó y 3 en Chañaral, siendo Huasco donde ocurre el mayor desembarque de algas pardas. En este borde costero hay 34 AMERBs, de las cuales 22 tienen inscrita al recurso algas pardas como especie objetivo.

En Atacama, la pesquería de algas pardas reconoce un stock



Huiro negro (*Lessonia berteroana*) y huiro flotador (*Macrocystis pyrifera*)

Foto: Elmo Pérez

proveniente de la población natural que contiene la biomasa disponible para la explotación, junto a una fracción de alga varada, que corresponde a la mortalidad natural que arriba a la playa. Este stock diferenciado está relacionado entre sí, en función de la dinámica poblacional del recurso algas pardas. Por esta razón, el esfuerzo pesquero se realiza de dos formas: la recolección de algas varadas en la orilla de la costa y la extracción directa desde el cinturón intermareal o desde el bosque submareal a través de buceo hooka. La recolección se realiza en varaderos que tienen dinámicas locales y estacionales dependientes del clima costero (e.g., marejadas). En cambio, la extracción directa, con barreta, puede ser realizada en cualquier época del año. Ambas formas de esfuerzo pesquero no requieren habilidades específicas reduciendo al mínimo los costos de operación.

Así, la pesquería de algas pardas es una actividad económica extractiva que se desarrolla a través de una cadena productiva de alto impacto social y bajo valor agregado. El proceso comienza con el secado de la biomasa húmeda en tendederos después de la recolección o extracción. Después de varios días de secado al sol, las algas son acopiadas en fardos de 50 kilos aprox. El fardo es la unidad de comercialización en playa entre algueros e intermediados que llevan la biomasa a las plantas transformadoras, que vuelven a secarlas y picarlas según la especie de alga parda. El alga seca picada es la materia prima para la producción de geles (e.g., alginatos) (Vásquez 2008).

En cambio, particularmente en Chasco, se extrae y comercializa biomasa fresca de *Macrocystis pyrifera* para alimentar abalones rojos (*Haliotis rufescens*) en cultivos.



Tendedero de Huiro negro (*Lessonia berteroana*)

Foto: Elmo Pérez

En Atacama, los ingresos económicos de los algueros varían de acuerdo al recurso, nivel de secado, accesibilidad y tipo de caleta (i.e., urbana, rural) que regulan el precio en playa. Sin embargo, históricamente la pesquería de algas pardas ha estado caracterizada económicamente por sus bajos ingresos y nivel de marginalidad social. Actualmente, es una actividad económica atractiva, inmediata y de fácil acceso para personas con vulnerabilidad social, generando un potencial riesgo para la sustentabilidad de la pesquería de algas pardas.

En Atacama, se extraen cerca de 60.000 toneladas secas anuales de huiro negro, cerca de 15.000 toneladas secas de huiro palo, y cerca de 8.500 toneladas de huiro flotador, que contribuyen a los ingresos económicos generados por esta pesquería.

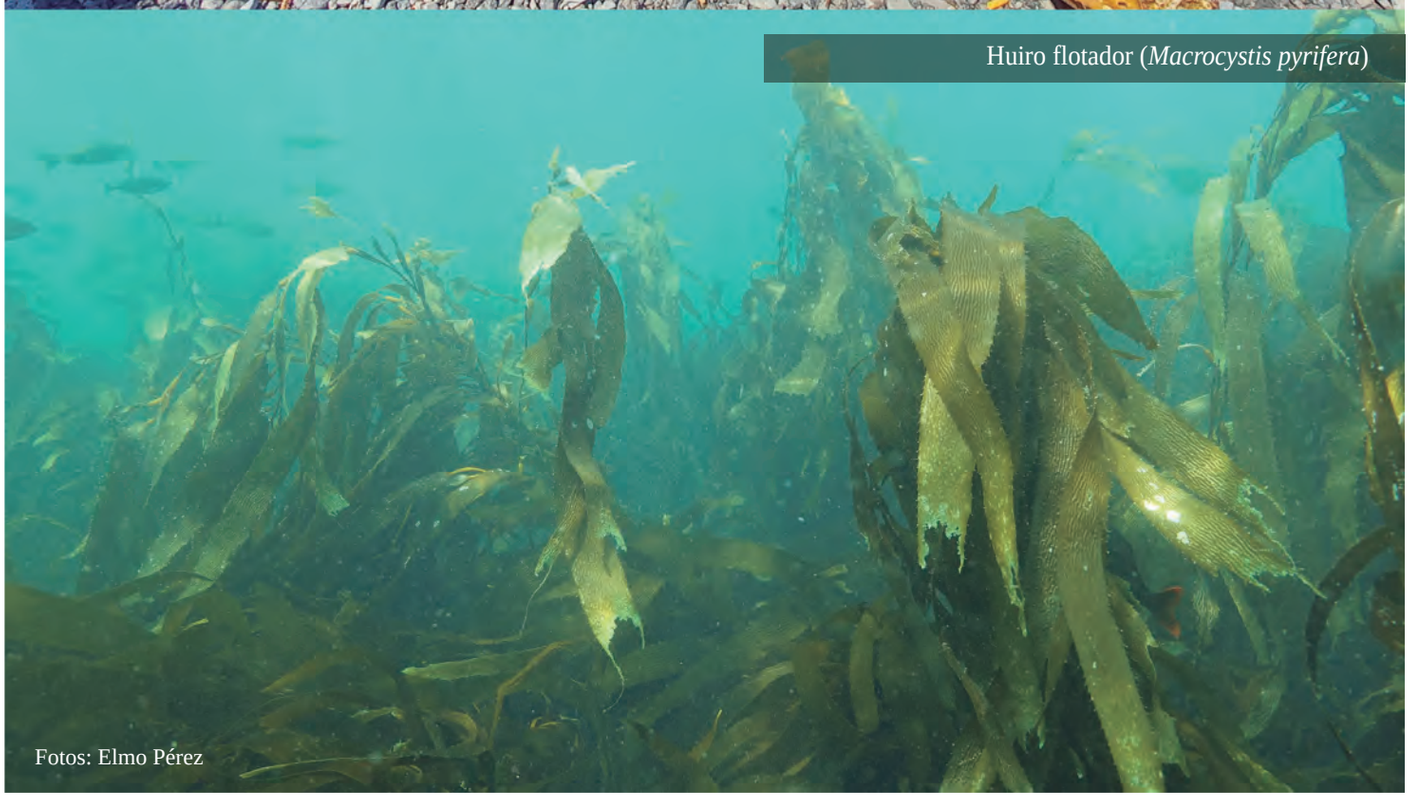
Cabe destacar que las algas pardas tienen una gran importancia ecológica en el ecosistema costero de Atacama porque constituyen hábitats y refugio para la reproducción, el asentamiento larval y el reclutamiento de una diversidad de especies de invertebrados y peces. En los ambientes marinos costeros, los cinturones y bosques de algas pardas actúan como especies fundacionales e ingenieras de ecosistemas, constituyendo focos de alta diversidad biológica, que alberga además otros recursos hidrobiológicos, tales como: lapas, loco, erizos, peces de roca.

Debido al nivel de extracción del recurso algas pardas, y a fin de alcanzar un ordenamiento de esta pesquería en Atacama, y en las otras regiones del norte de Chile, se han establecido regulaciones específicas e instancias de participación público-privada orientadas hacia el co-manejo sustentable de las algas pardas (Tapia 2022). Este proceso permitió la creación de comités de manejo regionales (e.g., Atacama) o locales (e.g., Bahía Chasco) y la elaboración de Planes de Manejo para el recurso algas pardas (i.e., huiro negro, huiro palo, huiro flotador) fundamentados en bases científicas y técnicas. Entre las medidas de manejo para áreas de libre acceso a la pesquería de algas pardas, destacan la regulación de acceso de nuevos usuarios a la pesquería y el cierre temporal del Registro Pesquero Artesanal; junto con una estrategia de explotación de las poblaciones naturales basada en cuotas de capturas, vedas extractivas, talla mínima de extracción, y criterios de remoción de acuerdo a las características biológicas y ecológicas de cada especie de alga parda; así como, la constante revisión del Plan de Manejo por parte del Comité y la incorporación de nuevas estrategias y/o medidas como límites de extracción, zonas de operación y nóminas de extracción.

La principal amenaza a la sustentabilidad de esta pesquería es el modelo económico extractivista que la sostiene, basada en la remoción intensiva de biomasa desde las poblaciones naturales de algas pardas, que está centrada en la exportación de materia prima,



Huiro palo (*Lessonia trabeculata*)

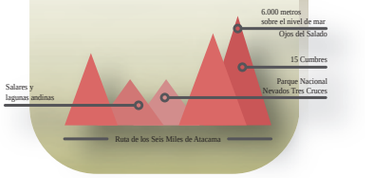


Huiro flotador (*Macrocystis pyrifera*)

Fotos: Elmo Pérez

y es regulada por la demanda del mercado internacional (Márquez Porras 2019). El extractivismo, en esencia, genera una estructura jerárquica en la cadena productiva de la pesquería de algas pardas que tiene efectos sociales (e.g., individualismo, competencia), económicos (e.g., desigualdad, subcontrataciones) y ambientales (e.g., deforestación por extracción directa) (Márquez Porras & Vásquez 2022).

Una amenaza que subyace del extractivismo pesquero es la deforestación del cinturón y bosque de algas pardas por extracción directa (Campos et al. 2021). La extracción directa (i.e., barreteo), afecta la productividad, estructura (e.g., morfología de la planta), y dinámica (i.e., juvenilización) de las poblaciones. Además, la deforestación por extracción directa altera las tramas tróficas costera (Pérez-Matus 2017), así como los bienes y servicios que entregan los bosques de algas pardas (Vásquez et al. 2014).



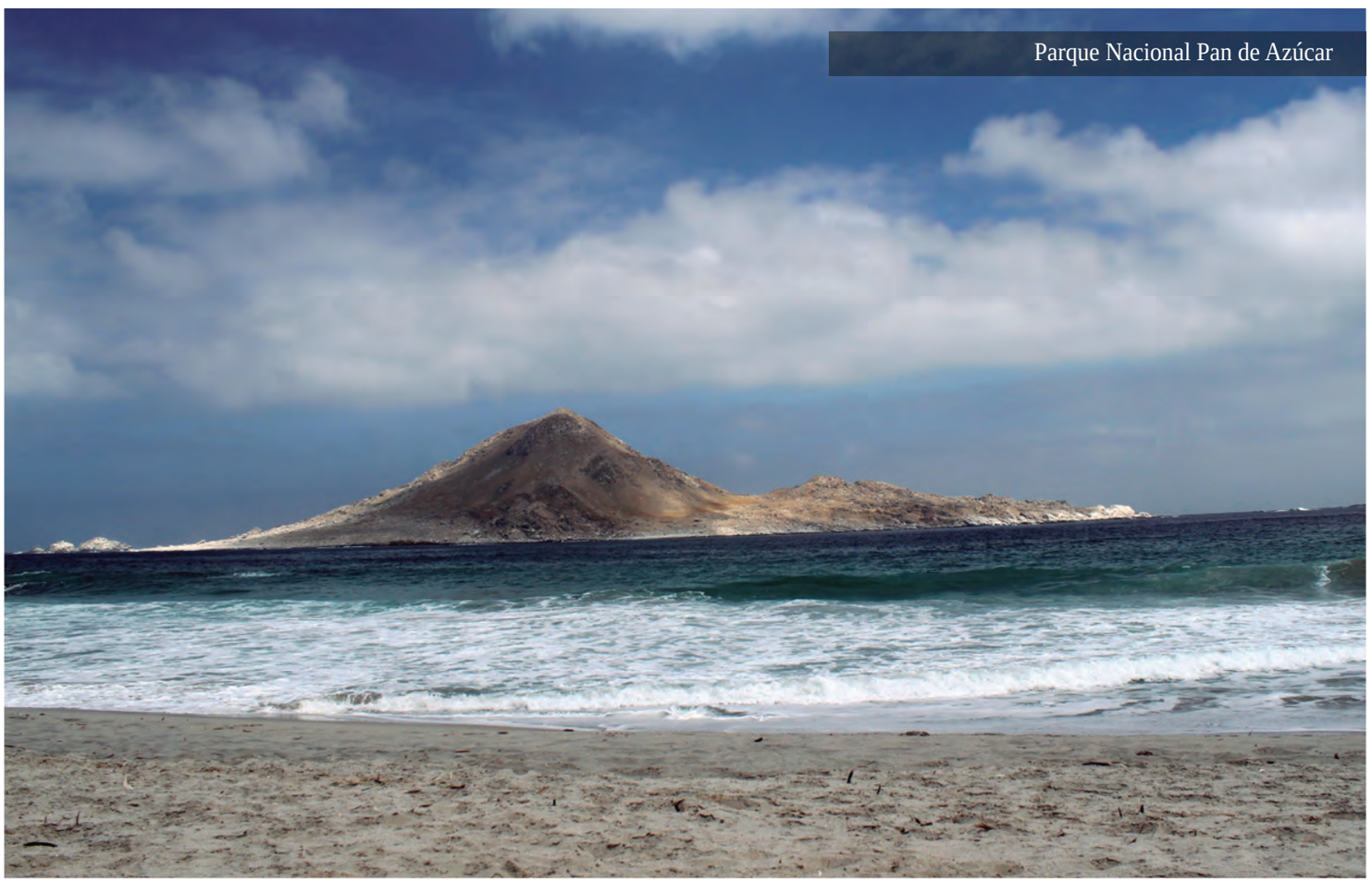
Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 23:323-330

Capítulo 23 Turismo en Atacama, tierra de contrastes

Daniel Díaz

La región de Atacama en diversas promociones turísticas es difundida como una zona de contrastes, una zona de transición desde el desierto más árido del mundo hasta los valles centrales de Chile, lo que la convierte en una región transicional, donde comienza a variar el clima y las condiciones hidrográficas que permiten una vegetación más abundante que en las regiones más al norte. Si bien se reconoce como base de la economía regional a la minería, también se ha desarrollado la economía en las áreas agrícolas o pesqueras, pero más recientemente, respondiendo también a las tendencias nacionales e internacionales, el turismo ha demostrado tener un potencial importante para el desarrollo regional, sustentado en primera instancia en el patrimonio natural de su extenso borde costero, con playas reconocidas a nivel nacional por sus arenas blancas y mar color turquesa, con una cordillera con la mayor cantidad de cumbres sobre los 6.000 msnm del país y especialmente por un fenómeno único en su tipo que permite que el desierto, comúnmente árido y con poca vegetación, se transforme en un espectáculo lleno de vida identificado internacionalmente como el Desierto Florido.

Una de las fortalezas de turismo, es que al ser una actividad transversal, permite que las huellas que deja el hombre en su interacción con la naturaleza, incluso de otras actividades económicas como la minería, la agricultura o la pesca, también puedan ser parte de los recursos turísticos locales, donde guías y operadores turísticos incorporan a sus relatos el patrimonio regional, desde sus pueblos originarios a la actualidad, poniendo en valor estos recursos para convertirlos en productos turísticos que relevan la historia y patrimonio local, que de otra forma podrían ser olvidados.

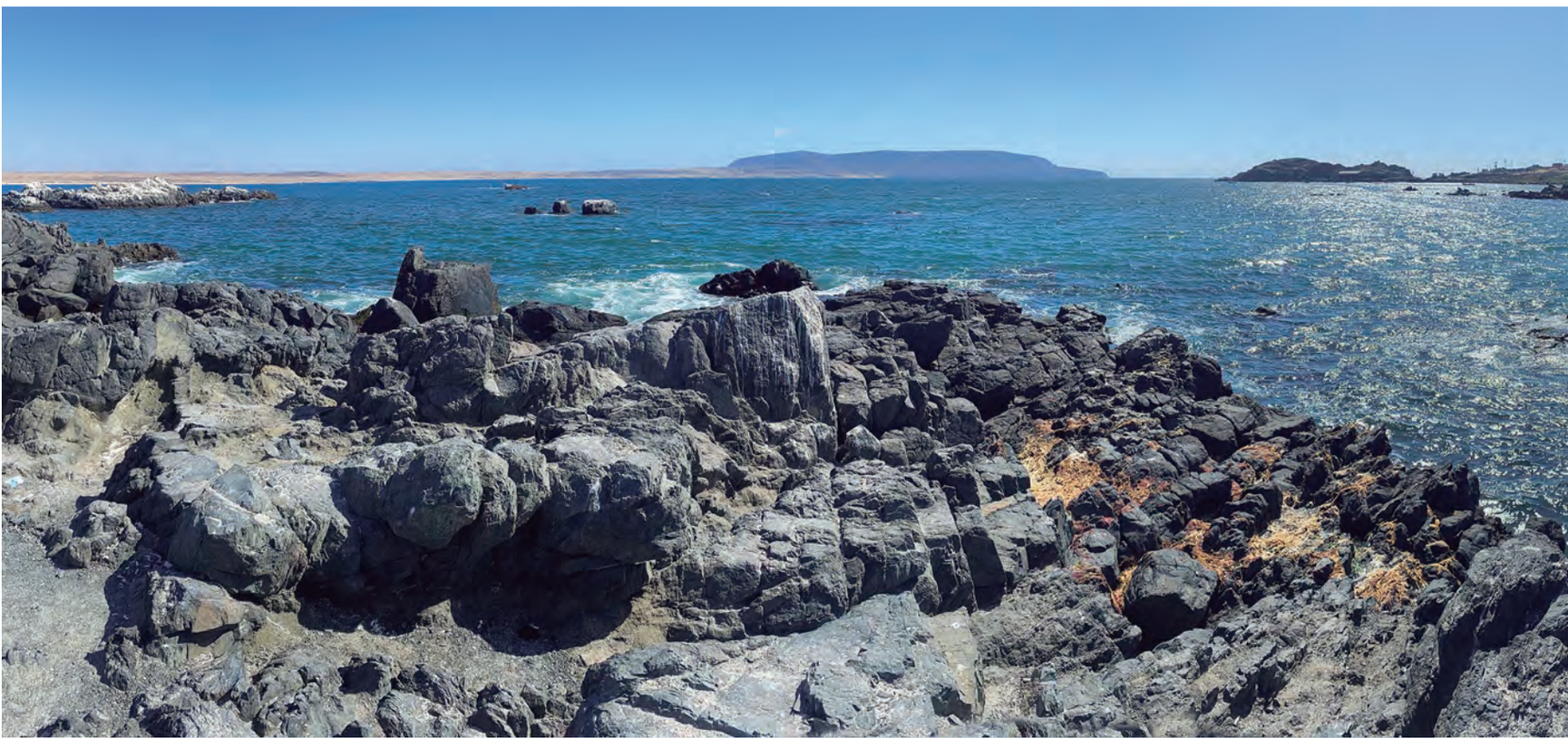


Parque Nacional Pan de Azúcar

Borde Costero de Atacama

Dentro de la multitud de potenciales turísticos que tiene la región de Atacama, el turismo de sol y playa, sustentado en una extensa costa de alrededor de 528 kilómetros, es el tipo de turismo más masivo y generalizado de la región, no sólo por los turistas nacionales que han escuchado de hermosas playas de arenas blancas y mar color turquesa, como Bahía Inglesa o Playa la Virgen, sino que también por los residentes del interior de la región, que disfrutan de las playas del borde costero y tienden a ir en la búsqueda de nuevas playas solitarias alejadas de la masividad de los turistas.

No obstante lo anterior, el borde costero de Atacama no sólo puede ser referencia de hermosas playas, sino que también de 10 áreas protegidas que por su valor natural (ver Capítulo 21), patrimonial o geológico, ayudan a diversificar y complementar los tipos de turismo que se pueden desarrollar en el borde costero. De norte a sur, los turistas cuentan con el Parque Nacional Pan de Azúcar, Santuario de la Naturaleza Granito Orbicular, el Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos (AMCP-MU) Isla Grande Atacama, el Santuario de la Naturaleza, desembocadura río Copiapó, Santuario de la Naturaleza Humedal Totoral, el Santuario



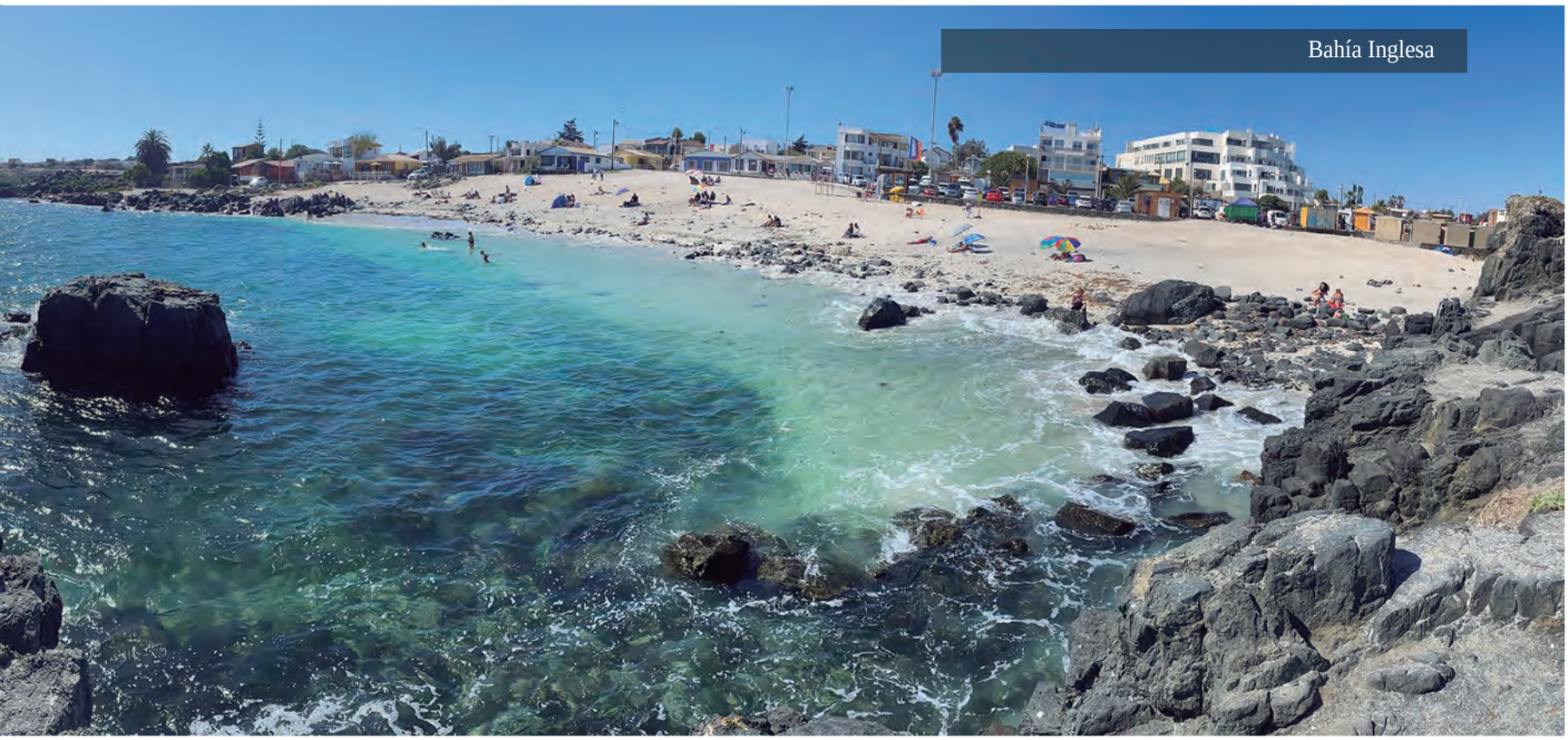


Avistamiento de ballenas en Chañaral de Aceituno

de la Naturaleza Humedal de Carrizal Bajo, el Parque Nacional Llanos de Challe, la Reserva Marina Isla Chañaral, y la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, todos ellos en diverso desarrollo turístico y con variedad de actividades turísticas en constante consolidación.

La temporada más activa para el borde costero es la estival (diciembre a marzo), siendo el principal foco de interés turístico el sector de Caldera y Bahía Inglesa, que concentra más de 25% de los servicios turísticos registrados en el Servicio Nacional de Turismo, sólo superado por la capital regional, principalmente por su bien posicionada imagen de playas con gran belleza escénica ubicándola, como la capital turística de Atacama.

Evidentemente el tour que más se realiza en este destino son los de sol y playa, contando con uno de los pocos tour regulares disponibles en la región, que parte desde Caldera por el borde Costero, hasta llegar usualmente a playa la Virgen, siendo ésta, una de las playas más conocidas a nivel nacional, no obstante, los tour operadores más especializados tratan de integrar una mayor variedad de oferta de actividades, ya sea por el día al Parque Nacional Pan de Azúcar, o al AMCP-MU Isla Grande de Atacama,



Bahía Inglesa

al Parque Paleontológico los Dedos o el Santuario de la Naturaleza del Humedal de la desembocadura del río de Copiapó.

Para el turista que ya conoce esta zona, existe la posibilidad de seguir recorriendo el borde costero desde Caldera al Sur, que puede llegar por carretera en camino de bischofita, hasta la comuna de Huasco en la Provincia del mismo nombre, pasando por el Parque Nacional Llanos de Challe y descubriendo diversas playas, que usualmente no están en los mapas turísticos regulares, pero que complementan la experiencia del extenso borde costero existente.

Por último, desde Huasco al sur no hay camino regular, por tanto para llegar a la reserva Nacional Pingüino de Humboldt, que se comparte con la región de Coquimbo, se debe llegar desde caminos interiores de la región, donde si bien al llegar hay playas por descubrir para hacer turismo de sol y playa, su principal atractivo se encuentra en el avistamiento de Cetáceos, enmarcada en un ecosistemas variado y endémico, que la hacen única. Estos tour los realizan los boteros locales, principalmente de Chañaral de Aceituno, que llevan años preparándose en cumplir con los permisos requeridos, así como con el relato turístico enriquecido que requiere tan variado ecosistema.

Turismo de Montaña

Dentro de los contrastes que presenta la región, está el hecho de poder estar a medio día en la cumbre del volcán activo más alto del mundo (Volcán. Ojos del Salado, 6.893 msnm) y estar viendo el atardecer en una de las playas más reconocidas de Atacama (Bahía Inglesa), lujo que usualmente se pueden dar montañistas de distintas partes del mundo que visitan la zona cordillerana cada año. Esta zona está caracterizada por tener numerosas cimas que se presentan en la zona cordillerana, con cumbres sobre los 6.000 msnm, lagunas, salares, flora y fauna que conforman un escenario ideal para desarrollar un turismo de alto nivel y para un segmento de mercado que busca nuevas experiencias: naturaleza, deportes extremos, trekking, fotografía, lo que se refleja en los esfuerzos nacionales por potenciar y fortalecer una red de destinos de montaña (CORFO 2022: Plan de Impulso al Turismo de Montaña), pudiendo posicionar uno de los destinos con mayor potencial, como lo es Salar de Maricunga – Ojos del Salado, en un hito para el montañismo mundial, al ser parte de la ruta de las 6 principales cumbres antes del Everest, destacando actividades no solo en senderismo y trekking sino también en actividades de preparación

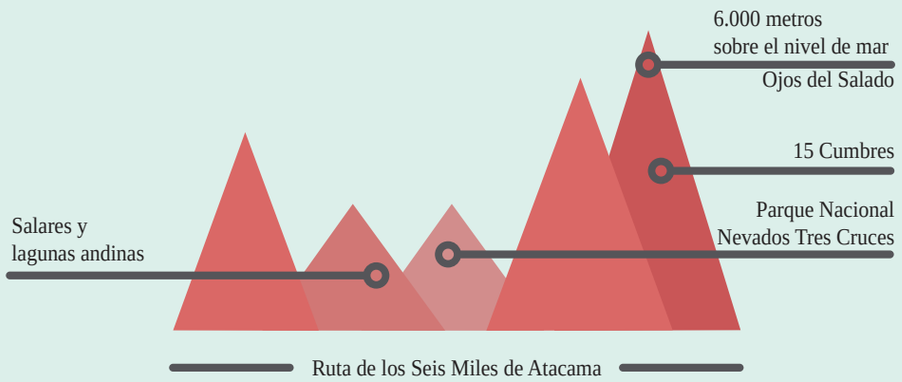


Diagrama con las cumbres de la región de Atacama. Fuente: Plan de Infraestructura MOP Apoyo Turismo Sustentable al 2030 región de Atacama.

y acondicionamiento orientado a excursiones que buscan alcanzar las más altas cumbres del mundo.

El sector de la alta cordillera de Atacama tiene 15 cumbres de más de 6 mil metros sobre el nivel del mar, las que usualmente se conocen como la ruta de los “seis miles”, ruta que se complementa con salares y lagunas andinas que conforman un área turística de especial importancia para montañistas, ya que se necesita cierta preparación para este tipo de actividades, que hacen las expediciones de ascensiones a montañas y volcanes usualmente en la época de mejor clima (de noviembre a marzo), siendo el Volcán Ojos del Salado (6.893 msnm), la segunda montaña más alta de América y el volcán activo más alto del mundo, siendo de esta manera, la cumbre más reconocida a nivel mundial, lo que la ha convertido en la protagonista de expediciones que buscan lograr nuevos récord mundiales, como por ejemplo la expedición alemana Extrem Events que el 2020 alcanzó los 6.694 msnm en vehículos 4x4, o Tyler Andrews que registró el 2022 un récord mundial, debido a que demoró solo 9 horas y 29 minutos en completar el trayecto de ida y vuelta hasta la cima.

Si bien las cumbres de la cordillera de Atacama son foco de interés para turistas más especializados y que tienen un mayor gasto (Montañistas), la mayor cantidad de turistas solo pueden acceder al área cordillerana conocida como de media montaña, es decir entre 2.000 y 4.000 msnm, donde se puede encontrar una serie de atractivos turísticos que pueden ser recorridos por tour guiados (aunque igualmente se requieren medidas de seguridad) donde las lagunas y salares tienen su mayor expresión de biodiversidad. Así, el Parque Nacional Nevado Tres Cruces y el Sitio Ramsar contiguo, denominado Complejo Lacustre Laguna del Negro Francisco y Laguna Santa Rosa que fue declarado Humedal de Importancia Internacional en el año 1996.

Estos circuitos pueden desarrollarse en circuitos Full-Day, pero cabe destacar que los guías y tour operadores especializados, por las distancias y condiciones de altura, privilegian ciertas zonas para sus circuitos durante el día, es decir, el turista debe decidir si llegan a conocer la Laguna Verde, el Parque Nacional Nevado Tres Cruces o el Salar de Pedernales, pero no todo junto, lo que requeriría más días de tour por la cordillera, ya que la altura puede afectar mucho a quienes quieran recorrer todo en un día.

Por último, cabe destacar que la importancia de esta zona cordillerana ha permitido que el sector se declare como Zona de Interés Turístico (ZOIT), denominado Salar de Maricunga-PN. Nevado Tres Cruces, la cual destaca por el valor paisajístico natural con los ecosistemas propios de la altura y cordillera, sustentado en sus lagunas, salares y altas cumbres, además de flora y fauna endémica.



Volcán Ojos del Salado



Flamencos y vicuñas en el Parque Nacional Nevado Tres Cruces

Turismo patrimonial Cultural

Actualmente, el patrimonio natural de la región de Atacama es el que ha tenido mayor difusión y reconocimiento a nivel local y nacional, sin embargo, el patrimonio cultural es el elemento que le da el valor agregado y distintivo al relato turístico que se realiza a los visitantes, lo que se refleja en que el Gobierno Regional (Estrategia Regional de Desarrollo de Atacama, 2007-2017) reconoce al patrimonio histórico y arqueológico regional en conjunto, como parte de las fortalezas con que cuenta la región de Atacama para el desarrollo del turismo.

Este patrimonio incluye desde el sistema vial utilizado por los Incas "Camino del Inca - Qhapaq Ñan" factible de visualizar en la localidad de Inca de Oro, hasta el primer ferrocarril de Chile, motivado por el auge minero de Atacama con el mineral de Chañarcillo, lo que se manifiesta en que el Consejo de Monumentos Nacionales de Chile reconoce 29 monumentos históricos (Muebles e Inmuebles), 37 monumentos públicos y 1 zona típica asociada al Sector de la Estación de ferrocarriles de Copiapó, que los guías y operadores incluyen en sus tours urbanos para diversificar la oferta turística local, usualmente monopolizado por el circuitos asociados al patrimonio natural ya identificado por su importancia a lo largo de este texto.

Asimismo, en la región de Atacama se encuentran comunidades correspondientes a las etnias Colla, Diaguita y Changa (Ver Capítulo 19 y Recuadros 19.1 y 19.2), las cuales se localizan, preferentemente, en la comuna de Diego de Almagro, Tierra Amarilla, Alto del Carmen y Borde costero hasta Chañaral de Aceituno (descendientes del último constructor de balsas de cuero de lobo) respectivamente, sin embargo, no se encuentran insertas activamente en actividades turísticas que puedan ser parte de la oferta turística regular, aunque sí forman parte activa de zonas con alto valor turístico, como el Parque Nacional Nevado Tres Cruces, el Museo Paleontológico de Pinte en la comuna de Alto del Carmen o la Reserva Marina Isla Chañaral y Reserva Nacional Pingüino de Humboldt en caleta Chañaral de Aceituno.

Las principales costumbres y tradiciones están asociadas a las festividades religiosas y aniversarios locales; las primeras, debido a la colonización y evangelización de España, profesan en su



Mina San José

Fotos: César Araya

mayoría la religión católica, por tanto la celebración de las mismas son realizadas a las distintas patronas de cada comunidad, siendo la Fiesta de la Virgen de la Candelaria la más importante y una de las más antiguas del país, la que consiste en bailes religiosos por toda una semana, a finales de enero o inicios de febrero.

En este contexto, la zona que tiene mayor reconocimiento de las tradiciones, especialmente campestres con origen en la cultura diaguita, es el Valle del Huasco, que destaca por ser la zona de transición a los primeros valles transversales de la zona central, destacando por la gran cantidad de poblados y localidades agrícolas interesados en mantener sus costumbres, especialmente hacia el interior del Valle, en la comuna de Alto del Carmen. Aquí los valles se dividen entre la ruta de los naturales y españoles, llamada así por la repartición de valles que se realizó en el año 1797 entre indígenas y españoles.

Un especial reconocimiento merece la histórica relación de Atacama con la minería, la que viene desde el interés de los Incas por la extracción y procesamiento del mineral del cobre en el Centro Metalurgista Viña del Cerro a la minería actual, reconocida como la principal actividad económica de la región y su patrimonio, con eventos reconocidos a nivel internacional, como el rescate de los 33 mineros de la mina San José, que finalmente permite que el patrimonio minero sea parte del relato de los guías y operadores turísticos locales.

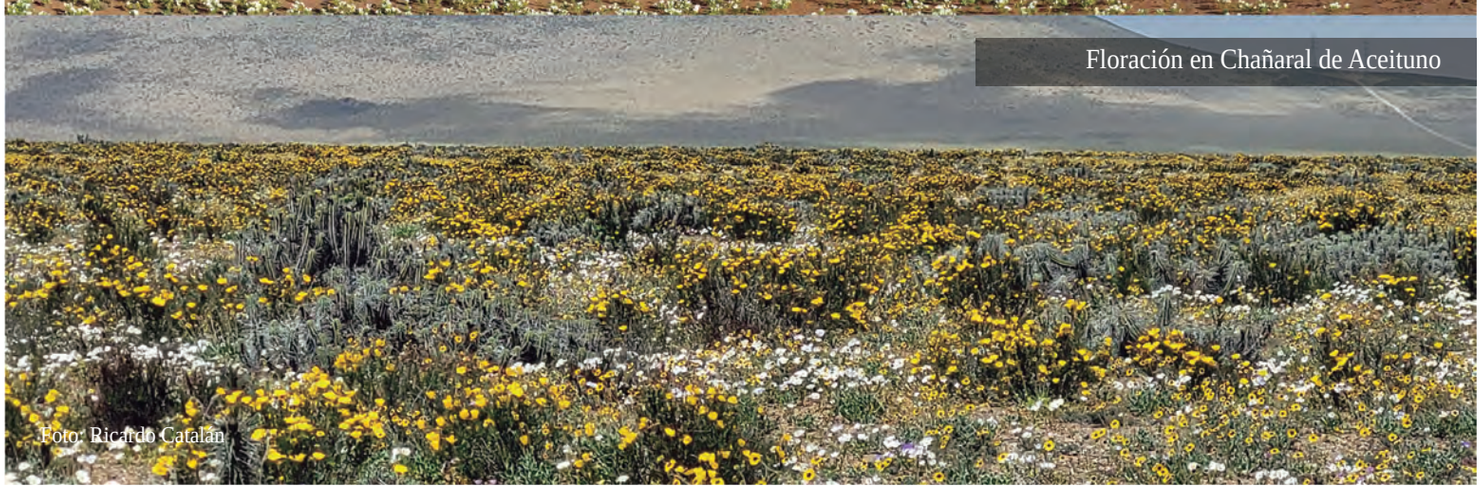
Generalmente los circuitos asociados al patrimonio histórico y cultural de la región de Atacama son complementarios, es decir, son parte de relatos turísticos de los principales destinos de Jerarquía Internacional de la región, mas no capaces de motivar la visita por



Alfombra de patas de guanaco



Alfombra de suspiros del campo



Floración en Chañaral de Aceituno

Foto: Ricardo Catalán

sí mismo de los turistas de otras partes del país para conocerlos.

Desierto florido, avistamiento de flora y fauna

La región de Atacama es la zona donde se expresa de mejor manera, un fenómeno natural único en su tipo, regularmente Atacama es una zona árida, de altas presiones, escasa humedad y altas temperaturas, donde al ocurrir cierta cantidad de precipitaciones (que pueden ser cada 3 a 10 años), transforma el paisaje árido, de arenas y piedras en un manto de colores, donde brotan semillas, bulbos y rizomas que estuvieron guardadas por años debajo de la tierra, llenando diferentes paisajes de la región con flores, invertebrados y fauna muy diversa y abundante, dejando en claro el concepto de desierto vivo y latente.

Cuando se generan estas lluvias, la floración comienza usualmente en primavera, despertando las semillas de su estado de latencia por la humedad y temperatura reinante, durando hasta octubre, dependiendo en intensidad y variedad de la zona geográfica donde se produzca. La floración tampoco es en todas parte a la vez y de las mismas especies, sino que va siendo progresiva y en aumento, desde Añañucas rojas o amarillas en su inicio, hasta algunas especies endémicas que no crecen en otro lugar del mundo, como la Garra de León, que crece en el Parque Nacional Llanos de Challe y las quebradas del sector costero de Carrizal Bajo, en la provincia del Huasco.

Cuando se produce el desierto florido, los guías y operadores turísticos de la región de Atacama tienen su mayor afluencia de turistas, ya que, si bien, no es una actividad turística regular, al depender de las lluvias (usualmente ausentes). Cuando llueve en los meses de abril o mayo, permite a los servicios turísticos prever el fenómeno y preparar rápidamente paquetes turísticos asociados al desierto florido, los que van desde tour de medio día, hasta tours de varios días, que dependen principalmente de las zonas que se visitaran. Principalmente, la mayoría de los turistas prefieren zonas donde las fotografías tengan mayor amplitud y espectacularidad visual, como las llamadas alfombras de flores, también los hay quienes prefieren una visita guiada de un experto que los ayuda a descubrir especies usualmente escondidas para el turista ocasional. Es tanta la espectacularidad a la que llega el fenómeno, que los noticieros nacionales dan cuenta del mismo, generando una afluencia espontánea de turistas de todas partes, que visitan la zona por cuenta propia, incluso con guías y operadores de otras regiones, que promocionan tours a la región de Atacama para conocer el Desierto Florido. Es un período en el que abundan las fotografías en



Insectos del desierto florido de Atacama

Escarabajo tenebriónido, *Geoborus rufippenis*

Pilme gigante, *Pseudomeloe sanguinolentus*

Escarabajo joya, *Lasionota rouleti*

Vaquita del desierto, *Gyriosomus maculatus*

Cigarra del desierto, *Tettigades lacertosa*

Pilme, *Picnoseus* sp.

Fotos: Ricardo Catalán

redes sociales y en distintos medios, con postales del Valle del Huasco, conocido como el Jardín de Atacama.

Pero no sólo son las flores, las que son innumerables en el desierto florido de Atacama, se desarrolla a la vez y por el tiempo que dure este fenómeno una interesante y variada fauna asociada. Sin duda el turismo de intereses especiales, se potencia en este escenario, posicionando a la región como laboratorio natural. Junto con las flores aparece una cantidad importante de especies de antrópodos (Ver Capítulo 11), los que sólo pueden ser observados en floraciones del desierto, caso a destacar son las vaquitas del desierto, que en algunos sectores se pueden contar por miles, en un rápido deambular buscando la reproducción. Pero también aparecen, hermosos escarabajos joya, saltamontes, pilmes gigantes, moscas de colores metálicos, cigarras y mariposas. Sin duda , debido a esto se debe procurar una mayor protección efectiva, de los sectores donde el desierto florido tiene sus mayores expresiones, como la reciente creación del Parque Nacional Desierto Florido en el sector de Nantoco, cerca de Copiapó.

A pesar de lo positivo que se puede ver desde la perspectiva del turismo con la aparición del Desierto Florido, las características sensibles del territorio y la gran cantidad de personas que lo visitan, el ingreso de vehículos sobre las floraciones, el mal manejo de los residuos y muchas otras amenazas, han hecho necesario e imprescindible informar de los cuidados y protección de tan particular fenómeno, haciendo cada vez más importante el conocerlo, pero también la valoración, cuidado y conservación, especialmente para las futuras generaciones y para los servicios turísticos regionales.

Turismo paleontológico, geología, arqueología

Si bien a lo largo de las presentes líneas hemos cubierto gran parte de los principales destinos turísticos de la región de Atacama, la variedad y diversidad de tipos de Turismo de Intereses Especiales es aún más amplio, siendo el turismo asociado a la geología uno de los más recientes en desarrollarse, pero igualmente creciente como parte de la oferta turística regional.

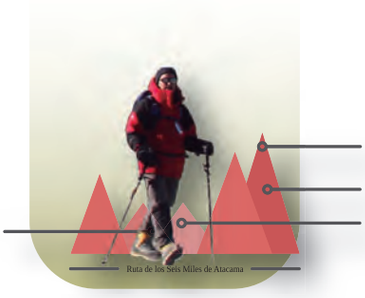
El Turismo Geológico, encuentra su nicho en la región de Atacama en los geo-sitios, que son parte de circuitos turísticos de algunos operadores especializados en este tema, incluso pueden ser parte del relato turístico de circuitos asociados al turismo de sol y playa, como lo hace el Tour Operador Geoturismo Atacama, que invita a conocer, aprender y valorar la riqueza geológica de la "formación Bahía inglesa"; paleo acantilados, fallas y sedimentos, entre otros procesos geológicos que motivan a mirar al desierto con otros ojos. No obstante la gran variedad de geo-sitios de la región disponibles para guías y operadores, algunos de ellos tienen mayor reconocimiento turístico a nivel regional desde hace mucho tiempo, como lo es el sector del granito orbicular, una roca muy particular por lo que fue declarada “Santuario de la Naturaleza”. También están los campos de taffonis, presentes en la costa desde Chañaral al río Copiapó. Estos sectores, presentan una gran diversidad de formas, tipos de rocas y yacimientos fosilíferos, donde destacan algunos geositios, como lugares significativos para las geociencias, la cultura y el turismo de naturaleza (Castro et al. 2010).

Así como el tema geológico ha sido incorporado en el relato turístico de los circuitos de la región de atacama, la arqueología también ha encontrado su lugar dentro de la oferta turística regional, si bien se pueden encontrar diversas vestigios de las comunidades Colla y Diaguita, que son parte de tours por el borde costero y valles interiores, también son destacados desde Copiapó al norte, los vestigios asociados a los Incas, siendo el más conocido el camino del Inca o Qapac Ñan, el que consiste en un sistema vial andino que fue la columna vertebral del poder político y económico del Tawantinsuyo (Estado Inca), declarado ante la Unesco como Patrimonio de la Humanidad, del cual forman parte Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina y Chile, en donde Atacama forma parte del subtramo que se define como Portal del Inca - Finca Chañaral, que comprende a Diego de Almagro e Inca de Oro. A lo largo de la región, en diferentes sectores también podemos encontrar numerosos petroglifos y geoglifos, donde se han encontrado restos líticos, cerámicas y lascas que solo se recomienda visitar con guías y operadores especializados, los que no sólo darán una correcta interpretación del sector, sino que también se encargaran de cuidar y proteger este patrimonio.

Por último, pero no menos importante, la paleontología ha pasado a ser parte importante de la puesta en valor del turismo de intereses especiales de la región, sustentado principalmente en los recursos paleontológicos existentes, que tienen como el principal referente al Parque Paleontológico los Dedos de la comuna de Caldera, situado al sur de Bahía Inglesa por la ruta Bahía Inglesa-Puerto Viejo, que alberga un yacimiento de fósiles de vertebrados marinos de importancia mundial, con fauna fosilífera de vertebrados marinos de hasta 23 millones de años de antigüedad (Suárez & Sepúlveda 2007), sin duda un lugar de gran importancia científica paleontológica, geológica y geomorfológica. Otro sector reconocido y utilizado para los circuitos turísticos regionales es el sector de Pinte, el cual cuenta con una gran cantidad de fósiles asentados en sus laderas, que corresponden al periodo jurásico con restos paleontológicos marinos, que incluso han dado lugar al Museo de Pinte, iniciativa surgida desde la comunidad, donde además, se pueden encontrar vestigios de culturas prehispánicas que dan cuenta de la existencia de asentamientos incaicos y diaguitas en la zona.

Para finalizar, aunque el turismo es visto como una actividad económica de menor importancia en relación a otras actividades, igualmente puede generar impactos significativos asociados a la visita masiva de turistas, por tanto, aunque estas páginas son pocas para reflejar el extenso patrimonio natural y cultural de Atacama, al enseñar y resaltar los principales atractivos turísticos que forman parte de la oferta turística regional, queremos promover el turismo, pero reconociendo, cuidando y valorando, nuestro patrimonio. Se trata de un sistema hermoso a la vez que frágil, que debe ser visitado con el máximo de respeto por parte de los turistas y mostrado y promocionado por guías, cada vez más especializados y conocedores, para mantener, reconocer y conservarlo por siempre.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 23.1:331-332



Recuadro 23.1 Montañas de Atacama

Marcela Cortés

Tenía 18 años, cuando decidí estudiar para ser Guía de turismo aventura. En esta carrera opté por la mención de montaña y aprendí diversas técnicas para moverse dentro de territorios agrestes y remotos, aplicando también conocimientos de primeros auxilios, ya que en un entorno así las posibilidades de accidentarse son mayores que en cualquier otro lugar. Sin embargo, lo estudié en el sur de Chile, una geografía totalmente diferente a la región de Atacama, donde la puna generalmente le juega en contra a varias personas que quieren conquistar las altas cumbres.

El retorno a la región me llevó a explorar la costa, pero al cabo de unos años, la cordillera me siguió llamando la atención y sin duda, es uno de los lugares que aún mantienen sectores prístinos, y sus amenazas se pueden apuntar con total claridad (ver Capítulo 22).

Este territorio no es fácil potenciar la actividad turística, porque, aunque guarda paisajes inigualables, la actividad humana pone en riesgo la persistencia de paisajes prístinos, que cambien en comparación a cómo los podemos ver hoy, o que afecten directamente a la flora y fauna silvestre del lugar. Nuestra labor como Guías busca contribuir a la protección, el disfrute y el conocimiento de las montañas y valles de nuestra cordillera atacameña.

Nuestra cordillera cuenta con las cumbres más altas de Chile, la famosa ruta de “Los seis miles”, las que atraen cada año a cientos de montañistas y personas que buscan nuevos desafíos, como



Montañistas en la ruta de los seis miles

realizar la hazaña de alcanzar la cumbre del volcán activo más alto del mundo, el volcán Ojos del Salado (6.893 msnm). Ser Guía de montaña, requiere muchas habilidades y muchas técnicas, además de una gran responsabilidad para con los pasajeros. He podido acompañar a muchas personas que buscan estar desconectados de la civilización y encontrarse en terrenos agrestes donde la naturaleza se disfruta como la vida misma. El altiplano se abre paso para darnos a conocer sus formaciones, sus huellas que por millones de años van dejando al descubierto grandes montañas, volcanes, lagunas, salares y hasta glaciares; nos ayuda a entender cómo la vida se entrelaza entre el territorio y la flora, fauna, y los humanos. Sí, en estos espacios también es posible apreciar la herencia de nuestras antiguas culturas, antepasados que vivieron en estos lugares que hoy parecen imposibles de habitar, donde su coraje, sus técnicas de sobrevivencia nos han dado una gran lección de vida. Ellos, con escasa tecnología, arduo trabajo y enfrentando adversidades climáticas, se asentaron en esta cordillera y nos dejaron bellos vestigios de sus andanzas.

El turismo de intereses especiales no es solo conocer lugares para tener una buena foto; es mucho más que eso, te entrega experiencias de vida, te acerca a conocer los procesos de la tierra, te hace sentir un grano de arena en la inmensidad del desierto, te hace apreciar los pequeños organismos que interactúan con los grandes animales. Ejemplo de ello, son los diminutos crustáceos (artemias) que habitan en las lagunas y que sirven de alimento para los flamencos y que estos a la vez conviven con vicuñas y guanacos, que a su vez se escabullen del temible puma. Conocer la cordillera atacameña nos invita a todo esto y mucho más.



Volcán Ojos del Salado (6.893 msnm)



Flamencos en laguna Santa Rosa, PN Nevado Tres Cruces

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 23.2:333-336

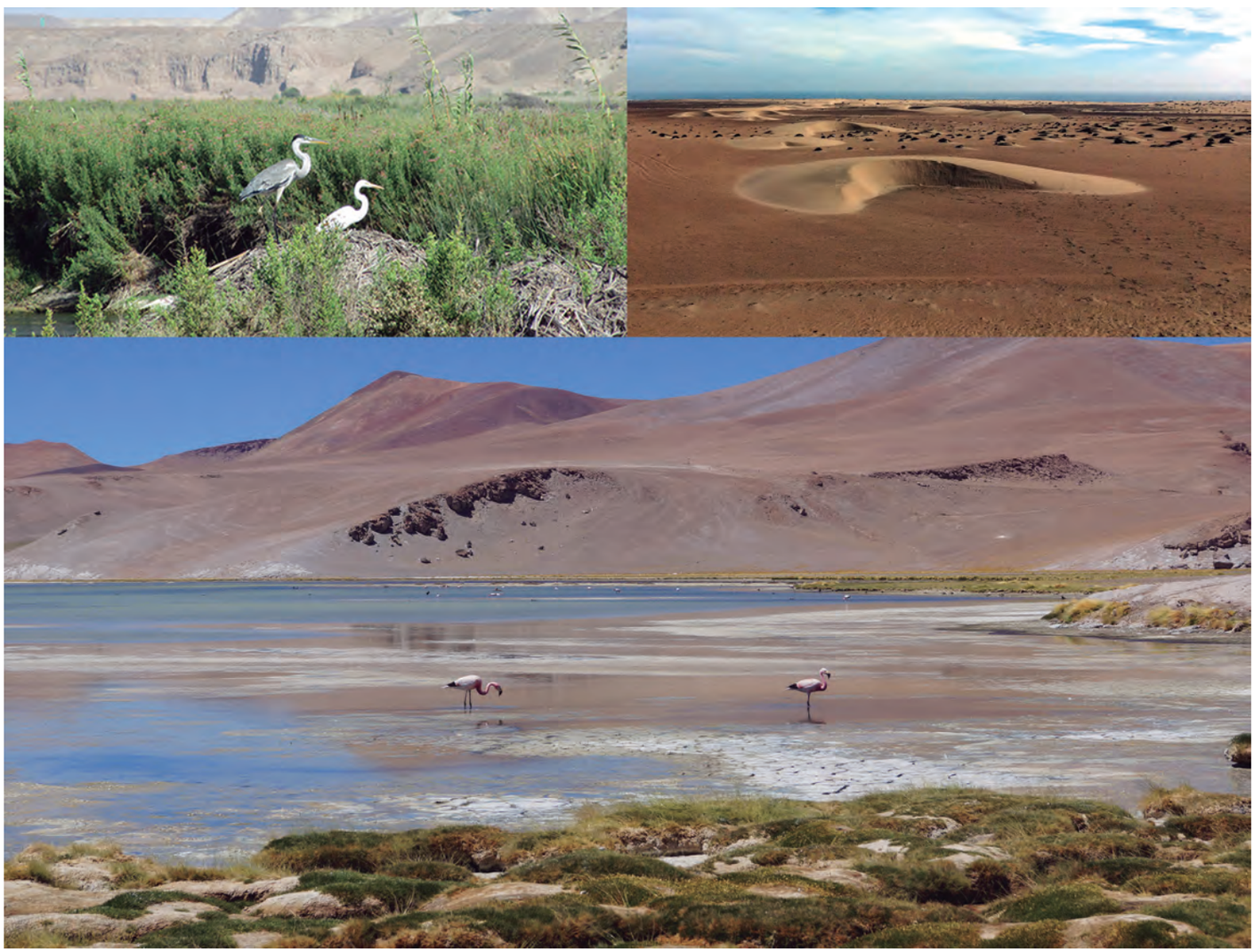


Recuadro 23.2 El Geoturismo en Atacama como herramienta de conservación

Manuel Abad, Philippe Moisan & Tatiana Izquierdo

Geodiversidad y geopatrimonio

Toda la región de Atacama guarda dentro de su territorio una inmensa geodiversidad, auspiciada en la heterogeneidad de su relieve, clima y geología entre la Cordillera de los Andes y el mar (Cáceres et al. 2011, Abad et al. 2022). En tan sólo 250 km que separan puntos tan distantes como el Granito Orbicular y el volcán Ojos del Salado, la variedad de paisajes, yacimientos paleontológicos y afloramientos geológicos de excepcionales condiciones de exposición es tan amplia y engloba tal cantidad de ejemplos de interés para las ciencias de la tierra, que, sin lugar a duda, convierten a este sector del Desierto de Atacama en una zona de enorme potencial para el turismo de intereses especiales, como es el geoturismo. Su puesta en valor y aprovechamiento como un motor de desarrollo socioeconómico supone una oportunidad urgente de buscar alternativas a los modelos económicos rígidamente implantados en la región, basados en la minería y en la agricultura y, tal vez más importante, una vía para asegurar la conservación de un patrimonio natural que, en el mejor de los casos, todavía es desconocido, y en el peor, se encuentra amenazado por múltiples causas (Ver Capítulo 22).



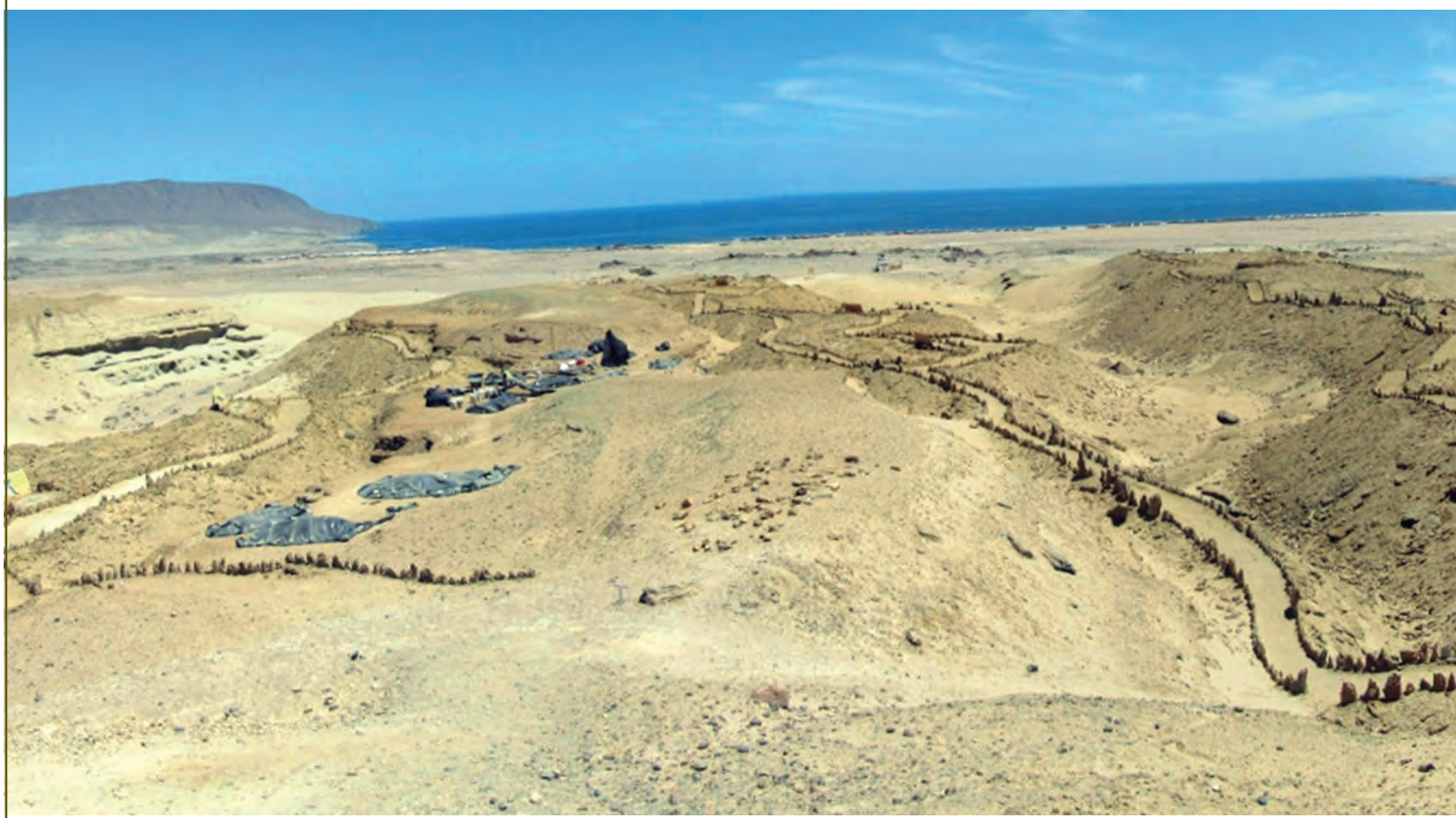
Geositios

En los últimos años, varias iniciativas científicas han destacado el geopatrimonio de esta zona del norte de Chile (Castro et al. 2009, Abad et al. 2022, González et al. 2022), empezando a ponerla en valor, identificando decenas de geositios y estableciendo sus características principales, no sólo relacionadas con su interés científico sino también su accesibilidad, grado de conservación, potencial educativo, amenazas, nivel de protección o su cercanía a infraestructuras y ciudades. Hasta 27 lugares de interés geológico se han propuesto y estudiado desde una perspectiva patrimonial y divulgativa a lo largo del Valle del Copiapó y zonas cercanas (Abad et al. 2022), conformando georutas y planteando la oportunidad de la implantación de un turismo de intereses especiales en este sector. Esta actividad se ve potenciada por el patrimonio e historia minera regional, la belleza escénica del paisaje y la flora y fauna endémicas adaptada a la aridez en este entorno.

Geositios, georutas y geoparques

El éxito del turismo de intereses especiales, basado en la geología, ha llevado a la definición de conceptos que permiten identificar lugares relevantes e integrarlos en rutas y territorios con características específicas (Arenas et al. 2019). De esta forma, un **Geositio** se define como una zona donde están presentes uno o más componentes de geodiversidad y con particularidades destacadas que le otorgan un alto valor científico, educativo, cultural o recreativo. **Las georutas** son recorridos que agrupan geositios en base a una temática o delimitación geográfica, mientras que un **Geoparque** constituye una figura de gestión de un territorio auspiciado por la UNESCO y que cuenta con un patrimonio geológico singular, de relevancia internacional y con un alto valor para las Ciencias de la Tierra.

Todos ellos son elementos que deben ser establecidos y protegidos de cara a su aprovechamiento como recursos sostenibles y una herramienta muy eficaz para el desarrollo socioeconómico en áreas donde se posea este potencial, y la región de Atacama, lo posee. Lamentablemente en Atacama, salvo por el pequeño Santuario de la Naturaleza Granito Orbicular (al norte de Caldera), no hay áreas protegidas oficiales del Estado que incluyan objetos de conservación geológico-paleontológicos.



Geoturismo en el AMCP-MU Isla Grande de Atacama

La costa del Área Marina y Costera Protegida de Múltiples Usos (AMCP-MU) Isla Grande de Atacama, comprendida entre el Morro de Copiapó y la desembocadura del río Copiapó, en su parte terrestre y los Bienes Nacionales Protegidos que lo complementan abarca una inmensa geodiversidad. Existen numerosos ejemplos de geositios que hacen destacar este segmento del borde litoral de la comuna de Caldera como un lugar adecuado para llevar a cabo actividades de geoturismo y científico (Abad et al. 2019). Ejemplos de campos dunares, modelados kársticos, aguadas costeras, estructuras geológicas en condiciones de observación excepcionales, yacimientos paleontológicos, terrazas y acantilados marinos, humedales costeros y depósitos de grandes paleotsunamis, entre muchos otros, pueden ser visitados de forma accesible y



Santuario de la Naturaleza Granito Orbicular, norte de Caldera



Parque paleontológico Los Dedos, Bahía Inglesa

cómoda, en las proximidades de ciudades como Caldera y Puerto Viejo.

El legado de Darwin

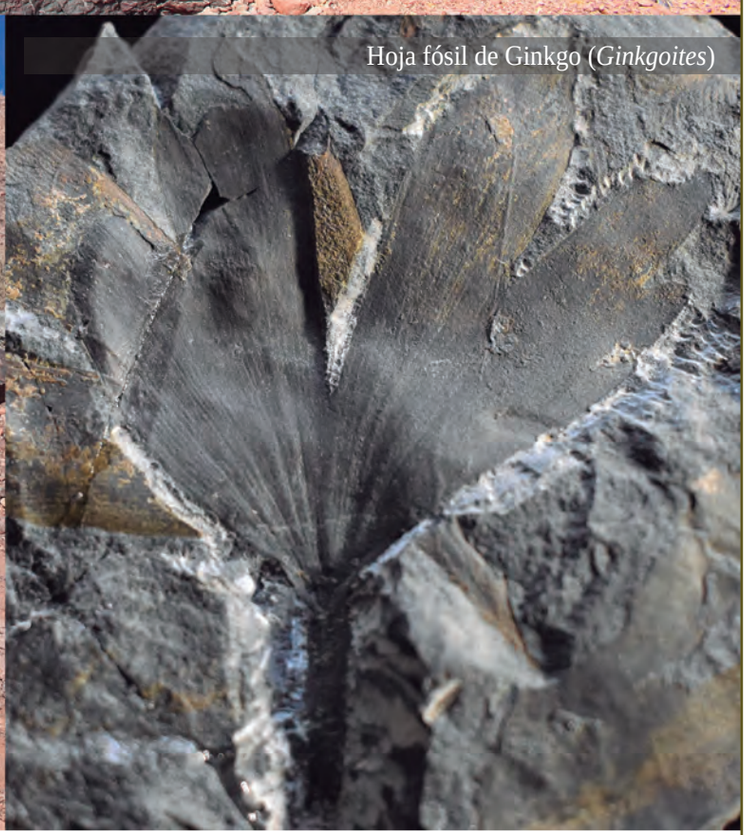
El famoso naturalista inglés visitó la región de Atacama durante su viaje por Sudamérica en junio de 1835 (Darwin 1890). Él describe ampliamente la geología, geomorfología y paleontología de todo este sector, que recorre con sumo interés y dificultad desde las zonas cordilleranas andinas hasta la costa. Se hospeda casi siempre en el valle, en Amolanas y Potrero Seco, aunque visita la ciudad de Copiapó algunos días. Narra con detalle su experiencia y menciona varios de los geositios y lugares destacados de la provincia, como Quebrada Paipote (el Despoblado), los salares y lagunas altoandinas de Maricunga y Santa Rosa, el Cerro Bramador, La

Puerta, el yacimiento de los troncos petrificados del tranque Lautaro o Puerto Viejo, desde donde parte hacia Iquique en el Beagle el 4 de julio de ese año. Darwin pone en evidencia el riquísimo registro paleobotánico en la zona precordillerana del valle, situación que más tarde ha sido confirmada por los excepcionales yacimientos de Quebrada El Carbón y La Cachivarita, donde se encuentran abundantes restos de plantas fósiles que representan asociaciones típicas del Triásico de Gondwana, dominadas por helechos con semillas (*Dicroidium*), cicadófitas (*Pseudoctenis*), ginkgoales (*Ginkgoites*) y coníferas, entre muchas otras (Ver Capítulo 3 y Recuadros 3.1 a 3.3).



El "bosque de Darwin", cerros arriba del traque Lautaro





Hoja fósil de Ginkgo (*Ginkgoites*)

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 23.3:337-338



Recuadro 23.3 Maravilla del Desierto Florido

Marcela Cortés

Cada vez que me preguntan por qué elegí el turismo como un área para desarrollarme profesional y personalmente, no puedo dejar de recordar lo que me trajo a eso: el amor por la naturaleza. Pero no nació de un día para otro, comenzando en la enseñanza media tuve personas que me inspiraron a seguir en esta industria. Lo fundamental fue cuando aprendí cómo nuestro entorno puede provocar sensaciones y experiencias en el resto; cómo paisajes, que para nosotros son tan comunes (porque los tenemos cerca), otros pagarían por disfrutar momentos en esos lugares. Lo importante era poder transmitir algo especial, me enamoré de lo que había en la naturaleza y decidí hacerme Guía de turismo.

¿Qué tiene de especial la región de Atacama?

Además de ser el lugar donde crecí, sus increíbles procesos (cambios temporales), adversidades, formas, y un sinfín de etcéteras, me lograron cautivar para buscar y crear experiencias, una de ellas, el denominado "fenómeno" del desierto florido. En medio del desierto más árido del mundo, buscar conectar sus procesos, algunos diminutos, para comprender cómo la naturaleza funciona, por ejemplo, en simbiosis y otras interacciones entre organismos, como se conforman las comunidades y ecosistemas.

Cuando el desierto se pinta de un sinfín de colores, es uno de los eventos dignos de visitar y apreciar por lo menos una vez en la vida. Dado que la floración masiva sólo ocurre cada ciertos años y sin previo aviso, nos obliga como Guías Turísticos a estar preparados para entregar información del proceso mismo, pero también al cuidado y protección, recorriendo de manera responsable los rincones donde los turistas puedan maravillarse.



Desierto florido en cerro Caracoles, norte de Caldera

En particular el desierto florido, es un evento que requiere ciertas condiciones para que lo podamos observar, se requiere de semillas, lluvia y temperatura. Bajo el árido paisaje se esconde una diversidad de vida que, cuando se unen estas condiciones, nos entrega un espectáculo increíble de explorar, conocer y poner en valor. Nuestra responsabilidad es darlo a conocer con responsabilidad a distintas generaciones, comprender cómo la vida se va formando escondida y a veces dormida, hasta que nos maravilla con grandes floraciones, que además marcan un hito importante en la botánica con plantas y flores endémicas.

Como Guía con más de una década de experiencia, he podido mostrar distintos parajes y dinámicas propias de la naturaleza que es parte de este gran desierto. No ha sido una tarea fácil, nunca dejamos de aprender y encantarnos, y ahí está el secreto. Queremos aprenderlo todo, pero no saberlo todo, y para ello hay un trabajo de educación constante. Buscamos que los visitantes tengan una experiencia significativa, que se lleven el mejor recuerdo. Y eso ya es un arte, una habilidad que se va adquiriendo con el tiempo.

Hoy la tecnología nos da una mano para acercar estos paisajes mediante las redes sociales, pero la masividad también es una amenaza a la hora de cuidar y proteger los recursos. Muchos visitantes recorren con poca responsabilidad ambiental, pero como Guías hacemos el llamado a respetar y cuidar uno de los acontecimientos más importantes que tiene la región de Atacama.

Las cicatrices en el desierto florido: huellas de vehículos y senderos de vistantes





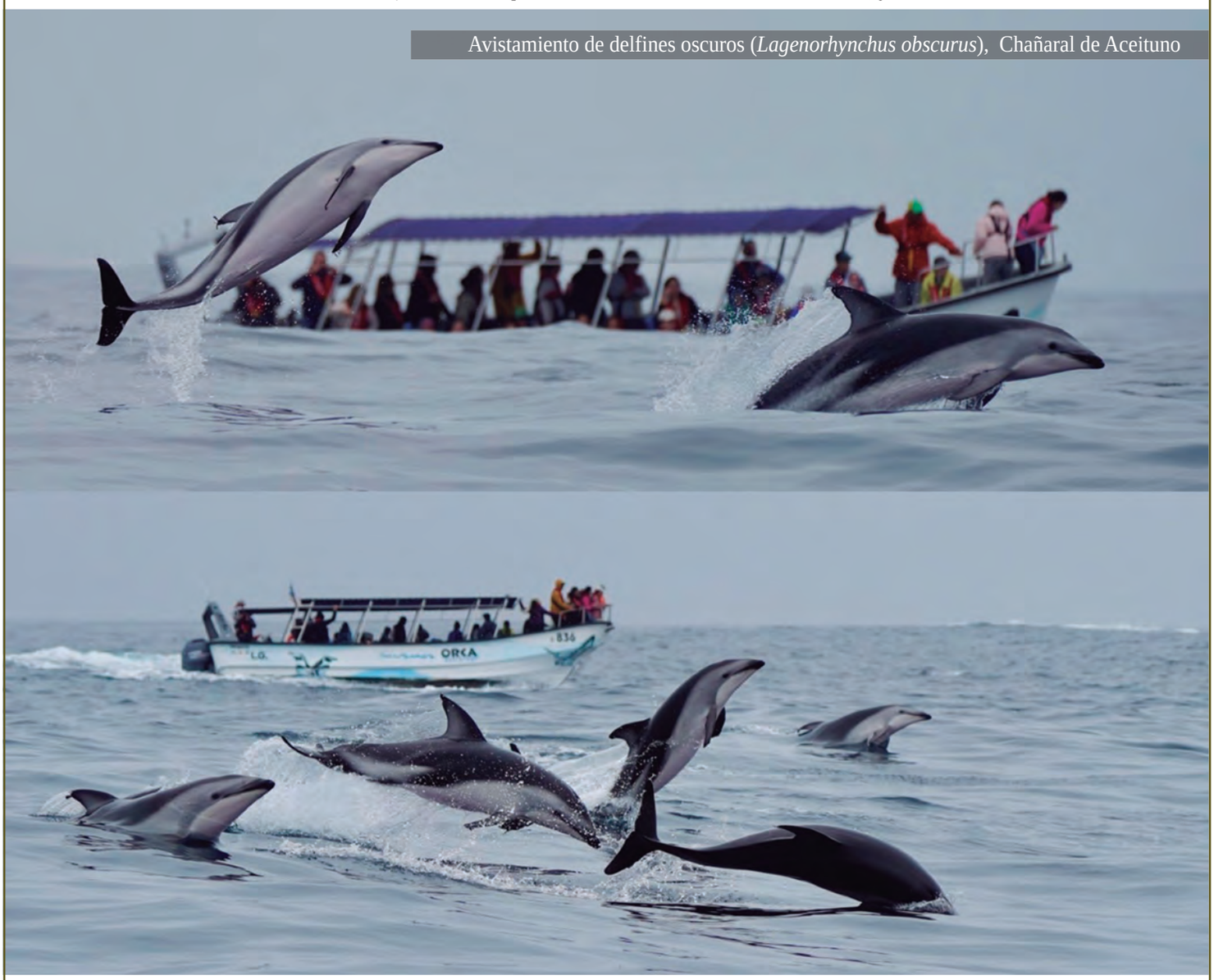
Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 23.4:339-340



Recuadro 23.4 Turismos Orca: un ejemplo de turismo de avistamiento en Atacama

Luis A. González

Vengo de una familia de mujeres de mar, donde mi madre y mi abuelita se han dedicado toda su vida a la recolección de algas, por lo que mi infancia siempre fue en torno al mundo marino. Siempre quise ser un hombre de mar y al pasar el tiempo y con mucho esfuerzo pude convertirme en uno más. Mis primeros viajes a la Isla Chañaral fueron ya como buzo y al ver toda la riqueza marina, sumado a la visita de Celine Cousteau (nieta de Jacques-Yves Cousteau) pude darme cuenta, que ya no sólo quería extraer recursos, sino que quería mostrarle al mundo todo lo que tenía este lugar. Así, nació la motivación de invertir para comprar mi primera embarcación y empezar en el mundo del buceo deportivo. Luego me di cuenta, de que la riqueza no sólo se encontraba bajo el mar, sino que también se podía mirar desde arriba a través del avistamiento de fauna marina, y así nace “ORCA”.



Avistamiento de delfines oscuros (*Lagenorhynchus obscurus*), Chañaral de Aceituno

Luego, empecé a cultivar mis conocimientos a través de charlas, seminarios, documentales, compra de libros de fauna, apoyo de ONGs del mundo científico y así entregar un mejor relato en la experiencia del avistamiento de fauna. Así es como la pequeña Pyme empezó a crecer y empezaron a llegar invitaciones de Argentina, Perú (Paracas), Aysén / Puerto Cisne y Universidades, donde participé en seminarios, como relator o invitado, donde compartía mi experiencia, principalmente con el avistamiento de cetáceos. Finalmente, estas experiencias fueron coronadas con mi participación en el año 2017, como relator del grupo de la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, en la cuarta versión del Congreso Internacional de Áreas Marinas Protegidas (IMPAC4), este recuerdo hasta ahora me sobrecoge.

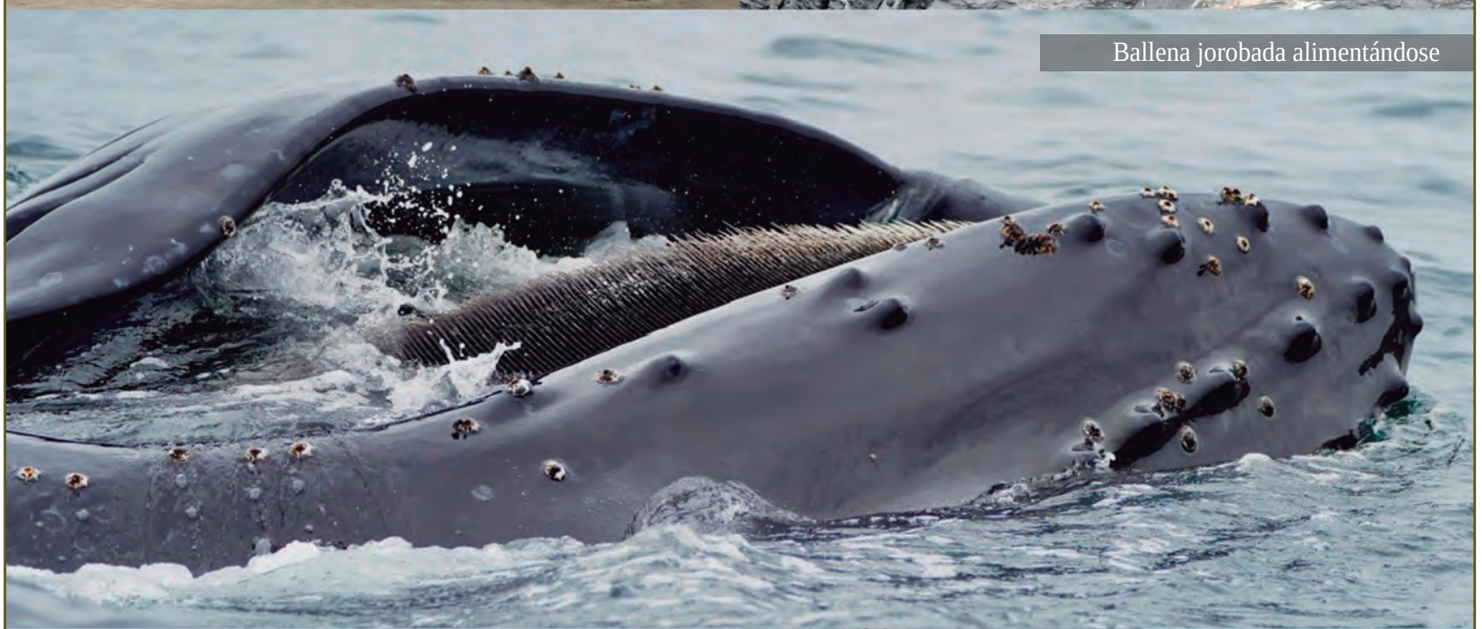
La caleta Chañaral de Aceituno, de a poco se ha ido convirtiendo en un lugar mágico y con una bella naturaleza y biodiversidad, desde el pequeño mamífero marino como el chungungo hasta el animal más grande del planeta, la ballena azul. Llevo años navegando y realizando este hermoso trabajo, pero aún me emociono, como la primera vez, al escuchar el soplido de las reinas del Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos (AMCP-MU) Archipiélago de Humboldt (Ver Capítulo 21 y Recuadro 18.3).

No me queda más que invitarlos a conocer mis raíces y su cultura. Sentir y vivir la experiencia navegando con gente de mar, aprender con los relatos locales. Y lo más importante, que no hay nada más preciado, que conocer para poder proteger y amar nuestro planeta.





Pareja de chungungos



Ballena jorobada alimentándose



Cola de ballena fin



Cola de ballena jorobada

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 23.5:341-343



Recuadro 23.5 Mar de Dunas, un paisaje olvidado

Rodrigo Arcos Castro

Desierto deriva de un tiempo verbal del latín que se traduce como "olvidado" o abandonado. Los campos de dunas, a nivel ciudadano y pedagógico podrían ser emblemas de un concepto de olvido, un territorio de poca importancia. Sin embargo, hoy, en el imaginario del turismo, son un "ícono" envidiable y poco común en el mundo. A nivel de geografía descriptiva y a nivel de consciente colectivo local, las Dunas son un "espacio de juegos" para viajes de exploración para los amantes del 4x4. Atacama y especialmente Copiapó, tiene un núcleo de practicantes de los *raids* que configuran una subcultura que lleva más de 40 años activa, generalmente son viajes que duran 2 a 4 días, en vehículos de neumáticos anchos y un sonido de motores que rugen y se escuchan varios kilómetros antes de ser vistos. El promedio del habitante local que conoce las dunas, las vincula con ese contexto. En el año 2000, geógrafos y geólogos como Araya (2001), Marquard (2003) y Castro (2012) describen el espacio definido al norte del río Copiapó y sus diferentes formas, como un "Tesoro Morfogenético", es decir, un paisaje que es el resultado de una evolución intensa y compleja, de un sistema de aportes de sedimentos aportados por el río Copiapó, la erosión de las playas al norte del sistema fluvial y un cambio climático dramático que terminó por esculpir las formas actuales.

El "despertar" turístico de las dunas

En los 80, muy pocas personas de Atacama conocían las dunas ubicadas a más de 50 km. de distancia. Luego a través de Rallys y principalmente por el accidente en la Mina San José millones de televidentes, vieron imágenes de las dunas de Atacama por primera vez. Pero fue hasta enero y febrero del año 2011, donde se comenzó a explotar diferentes puntos de la Ruta C-351, con visitas contemplativas a las dunas vecinas a la ruta, prácticas del Sandboar y diseñando experiencias como "caminatas bajo la luna llena", "sunset en las dunas", observaciones astronómicas, actividades de yoga o simplemente fotografía a la salida y puesta del sol, definen los primeros puntos de interés, especialmente concentrados en el área conocida como "Duna Ballena".



Panorámica de "Duna Ballena" desde el mirador norte

El contacto directo, con miles de personas por temporada, hace consolidar ideas preconcebidas, como que el visitante del centro sur de Chile, al ir a un viaje hacia el desierto, más hacia las dunas, es un viaje "A la Nada". Es normal, que se refieran a estar "en medio de la nada"; mientras a veces sin intención, están pisando caparazones de caracoles y escarabajos muertos, están avanzando sobre restos de plantas del último desierto florido o apenas, perciben que bajo sus ojos, hay especies específicamente adaptadas a la falta de agua, como son los claveles del aire (*Tillandsia Landbeki*), o están a veces fotografiando frutos de cachos de cabra (*Skytanthus acutus*). La curiosidad para el visitante debe ser despertada con datos precisos y hacerlos valorar elementos, tales como el dominio morfoclimático, que ha moldeado cada parte del desierto, por tectónica, geología, clima y vientos, a través de miles de años, generando la hermosa geometría dunar.

El concepto de desierto florido ha ido cambiando con el tiempo y el mayor conocimiento de este fenómeno. Ahora se habla de "Desierto Latente", ya que gran parte del tiempo la floración no se puede observar, sin embargo existe y está ahí, a través de plántulas y semillas ocultas bajo la tierra, hasta el momento indicado para aparecer las flores. Muchos de los mecanismos específicos no son conocidos aún. Debemos ahondar en el conocimiento de las dinámicas de hibernación de plantas geófitas, reptiles o polinizadores. Este misterio cautiva aún más la curiosidad de cualquiera que lo quiera visitar. Un par de especies de plantas, especialmente adaptadas a vivir en estos ambientes son la *Tillandsia landbeckii* (clavel del aire) y su morfología "sobrepuesta" a la arena y su capacidad de capturar la condensación nocturna y el cacho de cabra *Skytanthus acutus*, que presenta vainas diseñadas para "aprovechar" la circulación del viento, para su diseminación.

La Camanchaca

La nube de origen marino, reconocida incluso por los visitantes, es el argumento de manifestación climática evidente en las dunas por su borde poniente. Los meses de invierno esta se desplaza a niveles de los 450-800 msnm y en varios puntos en contacto directo con el nivel del suelo, lo que permite que las plantas y el suelo permanezcan húmedos varias horas al día. Sin la camanchaca, no habría manifestaciones de vida, en los accesos al mar de Dunas. Ejemplo, la distribución temporal y acumulada de la niebla se ve reflejada en las concentraciones de *Tillandsia landbeckii* (clavel del aire) en todo el cordón de los cerros cercanos. También la niebla define un recurso fotográfico impresionante, especialmente al amanecer y sobre ciertas cotas topográficas sobre los 850 msnm.



Claveles del aire y cachos de cabra, en el mar de dunas de Atacama



Camanchaca cerca de la cota 800 msnm, en duna Ballena y cerro San José

Usos intensivos de las dunas y sus amenazas

A nivel nacional e internacional la bibliografía se refiere al concepto de "degradación de los campos dunarios", por presión inmobiliaria. Para "el mar de dunas de Atacama", las amenazas más evidentes son competencias por el espacio entre usuarios, impactos indirectos como la contaminación lumínica de las ciudades cercanas y la degradación por residuos (ver Capítulo 22).

A nivel local, se habla de un conflicto por el uso de las dunas por "jeeperos versus ecologistas", involucrando en este último a guías y turistas. En este sentido, de acuerdo a los usos y los usuarios se pueden diferenciar 5 zonas dunarias diferentes: 1) **Duna Medanoso**: Elevada hasta los 1.600 msnm. De acceso complejo. Punto reconocido porque al haber lluvias, su cumbre se cubre de nieve; 2) **Puesto 1**: Área de campamento terminal o inicial de numerosos rallys. Rodeado de un anfiteatro de dunas gigantes en el área sur del Campo de dunas, en dirección al Valle de Copiapó; 3) **Dunas El Muro**: Sitio usado como campamento para quienes practican rally; 4) **Duna Ballena**: Sitio privilegiado para la práctica del sandboard, el trekking, astroturismo y fotografía nocturna; 5) **Dunas Transversales en Km 48-52** en la ruta C-351: Dunas de fácil acceso, usadas para SandBoard, trineos y fotografía.

Caso particular es la Duna Ballena, la que se ha transformado en un punto de conflicto, de acuerdo al uso por los riesgos de accidentes entre vehículos 4x4 y practicantes de "sandboard" y "trekking", en sectores para actividades de bajo impacto. Sin duda se debe avanzar en la zonificación de estos lugares y la regulación de uso, además de medidas de protección.

Potencialidad

Aún existen recursos para el diseño de nuevas experiencias turísticas y circuitos de relato e interpretación ambiental, principalmente en cerros como Negro de Pastenes (1.148 msnm), la Gloria (1.180 msnm), el Roble (1.299 msnm), San José (1.225 msnm) y Chamonate (1.345 msnm). Estas cumbres son excelentes puntos para un observatorio astronómico turístico y además por su desnivel mínimo de 500 metros ofrece un excelente ejercicio de perfil vegetacional, concentraciones de musgos, líquenes, evidencia de tránsito de guanacos y avistamiento de zorros y aves. También existe un enorme potencial para el uso de la cota superior a los 800 msnm para la fotografía panorámica siguiendo el concepto "Above clouds", también llamado "colchón de nubes" y realizar experimentos de captura de nubes o atrapanieblas.



Lanzamiento del proyecto "Dunas y Estrellas: potenciando el destino Mar de Dunas"

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 23.6:344-348



Recuadro 23.6 Turismo de buceo, Atacama submarina

Ricardo Catalán Garrido & Gustavo Duarte

Los que han tenido la suerte de sumergirse en las aguas de isla Chañaral, en la costa de Freirina, en Los Bronces, bahía Salada, Barranquilla, Puerto Viejo, en torno a la isla Grande de Atacama o en la isla Pan de Azúcar, en la costa de la comuna de Chañaral, por nombrar algunos de los puntos más notables de la costa, se podrán encontrar con un paraíso submarino. Estos lugares, aún no han sido tan intervenidos por la mano humana y poseen rocas de fondo con ricos ecosistemas, dominados por grandes esponjas de intenso color amarillo anaranjado, que las comunidades locales han bautizado como zapallo (*Cliona chilensis*), compartiendo espacio con colonias de anémonas, principalmente del gén*ero Parazoanthus*, creando las condiciones ideales para albergar gran cantidad de especies como nudibranquios, caracoles, estrellas de mar, erizos, pequeños crustáceos y peces.

El hermoso fondo marino de la región de Atacama, no está exento de colores, a través de varias especies de anémonas de los géneros *Phymactis*, *Phymanthea*, *Anthothoe*, *Antholoba* y *Parazoanthus*, esponjas de intenso color naranja y rosado, algunos peces y crustáceos, pero para apreciarlo, debemos conocerlo y, como consecuencia, protegerlo y conservarlo. Esta tarea es muy difícil, por las barreras naturales que nos impone este medio adverso a nuestra vida y muchas veces el hecho de no ser visible, nos lleva al

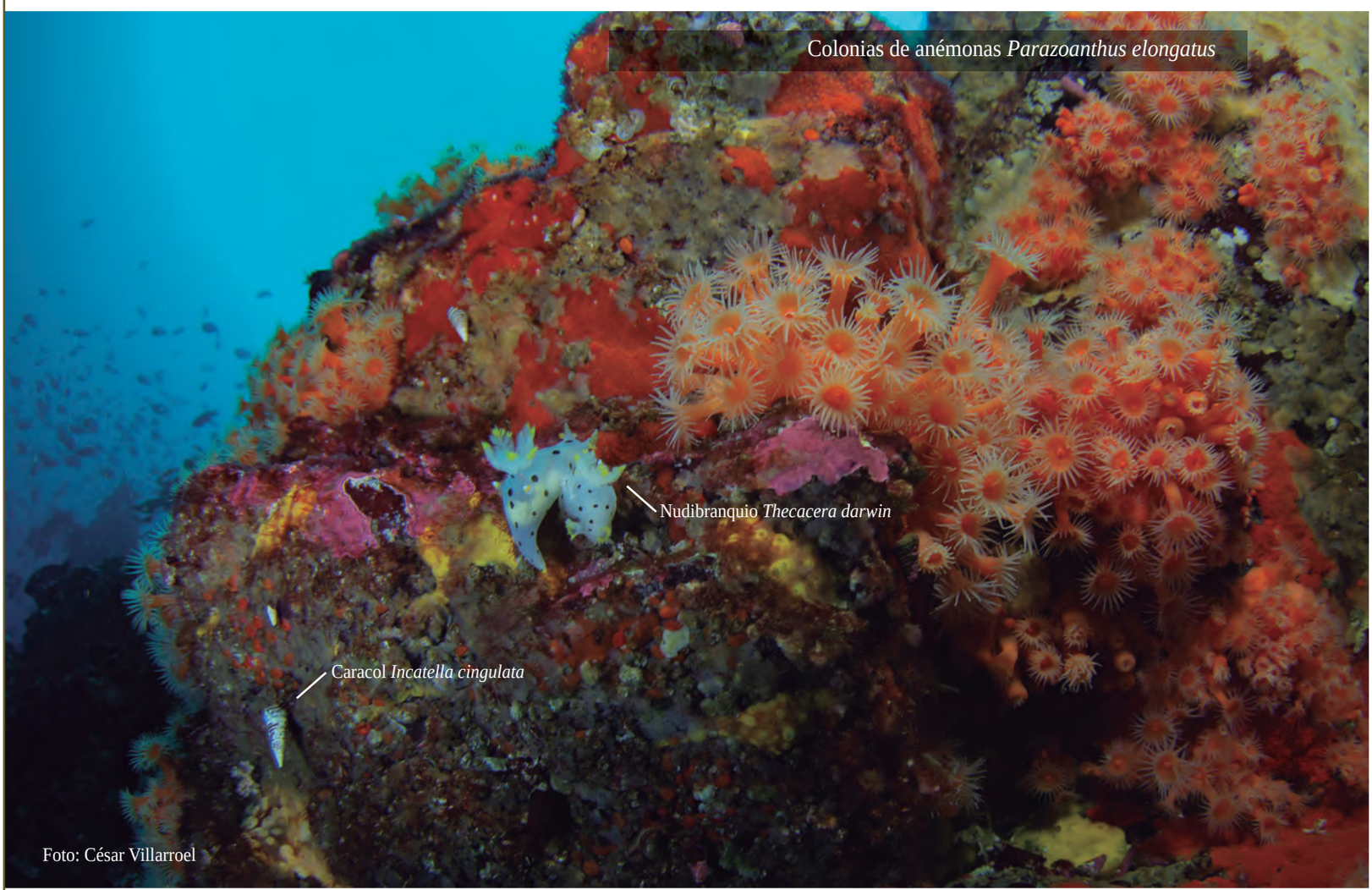


Foto: César Villarroel

desconocimiento y, en algunos casos, a la no valorización. Este es el gran desafío y tarea para quienes tienen la posibilidad de explorar nuestro mar y sus profundidades. Estos verdaderos jardines de especies coloniales y solitarias, también dan refugio y una cubierta viva, para alimento de variadas especies de crustáceos y peces, conformando complejas tramas tróficas. Estas formas, muchas veces bastante desconocidas de nuestro mar, hacen de las actividades de buceo recreativo un panorama turístico muy interesante y de gran valor de recreación, posicionando a la región como un gran atractivo para la fotografía submarina, pero también de gran valor científico.



Esponja rosada

Camarón *Rynchocinetes typus*



Jaiba *Allopetrolisthes*

Camarón *Rynchocinetes typus*



Arrecife en Chañaral de Aceituno



Peje perro macho *Semycossiphus darwini*

Fotos: César Villarroel



Cardumen de peces en Chañaral de Aceituno

Como co-autor de este recuadro y fotógrafo submarino, los invito a conocer las maravillas submarinas de la región de Atacama. Explorar el mar de Atacama es un viaje a las profundidades ocultas, he tenido el privilegio de explorar y capturar la riqueza de la biodiversidad marina en la región, los invito a sumergirse conmigo en un compromiso profundo de conservación. A medida que exploramos las profundidades, nos encontramos con un tesoro submarino que va más allá de las palabras. Cada imagen capturada es una declaración visual, un recordatorio apasionado de la fragilidad y la belleza de este ecosistema único. La región de Atacama, famosa por su vasto desierto y majestuosas montañas, revela un mundo oculto bajo sus aguas. Al explorar las aguas costeras, nos sumergimos en un reino submarino que deslumbra con su asombrosa biodiversidad y una belleza que desafía lo conocido. El reino de los colores nos muestra un espectáculo de tonalidades increíbles. Desde esponjas multicolores, hasta algas que resplandecen en verdes y rojos. El lecho marino se convierte de esta forma, en un lienzo vivo y brillante que da testimonio de la creatividad sin igual de la naturaleza. Este rincón submarino es más que un escenario visual; es un refugio vital para especies emblemáticas como el pingüino de Humboldt y el lobo marino sudamericano, que dependen de estas aguas ricas en nutrientes. Su presencia es un llamado a la importancia de la conservación marina. Sin embargo, no podemos ignorar que el ecosistema marino está en cambio constante. Las corrientes oceánicas y los ciclos climáticos dan forma a la distribución de las especies, demandando de nosotros una comprensión y conservación constante. Extiendo la invitación y, a la vez, ojalá que mis imágenes sirvan de inspiración, para proteger y cuidar nuestro valioso patrimonio natural y cultural. Con mucha gratitud por la oportunidad de compartir este viaje submarino con ustedes.





Trombollito de tres aletas, *Helcogrammoides chilensis*

Fotos: Gustavo Duarte



Estos ecosistemas bénticos y de fondo rocoso, dan paso a tupidos bosques de algas pardas, principalmente de la especie huiro palo (*Lessonia trabeculata*), verdaderas selvas sumergidas, que dan refugio y desarrollo a numerosas especies de peces, como el singular y extraordinario pejeperro (*Semicossyphus darwini*), el aspecto de su mandíbula y cabeza es como la de un perro, además presenta un notable dimorfismo sexual, donde el macho tiene una gran mancha amarilla cerca de la aleta, pero una de las características que hace notable a esta especie es su hemafroditismo secuencial, es decir en algún momento de su vida pueden cambiar de sexo, según disponibilidad de parejas, heterogeneidad de hábitat donde viven y disponibilidad de recursos. Por ejemplo, a falta de machos, las hembras de mayor tamaño pueden sufrir cambios hormonales y cambiar de sexo (Pérez & Cea 2021). Otra especie de pez llamativo por sus colores es el Bilagay (*Chelidactylus variegatus*), que aprovecha su coloración y oblongo del cuerpo para escabullirse entre las frondas de las algas pardas en grupos buscando presas en los fondos, son activos cazadores de invertebrados, pero además al ser uno de los peces más abundantes en estos bosques, se constituye como una de las presas más comunes del chungungo y del lobo marino común (Reyes & Hüne 2012). Además, es una de las especies favoritas de los cazadores submarinos, a través del arponeo de buzos apnea, esto por su abundancia y excelente sabor de su carne. Al igual que el pejeperro, no tiene medidas administrativas pesqueras, por lo que es difícil conocer el estado de las poblaciones en la costa Atacameña, lo que sin duda es una alerta para sus evaluaciones.

El conocimiento de nuestra costa y de lo que está bajo el agua debe ser parte de nuestra cultura y que no sea más allá de lo que encontramos en el mercado, como jureles, merluzas, congrios, pulpos, erizos, jaibas y almejas, es decir que este conocimiento no sólo se base en las especies que son nuestro alimento. El mar de Atacama nos ofrece mucho más que eso. De hecho, principalmente, los peces que existen en las costas y el mar de Atacama no son pocas (Ver Capítulo 14, Recuadros 14.1 y 14.2) y para qué decir el sinfín de algas (Capítulo 6), invertebrados marinos (Capítulos 10, 11 y 12) y otros organismos marinos que forman los ricos ecosistemas a todo lo largo de la costa de Atacama. Finalmente, nuestro mar regional, es uno de los pocos en Chile donde habitualmente se pueden apreciar y fotografiar varias especies de cetáceos como las más grandes ballenas del planeta, como lo son la ballena azul y la ballena fin, lo que nos da una mayor responsabilidad del cuidado de estos mares, con el riesgo de perder estos magníficos animales patrimonio de la humanidad (ver Recuadros 18.3 y 23.4).

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 24:349-358



Capítulo 24 La Conservación de la biodiversidad marina y terrestre en la región de Atacama: un desafío ético para la educación científica

Geraldo R. Brown & Brayan O. Castillo

En la actualidad, existe plena conciencia que el logro de la sustentabilidad requiere establecer nuevas formas de relación entre las personas y su entorno, esto implica generar un cambio cultural que conduzca al establecimiento de sociedades socio-ambientalmente sostenibles. Para enfrentar este desafío la educación constituye una herramienta poderosa y efectiva, como lo es la educación ambiental, que constituye un elemento indispensable para alcanzar el desarrollo sostenible (González-Gaudiano 1997).

La Política Nacional de Educación para el Desarrollo Sustentable (EDS), pone el acento en los aspectos culturales asociados a la naturaleza, así como en las necesidades de los grupos humanos en un territorio específico. Se enfatiza, así, que los sistemas educativos se orienten a la formación ciudadana para que las personas puedan contribuir efectivamente a la generación de una sociedad sustentable (Ministerio del Medio Ambiente 2011). Este propósito de la EDS, fundamenta las relaciones entre educación y conservación de la biodiversidad marina y terrestre de la región de Atacama, aspecto que debería ser central en la gestión ambiental regional, la que para ser exitosa debe considerar a la educación ambiental y sus objetivos reconocidos internacionalmente, desde larga data (Comisión Nacional del Medio Ambiente 1994), y muy recientemente en el Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe, conocido como acuerdo de Escazú (CEPAL 2018).

Estos aspectos constituyen el marco que da sentido y define el alcance de esta obra, y justifican este capítulo, en el que se proponen formas de abordar y acercar al aula el tema de la biodiversidad terrestre y marina de la región de Atacama, construyendo aprendizajes que, contribuyan a su conservación. Esta propuesta se fundamenta en las tendencias actuales de la educación para la sustentabilidad, así como en lo que promueve el Programa de Indagación Científica para la Educación en Ciencias (ICEC).

Marco de referencia

La conservación de la biodiversidad de los ambientes terrestres y marinos de la región de Atacama, debe ser un contenido de aprendizaje prioritario, por su relevancia en el nivel local, y por ser parte de una problemática planetaria. Las potencialidades de la Educación Formal, como lo es la cobertura, contribuyen significativamente al logro de aprendizajes para la conservación de la biodiversidad, si se considera que el sistema educativo de la región de Atacama atiende a 85.000 estudiantes (Ministerio de Educación 2019b). Por otra parte, en la Política Nacional de EDS, el compromiso y responsabilidad de la Educación con la conservación de la biodiversidad, son propuestas orientadoras para la gestión de la Educación Formal y No Formal y, en particular, para las prácticas de aula (Ministerio del Medio Ambiente 2011). Se propone la tarea de crear y desarrollar materiales didácticos y estrategias de enseñanza coherentes con los contextos ambientales donde se realizan las acciones educativas, en este caso la condición de la biodiversidad de la región de Atacama.

Cómo abordar, desde la educación científica, el desafío de la conservación de la biodiversidad de la región de Atacama

Asumir el desafío, implica que las comunidades escolares y la sociedad en su conjunto tomen conciencia de los efectos de la pérdida de la diversidad biológica (García-Gómez & Martínez 2010). Es urgente, integrar la educación ambiental en el currículum escolar, especialmente en el área de las ciencias, considerando que la alfabetización científica permite abordar problemas socioambientales, mediante la información y sensibilización para concientizar sobre ellos (Vilches & Gil 2007).

Operativamente, las actividades de aula, deben ser pensadas para contextos cercanos a las y los estudiantes para lograr, así, una mayor motivación y compromiso, de esta manera el aprendizaje les será útil y les permitirá comprender de mejor manera el mundo, y con ello poder expresar sus opiniones y tomar buenas decisiones. Esto evidencia la evolución de la Educación en Ciencias, que se ha extendido a los diversos segmentos de la población, buscando educarla para que la ciudadanía tome conciencia y comprenda los problemas ambientales globales y locales, asumiendo racionalmente el rol que les corresponde en la mitigación o prevención de ellos (Martín 2002).

En el ámbito específico de la biodiversidad, la educación en ciencias propende al desarrollo de capacidades en los y las estudiantes para que tomen decisiones de manera fundamentada, dotándolos de competencias teóricas y prácticas que les permitan tomar decisiones en políticas públicas sobre conservación de la biodiversidad (García-Gómez & Martínez 2010). Sin embargo, muchas prácticas docentes, para enseñar biodiversidad, se limitan solo a la transmisión de información contenida en los programas de

estudio. Por otra parte, en los libros de texto escolares, predomina la acumulación de contenido, sin enfatizar el desarrollo de habilidades para relacionar lo aprendido conceptualmente, con los componentes de la biodiversidad, y su conservación (De La Cruz & Pérez 2020).

Las evidencias sobre las preconcepciones con que docentes y estudiantes enfrentan el aprendizaje sobre biodiversidad y su conservación, generan interrogantes acerca de cuál debería ser la manera más efectiva de abordar la enseñanza de estas temáticas, es decir sobre el cómo enseñar, lo que implica considerar una gran diversidad de variables. En este caso el desafío de enseñar biodiversidad, requiere como condición fundamental, tener la predisposición a trabajar con el entorno, para poder evidenciar, que estamos insertos en la biodiversidad animal o vegetal, así como de interacciones biológicas, y que somos la expresión de la interacción del ser humano con su ambiente, esto requiere abrir la mente y observar detenidamente, lo que nos rodea. Con ese simple ejercicio, podemos lograr diferentes observaciones y descripciones, capturar fotografías de seres vivos, ejecutar proyectos de investigación, hacer narraciones de nuestras observaciones y ver cómo el ambiente o los seres vivos se adaptan a la presencia del ser humano, y cómo éste los impacta al utilizar los recursos naturales para su beneficio.

Un enfoque indagatorio para los aprendizajes en conservación de la biodiversidad

Los antecedentes presentados, y la naturaleza compleja de los aprendizajes que se requieren para la formación de una ciudadanía que se comprometa y actúe en favor de la conservación de la biodiversidad, de la región de Atacama, requiere aplicar un enfoque didáctico de tipo indagatorio que promueva el cambio conceptual (Vosniadou 2006, Duit 2006). Los fundamentos y los aspectos operativos de este enfoque proveen de orientaciones para organizar y realizar secuencias de aprendizaje, así como el diseño de estrategias de trabajo a nivel de aula que permitan la comprensión, con base científica, del problema de la conservación de la biodiversidad y, sobre esa base, promover la participación de los y las estudiantes, futuros ciudadanos en la toma de decisiones, en situaciones que estén asociadas a dicha problemática (Gile et al. 2005).

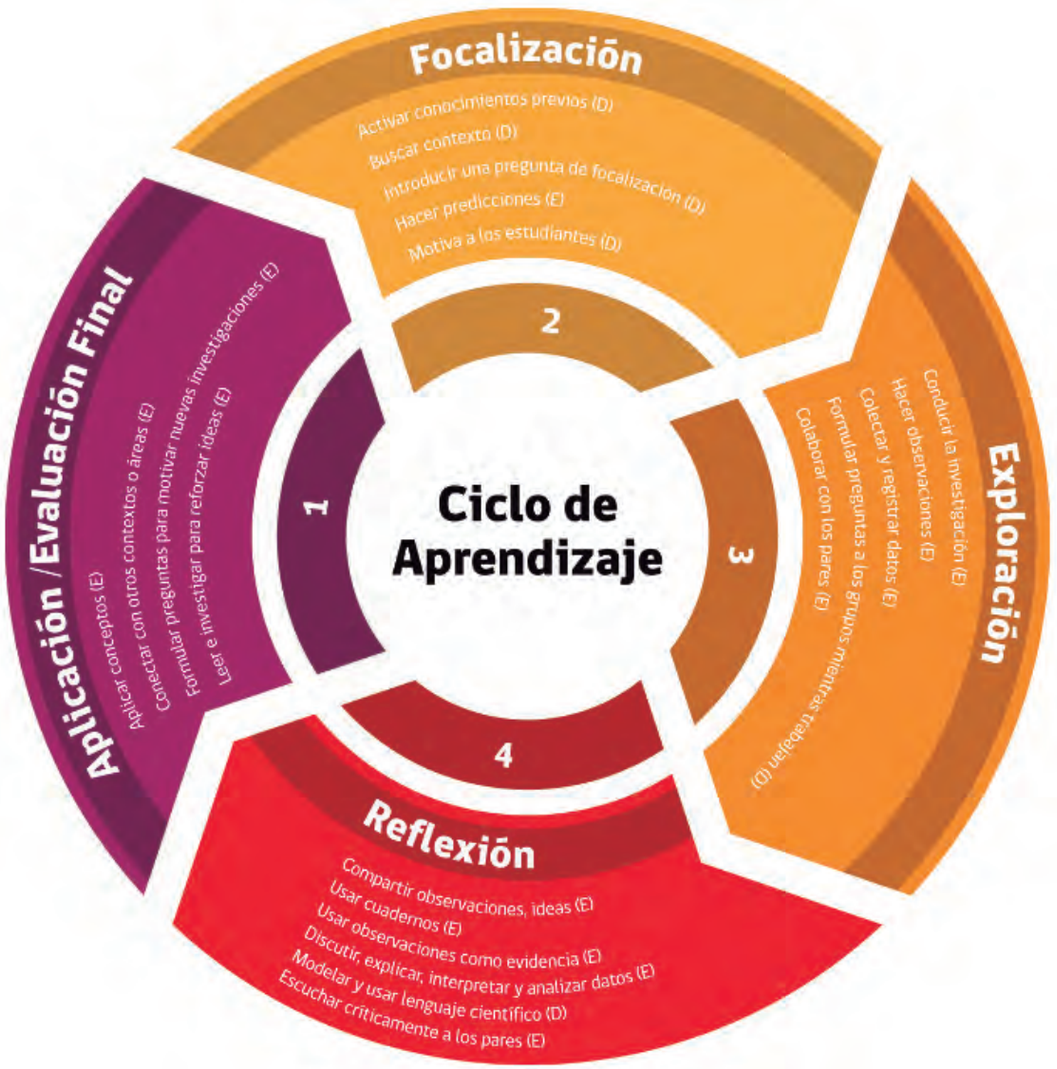
La aplicación sistemática de una didáctica de base indagatoria, permitiría desarrollar en los y las estudiantes las capacidades de comprender, evaluar y reflexionar críticamente acerca de la problemática de la biodiversidad en Atacama. Este desarrollo, hará posible que participen activamente en el proceso de conservación, como estudiantes y como futuros ciudadanas y ciudadanos (Brown et al. 1998). Este proceso de aprendizaje, requiere en primer lugar, reconocer y valorar las amenazas a la biodiversidad, como un problema socioambiental que se manifiesta tanto en la región, como a nivel global. Este aprendizaje es complejo y requiere tener las oportunidades y la guía en la revisión y evaluación de sus conocimientos, habilidades y actitudes relacionadas con la problemática objeto de aprendizaje. A partir de esto se podrá cuestionar y aclarar las conceptualizaciones y comportamientos individuales frente a la conservación de la biodiversidad terrestre y marina de la región. Los aprendizajes anteriores constituirán el andamiaje para reestructurar constructivamente una red de comprensiones y procedimientos que son necesarios para abordar adecuadamente la problemática de la conservación, y les permita evaluar las potenciales alternativas de solución de dicha problemática, para participar comprometidamente en actividades individuales y colectivas que conduzcan a esa solución. Esta meta puede ser asumida en cualquier modalidad o nivel de enseñanza, y su logro es más factible si se aplica un enfoque indagatorio en el proceso de enseñanza aprendizaje.

El modelo didáctico que se deriva de este enfoque consta de cuatro etapas que dan forma al ciclo de aprendizaje: i) **Focalizar** los y las estudiantes, así como las y los docentes enfocan las ideas que tienen sobre un tema, prediciendo y proponiendo nuevas metas para aprender. Incluye la indagación de conocimientos previos, la sensibilización y motivación. El o la docente genera situaciones para la revisión y clarificación de conceptos previos y representaciones de sus estudiantes, referidos a la biodiversidad de la región de Atacama (Gellon et al. 2005); ii) **Explorar**, se indaga sobre los organismos y fenómenos del entorno, que pueden ser explicados a través del conocimiento científico. Considera actividades consensuadas para explorar, investigar, identificar o proponer nuevos problemas (Charpak et al. 2006); iii) **Reflexionar**, quienes aprenden, analizan sus observaciones y los datos recolectados, revisan sus apreciaciones originales (predicciones) relacionadas con el fenómeno investigado y desarrollan nuevas explicaciones para lo observado. La tarea central del o la docente en esta etapa es estimular a sus estudiantes para que discutan los resultados de sus observaciones o experimentaciones; y iv) **Aplicar**, las actividades están orientadas a que las y los estudiantes apliquen a nuevas situaciones o problemas los aprendizajes conceptuales y procedimentales que ha alcanzado en las etapas previas. Por lo tanto, el rol de la profesora o el profesor es estimular la discusión y aplicación de lo aprendido a nuevas situaciones (ver esquema en pagina siguiente).

Para la implementación del modelo anterior se puede recurrir a la diversidad de procedimientos o técnicas, que están profusamente citados y descritos en la bibliografía sobre didáctica de las ciencias. La tarea profesional, de profesores y profesoras, es tomar decisiones para su incorporación a los diseños de enseñanza, aplicando criterios de pertinencia, practicidad y efectividad para el logro de los aprendizajes esperados.

Abordando el diseño de secuencias de enseñanza aprendizaje

El diseño de las Secuencias de Enseñanza Aprendizaje (SEA) o secuencia de actividades, requirió la revisión del currículo de los diferentes niveles educativos, en la que se pudo establecer que la biodiversidad y su conservación es un contenido transversal. En Educación Parvularia, por ejemplo, las temáticas que tributan a los aprendizajes sobre biodiversidad, son las referidas a cambios en el entorno, sus causas y efectos. Se considera además la descripción de seres vivos, acciones de cuidado ambiental, todo a través de instancias de indagación en el entorno (Ministerio de Educación 2018a). En Primer Ciclo de enseñanza básica las temáticas sobre biodiversidad están relacionadas con clasificación, ciclo de vida y



Ciclo de Aprendizaje de la metodología indagatoria (Fuente: Adaptada de Programa ECBI•Chile).

características de los seres vivos, y de su hábitat, así como medidas de protección (Ministerio de Educación 2018b). En Segundo Ciclo, están relacionadas con la distribución del agua en el planeta, las características de los océanos y lagos, considerando la diversidad de flora y fauna (Ministerio de Educación 2018b). En enseñanza media, las temáticas incluyen: el estudio de las plantas y las estructuras especializadas que poseen para responder a estímulos de ambiente, la clasificación de organismos y la forma cómo se organizan e interactúan en los ecosistemas de Chile (Ministerio de Educación 2015, 2019a).

Sobre la base de esta revisión curricular, se elaboraron diferentes actividades para el diseño de secuencias didácticas o (SEA) con foco en la indagación científica, que permitan el tratamiento de contenidos sobre la biodiversidad en Atacama y que contribuyan al desarrollo de habilidades de investigación y actitudes científicas. Este diseño se basa en el modelo de reconstrucción educativa, pero considera, además, las necesidades e intereses de las y los estudiantes, así como la generación de condiciones para que el conocimiento científico a enseñar se integre a un contexto que favorezca los aprendizajes (Duit 2007, Couso 2012). En este modelo, se le asigna importancia a reconstruir el contenido a enseñar, para que conecte los contenidos científicos con las interpretaciones que poseen los y las estudiantes. En las secuencias didácticas que se proponen, se inicia el diseño "reconstruyendo" el concepto biodiversidad, es decir, buscando la manera de hacerlo enseñable; motivador y atractivo para las y los estudiantes, a la vez que les sirva para la vida personal y en sociedad, y esté dentro del marco curricular vigente. Las actividades de las Secuencias de Enseñanza Aprendizaje (SEA), que se proponen, se basan en la metodología indagatoria, en la que se aplica el ciclo de aprendizaje ECBI, descrito anteriormente, con las etapas: focalización, exploración, reflexión y aplicación, en la modalidad de indagación.

Para enseñar y aprender sobre conservación de la biodiversidad en la región de Atacama orientaciones para el o la docente

Las y los docentes de la región de Atacama, en conjunto con los demás integrantes del sistema educativo tienen el compromiso ético de asumir el desafío de educar en la conservación de la biodiversidad regional. Lo cual se puede hacer en estricta coherencia con el currículo vigente. En efecto, al revisar las Bases Curriculares y los Programas de Estudio de los diferentes niveles educacionales, podremos apreciar que son numerosos los objetivos de aprendizaje, en sus categorías: conocimiento y comprensión,

habilidades y actitudes, que hacen referencia, en términos genéricos, a la problemática de la conservación. Por lo tanto, su operacionalización, sólo requiere que el o la docente, en el proceso de diseño de la enseñanza, los contextualice a la realidad de la región de Atacama.

Las propuestas de secuencia de actividades que se presentan, como sugerencias para abordar el tratamiento de la temática, se han basado en estas consideraciones y se sitúan en el ámbito de las asignaturas que están en el dominio de las Educación en Ciencias, como lo son Ciencias Naturales y Biología, y en coherencia con ello responden a un enfoque pedagógico indagatorio. Tal como se ha señalado, son propuestas que constituyen sugerencias, las que pueden ser adecuadas y situadas en la realidad socioambiental de la región, así como a las características y el entorno de los y las estudiantes. En todo caso, es necesario precisar que no son actividades adicionales al Programa, son las que se proponen en dicho instrumento a las que se les ha incorporado aspectos relacionados con la conservación de la biodiversidad regional.

Propuesta secuencia de actividades para 4º EGB: "Recorramos virtualmente el Parque Nacional Llanos de Challe"

La secuencia está relacionada con el Eje Ciencias de la Vida, en la Unidad 4 del programa de Cs. Naturales de 4º EGB, y responde al OA1 (CCNN): Reconocer, por medio de la exploración, que un ecosistema está compuesto por elementos vivos (animales, plantas, etc.) y no vivos (piedras, agua, tierra, etc.) que interactúan entre sí.

Objetivo de la secuencia de actividades: Identificar mediante la observación de videos o imágenes los elementos vivos (animales, plantas, etc.) y no vivos (piedras, agua, tierra, etc.) que componen un ecosistema, y aplicar esos aprendizajes, al estudio del Parque Nacional Llanos de Challe.

Preparando la clase (diseñando la enseñanza):

Se sugiere revisar información sobre las características del Parque Nacional Llanos de Challe y del fenómeno del desierto florido. Para obtener antecedentes generales, las medidas que se aplican para su







Estudiantes registrando sus respuestas en papel Kraft

protección, y otra información de interés para las y los estudiantes, se sugiere buscar páginas web y videos del tema: i) Sistema Nacional de Áreas Silvestres del Estado, ii) CONAF, y iii) Aumenta monitoreo de animales en parque nacional Llanos de Challe. Ver además capítulos 20 y 21.

Actividad 1: en el inicio

Se sugiere organizar grupos de trabajo de 4 a 5 integrantes. A los que se les proporciona un pliego de papel kraft y plumones, para registrar sus respuestas y luego exponerlas al curso; otra opción es reemplazar estos materiales por un PPT u otro recurso digital.

Se anuncia y motiva la participación en la presentación del video en youtube: "Protejamos los ecosistemas", la mediación y la conducción de la observación deberían estar orientadas a la reestructuración de los conceptos que están implícitos en él, para aplicarlos al conocimiento y comprensión de la dimensión ecosistémica del Parque. En este video, además, mediante preguntas e indicaciones para la reflexión, se pueden evidenciar las diferentes acciones que se pueden realizar para proteger este entorno natural, y así no afectar negativamente a este ecosistema. Esto permite que las y los estudiantes vean de manera directa la forma en que se ejecutan dichas acciones.

Posterior a la observación del video, para orientar la reflexión, se sugiere formular preguntas tales como estas: ¿cuál de las acciones mostradas en el video, pueden ser aplicadas al Parque?, ¿con qué tipo de acciones nosotros podemos cuidar o proteger este Parque?, ¿las acciones que propusieron para proteger o cuidar el Parque, se pueden aplicar a otro sector o zona de nuestra región?

Actividad 2: en el desarrollo

Se continúa, retomando el desafío que quedó planteado al inicio, en este sentido una buena alternativa para comenzar es hablar sobre la temática de los Parques Nacionales de la región de Atacama, sería, preguntar: ¿Qué es, para Uds., un Parque Nacional?, ¿conocen alguno?, ¿saben si en nuestra región existen algunos? Nómbrelos; ¿Quién sabe o conoce el Parque Nacional Llanos de Challe?. Se sugiere registrar las respuestas de los estudiantes en una tabla u organizar gráfico con una síntesis.

Actividad 3: en el desarrollo

Para esta actividad, se puede considerar la utilización, como recurso, fotografías de Parques Nacionales y de Llanos de Challe, que están en las páginas webs de parques nacionales de CONAF (o del SBAP proximamente) y de inaturalist Chile. Para continuar, se





Estudiantes registrando sus respuestas en su guía de trabajo

sugiere presentar y dar instrucciones para la observación del video del Parque. Para lograr el involucramiento y la participación activa de clase, es necesario pedirles que observen e identifiquen las interacciones que se generan entre elementos vivos y no vivos en este ecosistema terrestre, así como una descripción general de él. Se registra la observación en una ficha que incluya: identificación de elementos vivos y no vivos; nombrar plantas y animales existentes; ejemplos de interacciones entre elementos vivos y no vivos observados; características del ecosistema terrestre y aspectos relevantes que le llamaron la atención de las respuestas.

Actividad 4: finalizando

Seguidamente se invita a un trabajo grupal en el cual, se comparte el contenido de las fichas y comentan en relación a lo observado del Parque. Se estimula la reflexión individual y grupal orientando el análisis de la información recogida con preguntas p. ej.: ¿qué otros seres vivos están presentes en el Parque?, ¿habrá otros seres vivos que no podamos observar?, ¿Cómo podríamos saber acerca de ellos?, ¿cuáles son las principales características de los seres vivos presentes en el parque?, ¿De dónde son originarios?, ¿Se encuentran en otros lugares de Chile? – para responder esa pregunta se sugiere revisar la página web: http://especies.mma.gob.cl/ en la cual se pueden encontrar mapas con la distribución de la mayoría de los organismos que puede ver en el video - ¿Qué se sabe acerca de su abundancia?, ¿Qué interacciones entre elementos vivos y no vivos se pueden reconocer?, y ¿qué aspectos les llamaron más la atención?. Como producto del trabajo grupal, se espera que realicen un listado único de sus respuestas, para exponer al grupo curso, y recibir retroalimentación de parte de sus pares, así como del o la docente. Hecha la presentación, y se haya discutido y recibido retroalimentación del o la docente, se invita al grupo curso a participar en una discusión guiada con preguntas tales como: ¿cuáles son los beneficios para los seres vivos y para este ecosistema, que pueden provocar las diferentes interacciones?, ¿se provoca algún efecto negativo en estas interacción?, ¿Qué es una especie nativa?, ¿Qué significa que una especie esté en vías de extinción, o en peligro?, ¿Cuáles de esas especies son del Parque? ¿De las especies nombradas, cuáles son vulnerables?, ¿Qué significa esto?, ¿Qué acciones humanas son un peligro para el Parque?, y ¿Cuáles contribuyen a su protección?. Busque y complemente con otras páginas web referidas al PN Llanos de Challe. Complementar la retroalimentación que se haga de las preguntas, dando ejemplos (cuando corresponda) con especies propias de la región. Para preguntas tales como: seres vivos del parque, ejemplo de interacciones, especies nativas, en vías de extinción, en peligro, vulnerables, para cada una de ellas nombrar especies de la región. A continuación, se presentan algunas especies nativas que se pueden encontrar en el Parque Nacional Llanos de Challe.

	Clase	Nombre Científico	Nombre Común
Reino Plantae	Liliopsida	*Alstroemeria philippii*	Alstroemeria
	Magnoliopsida	*Cordia decandra*	Carbonillo
	Liliopsida	*Leontochir ovallei*	Garra de león
	Magnoliopsida	*Copiapoa longistaminea*	Copiapoa de Adriana
	Magnoliopsida	*Copiapoa dealbata*	copiapoa de Carrizal
	Magnoliopsida	*Pyrrhocactus intermedius*	Quisquito de Chañaral
	Magnoliopsida	*Pyrrhocactus taltalensis*	Quisquito de Taltal
Reino Animalia	Amphibia	*Pleurodema thaul*	Sapito de cuatro ojos
	Amphibia	*Rhinella atacamensis*	Sapo de Atacama
	Arachnida	*Brachistosternus cepedai*	Escorpión de Cepeda
	Mammalia	*Ctenomys fulvus*	Tuco-tuco de Atacama
	Mammalia	*Lama guanicoe*	Guanaco
	Mammalia	*Myotis atacamensis*	Murciélago de atacama
	Reptilia	*Liolaemus atacamensis*	Lagartija de Atacama
	Reptilia	*Microlophus atacamensis*	Corredor de Atacama

Actividad 5: en el cierre

En el momento de cierre de la clase, se les propone a las y los estudiantes, que compartan con el grupo curso, lo que van a contar a su familia o cercanos en relación a lo aprendido en la clase. Se comenta de manera general las respuestas, y se les invita a recordar: las reacciones, lo que dijeron, y lo que sabían sus familiares sobre el tema de la clase, se les pide que vengan dispuestos a comentarlo en la clase siguiente.



Estudiantes registrando lo aprendido en clases

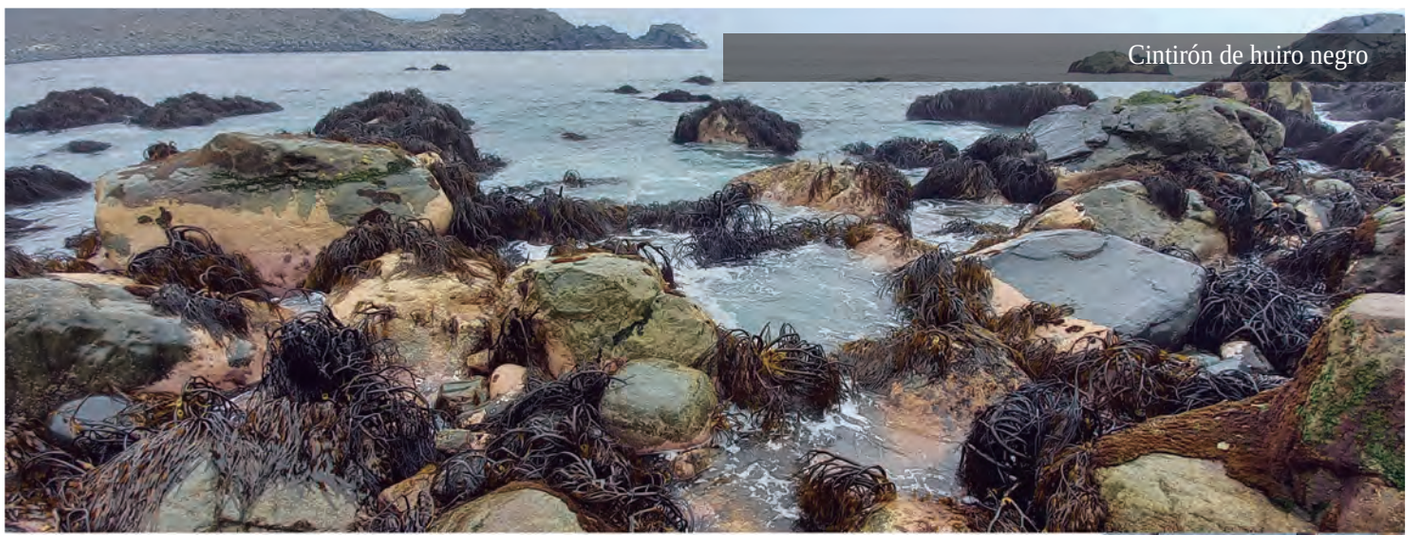
Propuesta de secuencia de actividades para 6º EGB: "Extracción de huiro y su efecto en el ecosistema"

Esta propuesta está relacionada con el Eje Ciencias de la Vida, del Programa de Estudio de Cs. Naturales, en la Unidad 1 y, responde al OA 3: Analizar los efectos de la actividad humana sobre las redes alimentarias.

Preparando la clase (diseñando la enseñanza):
La secuencia, es una adaptación del Programa de Estudio de 6° EGB. Se sugiere, para diseñar y ejecutarla, revisar información en fuentes como las siguientes: i) Deforestación submarina: el problemático negocio del huiro en Atacama, ii) Estudio de investigadores UDA revela preocupante manejo del alga parda huiro palo en Atacama, iii) Sernapesca Atacama incauta más de 76 toneladas de algas extraídas ilegalmente, iv) El bosque de huiro, un entramado de algas idóneo para el ecosistema patagónico, v) Extracción de algas en Chile, altamente rentable pero potencialmente perjudicial. Ver también recuadro 22.4

Actividad 1: en el inicio
Presentado los objetivos de la sesión, se invita a participar en una presentación con apoyo de imágenes sobre diferentes tipos de algas, indicando en qué deben enfocar su observación y atención para responder en el trabajo grupal que seguirá a preguntas asociadas tales como: ¿Qué tienen en común las imágenes que observan?, ¿Qué organismos observan?, ¿De qué tipo de organismos se trata?. Relaten brevemente la experiencia de haber visto estos organismos con anterioridad. ¿Dónde…cómo?, ¿Hubo algo que le llamó la atención?. Otras preguntas: ¿Qué sabe sobre la utilidad de estas algas?, ¿Cómo lo sabe?, ¿De dónde y cómo se extraen?. Si se advierte que hay dificultades para clasificar las algas, analizar cómo y con qué criterios se clasifican. Se puede utilizar la Guía fotográfica de algas marinas de Chile. Tomar como ejemplo otras algas propias de la región, tales como: *Lessonia nigrescens* o Huiro negro o chascón, *Lessonia trabeculata* o Huiro palo o rubio, *Macrocystis spp* o Huiro o Huiro canutillo o pato

Actividad 2: en el desarrollo
Se continúa, indicando que expongan sus respuestas al grupo de trabajo, esto en un tiempo acotado. Se indica que en las respuestas presentadas identifiquen y registren los elementos que se repiten y los que las hacen diferentes. El registro puede ser en un papelógrafo o una PPT. Una vez que cada grupo haya completado la actividad se les pide, que presenten y expliquen el producto de su trabajo al grupo curso, en papelógrafo o PPT. Se dinamiza la discusión en


Cintirón de huiro negro


Secado de algas pardas



Estudiantes preparándose para la observación del video y trabajando en equipo

torno al análisis de los productos, sistematizando y dejando registro de la conceptualidad o ideas fuerza que emergen del análisis y discusión.

Actividad 3: en el desarrollo

Esta actividad tiene el carácter de una investigación documental, para responder a las preguntas: ¿cuánto sabemos de la extracción del huiro?, ¿Qué impacto tiene sobre la biodiversidad marina? por ejemplo en: peces de roca, isópodos (cochinillas), especies bentónicas como el loco e, incluso, zonas de crecimiento de jureles, para profundizar la relación de animales y algas, se puede revisar el siguiente sitio: www.cientificosdelabasura.cl

Para esto se distribuyen diferenciadamente reportajes escritos o audiovisuales a cada grupo para que los observen y lean comprensivamente, indicándoles que identifiquen el tema central, los problemas que se evidencian, las consecuencias de la actividad sobre la biodiversidad marina de la región de Atacama, así como las medidas de control que se aplican. Se les propone que registren el producto de su trabajo en algún tipo de organizador gráfico: mapa conceptual u otro que sepan usar, para presentar al grupo curso.

Actividad 4: finalizando

Se continúa solicitando participar en una discusión guiada, teniendo a la vista el registro realizado, dirigir las intervenciones con preguntas orientadas a: i) describir el efecto que tiene la extracción del alga en la biodiversidad marina, ii) visualizar las implicancias económicas, sociales y culturales que tiene esta actividad, iii) precisar la idea de “deforestación del lecho marino”. Se les indica que registren las conclusiones que surjan de esta actividad.

Actividad 5: en el cierre

Una posible actividad para evidenciar los aprendizajes logrados podría ser: pedir que cada estudiante escriba lo que solicitaría a autoridades de instituciones como: MMA, SBAP, SERNAPESCA, CONAF, SAG para que sean rigurosos en el control de la extracción del huiro, fundamentando brevemente su petición. Hecho esto, se comparte con el curso, se comenta y evalúa.



Fotos: Claudia Pool (Oceana)

Extracción de Huiro

Propuesta de secuencia de actividades para primero E.M. "Insectos de la región de Atacama en el aula"

Esta propuesta está relacionada con la asignatura de Ciencias Naturales, en el Eje Biología, de la Unidad 1: Evolución y Biodiversidad, y responde al OA3.: Explicar, basándose en evidencias, que la clasificación de la diversidad de organismos se construye a través del tiempo sobre la base de criterios taxonómicos que permiten organizarlos en grupos y subgrupos, identificando sus relaciones de parentesco con ancestros comunes.

Preparando la clase (diseñando la enseñanza):
Se sugiere contextualizar el diseño en la región de Atacama, para esto revisar fuentes diversas tales como: i) Museo Virtual de la región de Atacama, ii) Guía de apoyo docente en biodiversidad en mma.gob.cl. Ver además capítulo 11.
Prestar especial atención a la clase Insecta, revisando y sistematizando el conocimiento disponible sobre servicios ecosistémicos de estos organismos, en particular de los de la región: *Elasmoderus minutus* (Langosta nativa), *Mitrodetus leucotrichus* (Mosca de las arenas, nativa). Para otras especies pueden, por ejemplo, ver el rol que cumplen en la polinización. Igualmente, hacer referencia al estado de conservación, la vulnerabilidad y riesgo en que se encuentran por la acción antrópica. En este contexto, se propone una secuencia de aprendizaje de base indagatoria en las que se integra la investigación observacional con la documental. En las actividades que estructuran la secuencia, se considera la captura de insectos, lo cual requiere disponer de algunos artefactos como: red, paraguas entomológico y trampas.

Actividad 1: en el inicio
La secuencia está orientada al conocimiento de insectos del entorno. Para activar y diagnosticar conocimientos previos se puede solicitar que individualmente dibujen un insecto y realicen una lista con sus principales características. Se les indica que el registro lo hagan en fichas con un espacio para el dibujo y otro para listar las características. Una vez realizado, se les invita a agruparse con tres o cuatro compañeros o compañeras, comparten el producto de su trabajo y generan un listado único de características, así como un dibujo que mejor lo represente y recoja los aportes del grupo. En la interacción con los grupos el o la docente promueve la reflexión sobre la completitud y exactitud del dibujo, así como del listado; dando las retroalimentaciones que sean necesarias.

Actividad 2. En el desarrollo
Requiere trabajo de campo, en el patio de la Escuela o en una plaza o parque cercano. Se dan instrucciones para que describan el paisaje en términos generales, y observen seres vivos registrando aquellos que consideran insectos, nombrándolos con el nombre común o, si no lo saben, nombrándolos cómo: esp. 1, esp. 2, etc., escriben una breve descripción: color, nº de patas, alas, cubierta del cuerpo, forma de desplazamiento, etc., y lo dibujan. Se les indica que cada grupo haga el registro en una tabla de dos columnas, en una el nombre común y en la otra el tipo de desplazamiento.

Actividad 3. En el desarrollo
En la sala de clases, cada equipo de trabajo revisa la lista de los insectos observados y eligen uno de ellos para observar directamente con ayuda de la lupa. Esto implica que, según la forma de desplazamiento, deberán reflexionar y planificar cómo capturarlo y conservarlo. El o la docente, explica las técnicas de captura. Entrega, además, los materiales necesarios para hacer dispositivos de captura (Marquez 2005, Nielsen 2003), así como instrucciones para su confección, lo que se puede hacer en una sesión de clases o en casa. Entrega y explica un protocolo de captura.

Actividad 4: en el desarrollo
Se vuelve al lugar dónde se hizo la observación inicial y se procede a la captura del insecto, el que depositan en un frasco de vidrio. De regreso al aula, se dan instrucciones para constituir los grupos y organizar el trabajo. Se les proporciona lupa, guía de trabajo y ficha para el registro de la descripción y del dibujo del insecto. Durante la interacción el o la docente retroalimenta la descripción y el dibujo. Realizada la tarea, se les proporciona un esquema de un insecto con sus partes principales rotuladas y se les indica que lo comparen con el dibujo que hicieron del insecto, señalando semejanzas y diferencias. Tomando como referencia el esquema, se



Trabajo de campo en el patio de la escuela y luego observación en la sala de clases

les indica que rotulen el dibujo realizado, y se les pide hacer una nueva descripción, actualizándola con la información obtenida del esquema.

Actividad 5: en el desarrollo

Para sistematizar los aprendizajes alcanzados, se les pide que revisen su propuesta inicial, de las características de un insecto y la contrastan con la actualizada. Se les invita a compararlas en el sentido de si coinciden o discrepan con lo que saben ahora, que lo fundamente y expresen en un breve párrafo. Se les indica que revisen el listado inicial de características, y elaboren uno nuevo con toda la información a través de la indagación.

Actividad 6: en el desarrollo

Con el fin de situar los aprendizajes, en la biodiversidad de la región se les propone indagar recurriendo a la investigación documental, sobre una especie propia de la región: *Gyriosomus maculatus*, Vaquita que se encuentra en el morro de Copiapó. Para la ejecución de la actividad, se les proporciona bibliografía referida al tema: Briones et al. 2012, Pizarro-Araya & Flores (2004) o la ficha de la especie en especies.mma.gob.cl.

Se les da instrucciones y una guía de lectura para obtener información sobre aspectos anatomo-estructurales de la especie que haga posible avanzar en su clasificación como coleóptero, y ampliar el conocimiento sobre la ecología del organismo; el estado de conservación y las acciones que se hacen para protegerla. Esta actividad también ofrece la oportunidad de generar aprendizajes sobre la naturaleza de la Ciencia, en el aspecto de comunicación científica ¿Por qué se hace?, ¿Cuáles son las formas de comunicar en Ciencias?. Un valor agregado de una de las publicaciones que se cita, es que muestra cómo se construye colectivamente el conocimiento científico, con invesigadores de varios países. Realizada la lectura y el análisis, se les puede pedir que, grupalmente, hagan una síntesis con las respuestas a las preguntas de la guía de lectura, y preparen un breve informe, escrito o en PPT que contenga la síntesis y la apreciación del trabajo realizado.

Actividad 7. En el cierre

Para finalizar se sugiere realizar una discusión guiada con preguntas que estimulen la reflexión en el ámbito metacognitivo, tales como ¿Qué han aprendido sobre los insectos?, ¿qué cosas saben ahora que no sabían al comienzo de la clase?, ¿qué fue necesario hacer para lograr este nuevo aprendizaje?, ¿qué dudas tienen sobre los insectos?, ¿qué otros conocimientos les gustaría tener sobre ellos?, ¿qué proponen realizar para resolver dudas y saber más sobre insectos? En el ámbito de la conservación las preguntas podrían ser: ¿de qué manera todo este conocimiento sobre los insectos ayuda a su conservación?, ¿qué estarían dispuestos a hacer para contribuir a la conservación de los insectos propios de la región, tales como: *Caupolicana gayi* (abeja caupolicana), *Chilicola charizard*, (abeja Charizard), o *Gyriosomus maculatus*?, si tuvieras que estampar en una polera una frase relacionada con la conservación de los insectos, ¿qué diría? …escriban lo que pondrían.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 24.1:359-360



Recuadro 24.1 Reconstruyendo el concepto de biodiversidad

Nancy C. Olivares

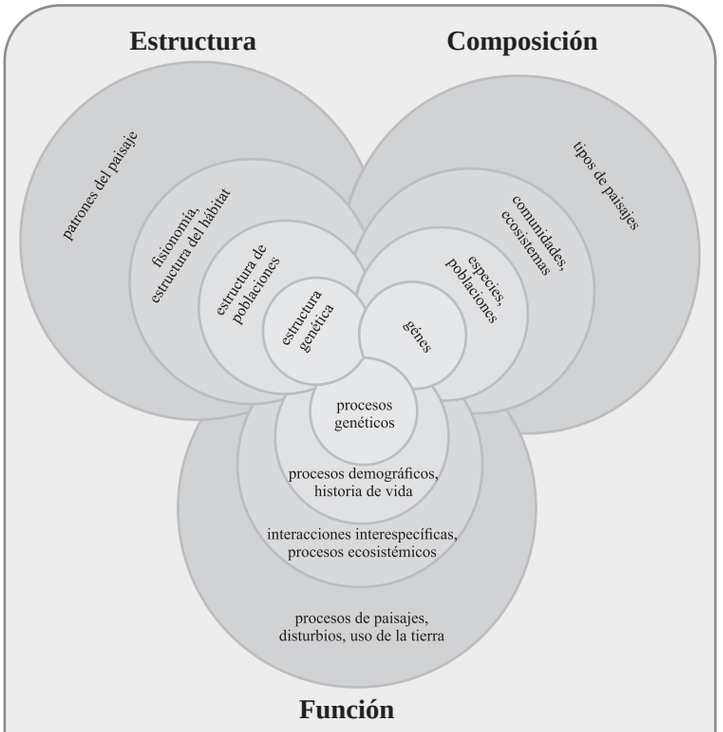
¿Qué es la biodiversidad?

La biodiversidad es un concepto que se popularizó hace poco más de 30 años, con la firma del Convenio de Diversidad Biológica (CBD 1992), el acuerdo internacional más importante para el mantenimiento y la conservación de la biodiversidad. En la literatura científica anterior a los años 80, la diversidad biológica aludía sólo a la diversidad de especies como característica estructural de los ecosistemas (revisar detalles en Núñez et al. 2003). Según la CBD (1992), por diversidad biológica se entiende la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas. Chile firmó la Convención de Biodiversidad en 1994.

La Ley 19300 (Ley sobre bases generales del medio ambiente, de 1994) adoptó una versión más corta pero en la misma dirección que la CBD, indicando que la biodiversidad es "la variabilidad de los organismos vivos, que forman parte de todos los ecosistemas terrestres y acuáticos, incluyendo la diversidad dentro de una misma especie, entre especies y entre ecosistemas". A pesar de esta definición, todavía muchas personas piensan que la biodiversidad es sólo un listado de especies.

Como educadores es muy importante el manejo de una definición más completa y actualizada de biodiversidad, y sus conceptos asociados como ecología y ecosistema. Muy útil resulta la propuesta de Noss (1990), donde se representa la biodiversidad como esferas interconectadas considerando la estructura, la composición y la función, cada una de estas con múltiples niveles de organización en una escala de tiempo y espacio.

La Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES por su nombre en inglés, Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), brinda a los responsables de las políticas evaluaciones científicas objetivas sobre el estado de los conocimientos relativos a la diversidad biológica del planeta, a sus ecosistemas y a las contribuciones que aportan a las personas, así como opciones y medidas para proteger y usar de manera sostenible estos activos naturales vitales. La IPBES presenta completos informes de Evaluación Mundial sobre la Diversidad Biológica y los Servicios de los Ecosistemas, que sirven de apoyo a los tomadores de decisión, entre ellos a los docentes que deciden que contenidos actualizados enseñar. Por ejemplo, las contribuciones que aporta la naturaleza a las personas, una nueva forma de enfocar los servicios ecosistémicos.



Multidimensionalidad de la biodversidad (basado en Noss 1990).

Sugerencia de Guion de Clase: ¿Qué es la biodiversidad?

Objetivo de la clase: a) Comprender el concepto de Biodiversidad, b) Diferenciar entre ecosistema, especie, genes, riqueza taxonómica y funcional, c) Valor la biodiversidad regional para promover su conservación, d) Identificar los servicios ecosistémicos que proporciona la biodiversidad.

Recursos: a) Libro “Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama”, b) Sitios web del árbol de la vida (onezoom.org/life.html) y de colecciones botánica de Chile (herbariodigital.cl/), c) revisar novedades sobre biodiversidad en www.ipbes.net

Estructura de la Clase

Inicio. El docente hace una breve reseña de tema de la clase y describe los objetivos presenta. Los estudiantes observan las fotografías y describen lo que ven (en la pizarra se construye un mapa conceptual a partir de la lluvia de ideas de los participantes).



Desarrollo. El desarrollo debería considerar los siguientes pasos: a) el docente realiza una introducción sobre el concepto de biodiversidad; b) en grupos, seleccionan un ecosistema, dan ejemplos de que es una especie, diversidad entre especies y diversidad funcional; c) los estudiantes identifican algunos servicios ecosistémicos relevantes que proporciona la biodiversidad; d) y, utilizando la información y las imágenes del libro, preparan una infografía (panel/poster) sobre la biodiversidad regional y las estrategias para su conservación.

Cierre. Un representante de cada grupo presenta una reflexión sobre la importancia de preservar la biodiversidad regional y su impacto en el equilibrio ecológico.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 24.2:361-362



Recuadro 24.2 Tecnologías digitales como oportunidad de enriquecer los aprendizajes

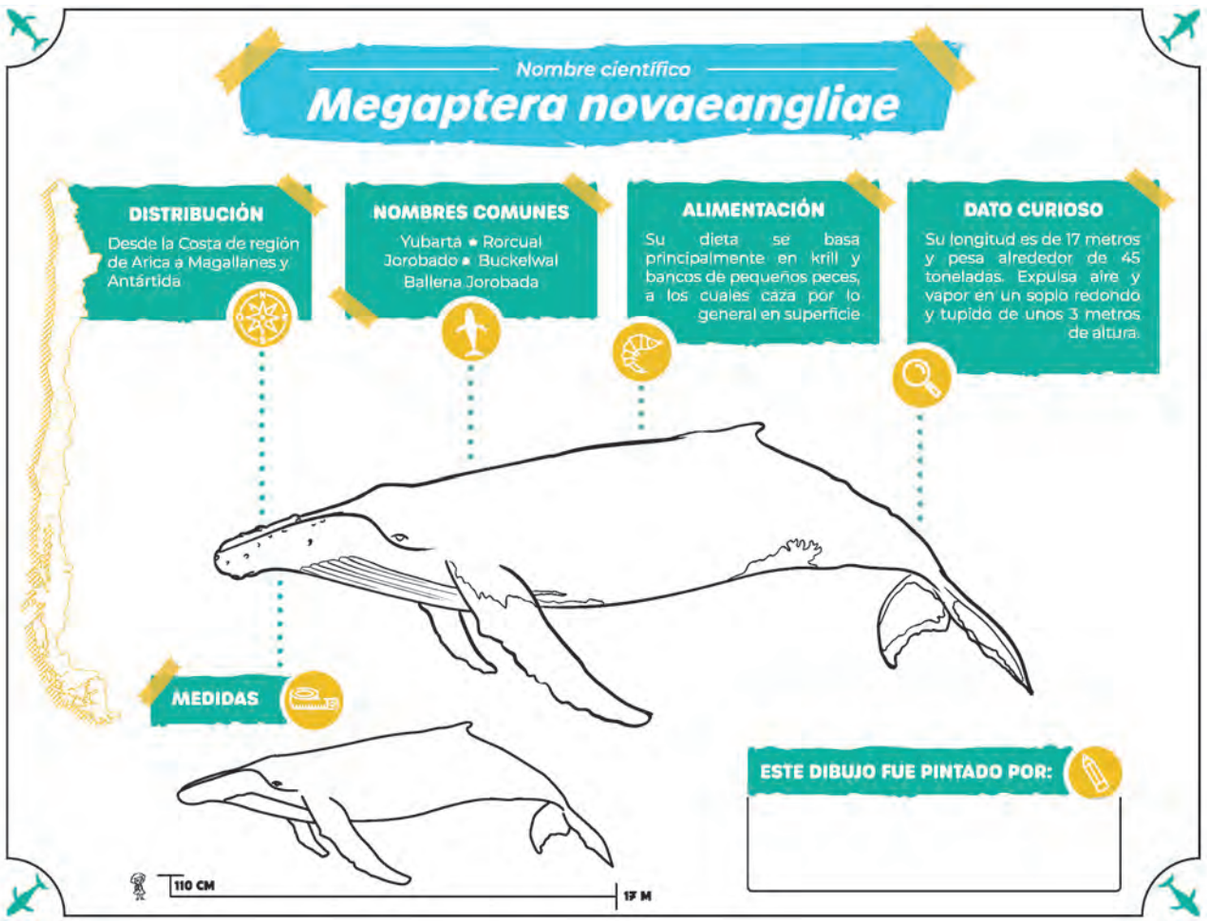
Francisco López-Cortés

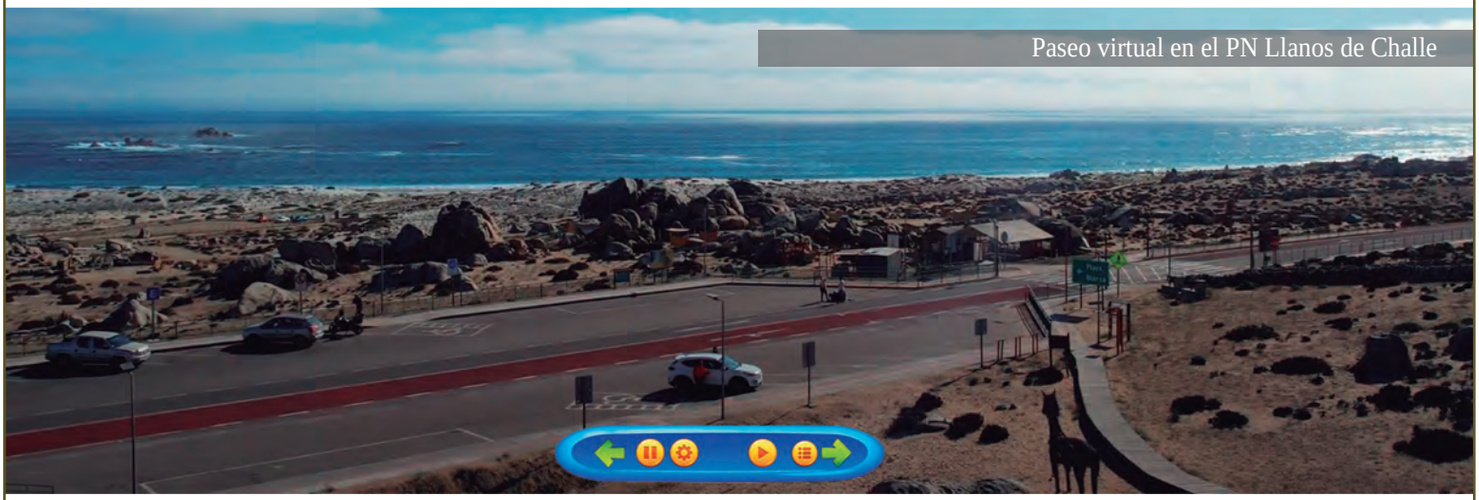
La asignatura de Ciencias Naturales tiene por objeto de estudio la naturaleza y sus diversos fenómenos (seres vivos, sus características y formas de interactuar con el ambiente; la materia, la energía y sus transformaciones; el sistema solar, sus componentes y movimientos; y la tierra y sus diversas dinámicas), para despertar el asombro y la curiosidad natural por conocer el mundo (MINEDUC 2023).

La comprensión de fenómenos del mundo y la exploración de éste pueden ser apoyados con el uso de diversas tecnologías digitales, lo cual ofrece oportunidades para el logro de objetivos de aprendizaje, en este caso del eje de ciencias de la vida, así como objetivos transversales relacionados con las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

Las tecnologías digitales son recomendadas para apoyar los aprendizajes estableciéndose una relación entre distintos tipos de tecnología y los momentos claves de una secuencia como lo son: expresar las ideas propias; recoger datos experimentales; compartir nuevos puntos de vista; recoger la visión experta; consensuar y estructurar ideas (López-Simó et al. 2020). Otra opción es asociar las tecnologías según el gradiente de realidad extendida (Aguayo et al. 2023). Actualmente han tomado relevancia tecnologías como la realidad aumentada y virtual, para las cuales se ha documentado que favorecen el aprendizaje de conceptos científicos, el desarrollo de capacidades espaciales, metavisuales, la motivación por el uso de la tecnología, el interés por el aprendizaje de las ciencias, la colaboración, entre otras (Garzón et al. 2021).

Teniendo esto en consideración, seleccionamos algunos recursos tecnológicos educativos que abordan aspectos específicos de la





Paseo virtual en el PN Llanos de Challe

región de Atacama, aunque al ser escasos, proponemos otros que abordan ámbitos a escala nacional la flora, fauna actual/ extinta, paisajes y patrimonio.

Nos enfocamos en algunos: a) repositorios de imágenes (HerbarioDigital.cl; MHN Concepción, Colección Patricio Sánchez), b) fotomonitoreo (SNASPE), c) libros de actividades, fichas informativas, cuentos, póster (Chile para niños, vacaciones con Ciencia MinCiencia; Yaqupachachile, Plataforma Costera), d) Juego digital (Audacia Desafío Hadal), e) visualizadores de datos y mapas interactivos (Mapas interactivos, Visualizadores y Dashboard de SAG, CONAF; Data Turismo Chile), f) paseos virtuales en 360° submarinos y del desierto florido (En Youtube VR: Biodiversidad VR Chile; Atacama 360; Turismo Virtual Atacama), g) aplicaciones móviles colaborativas (iNaturalist, eBird, DondeLaViste, Neguén), h) aplicaciones móviles de realidad aumentada con marcadores (ChileMio Navega AR; Protejamos Nuestra Fauna Silvestre; Conociendo la Flora y la Fauna con el Abate Molina) y sin marcadores (Insectarium AFIPA; CienciaPública).

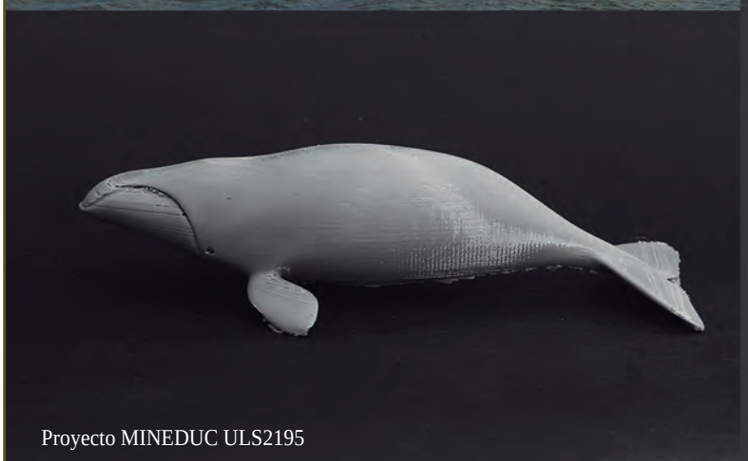
Nuestro laboratorio (LIITEC-ULS) se encuentra desarrollando "FaunaXR", que es una iniciativa que crea de recursos educativos de organismos y sus paisajes, soportadas con fotografías, fichas informativas, modelos digitales 2D, modelos 3D digitales e impresos, paseos virtuales y aplicaciones de realidad aumentada.



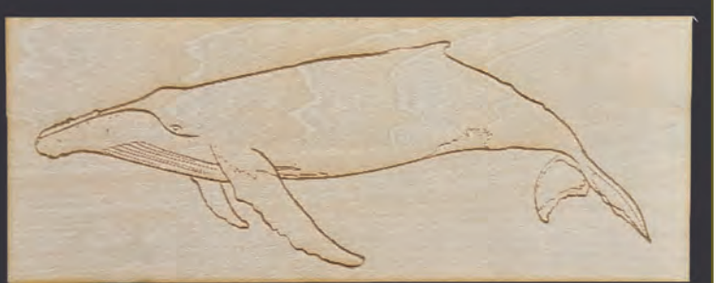
Foto: Mónica Astorga



De la realidad, a los modelos digitales y físicos 3D y 2D



Proyecto MINEDUC ULS2195





Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 25:363-366

Capítulo 25 Enrique Ernesto Gigoux Vega: visionario naturalista atacameño y férreo divulgador de las Ciencias Naturales

Pablo Valladares-Fáundez & Pablo Marcos Espinoza-Concha

Enrique Ernesto Gigoux Vega (Copiapó, julio 18 de 1863–Santiago de Chile, julio 26 de 1951) fue un multifacético amante de la naturaleza: observador, estudioso, inquisitivo e inquieto intelectualmente, al extremo. Desde muy joven recorrió valles, montañas, desiertos y costas de lo que hoy es la región de Atacama para describir en detalle su naturaleza; desde la geología, la paleontología y el clima, hasta su flora y su fauna. Entre 1885 y 1886, realizó una expedición por el corazón del desierto de Atacama, recolectó distintas especies locales. Hoy, sus trabajos nos ofrecen una visión clara de cómo era esta provincia hace un siglo y, luego, poder compararla con su estado actual.

En 1927, viajó a Santiago para incorporarse a la sección Zoología del Museo Nacional de Historia Natural (MNHN), donde comenzó una larga y fructífera labor, publicó más de 75 artículos relevantes en distintas disciplinas. Ahora, presentaremos su producción científica y el aporte que realizó en favor de la difusión y la promoción de las Ciencias Naturales.

Desde lo humano, ofrecemos algunos aspectos destacados de su vida, entre ellos, su arribo al MNHN de Santiago de Chile y su participación en la fundación de la Sociedad Chilena de Historia Natural y de la Academia Chilena de Ciencias Naturales. Ambas instituciones fueron espacios aglutinadores y cohesionadores de científicos locales, muchos de ellos realizaban sus tareas en lugares apartados de los centros del saber y, también, del poder. Verdaderos focos de intercambio de ideas y de especies, donde los interesados en ingresar a ellos debían presentar trabajos originales con evaluación de los miembros titulares.



Enrique Ernesto Gigoux Vega. Crédito: Revista Chilena de Historia Natural, tomo 29, 1925.

Contribución al conocimiento de la biodiversidad atacameña

Con relación a la flora y a la vegetación de la provincia de Copiapó, el tema central para Gigoux Vega fue el ‘fenómeno’ del desierto florido, producido por las esporádicas, pero abundantes precipitaciones, que relató en 1939.

El naturalista entregó información relevante sobre la vegetación permanente de los valles de Copiapó y áreas adyacentes, a modo de ejemplo, Churco (*Oxalis gigantea*), presente entre quebradas, nunca en valles. Mencionó que algunas de sus ramas aparecen con formas de astas de venado; describió un ejemplar anómalo -por su tamaño- de Pata de Guanaco o *Calandrinia discolor* (ahora *Cistanthe grandiflora*), tenía una altura de 1,89 metros. Esta planta se encontraba protegida en una quebrada y floreciendo, con flores de mayor tamaño que lo normal. Junto a ella, dos ejemplares un poco menores, con fuertes colores verdes azulados; finalmente, afirmó que después de ese hallazgo nunca más volvió a ver especímenes tan grandes.

Por otro lado, ofreció un listado de las yerbas presentes en la Quebrada de El León y una profunda descripción de la flora y la vegetación de esa zona. Relató que en 1878 hubo una gran sequía que afectó, profundamente, la agricultura del valle de Copiapó. Sin embargo, al final de dicha época ocurrieron deshielos que permitieron un abundante, pero tardío riego que revivió los árboles frutales.

Otras observaciones interesantes de Gigoux Vega fueron de árboles de Chañar. En 1888, encontró en el valle de Copiapó ejemplares con troncos de 120 centímetros de diámetro y de entre 6 a 7 metros de altura, se les utilizó para la producción de ‘arrope’, pequeña industria con gran potencial. Explicó que el arrope de Chañar poseía características farmacológicas, que se obtiene una pulpa harinosa y una especie de vino.

Además, mencionó otras especies con potencial industrial para el valle de Copiapó: el algarrobo, el espino, la brea, el dadraque, la

totora, el algodón -en Copiapó fue distinguido por su calidad-, el trigo, la cebada, la caña común, el mimbre, la remolacha, la pita o maguey, el girasol, la mostaza, la caña de azúcar y la higuerilla. En 1927, escribió sobre el Pingo pingo *Ephedra andina* (ahora *Ephedra chilensis*), especie con propiedades farmacológicas para las afecciones de las vías urinarias; asimismo, sus frutos jugosos alivian la sed de quienes merodean por los cerros de Atacama; sus raíces y sus troncos fueron el mejor combustible de la provincia, lo ocuparon tanto los conquistadores -se instalaron en 1744- como los aborígenes. En la misma línea, entregó oportunidades de desarrollo agrícola a los habitantes de Atacama. También, escribió sobre los olores y los sabores de las flores y los frutos atacameños.

Con respecto a la fauna atacameña, es conveniente analizar la contribución de Enrique Ernesto Gigoux Vega subdividiéndola en dos áreas: Invertebrados y vertebrados. De los primeros, su aporte se visualiza en sus escritos en Malacología (caracoles), arañas y pectinarias (gusanos poliquetos) de las costas atacameñas; gastrópodos, como *Monoceros crassilabrum* (caracol con diente, = *Acanthina unicornis*) y el *Sigaretus concavus* (caracol papa, = *Sinum cymba*), o el caracol terrestre, *Bulimulus erythrostomus* (= *Bostryx erythrostomus*), y el *Helix aspersa* (caracol de jardín llegado de europa, = *Cornu aspersa*). También sobre el color de las valvas del *Pecten purpuratus* (ostión del norte, = *Argopecten purpuratus*). Además, Gigoux Vega realizó un completo listado de moluscos de las costas de Atacama, cerca de doscientas especies (ver Capítulo 9). Mientras que de artrópodos escribió acerca de arañas y sus venenos; mariposas diurnas y nocturnas de Atacama; y de las *Termes chilensis* (termitas) y sus efectos en las construcciones atacameñas.

En el caso de los vertebrados, se destacan sendos listados de especies que habitaron la provincia de Copiapó, particularmente, aves. Su primer esfuerzo lo realizó en 1924, mencionó especies asociadas a la desembocadura del río Copiapó. Afirmó que el 27 de septiembre de 1919 vio en Caldera, por primera vez, un gorrión, especie que le costó identificar porque no la reconocía como natural de la región. En años posteriores la siguieron registrando de forma más frecuente, hasta que se hizo parte del paisaje cotidiano. Afirmó que antes de llegar a Caldera eran abundantes en Copiapó y los agricultores de la época ya estimaban que se les venía una plaga difícil de manejar. Sostuvo que en dicha región se observaba, abundantemente, todas las rapaces comunes de Chile.

También desarrolló un listado de aves de la Quebrada de El León, al norte de Caldera. Mencionó 56 especies para esa zona, destacó la presencia del águila mora, especie que hoy no se observa. Destacamos que Enrique E. Gigoux monitoreó por 30 años la llegada de golondrinas de mar a Caldera; tal vez sea el primer naturalista chileno que entendió la importancia de observar y de registrar fenómenos ecosistémicos a largo plazo. Chequeó los años de lluvia y cómo incidían en la reproducción de dichas aves.

En 1929, escribió una extensa lista de aves de las Familias Tyrannidae y Furnaridae de la provincia de Atacama, entregó antecedentes ecológicos de las especies y discutió aspectos taxonómicos relevantes. A modo de ejemplo, las separó por Familia, Género y Especie. Al año siguiente, complementó este listado con aves marinas de la provincia de Atacama, alrededor de 30 especies y con aves de otras nueve familias, incluyó sólo rapaces nocturnas.

Ese mismo año (1929) revisó y recuperó una serie de ejemplares tipo de aves descritas por antiguos naturalistas, depositadas en la Sección Zoología del Museo Nacional de Historia Natural, en Santiago de Chile, y reetiquetadas erróneamente por curadores anteriores. En 1931, realizó un nuevo, pero breve listado de aves de la provincia, 21 especies de paseriformes, tórtolas y perdices. Además, en 1933, publicó un nuevo listado de aves costeras de la provincia de Atacama, así como de aves guaneras. También entregó características de aves observadas en algunas de sus travesías por el despoblado (como lo llamó, no desierto) de Atacama, es el caso de *Tinamotis pentlandi* o perdices grandes cordilleranas, también nombradas “pisacas”.

Para el Cerro El Morro de Copiapó mencionó una serie de aves marinas, entre ellas, la golondrina de mar, el peuco de mar, las fardelas y los pingüinos. Entre falconiformes citó halcón peregrino, aguilucho y peuco y, en rapaces nocturnos, tucúquere, lechuza y pequenes. Otras aves que destacó son: picaflores, mineros, jilgueros, tórtolas, perdices, bandurrias, flamencos, garzas y zancudas.

De mamíferos, aportó antecedentes interesantes sobre la base de observaciones propias y de comentarios recibidos por lugareños; a modo de ejemplo, especies que habitaban en el Morro Copiapó, entre ellas, zorro culpeo, zorro chilla, gato montés (supuestamente, Colocolo), chungungo y chinchilla de cola larga, según Gigoux, abundante en dicho cerro, pero, en 1892, cazada y exterminada en 1926. Además, mencionó otros roedores, como *Phyllotis darwini* el ratón orejudo de Darwin) y algunos octodóntidos.

De reptiles, destacó a la culebra de cola corta, la iguana, *Callopistes maculatus*, y la lagartija *Liolaemus nigromaculatus*, así también datos sobre el silbido y los venenos de los ofidios chilenos. Con relación a los anfibios, las menciones son escasas, como por ejemplo para la aguada de Chorrillos, un oasis de vegetación en medio del desierto costero de Caldera donde habitaba el Bufo (ahora del género *Rhinella*) *spinolosus*, en la actualidad extinto en dicho lugar. Su antigua presencia no tiene una explicación concreta, pues la desembocadura del río Copiapó, del cual podrían haber llegado, dista a varios kilómetros. Por otro lado, sintetiza de forma sucinta las leyendas generadas en el norte de Chile con estos batracios. También realizó algunas observaciones en peces marinos extraídos en las costas atacameñas y analizó la situación de la pesca en la región.

Con visión de futuro, previó el descalabro ambiental que Chile podría experimentar; escribió sobre la extinción de las especies; interpretó correctamente los cambios que había comenzado a visualizar en torno a la caza indiscriminada de fauna, en particular, del puma, chinchilla y guanaco; también, del cambio del paisaje producto de la quema de vegetación y el uso del suelo agrícola.

Contribución en la divulgación de las Ciencias Naturales

Cuando Byron Gigoux James, hijo de Enrique Ernesto Gigoux Vega, fue nombrado director del diario Las Últimas Noticias invitó a su padre a integrarse como columnista del medio. Hasta ese momento Gigoux Vega había publicado la mayoría de sus obras

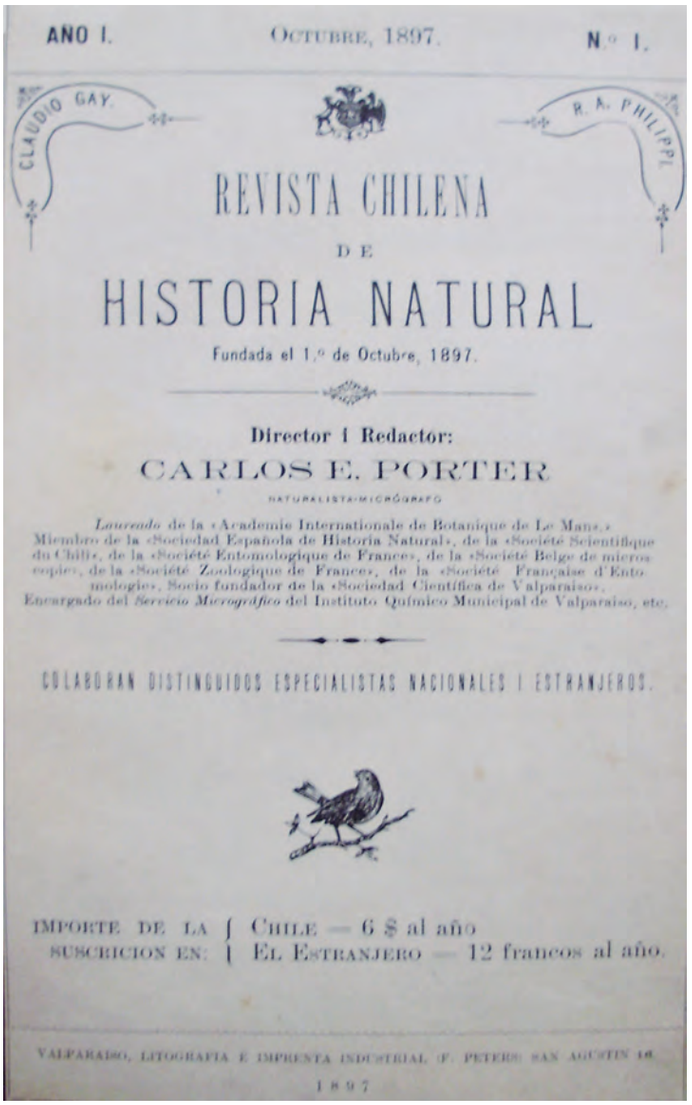


Carlos Emilio Porter Mosso. Crédito: Colección Museo de Historia Natural de Valparaíso

en la Revista Chilena de Historia Natural, creada en Valparaíso por el naturalista Carlos Emilio Porter Mosso, el primer número apareció el 1 de octubre de 1897. Gigoux Vega escribió, en 1898, "Lo que viven sin comer algunos animales". Luego de producir 13 artículos para dicha revista, en 1926, apareció en la Revista Universitaria -dependiente de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) y órgano oficial de la reciente creada Sociedad Chilena de Historia Natural- El *Mixini Dombeyi* (Gigoux 1926), pez agnato primitivo sin mandíbula conocido como anguila babosa del género *Eptatretus* (ver Capítulo 13).

El naturalista también aportó al Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, donde escribió Contribución a la ornitología chilena (Gigoux 1929a). El 7 de septiembre del mismo año, publicó en el diario Las Últimas Noticias: Ferozmente perseguido por los hombres fue extinguido hace ya muchos años el *Alca impennis*, hermoso pingüino que vivía en aguas septentrionales (Gigoux 1929b). Con un lenguaje sencillo y coloquial, el naturalista ofreció temas de flora y fauna chilenas y extranjeras, textos complementados con dibujos de las especies. Produjo alrededor de 865 artículos de difusión científica, entre ellos, sobre la Chinchilla y su estado de conservación. Habló de los más diversos temas de las Ciencias Naturales: aves, marsupiales, grandes reptiles actuales, dinosaurios, moluscos, tiburones, rayas, peces eléctricos, vampiros, ornitorrinco y ballenas, entre otros, todos apoyados con ilustraciones. Su último trabajo aparecido en este medio fue el 29 de julio de 1944, "Los Bengalis", gatos de raza doméstica (Gigoux 1944). Sin duda alguna, la divulgación científica realizada por Enrique E. Gigoux estimuló a niños y jóvenes de la época a amar la naturaleza y, gracias a ello, a generar un cambio cultural en pos del cuidado ambiental.

A modo de síntesis guiadora para trabajos posteriores, la doctora


AÑO I. OCTUBRE, 1897. N.° 1.

CLAUDIO GAY. R. A. PHILIPPI.

REVISTA CHILENA

DE

HISTORIA NATURAL

Fundada el 1.° de Octubre, 1897.

Director i Redactor:

CARLOS E. PORTER

NATURALISTA-MICRÓGRAFO

Laureado de la «Academie Internationale de Botanique de Le Mans.»
Miembro de la «Sociedad Española de Historia Natural», de la «Société Scientifique du Chili», de la «Société Entomologique de France», de la «Société Belge de microscopie», de la «Société Zoologique de France», de la «Société Française d'Entomologie», Socio fundador de la «Sociedad Científica de Valparaíso».
Encargado del *Servicio Micrográfico* del Instituto Químico Municipal de Valparaíso, etc.

COLABORAN DISTINGUIDOS ESPECIALISTAS NACIONALES I ESTRANJEROS.

IMPORTE DE LA SUSCRICION EN: { CHILE — 6 $ al año / EL ESTRANJERO — 12 francos al año.

VALPARAISO, LITOGRAFIA E IMPRENTA INDUSTRIAL, F. PETERS, SAN AGUSTIN 16.

1897

Portada Revista Chilena de Historia Natural. Año 1, Número 1, octubre de 1897. Agradecimiento: Sociedad de Biología de Chile.

Grete Mostny Glaser, exdirectora del Museo Nacional de Historia Natural, en su calidad de editora de Biobibliografía, sistematizó e incluyó los 865 trabajos del naturalista Enrique Ernesto Gigoux Vega, desde el numeral 931 hasta el 1.796 (Mostny Glaser 1980).

A su vez, en 1935, el Dr. Carlos Emilio Porter Mosso -referente y mayor compilador del movimiento naturalista chileno- mencionó que sería muy buena idea (…) "*hacer una reimpresión, en forma de libro, de tan notables trabajos de vulgarización y regalarlos en esa forma manual a los colegios y bibliotecas populares. No sería raro que algún día se haga esto por algún editor"* (Porter 1935).

Antes, en 1925, Porter Mosso incluyó a Enrique E. Gigoux en la sección Galería de los Naturalistas de Chile, espacio dedicado a reconocer, difundir y promover la labor de los científicos más destacados de la plaza. "Es miembro de la Soc. Científica de Chile y uno de los 120 colaboradores de nuestra Revista Chilena de Historia Natural. Ha formado un magnífico gabinete de Historia Natural de cuyo contenido damos una idea en otra sección de esta Revista. (…) En octubre próximo, según hemos sabido, se

trasladará a Santiago con su biblioteca y excelentes colecciones" (Porter 1925).

Aspectos personales del naturalista Enrique Ernesto Gigoux Vega

Este insigne naturalista es atacameño de nacimiento; recibió su educación en la escuela "Bruno Zavala", en el "Colegio Católico de Atacama" y en el liceo de su ciudad. En 1915, los relatos -en prosa- sobre su expedición al desierto de Atacama fueron premiados con la "medalla de plata" en el Concurso Swinglehurst de Valparaíso.

Al llegar a Santiago, Enrique Ernesto Gigoux Vega se incorporó a la sección Zoología del Museo Nacional de Historia Natural, área que dirigió en 1928. Posteriormente, a la muerte de su amigo Ricardo Eduardo Latcham Cartwright, en 1943, fue elegido para guiar los destinos del MNHN, labor que realizó hasta 1948.

También se le reconoce como uno de los miembros fundadores de la Academia Chilena de Ciencias Naturales, creada gracias a la iniciativa del Monseñor Carlos Casanueva Opazo (Valparaíso, septiembre 21 de 1874- Santiago de Chile, mayo 31 de 1957), rector de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Casanueva Opazo invitó, el 8 de mayo de 1929, a un grupo de intelectuales a fundar una Academia Científica de Ciencias Naturales; posteriormente, en mayo 29 de 1929, amplió su convocatoria a un grupo mayor de naturalistas; entre ellos, Carlos Emilio Porter Mosso, Aureliano Oyarzún Navarro, Arturo Fontecilla Larraín, Ricardo Eduardo Latcham Cartwright, John A. Walffsohn, Rafael Barros Valenzuela y Enrique Ernesto Gigoux Vega.



Enrique Ernesto Gigoux Vega, sin fecha. Crédito: Museo Nacional de Historia Natural, Chile, otorgado con autorización.

Posteriormente, se aprobaron los estatutos y se conformó un consejo académico que encabezó en calidad de director el Dr. Aureliano Oyarzún Navarro y, como director vitalicio, el Dr. Carlos Porter Mosso. Casanueva Opazo puso a disposición de la nueva Academia Científica la infraestructura de la Pontificia Universidad Católica de Chile y solicitó nombres de libros para conformar su biblioteca. El Dr. Carlos Porter propuso que la revista oficial de la entidad fuera la Revista Chilena de Historia Natural, lo que fue aceptado. En la siguiente sesión se dejó como Académicos Honorarios, entre otros, a José Toribio Medina, de Chile, y a Santiago Ramón y Cajal, de España. Se leyó trabajos, como el de Arturo Fontecilla Larraín sobre la deriva de los continentes y su influencia en los seres vivos. A su vez, Enrique Ernesto Gigoux Vega aportó con "*El Maxime Dombeyi*", "La *Ephedra andina*", "El *Latrodectus formidabilis* y el veneno de las arañas", entre otros. La participación de Gigoux Vega en esta academia científica se coronó al ser elegido presidente para el período comprendido entre junio de 1935 a junio de 1938. Además, fue socio fundador de la Sociedad Chilena de Historia Natural y, luego, en 1930, su presidente.

Por último, el delicado estado de salud llevó a Enrique Ernesto Gigoux Vega a retirarse del ámbito científico; primero, por una hemiplejia que lo afectó, en 1946, y que, en 1948, lo imposibilitó para continuar con sus altas funciones. Se acogió a jubilación y dejó la dirección del Museo Nacional de Historia Natural. No obstante, mantuvo su integridad intelectual intacta hasta el último suspiro de vida. Era admirable oírlo hablar de su tierra natal, Copiapó (Fuenzalida 1951).

El naturalista copiapino Enrique Ernesto Gigoux Vega falleció en Santiago de Chile el 26 de julio de 1951, recién había cumplido 88 años.

Unidad IV

Anexo 1 y Bibliografía



Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 369-380

Anexo 1 del Capítulo 20 Estado de conservación de la biota de la región de Atacama

Francisco A. Squeo, Reinaldo Avilés, Jaime Pizarro-Araya, Laura Sánchez Jardón & Myriam Ramírez-Herranz

Listado de taxa de la región de Atacama clasificados en categorías de conservación según el Reglamento de Clasificación de Especies del Ministerio de Medio Ambiente. Se muestran los resultados hasta el proceso 18º de clasificación, publicado en el Diario Oficial el 6 de octubre 2023. Para cada taxa se muestra su categoría de conservación, el criterio aplicado (para categorías CR, EN y VU, ver explicación al final de este Anexo), el número del proceso de clasificación del RCA y el Decreto Supremo (DS) en que la especie fue mencionada. Categoría de conservación: EX = Extinta, CR = En peligro crítico, EN = En peligro, VU = Vulnerable, NT = Casi amenazada, LC = Preocupación menor, DD = Datos insuficientes.

REINO Plantae

División Pteridophyta
Clase Filicopsida
Orden Filicales
Woodsiaceae
Cystopteris fragilis LC - RCE 8, DS 19/2012 MMA
Orden Polypodiales
Adiantaceae
Cheilanthes mollis LC - RCE 11, DS 38/2015 MMA
Notholaena sulphurea VU D2 - RCE10, DS 52/2014 MMA
Pellaea myrtillifolia NT - RCE 9, DS 13/2013 MMA
Polypodiaceae
Synammia espinosae VU B2ab(iii) - RCE8, DS 19/2012 MMA
Clase Sphenopsida
Orden Equisetales
Equisetaceae
Equisetum giganteum LC - RCE 9, DS 13/2013 MMA
División Magnoliophyta
Clase Liliopsida
Orden Asparagales
Alliaceae
Leucocoryne dimorphopetala LC - RCE 8, DS 19/2012 MMA
Nothoscordum serenense EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE10, DS 52/2014 MMA
Amaryllidaceae
Rhodophiala laeta NT - RCE 7, DS 42/2011 MMA
Rhodophiala pratensis VU B2ab(iii) - RCE8, DS 19/2012 MMA
Tecophilaeaceae
Conanthera urceolata EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE8, DS 19/2012 MMA
Orden Bromeliales
Bromeliaceae
Deuterocohnia chrysantha VU B1ab(iii) - RCE3, DS 51/2008 MINSEGPRES
Puya boliviensis VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE6, DS 41/2011 MMA
Tillandsia geissei NT - RCE 6, DS 41/2011 MMA

Orden Iridales
Iridaceae
Tigridia philippiana VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE6, DS 41/2011 MMA
Orden Liliales
Alstroemeriaceae
Alstroemeria andina LC - RCE 9, DS 13/2013 MMA
Alstroemeria diluta LC - RCE 9, DS 13/2013 MMA
Alstroemeria graminea VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE6, DS 41/2011 MMA
Alstroemeria kingii NT - RCE 5, DS 33/2011 MMA
Alstroemeria philippii NT - RCE 8, DS 19/2012 MMA
Alstroemeria polyphylla VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA
Alstroemeria schizanthoides NT - RCE 9, DS 13/2013 MMA
Alstroemeria werdermannii VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE9, DS 13/2013 MMA
Leontochir ovallei EN B1ab(iii)+2ab(iii,v) - RCE2, DS 50/2008 MINSEGPRES
Orden Poales
Cyperaceae
Scirpus trachycaulos EX - RCE 6, DS 41/2011 MMA
Poaceae
Eragrostis pycnantha EN B1ab(iii) - RCE6, DS 41/2011 MMA
Clase Magnoliopsida
Orden Alismatales
Zosteraceae
Zostera chilensis EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE9 y 17, DS 44/2021 MMA
Orden Apiales
Apiaceae
Asteriscium vidalii LC - RCE 8, DS 19/2012 MMA
Azorella compacta VU A2d - RCE3, DS 51/2008 MINSEGPRES
Laretia acaulis LC - RCE 7, DS 42/2011 MMA
Apiaceae
Eryngium macracanthum VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA
Orden Asterales
Asteraceae
Aphyllocladus denticulatus NT - RCE 6, DS 41/2011 MMA
Gutierrezia neaeana EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE6, DS 41/2011 MMA
Gutierrezia taltalensis VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE7, DS 42/2011 MMA
Gypothamnium pinifolium NT - RCE 7, DS 42/2011 MMA
Leucheria polyclados EN B1ab(iii) - RCE6, DS 41/2011 MMA
Oxyphyllum ulicinum EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE12, DS 16/2016 MMA
Plectocephalus formosus EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE18, DS 10/2023 MMA
Plectocephalus gayanus VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE17, DS 44/2021 MMA
Senecio balsamicus EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE6, DS 41/2011 MMA
Senecio ricardii VU D2 - RCE6, DS 41/2011 MMA
Asteraceae
Conyza copiapina EX - RCE 5, DS 33/2011 MMA
Senecio microtis VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA
Orden Brassicales
Brassicaceae
Polypsecadium zoellneri VU D2 - RCE6, DS 41/2011 MMA
Brassicaceae
Ivania cremnophila EX - RCE 5, DS 33/2011 MMA
Menonvillea macrocarpa EX - RCE 5, DS 33/2011 MMA
Menonvillea minima EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA
Weberbauera lagunae EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA

Orden Caryophyllales

Aizoaceae

Tetragonia pedunculata NT - RCE 5, DS 33/2011 MMA

Cactaceae

Copiapoa calderana VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE9, DS 13/2013 MMA
Copiapoa cinerea NT - RCE 5, DS 33/2011 MMA
Copiapoa coquimbana NT - RCE 6, DS 41/2011 MMA
Copiapoa dealbata VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA
Copiapoa echinata NT - RCE 8, DS 19/2012 MMA
Copiapoa echinoides NT - RCE 8, DS 19/2012 MMA
Copiapoa fiedleriana EN B1ab(iii,v)+2ab(iii,v) - RCE5, DS 33/2011 MMA
Copiapoa grandiflora EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE8, DS 19/2012 MMA
Copiapoa humilis VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE8, DS 19/2012 MMA
Copiapoa hypogaea EN B1ab(iii,v)+2ab(iii,v) - RCE2, DS 50/2008 MINSEGPRES
Copiapoa laui EN B1ab(iii,v)+2ab(iii,v) - RCE2, DS 50/2008 MINSEGPRES
Copiapoa longistaminea VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE9, DS 13/2013 MMA
Copiapoa marginata VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE8, DS 19/2012 MMA
Copiapoa megarhiza VU B1ab(iii) - RCE2, DS 50/2008 MINSEGPRES
Copiapoa montana EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE7, DS 42/2011 MMA
Copiapoa serpentisulcata EN B1ab(iii,iv)+2ab(iii,iv) - RCE5, DS 33/2011 MMA
Cumulopuntia sphaerica LC - RCE 8, DS 19/2012 MMA
Cylindropuntia tunicata LC - RCE 8, DS 19/2012 MMA
Eriosyce aurata VU A2cd - RCE9, DS 13/2013 MMA
Eriosyce crispa VU B1ab(iii,iv)+2ab(iii,iv) - RCE5, DS 33/2011 MMA
Eriosyce heinrichiana LC - RCE 6, DS 41/2011 MMA
Eriosyce megacarpa EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE8, DS 19/2012 MMA
Eriosyce napina NT - RCE 8, DS 19/2012 MMA
Eriosyce rodentiophila VU B1ab(iii,v)+2ab(iii,v) - RCE5, DS 33/2011 MMA
Eriosyce sociabilis CR C2a(i) - RCE5, DS 33/2011 MMA
Eulychnia acida LC - RCE 6, DS 41/2011 MMA
Eulychnia breviflora LC - RCE 8, DS 19/2012 MMA
Eulychnia iquiquensis VU B1ab(v)+2ab(v) - RCE2, DS 50/2008 MINSEGPRES
Eulychnia saint-pieana LC - RCE 9, DS 13/2013 MMA
Maihueniopsis crassispina EN B1ab(iii)+2ab(iii); D - RCE2, DS 50/2008 MINSEGPRES
Maihueniopsis domeykoensis EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE2, DS 50/2008 MINSEGPRES
Maihueniopsis glomerata NT - RCE 9, DS 13/2013 MMA
Miqueliopuntia miquelii LC - RCE 9, DS 13/2013 MMA
Neoporteria villosa VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA
Pyrrhocactus confinis VU A2ac; B1ab(i,ii,iii,iv,v)+2ab(i,ii,iii,iv,v) - RCE5, DS 33/2011 MMA
Pyrrhocactus eriosyzoides VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE9, DS 13/2013 MMA
Pyrrhocactus heinrichianus NT - RCE 9, DS 13/2013 MMA
Pyrrhocactus intermedius VU D2 - RCE8, DS 19/2012 MMA
Pyrrhocactus taltalensis VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE9, DS 13/2013 MMA
*Thelocephal*a odieri VU B1ab(iii,v)+2ab(iii,v) - RCE9, DS 13/2013 MMA
Trichocereus chiloensis NT - RCE 6, DS 41/2011 MMA
Trichocereus coquimbanus NT - RCE 6, DS 41/2011 MMA
Trichocereus deserticola VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE8, DS 19/2012 MMA

Caryophyllaceae

Microphyes robusta EN B1ab(iii) - RCE6, DS 41/2011 MMA

Chenopodiaceae

Atriplex vallenarensis EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE14, DS 79/2018 MMA
Suaeda multiflora VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA

Portulacaceae

Cistanthe stricta EX - RCE 6, DS 41/2011 MMA

Orden Dipsacales
- Valerianaceae
  - *Valeriana senecioides* EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA

Orden Fabales
- Fabaceae
  - *Adesmia argyrophylla* VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE6, DS 41/2011 MMA
  - *Adesmia godoyae* VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA
  - *Adesmia micrantha* VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE6, DS 41/2011 MMA
  - *Adesmia odontophylla* EX - RCE 6, DS 41/2011 MMA
  - *Astragalus valerianensis* EX - RCE 6, DS 41/2011 MMA
  - *Geoffroea decorticans* VU [Rebajada desde EN A2c] - RCE17, DS 44/2021 MMA
  - *Neltuma chilensis* VU A2cd - RCE9, DS 13/2013 MMA
  - *Neltuma flexuosa* VU [Rebajada desde EN C2a(i)] - RCE9, DS 13/2013 MMA
  - *Prosopis reptans* (=*Strombocarpa strombulifera)* EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE9, DS 13/2013 MMA
  - *Strombocarpa strombulifera* LC - RCE 9, DS 13/2013 MMA
- Polygalaceae
  - *Polygala solieri* VU D2 - RCE6, DS 41/2011 MMA

Orden Lamiales
- Bignoniaceae
  - *Argylia bifrons* EN B1ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA
- Boraginaceae
  - *Cordia decandra* NT - RCE 7, DS 42/2011 MMA
  - *Cryptantha haplostachya* NT - RCE 6, DS 41/2011 MMA
  - *Heliotropium filifolium* VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA
  - *Heliotropium glutinosum* VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA
  - *Heliotropium sclerocarpum* LC - RCE 6, DS 41/2011 MMA
- Lamiaceae
  - *Salvia tubiflora* VU B1ab(iii)+2ab(iii); D2 - RCE9, DS 13/2013 MMA
- Phrymaceae
  - *Erythranthe depressa* LC - RCE 17, DS 44/2021 MMA

Orden Malvales
- Malvaceae
  - *Cristaria calderana* VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE5, DS 33/2011 MMA

Orden Oxalidales
- Oxalidaceae
  - *Oxalis leucophylla* EN B1ab(iii) - RCE6, DS 41/2011 MMA
  - *Oxalis novemfoliolata* CR B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE12, DS 16/2016 MMA

Orden Polygalales
- Krameriaceae
  - *Krameria cistoidea* LC - RCE 7, DS 42/2011 MMA

Orden Polygonales
- Polygonaceae
  - *Chorizanthe mieresii* VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE16, DS 16/2020 MMA

Orden Ranunculales
- Papaveraceae
  - *Argemone crassifolia* EX - RCE 6, DS 41/2011 MMA

Orden Solanales
- Nolanaceae
  - *Nolana stenophylla* NT - RCE 7, DS 42/2011 MMA
- Solanaceae
  - *Schizanthus laetus* NT [Cerca de cumplir VU B1ab(iii)+2ab(iii)] - RCE18, DS 10/2023 MMA
  - *Solanum brachyantherum* LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA
  - *Solanum herba-bona* VU D2 - RCE6, DS 41/2011 MMA
  - *Solanum pimpinellifolium* VU D1+2 - RCE6, DS 41/2011 MMA

Orden Violales
Caricaceae
Carica chilensis VU A2cd - RCE3, DS 51/2008 MINSEGPRES
Violaceae
Viola gelida EN A4a; B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE15, DS 23/2019 MMA
Viola godoyae NT - RCE 6, DS 41/2011 MMA
Orden Zygophyllales
Zygophyllaceae
Pintoa chilensis EN A2c - RCE5, DS 33/2011 MMA

REINO Fungi

División Ascomycota
Clase Arthoniomycetes
Orden Arthoniales
Chrysotrichaceae
Chrysothrix pavonii LC - RCE 14, DS 79/2018 MMA
Roccellaceae
Roccellina cerebriformis LC - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Roccellina mollis VU B2ab(iii) - RCE17, DS 44/2021 MMA
Roccellinastrum spongoideum VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE16, DS 16/2020 MMA
Clase Lecanoromycetes
Orden Acarosporales
Acarosporaceae
Acarospora altoandina DD - RCE 13, DS 06/2017 MMA
Acarospora rhabarbarina DD - RCE 13, DS 06/2017 MMA
Orden Lecanorales
Lecanoraceae
Rhizoplaca chrysoleuca LC - RCE 17, DS 44/2021 MMA
Parmeliaceae
Flavoparmelia caperata LC - RCE 14, DS 79/2018 MMA
Punctelia reddenda LC - RCE 17, DS 44/2021 MMA
Orden Peltigerales
Lobariaceae
Pseudocyphellaria crocata DD - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Pseudocyphellaria hirsuta DD - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Orden Teloschistales
Teloschistaceae
Caloplaca chilensis LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA
Follmannia orthoclada LC - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Polycauliona ascendens LC - RCE 14, DS 79/2018 MMA
Polycauliona kaernefeltii LC - RCE 14, DS 79/2018 MMA
Teloschistes chrysophthalmus LC - RCE 14, DS 79/2018 MMA
Xanthomendoza mendozae LC - RCE 17, DS 44/2021 MMA
División Basidiomycota
Clase Agaricomycetes
Orden Agaricales
Agaricaceae
Battarrea phalloides LC - RCE18, DS 10/2023 MMA
Chlamydopus meyenianus LC - RCE 16, DS 16/2020 MMA
Montagnea arenaria LC - RCE 17, DS 44/2021 MMA
Hygrophoraceae
Cora glabrata DD - RCE 17, DS 44/2021 MMA

REINO Animalia

Phylum Arthropoda

Clase Arachnida

Orden Araneae

Zodariidae

Cyrioctea islachanaral NT - RCE 17, DS 44/2021 MMA

Orden Scorpiones

Bothriuridae

Brachistosternus cepedai EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE13, DS 06/2017 MMA

Clase Insecta

Orden Coleoptera

Buprestidae

Ectinogonia chalyboeiventris VU B2ab(iii) - RCE17, DS 44/2021 MMA

Cerambycidae

Acalodegma vidali EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE13, DS 06/2017 MMA

Tenebrionidae

Entomochilus wilsoni CR B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE17, DS 44/2021 MMA

Nycterinus mannerheimi EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE17, DS 44/2021 MMA

Praocis insularis EX - RCE 17, DS 44/2021 MMA

Praocis medvedevi CR B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE11, DS 38/2015 MMA

Scotobius planicosta EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE11, DS 38/2015 MMA

Orden Diptera

Mydidae

Midacritus stuardoanus NT - RCE 13, DS 06/2017 MMA

Midacritus wagenknechti DD - RCE 13, DS 06/2017 MMA

Mitrodetus dimidiatus LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA

Mitrodetus leucotrichus VU B1ab(iii)+2ab(III) - RCE13, DS 06/2017 MMA

Mitrodetus microglossa LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA

Mitrodetus nanoglossa VU B1ab(iii)+2ab(III) - RCE13, DS 06/2017 MMA

Mitrodetus vestitus LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA

Orden Hymenoptera

Colletidae

Caupolicana fulvicollis NT - RCE 17, DS 44/2021 MMA

Orden Odonata

Austropetaliidae

Phyllopetalia apicalis LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA

Orden Orthoptera

Tristiridae

Elasmoderus minutus VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE17, DS 44/2021 MMA

Clase Malacostraca

Orden Decapoda

Palaemonidae

Cryphiops caementarius VU [Rebajada desde EN A4cd] - RCE10, DS 52/2014 MMA

Phylum Chordata

Clase Actinopterygii

Orden Atheriniformes

Atherinopsidae

Basilichthys microlepidotus VU A2bce; B2ab(iii) - RCE3, DS 51/2008 MINSEGPRES

Odontesthes regia LC - RCE 10, DS 52/2014 MMA

Orden Characiformes

Characidae

Cheirodon pisciculus VU B2ab(iii) - RCE11, DS 38/2015 MMA

Orden Gasterosteiformes
Syngnathidae
Leptonotus blainvillianus LC - RCE 10, DS 52/2014 MMA
Orden Mugiliformes
Mugilidae
Mugil cephalus LC - RCE 10, DS 52/2014 MMA
Orden Osmeriformes
Galaxiidae
Galaxias maculatus VU A2cde - RCE8, DS 19/2012 MMA
Orden Siluriformes
Trichomycteridae
Trichomycterus areolatus VU A2be - RCE3, DS 51/2008 MINSEGPRES

Clase Chondrichthyes

Orden Carcharhiniformes
Triakidae
Galeorhinus galeus CR A2bd - RCE18, DS 10/2023 MMA
Mustelus mento CR A2bd - RCE18, DS 10/2023 MMA
Mustelus whitneyi CR A2bd - RCE18, DS 10/2023 MMA
Scyliorhinidae
Bythaelurus canescens VU A2cd - RCE18, DS 10/2023 MMA
Orden Lamniformes
Alopiidae
Alopias superciliosus VU A2bd - RCE18, DS 10/2023 MMA
Alopias vulpinus VU A2bd - RCE18, DS 10/2023 MMA
Cetorhinidae
Cetorhinus maximus VU A2bd - RCE18, DS 10/2023 MMA
Orden Rajiformes
Rajidae
Bathyraja griseocauda DD - RCE18, DS 10/2023 MMA
Orden Squatiniformes
Squatinidae
Squatina armata CR A2bd+3d - RCE18, DS 10/2023 MMA

Clase Amphibia

Orden Anura
Bufonidae
Rhinella atacamensis VU A2ce - RCE6, DS 41/2011 MMA
Rhinella spinulosa LC - RCE 6, DS 41/2011 MMA
Calyptocephalellidae
Calyptocephalella gayi VU A2ad - RCE2, DS 50/2008 MINSEGPRES
Leiuperidae
Pleurodema thaul NT - RCE 6, DS 41/2011 MMA

Clase Reptilia

Orden Squamata
Colubridae
Philodryas chamissonis LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Tachymenis chilensis LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Liolaemidae
Liolaemus atacamensis LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Liolaemus fuscus LC - RCE 8, DS 19/2012 MMA
Liolaemus isabelae VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE10, DS 52/2014 MMA
Liolaemus juanortizi VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE12, DS 16/2016 MMA
Liolaemus lorenzmuelleri VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE12, DS 16/2016 MMA
Liolaemus manueli EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE12, DS 16/2016 MMA
Liolaemus nigrocoeruleus EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE16, DS 16/2020 MMA
Liolaemus nigromaculatus NT - RCE 12, DS 16/2016 MMA

Liolaemus nitidus NT - RCE 8, DS 19/2012 MMA
LIolaemus patriciaiturrae VU A2a; B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE12, DS 5/1998 MINAGRI
Liolaemus platei LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Liolaemus robertoi VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE12, DS 16/2016 MMA
Liolaemus rosenmanni VU B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE10, DS 52/2014 MMA
Liolaemus silvai NT - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Liolaemus velosoi NT - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Liolaemus zapallarensis LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Phyllodactylidae
Garthia gaudichaudii LC - RCE 10, DS 52/2014 MMA
Teiidae
Callopistes maculatus NT - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Tropiduridae
Microlophus atacamensis LC - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Orden Testudines
Cheloniidae
Caretta caretta CR A2b - RCE13, DS 06/2017 MMA
Chelonia mydas EN A2bd - RCE12, DS 16/2016 MMA
Lepidochelys olivacea VU A2b - RCE13, DS 06/2017 MMA
Dermochelydae
Dermochelys coriacea CR A2bd+4db - RCE12, DS 16/2016 MMA

Clase Aves

Orden Accipitriformes
Accipitridae
Buteo albigula NT [Rebajada desde VU D1] - RCE16, DS 16/2020 MMA
Pandionidae
Pandion haliaetus LC - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Orden Anseriformes
Anatidae
Anas bahamensis LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Chloephaga melanoptera LC - RCE 16, DS 16/2020 MMA
Coscoroba coscoroba LC - RCE 16, DS 16/2020 MMA
Cygnus melancoryphus LC - RCE 16, DS 16/2020 MMA
Merganetta armata NT [Rebajada desde VU D2] - RCE11, DS 38/2015 MMA
Orden Cathartiformes
Cathartidae
Vultur gryphus NT - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Orden Charadriiformes
Charadriidae
Charadrius collaris NT [Rebajada desde VU C2a(ii)] - RCE17, DS 44/2021 MMA
Charadrius modestus LC - RCE 17, DS 44/2021 MMA
Charadrius nivosus VU [Rebajada desde EN C2a(ii)] - RCE15, DS 23/2019 MMA
Oreopholus ruficollis NT - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Phegornis mitchellii NT [Rebajada desde VU C2a(ii)] - RCE15, DS 23/2019 MMA
Haematopodidae
Haematopus ater LC - RCE18, DS 10/2023 MMA
Haematopus palliatus NT - RCE 16, DS 16/2020 MMA
Laridae
Chroicocephalus serranus LC - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Larosterna inca NT - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Leucophaeus modestus VU B2ab(iii) - RCE16, DS 16/2020 MMA
Leucophaeus pipixcan LC - RCE 16, DS 16/2020 MMA
Thalasseus elegans NT - RCE 16, DS 16/2020 MMA

Recurvirostridae
Recurvirostra andina VU [Rebajada desde EN C2a(ii)] - RCE17, DS 44/2021 MMA
Scolopacidae
Bartramia longicauda LC - RCE 17, DS 44/2021 MMA
Calidris canutus EN A2ab - RCE2, DS 50/2008 MINSEGPRES
Gallinago andina NT [Rebajada desde VU B2ab(iii)] - RCE18, DS 10/2023 MMA
Gallinago paraguaiae LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Limosa haemastica VU A2c - RCE18, DS 10/2023 MMA
Numenius borealis CR D - RCE9, DS 13/2013 MMA
Numenius phaeopus LC - RCE 17, DS 44/2021 MMA
Tringa flavipes LC - RCE 17, DS 44/2021 MMA
Thinocoridae
Attagis gayi LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Orden Columbiformes
Columbidae
Patagioenas araucana LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Orden Falconiformes
Falconidae
Falco peregrinus LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA
Orden Gruiformes
Gruidae
Laterallus jamaicensis EN B2ab(iii) - RCE15, DS 23/2019 MMA
Rallidae
Fulica cornuta NT [Rebajada desde VU B2b(iii)] - RCE11, DS 38/2015 MMA
Orden Pelecaniformes
Ardeidae
Ardea cocoi LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Ixobrychus involucris LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Pelecanidae
Pelecanus thagus NT - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Thereskiornithidae
Plegadis chihi NT [Rebajada desde VU B1ab(iii)+2ab(iii)] - RCE16, DS 16/2020 MMA
Theristicus melanopis LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA
Orden Phaethontiformes
Phaetonidae
Phaethon rubricauda VU [Rebajada desde EN B2ab(iii)] - RCE14, DS 79/2018 MMA
Orden Phoenicopteriformes
Phoenicopteridae
Phoenicoparrus andinus VU A2a - RCE11, DS 38/2015 MMA
Phoenicoparrus jamesi VU [Rebajada desde EN B2ab(iii)] - RCE15, DS 23/2019 MMA
Phoenicopterus chilensis NT - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Orden Procellariiformes
Diomedeidae
Diomedea antipodensis EN A4bde - RCE17, DS 44/2021 MMA
Diomedea exulans VU A4bd - RCE17, DS 44/2021 MMA
Diomedea sanfordi EN A4bde - RCE17, DS 44/2021 MMA
Phoebastria irrorata CR B2ab(v) - RCE17, DS 44/2021 MMA
Thalassarche bulleri NT - RCE 17, DS 44/2021 MMA
Thalassarche melanophris LC - RCE 11, DS 38/2015 MMA
Thalassarche salvini VU D2 - RCE15, DS 23/2019 MMA
Hydrobatidae
Oceanodroma hornbyi VU B2ab(iii) - RCE16, DS 16/2020 MMA
Oceanodroma markhami EN B2ab(iii) - RCE14, DS 79/2018 MMA
Oceanodroma tethys VU [Rebajada desde EN B2ab(iii)] - RCE16, DS 16/2020 MMA

Oceanitidae
Oceanites gracilis DD - RCE 14, DS 79/2018 MMA
Pelecanoididae
Pelecanoides garnotii EN B2ab(iii) - RCE14, DS 79/2018 MMA
Procellaridae
Ardenna grisea NT - RCE 15, DS 23/2019 MMA
Macronectes giganteus VU [Rebajada desde EN B2ab(iii)] - RCE15, DS 23/2019 MMA
Pterodroma defilippiana VU D2 - RCE4, DS 23/2009 MINSEGPRES
Pterodroma longirostris EN B2ab(iii) - RCE4, DS 23/2009 MINSEGPRES
Pterodroma neglecta EN B2ab(iv,v) - RCE4, DS 23/2009 MINSEGPRES
Puffinus creatopus EN B2ab(ii,iii) - RCE2, DS 50/2008 MINSEGPRES
Procellariidae
Procellaria westlandica EN B2ab(iii) - RCE18, DS 10/2023 MMA
Orden Psittaciformes
Psittacidae
Cyanoliseus patagonus EN A2acd - RCE1, DS 151/2007 MINSEGPRES
Psilopsiagon aurifrons LC - RCE 16, DS 16/2020 MMA
Orden Rheiformes
Rheidae
Rhea pennata VU A2a - RCE7, DS 42/2011 MMA
Spheniscidae
Spheniscus humboldti VU B2ab(iii)c(iv) - RCE2, DS 50/2008 MINSEGPRES
Orden Strigiformes
Strigidae
Asio flammeus LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Orden Suliformes
Phalacrocoracidae
Phalacrocorax bougainvillii NT - RCE 14, DS 79/2018 MMA
Phalacrocorax gaimardi NT - RCE 14, DS 79/2018 MMA
Sulidae
Sula variegata LC - RCE 14, DS 79/2018 MMA
Orden Tinamiformes
Tinamidae
Tinamotis pentlandii LC - RCE 14, DS 79/2018 MMA

Clase Mammalia

Orden Artiodactyla
Camelidae
Lama guanicoe VU C1+2a(i) - RCE5, DS 33/2011 MMA
Vicugna vicugna VU [Rebajada desde EN A2ac] - RCE16, DS 16/2020 MMA
Orden Carnivora
Canidae
Lycalopex culpaeus LC - RCE 5, DS 33/2012 MMA
Lycalopex griseus LC - RCE 5, DS 33/2011 MMA
Felidae
Leopardus colocolo NT - RCE 7, DS 42/2011 MMA
Puma concolor NT - RCE 7, DS 42/2011 MMA
Mustelidae
Galictis cuja LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
Lontra felina EN A3ce - RCE1, 7 y 17, DS 44/2021 MMA
Otariidae
Arctocephalus australis NT [Rebajada desde VU A2a] - RCE13, DS 06/2017 MMA
Otaria flavescens LC - RCE 9, DS 13/2013 MMA
Phocidae
Mirounga leonina VU [Rebajada desde EN D] - RCE13, DS 06/2017 MMA

Orden Cetacea
- Balaenidae
  - *Eubalaena australis* EN D - RCE4, DS 23/2009 MINSEGPRES
- Balaenopteridae
  - *Balaenoptera borealis* CR A1abd - RCE6, DS 41/2011 MMA
  - *Balaenoptera edeni* DD - RCE 13, DS 06/2017 MMA
  - *Balaenoptera musculus* EN A1abd; D - RCE4, DS 23/2009 MINSEGPRES
  - *Balaenoptera physalus* CR A1abd - RCE6, DS 41/2011 MMA
  - *Megaptera novaeangliae* VU A1abd - RCE4, DS 23/2009 MINSEGPRES
- Delphinidae
  - *Delphinus capensis* DD - RCE 13, DS 06/2017 MMA
  - *Delphinus delphis* LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA
  - *Globicephala macrorhynchus* DD - RCE 13, DS 06/2017 MMA
  - *Globicephala melas* DD - RCE 13, DS 06/2017 MMA
  - *Grampus griseus* LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA
  - *Lagenorhynchus obscurus* LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA
  - *Lissodelphis peronii* DD - RCE 13, DS 06/2017 MMA
  - *Orcinus orca* DD - RCE 13, DS 06/2017 MMA
  - *Pseudorca crassidens* DD - RCE 13, DS 06/2017 MMA
  - *Tursiops truncatus* EN D [Ecotipo Costero] - RCE7, DS 42/2011 MMA
- Phocoenidae
  - *Phocoena spinipinnis* DD - RCE 13, DS 06/2017 MMA
- Physeteridae
  - *Physeter macrocephalus* VU A1abd - RCE6, DS 41/2011 MMA
- Ziphiidae
  - *Hyperoodon planifrons* LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA

Orden Chiroptera
- Molossidae
  - *Tadarida brasiliensis* LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA
- Phyllostomidae
  - *Desmodus rotundus* LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA
- Vespertilionidae
  - *Histiotus macrotus* LC - RCE 14, DS 79/2018 MMA
  - *Histiotus montanus* LC - RCE 13, DS 06/2017 MMA
  - *Myotis atacamensis* NT - RCE 12, DS 16/2016 MMA

Orden Didelphiomorphia
- Didelphidae
  - *Thylamys elegans* LC - RCE18, DS 10/2023 MMA

Orden Rodentia
- Abrocomidae
  - *Abrocoma bennetti* LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA
- Chinchillidae
  - *Chinchilla chinchilla* CR A2cd - RCE9, DS 13/2013 MMA
  - *Chinchilla lanigera* EN B1ab(iii)+2ab(iii) - RCE10, DS 52/2014 MMA
  - *Lagidium viscacia* LC - RCE 14, DS 79/2018 MMA
- Ctenomydae
  - *Ctenomys fulvus* LC - RCE 16, DS 16/2020 MMA
- Octodontidae
  - *Spalacopus cyanus* LC - RCE 12, DS 16/2016 MMA

Criterios y subcriterios utilizados en la clasificación

Para las categorías de amenaza (i.e., CR = En peligro crítico, EN = En peligro, VU = Vulnerable) se utiliza un sistema jerárquico alfanumérico para especificar los criterios y subcriterios utilizados en la clasificación de una especie (UICN 2001). Los criterios más frecuentemente utilizados corresponden al A (Reducción del tamaño de la población), B (Distribución geográfica por extensión de la presencia o área de ocupación), C y D (Tamaño de la población bajo un umbral crítico). Bajo los criterios A a C, y D bajo Vulnerable, el primer nivel de la jerarquía se indica por el uso de números (1-4) y si se cumple más de un criterio, deben ser separados mediante el símbolo '+'. El segundo nivel se indica por el uso de caracteres alfabéticos en minúsculas (a-e). El tercer nivel de la jerarquía, bajo los criterios B y C, implica el uso de numerales romanos en minúsculas (i-v). Cuando se cumple más de un criterio, éstos deben separarse mediante punto y coma.

Por ejemplo, en *Chinchilla chinchilla*, **CR A2cd** indica que fue clasificada en Peligro Crítico (**CR**) por el criterio **A** (reducción del tamaño de la población), subcriterio **2** (reducción mayor o igual al 80% en tres generaciones), y las letras minúsculas indican que la reducción es por **c** (del área de ocupación, extensión de presencia y/o calidad del hábitat) y **d** (niveles de explotación reales o potenciales). Por otro lado, en *Chinchilla lanigera*, **EN B1ab(iii)+2ab(iii)** indica que fue clasificada En Peligro (**EN**) por el criterio **B** (Distribución geográfica menor a un umbral determinado por, **B1**: la extensión de la presencia menor a 5000 km^2 y por, **B2**: el área de ocupación es menor a 500 km^2), las letras minúsculas indican que, además se cumple que **a** no existen más de cinco localidades y **b** hay evidencia de disminución **iii** basada en el área, extensión y/o calidad del hábitat.

En el caso del cactus *Eriosyce sociabilis*, **CR C2a(i)** indica que fue clasificada en Peligro Crítico (**CR**) por el criterio **C** (tamaño de la población estimada en menos de 2.500 individuos maduros), subcriterio **2** que hay evidencia de disminución, y **a(i)** indica que, además se cumple que ninguna subpoblación contiene más de 250 individuos maduros.

En la ballena azul *Balaenoptera musculus*, **EN A1abd; D** indica que fue clasificada En Peligro (**EN**) por el criterio **A** (reducción del tamaño de la población), subcriterio **1** (reducción mayor o igual al 70% en tres generaciones), y las letras minúsculas indican que la reducción fue evaluada por **a** (observación directa), **b** (un índice de abundancia apropiado para el taxón) y **d** (niveles de explotación reales o potenciales). Pero en este caso también se evaluó por el criterio **D** (se estima que el tamaño de la población que es menor de 250 individuos maduros).

En ocasiones es necesario aplicar el criterio de rebaja en una categoría cuando hay posibilidades de recolonización desde países vecinos (IUCN 2012), situación que puede ser ejemplificada por la vicuña *Vicugna vicugna*, **VU [Rebajada desde EN A2ac]** indica que cumple con los criterios para ser clasificada En Peligro (**EN**) por el criterio **A** (reducción del tamaño de la población), subcriterio **2** (reducción mayor o igual al 50% en tres generaciones), y las letras minúsculas indican que **a** la reducción es por observación directa y **c** hay reducción del área de ocupación, extensión de presencia y/o calidad del hábitat; sin embargo, se aplica la rebaja a Vulnerable (**VU**) dado que en caso de extinguirse localmente en Chile, sus poblaciones se podrían recuperar por migración desde los países vecinos.

Biodiversidad Marina y Terrestre de la Región de Atacama
(F.A. Squeo, D. Arcos, R. Catalán & F. Vargas, Eds.)
Ediciones Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile (2024) 381-400

Bibliografía Citada

ABAD M, N MALDONADO, T IZQUIERDO, E BERNÁRDEZ & M CÁCERES (2019) Guía Geológica. Un recorrido geoturístico por el Área Marina Costera Protegida Isla Grande de Atacama. Universidad de Atacama & RIL editores. 122 pp.

ABAD M, P MOISAN & T IZQUIERDO (2022) Lugares de interés geológico del Valle del Copiapó. Geodiversidad, Geopatrimonio y Geoturismo. Letra Capital Ediciones. Santiago, Chile, 84 pp.

ABDALA CS, JM DÍAZ & R LANGSTROTH (2021) Historia y taxonomía: redescripción de Liolaemus andinus Koslowsky, 1895 y descripción de dos nuevas especies de *Liolaemus* (Iguania: Liolaemidae). Cuadernos de Herpetología 35(supl. 1): 5-34.

ABELL R, ML THIEME, C REVENGA, M BRYER, M KOTTELAT… & P PETRY (2008) Freshwater ecoregions of the world: A New Map of Biogeographic Units for Freshwater Biodiversity Conservation. Bioscience 58: 403-414.

ACEBES P, S VARGAS & H CASTILLO (2022) Sarcoptic mange outbreaks in vicuñas (Cetartiodactyla: Camelidae): A scoping review and future prospects. Transboundary and Emerging Diseases 69: e1201– e1212. (DOI: 10.1111/tbed.14479)

ACOSTA O & E CUSTODIO (2008) Impactos ambientales de las extracciones de agua subterránea en el Salar del Huasco (norte de Chile). Boletín Geológico y Minero 119 (1): 33-50.

ACUÑA E, JC VILLARROEL & R GRAU (2002) Fauna íctica asociada a la pesquería de pez espada (*Xiphias gladius*). Gayana 66: 263-267.

ACUÑA E, M ARAYA, L CID, I KONG & JC VILLARROEL (2001) Estudio biológico de tiburones (marrajo dentudo, azulejo y tiburón sardinero) en la zona norte y central de Chile. Informes Técnicos FIP, FIP/IT No. 2000-23 (En línea) URL: http://www.fip.cl/prog x year/2000/2000-23.htm.

AGNOLIN FL (2016) A brief history of South American birds. En: (AGNOLIN FL, GL LIO, F BRISSÓN-EGLI, NR CHIMENTO & FE NOVAS (eds) Historia Evolutiva y Paleobiogeográfica de los Vertebrados de América del Sur, 157-172. Contribuciones del MACN N°6, Buenos Aires, Argentina.

AGUAYO C, R VIDELA, F LÓPEZ-CORTÉS, S ROSSEL & C IBACACHE (2023). Ethical enactivism for smart and inclusive STEAM learning design. Heliyon 9(9): e19205 (DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e19205)

AGUAYO-LOBO A, DN TORRES & JR ACEVEDO (1998) Los mamíferos marinos de Chile. 1. Cetácea. Serie Científica INACH 48: 19-159.

AGUILAR G, R RIQUELME, P LOHSE, A CABRÉ & JL GARCÍA (2022) Chronology of Glacial Advances and Deglaciation in the Encierro River Valley (29° Lat. S), Southern Atacama Desert, Based on Geomorphological Mapping and Cosmogenic 10Be Exposure Ages. Frontiers in Earth Science 10:878318.

AGUILERA LE, C ARMAS, AP CEA, JR GUTIÉRREZ, PL MESERVE & DA KELT (2016) Rainfall, microhabitat, and small mammals influence the abundance and distribution of soil microorganisms in a Chilean semi-arid shrubland. Journal of Arid Environments 126:37- 46.

AGUILERA LE, JR GUTIÉRREZ & PL MESERVE (1999) Variation in soil micro-organisms and nutrients underneath and outside the canopy of *Adesmia bedwellii* (Papilionaceae) shrubs in arid coastal Chile following drought and above average rainfall. Journal of Arid Environments 42: 61-70.

AGUILERA LE, JR GUTIERREZ & R MORENO (1998) Vesiculo arbuscular rnycorrhizae associated with saltbushes *Atriplex* spp. (Chenopodiaceae) in the Chilean arid zone. Revista Chilena de Historia Natural 71:291-302.

ALAM MA & R SEPÚLVEDA (2022) Environmental degradation through mining for energy resources: The case of the shrinking Laguna Santa Rosa wetland in the Atacama Region of Chile. Energy Geoscience 3: 182-190.

ALBERT F (1901) Datos sobre la chinchilla. Revista Chilena de Historia Natural 5: 201–209.

ALBESIANO S (2012) A new taxonomic treatment of the genus *Trichocereus* (Cactaceae) in Chile. Haseltonia 18: 116-139.

ÁLVAREZ F (2020) Evaluación de biomasa y análisis del estado de explotación de las praderas naturales de algas pardas (*L. trabeculata, L. berteroana/spicata* y *Macrocystis pyrifera*) en las zonas de libre acceso de la III región de Atacama y IV región de Coquimbo. Informe Final FIPA Nº 2017-53, Centro de Investigación Ecos. Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura, SUBPESCA. 292pp.

ÁLVAREZ J (2015) Los Complejos Metamórficos Paleozoicos de la Cordillera de Vallenar: Implicancias en la Evolución Tectónica del Margen Occidental de Gondwana. Tesis para optar al Grado de Doctor en Ciencias, mención Geología, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Física y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago: 141 pp.

ÁLVAREZ O (2013) El último constructor de balsas de cuero de lobo. Vallenar: Ediciones Medio día en Punto, Vallenar.

AMUNDSON R, W DIETRICH, D BELLUGI, S EWING, K NISHIIZUMI… & M CAFFEE (2012) Geomorphologic evidence for the late Pliocene onset of hyperaridity in the Atacama Desert. Geological Society of America Bulletin 124(7-8): 1048-1070.

ANDERSON EF (2001) The Cactus Family. Timber Press, Portland, USA.

ANGEL MV & A DE C BAKER (1982) Vertical distribution of the standing crop of plankton and micronekton at three stations in the northeast Atlantic. Biological Oceanography 2(1): 1-30.

ANGEL MV (1993) Biodiversity of the pelagic ocean. Conservation Biology 7: 760-772.

ANTEZANA T (2010) *Euphausia mucronata*: A keystone herbivore and prey of the Humboldt Current System. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 57(7-8): 652-662.

ARAKAKI M, PA CHRISTIN, R NYFFELER, A LENDEL, U EGGLI et al. (2011) Contemporaneous and recent radiations of the world's major succulent plant lineages. Proceedings of the National Academy of Sciences 108: 8379-8384.

ARAYA JF & CATALÁN R (2014). A review of the non-bulimulid terrestrial Mollusca from the Region of Atacama, northern Chile. ZooKeys 398: 33–51.

ARAYA JF & CATALÁN R (2016). New record of *Cuspidaria patagonica* Smith, 1885 (Bivalvia: Cuspidariidae) in northern Chile. Gayana 80(2): 191–193.

ARAYA JF & JA ALIAGA (2021) First record of *Janthina janthina* (Linnaeus, 1758) (Gastropoda: Epitoniidae) in the continental coasts of Chile. Spixiana 44(1):62.

ARAYA JF & ME ARAYA (2017) On the presence of *Chaetopleura hennahi* (Gray, 1828) (Polyplacophora: Chaetopleuridae) in Chile. Turkish Journal of Zoology 41: 554–557.

ARAYA JF (2001) Los ergs del desierto marginal de Atacama, Chile. Investigaciones Geográficas 35: 27-66.

ARAYA JF (2013) A new species of *Aeneator* Finlay, 1926 (Mollusca, Gastropoda, Buccinidae) from northern Chile, with comments on the genus and a key to the Chilean species. ZooKeys 257: 89 - 101.

ARAYA JF (2015) The Bulimulidae (Mollusca: Pulmonata) from the Región de Atacama, northern Chile. PeerJ 3:e1383. (En línea) URL: http://dx.doi.org/10.7717/peerj.1383.

ARAYA JF (2016) New records of deep-sea sea spiders (Chelicerata: Pycnogonida) in the southeastern Pacific. Marine Biodiversity 46: 725-729.

ARAYA JF, R CATALÁN & JA ALIAGA (2016) A new deep-water *Astyris* species (Buccinoidea: Columbellidae) from the southeastern Pacific. Zootaxa 4139(1): 140–144.

ARENAS M & F FUENTES (2019) Geodiversidad, geopatrimonio y otros conceptos básicos: guía para la adopción de un lenguaje común. Santiago, Chile, SERNAGEOMIN, Unidad de Geopatrimonio, 13 pp.

ARENAS-DÍAZ F, B FUENTES, M REYERS, S FIEDLER, CH BÖHM, E CAMPOS, Y SHAO & R BOL (2022) Dust and aerosols in the Atacama Desert. Earth-Science Reviews 226: 103925.

ARMESTO JJ, PE VIDIELLA & JR GUTIÉRREZ (1993) Plant communities of the fog-free coastal desert of Chile: plant strategies in a fluctuating environment. Revista chilena de historia natural 66: 271-282.

ARRATIA G & C QUEZADA-ROMEGIALLI (2019) The South American and Australian percichthyids and perciliids. What is new about them?. Neotropical Ichthyology 17(1): e180102 (DOI: 10.1590/1982-0224-20180102)

ARRATIA G (1983) Preferencias de hábitat de peces siluriformes de aguas continentales de Chile (Fam. Diplomystidae y Trichomycteridae). Studies on Neotropical Fauna and Environment 18: 217-237.

ARRATIA G (1987) Description of the primitive family Diplomystidae (Siluriformes, Teleostei, Pisces): morphology, taxonomy and phylogenetic implications. Bonner Zoologische Monographien, Bonn, 24. 120p.

ARRATIA G (1997) Brazilian and Austral freshwater fish faunas of South America. A contrast. In: Ulricht (ed.) Tropical biodiversity and systematics. Proceedings of the Symposium on Biodiversity and Systematics in Tropical Ecosystems, Bonn, 1994. Zoologisches Forschungsinstitut und Museum Alexander Koenig, Bonn: 179–187.

ARROYO MTK, FA SQUEO & D LANFRANCO (1987) Polinización biótica en los Andes de Chile: Avances hacia una síntesis. In: FORERO E, F SARMIENTO & C LA ROTTA (eds) Ecología de la Reproducción e Interacciones Planta/Animal: 55-76. Anales del IV Congreso Latinoamericano de Botánica. Editorial Guadalupe. Bogotá.

AZAT C, M ALVARADO-RIBAK, JJ SOLANO-IGUARAN, A VELASCO, A VALENZUELA-SÁNCHEZ, SV FLECHAS et al. (2022) Synthesis of Batrachochytrium dendrobatidis infection in South America: amphibian species under risk and areas to focus research and disease mitigation. Ecography: e05977.

BACIGALUPE LD, IA VÁSQUEZ, SA ESTAY, A VALENZUELA-SÁNCHEZ, M ALVARADO-RYBAK , A PEÑAFIEL-RICAURTE et al. (2019) The amphibian-killing fungus in a biodiversity hotspot: Identifying and validating high-risk areas and refugia. Ecosphere 10(5): e02724.

BAKUN A & CS NELSON (1991) The seasonal cycle of wind-stress curl in subtropical eastern boundary current regions. Journal of Physical Oceanography 21(12): 1815-1834.

BALDI B, P ACEBES, E CUELLAR, M FUNES, D HOCES, S PUIG S & W FRANKLIN (2016) *Lama guanicoe*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T11186A18540211.

BARBIER EB, SD HACKER, C KENNEDY, EW KOCH, AC STIER & BR SILLIMAN (2010) The value of estuarine and coastal ecosystem services. Ecological Monographs 81 (2): 169-193.

BARCAZA G, SU NUSSBAUMER, G TAPIA, J VALDÉS, JL GARCÍA et al. (2017) Glacier inventory and recent glacier variations in the Andes of Chile, South America. Annals of Glaciology 58(75): 166–180.

BARROS R, F MEDRANO, R SILVA & F DE GROOTE (2018) First breeding site record of Hornby's Storm Petrel Oceanodroma hornbyi in the Atacama Desert, Chile. Ardea 106: 203–207.

BARROS R, F MEDRANO, R SILVA, F SCHMITT, V MALINARICH et al. (2020) Breeding sites, distribution and conservation status of the White-vented Storm-petrel Oceanites gracilis in the Atacama Desert. Ardea 108: 203–212.

BAY LK, GP JONES & MI MCCORMICK (2001) Habitat selection and aggression as determinants of spatial segregation among damselfish on a coral reef. Coral Reefs 20: 289–298.

BÉAREZ P, F FUENTES-MUCHERL, S REBOLLEDO, D SALAZAR & L OLGUÍN (2016) Billfish foraging along the northern coast of Chile during the Middle Holocene (7400–5900 cal BP). Journal of Anthropological Archaeology 41: 185-195.

BEJARANO S, JB JOUFFRAY, I CHOLLETT, R ALLEN, G ROFF et al. (2017) The shape of success in a turbulent world. Functional Ecology 31: 1312-1324.

BELDADE R, GC LONGO, KD CLEMENTS, DR ROBERTSON, A PEREZ-MATUS, S ITOI & G BERNARDI (2021) Evolutionary origin of the Atlantic Cabo Verde nibbler (*Girella stuebeli*), a member of a primarily Pacific Ocean family of antitropical herbivorous reef fishes. Molecular phylogenetics and evolution 156: 107021.

BELLORÍN A, C BULBOA, L CONTRERAS-PORCIA (2022) Algas. Una Introducción a la Ficología. RIL Editores, España.

BELMADANI A, E CONCHA, D DONOSO, A CHAIGNEAU, F COLAS, N MAXIMENKO & E DI LORENZO (2017) Striations and preferred eddy tracks triggered by topographic steering of the background flow in the eastern South Pacific. Journal of Geophysical Research: Oceans 122(4): 2847-2870.

BELMONTE E, L FAUNDES, J FLORES, A HOFFMANN, M MUÑOZ & S TELLIER. 1998. Categorías de conservación de

cactáceas nativas de Chile. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural (Chile) 47: 69-89.
BENDER MG, MR PIE, EL REZENDE, D MOUILLOT & SR FLOETER (2013) Biogeographic, historical and environmental influences on the taxonomic and functional structure of Atlantic reef fish assemblages. Global Ecology and Biogeography 22: 1173–1182.
BENEDETTI A & V CONTI (2009) Explotación de los recursos naturales andinos: Comercio y circuito de las pieles de chinchilla durante el siglo XIX y primeras décadas del XX. Si Somos Americanos, Revista de Estudios Transfronterizos 9: 117–140.
BENGOA J (2004) La memoria olvidada. Historia de los pueblos indígenas de Chile. Bicentenario.
BERENGUER J, C SINCLAIRE, L CORNEJO & M ESCOBAR (2008) Pescadores de la niebla. Los changos y sus ancestros. Santiago: Museo Chileno de Arte Precolombino.
BERRA TM (1981) An Atlas of Distribution of the Fresh Water Fish Families of the World. Lincoln: University of Nebraska Press.
BERRA TM (2003) Family Galaxiidae (Galaxiids) In: RR Reis, SO Kullander, CJ Ferraris Jr (eds) Checklist of the freshwater fishes of South and Central America. EDIPUCRS: 503–506. Porto Alegre, Brazil.
BIESE WA (1944) Revisión de los moluscos terrestres y de agua dulce provistos de concha de Chile. Parte I, Familia Amnicolidae. Boletín del Museo de Historia Natural, Chile 22:169-190.
BILLERMAN SM, BK KEENEY, PG RODEWALD & TS SCHULENBERG (2022) Birds of the World. Edited by Cornell Laboratory of Ornithology, Ithaca, NY, USA. (En línea) URL: https://birdsoftheworld.org/bow/home
BISSIG TH & R RIQUELME (2010) Andean uplift and climate evolution in the southern Atacama Desert deduced from geomorphology and supergene alunite-group minerals. Earth and Planetary Science Letters 299: 447-457.
BLASER MJ (2014) Missing Microbes. Henry Holt and Co. First edition. New York, NY, USA, ISBN: 978-0-8050-9810-5. 288 pp.
BÖHNERT T, F LUEBERT, FF MERKLINGER, D HARPKE, A STOLL et al. (2022) Plant migration under long-lasting hyperaridity–phylogenomics unravels recent biogeographic history in one of the oldest deserts on Earth. New Phytologist 234: 1863-1875.
BONACIC C, S VARGAS, JL RIVEROS, D BONACIC, A MUÑOZ & J SOTO (2014) Estudio poblacional de camélidos silvestres para su conservación como patrimonio cultural y turístico de la Región de Atacama. Informe Técnico. Pontificia Universidad Católica de Chile, CCIRA, Región de Atacama. 70 pp.
BRANLEY-ALVES J, DH KING, SA ROBINSON & RE MILLER (2014) Dominating The Antarctic environment: bryophytes in a time of change. Advances in Photosynthesis and Respiration 37: 309-324.
BRAVO L, M RAMOS, O ASTUDILLO, B DEWITTE & K GOUBANOVA (2016) Seasonal variability of the Ekman transport and pumping in the upwelling system off central-northern Chile (~30°S) based on a high-resolution atmospheric regional model (WRF). Ocean Science 12: 1049-1065.
BRESCOVIT AD, A TAUCARE-RÍOS, ILF MAGALHAES, & AJ SANTOS (2017) On Chilean Loxosceles (Araneae: Sicariidae): first description of the males of L. surca and L. coquimbo, new records of L. laeta and three remarkable new species from coastal deserts. European Journal of Taxonomy 388: 388: 1-20.
BRIONES R, F GARATE & V JEREZ (2012) Insectos de Chile nativos, introducidos y con problemas de conservación, Guía de Campo. Ed. Corporación Chilena de la Madera, Concepción, Chile. (En línea) URL: https://fundacionphilippi.cl/
BRITO JL, G DOMÍNGUEZ, M MARAMBIO M & P GYSEL (2007) La necesidad de proteger a las tortugas marinas en Chascos, Bahía Salado Región de Atacama, Chile. VII Simposio sobre Medio Ambiente. Estado actual y perspectivas de la investigación y conservación de las tortugas marinas en las costas del Pacífico Sur Oriental. Antofagasta.
BROWN G, B JOPIA, MT JULIÁ & O SILVA (1998) Integración de la problemática de la desertificación en el currículo escolar: Manual Metodológico. Fondo de Las Américas. Santiago.
BUCH L (1839) Petrifications recueillies en Amerique par Mr. Alexandre de Humboldt et par Mr. Charles Degenhardt. Berlin 5-6 pp.
BUCHAN SJ, M RAMOS, J OYANADEL, M SANTOS-CARVALLO, L BEDRIÑANA-ROMANO et al. (2023) Understanding the oceanographic dynamics of the Isla Chañaral baleen whale feeding ground, (Humboldt Archipelago, Northern Chile) to extend habitat protection. Frontiers in Marine Science 10:1208262. doi: 10.3389/fmars.2023.1208262
BUCHAN SJ, P VÁSQUEZ, C OLAVARRÍA & LR CASTRO (2021) Prey items of baleen whale species off the coast of Chile from fecal plume analysis. Marine Mammal Science 37(3): 1116-1127.
BURMEISTER H & C GIEBEL (1861) Die Versteinerungen von Juntas im Thal des Rio Copiapo. Abhandlungen der Naturforschenden Gessellschaft zu Halle 6: 122–132.
BURRIDGE CP, MC ROBERTO & BS DYER (2006) Multiple origins of the Juan Fernández kelpfish fauna and evidence for frequent and unidirectional dispersal of cirrhitoid fishes across the South Pacific. Systematic Biology 55: 566-578.
BUSTAMANTE C & MB BENNETT (2013) Insights into the reproductive biology and fisheries of two commercially exploited species, shortfin mako (Isurus oxyrinchus) and blue shark (Prionace glauca), in the south-east Pacific Ocean. Fisheries Research 143: 174-183.
BUTLER MJ & AW DAY (1998) Fungal melanins: a review. Canadian Journal of Microbiology 44: 1115–1136.
CABRE CABRÉ A, G AGUILAR & R RIQUELME (2017) Holocene evolution and geochronology of a semiarid fluvial system in the western slope of the Central Andes: AMS 14C data in El Tránsito River Valley, Northern Chile. Quaternary International 1–13.
CABELLO G, C GONZÁLEZ & F GARRIDO (2010) Revisitando la secuencia cronológico cultural de la Región de Atacama. En: M Lorca (Ed.). Identidades en Diálogo: Articulando actores y construyendo realidades: 31-49. Proyecto Estudio Fortalecimiento de la Identidad de Atacama, Gobierno Regional de Atacama. Centro de Estudios Avanzado en Zonas Áridas (CEAZA) y Consultora en Ciencias Sociales M y A, Santiago.
CABRÉ MF, S SOLMAN & M NÚÑEZ (2016) Regional climate change scenarios over southern South America for future climate (2080-2099) using the MM5 Model. Mean, interannual variability and uncertainties. Atmósfera 29: 35–60.
CÁCERES M, C MARQUARDT, L CERPA & F AGUILERA (2011) La Ruta de Segerstrom: transversa geoturística geopatrimonial en la Provincia de Copiapó, Región de Atacama. actas I Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile. Melipeuco, Chile.
CÁCERES-MONTENEGRO I (2007) Caracterización de la pesquería del dorado (*Coryphaena hippurus*) en Chile. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Santiago. Univ. Andrés Bello.

CAMPOS L, F BERRIOS, R OSES, JE GONZÁLEZ & E BONNAIL (2021) Unravelling *Lessonia trabeculata* management in coastal areas of the Atacama region of northern Chile through a DPSIR approach: Insights for sustainable plans. Marine Policy 133: 104737.

CAMUS P (2001) Biogeografía marina de Chile continental. Revista Chilena De Historia Natural 74(3): 587-617.

CANTERLE AM, LT NUNES, L FONTOURA, HA MAIA & SR FLOETER (2020) Reef microhabitats mediate fish feeding intensity and agonistic interactions at Príncipe Island Biosphere Reserve, Tropical Eastern Atlantic. Marine Ecology 41: 12609.

CAPOBIANCO A & M FRIEDMAN (2019) Vicariance and dispersal in southern hemisphere freshwater fish clades: a palaeontological perspective. Biological Reviews 94: 662–699.

CARDON Z, D GREY & LA LEWIS (2008) The Green Algal Underground: Evolutionary Secrets of Desert Cells. BioScience 58(2): 114-123.

CARR ME & EJ KEARNS (2003) Production regimes in four Eastern Boundary Current systems. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 50(22-26): 3199-3221.

CARRANZA DM, K VARAS-BELEMMI, D DE VEER, C IGLESIAS-MÜLLER, D CORAL-SANTACRUZ, FA MÉNDEZ, E TORRES-LAGOS, FA SQUEO & CF GAYMER (2020) Socio-environmental conflicts: an underestimated threat to biodiversity conservation in Chile. Environmental Science and Policy 110: 46-59

CASTELLETI J (2019) Continuidad cultural entre las familias camanchaco-chango paposinas durante los siglos XVIII y XIX, a través del análisis de la categoría social del "agregado". Estudios atacameños, (63): 147-170.

CASTILLO G (1998) Los períodos Intermedio Tardío y Tardío: desde la Cultura Copiapó al dominio Inca. En: Niemeyer, H. y M. Cervellino (Eds.). Culturas Prehistóricas de Copiapó:163 – 282. Museo Regional de Atacama, Copiapó.

CASTILLO AG, D ALO, BA GONZALEZ & H SAMANIEGO (2018) Change of niche in guanaco (*Lama guanicoe*): The effects of climate change on habitat suitability and lineage conservatism in Chile. PeerJ 2018: 1–21.

CASTILLO J, A SAAVEDRA, C HERNÁNDEZ, V CATASTI, F LEIVA et al. (2009) Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta entre la XV y IV Regiones, año 2009. Informe Final Proyecto FIP 2008-02, Subsecretaria de Pesca y Acuicultura, Valparaíso, Chile, 705 pp.

CASTILLO J, A SAAVEDRA, F LEIVA, H REYES, M PIZARRO et al. (2010) Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la III y IV Regiones, año 2010. Informe Final Proyecto FIP 2009-03, Subsecretaria de Pesca y Acuicultura, Valparaíso, Chile, 468 pp.

CASTRO C, C MARQUARDT & Á ZÚÑIGA (2010) Peligros naturales en geositios de interés patrimonial en la costa sur de Atacama. Revista de Geografía Norte Grande 45: 21-39.

CASTRO C, C MARQUARDT, JA NARANJO, ME SUÁREZ & A ZUÑIGA (2009) Proposición de Geoparque en el Litoral de Atacama. En: XII Congreso Geológico Chileno, Santiago, 22-26 noviembre, 2009. Universidad de Chile.

CASTRO C, C PATTILLO, J RIVERA & A ZÚÑIGA (2013) Valoración territorial del geopatrimonio de la zona costera del sur del Desierto de Atacama, Chile (27°S). Investigaciones Geográficas 45: 51-72.

CAVALIER-SMITH T (1981) Eukaryote kingdoms: seven or nine? Biosystems 14:461-481.

CAVICCHIOLI R, WJ RIPPLE, KN TIMMIS, F AZAM, LR BAKKEN… & NS Webster (2019) Scientists warning to humanity: Microorganisms and climate change. Nature Reviews Microbiology 17(9): 569-586.

CENMA (2016) Análisis del Estado Ecológico del Sistemas Acuático río Huasco según indicadores biológicos de Calidad de Agua. Estudio solicitado por el Ministerio del Medio Ambiente, Región de Atacama.

CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA (CEA, 2020) Apoyo al proceso de declaratoria de santuario de la naturaleza y propuestas de medidas de gestión de los sitios prioritarios para la conservación, humedal estuario del río Huasco y humedal costero de Carrizal Bajo.

CEPEDA-MERCADO AA, I TRONCOSO, A VILLEGAS, L PAREDES, S ARAYA, R ORTUYA, M MELÉNDEZ & C LOUIT (2014) Presencia de perros (*Canis familiaris*) en el Parque Nacional Llanos de Challe: Necesidad de acciones para el control de las amenazas en las áreas protegidas de la Región de Atacama. Biodiversidata Boletín N°2: 24-29.

CERECEDA P, H LARRAÍN, P OSSES, P LAZARO, J GARCÍA & V HERNÁNDEZ (2000). El factor clima en la floración del desierto en los años "El Niño" 1991 y 1997. Revista de Geografía Norte Grande 27: 37-52.

CERNA F & R LICANDEO (2009) Age and growth of the shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) in the south-eastern Pacific off Chile. Marine and Freshwater Research 60: 394–403.

CHARPAK G, P LÉNA & Y QUÉRÉ (2006) Los niños y la ciencia. La aventura de La mano en la masa. Siglo XXI Editores: Buenos Aires.

CERVELLINO M (1995) Proposición para una secuencia cronológica cultural prehispánica para la costa de la región de Atacama. En: Actas del XIII Congreso Nacional de Arqueología Chilena: 10 a 14 de octubre de 1994. Antofagasta: Sociedad Chilena de Arqueología, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad de Antofagasta.

CHÉBEZ JC & D OLIVERAS (2008). Chinchilla grande. En: Chebez J (ed) Los que se van, 292–297 pp. Fauna Argentina Amenazada. Tomo 3. Albatros, 292–297 Buenos Aires, Argentina.

CHEUNG WW, JL SARMIENTO, J DUNNE, TL FRÖLICHER, VW LAM, MLD PALOMARES, R WATSON & D PAULY (2013b) Shrinking of fishes exacerbates impacts of global ocean changes on marine ecosystems. Nature Climate Change 3: 254-258.

CHEUNG WW, R WATSON & D PAULY (2013a) Signature of ocean warming in global fisheries catch. Nature 497: 365-368.

CHEVALLIER A, W STOTZ, M RAMOS & J MENDO (2021) The Humboldt Current Large Marine Ecosystem (HCLME), a challenging scenario for modelers and their contribution for the manager. Marine Coastal Ecosystems Modelling and Conservation: Latin American Experiences 27-51 p.

CIAHN ATACAMA & CEAZA (2022) Diagnóstico paleontológico de la región de Atacama. Corporación para la Investigación y Avance de la Paleontología e Historia Natural de Atacama & Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas. (En línea) URL: https://www.ciahn.cl

CITES (2022) Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, 2010. Apéndices I, II y III.

CLARAMUNT G, G HERRERA, M DONOSO & E ACUÑA (2009) Spawning period and fecundity of swordfish (*Xiphias gladius*) caught in the southeaster Pacific. Latin American Journal of Aquatic Research 37: 29-41.

CLARKE SC, MK MCALLISTER, EJ MILNER-GULLAND, GP KIRKWOOD, CGJ MICHIELSENS et al. (2006) Global

estimates of shark catches using trade records from commercial markets. Ecology Letters 9: 1115–1126.
CLARKE SC, SJ HARLEY, SD HOYLE & JS RICE (2013) Population trends in Pacific Oceanic sharks and the utility of regulations on shark finning. Conservation Biology 27: 197-209.
COFRE H & PA MARQUET (1999) Conservation status, rarity, and geographic priorities for conservation of Chilean mammals: an assessment. Biological Conservation 88: 53–68.
COLLETTE BB, A DI NATALE, W FOX, J GRAVES, M JUAN JORDA, B POHLOT, V RESTREPO & J SCHRATWIESER (2022) *Xiphias gladius*. The IUCN Red List of Threatened Species 2022: e.T23148A46625751. (Online).
COMER P, D FABER-LANGENDOEN, R EVANS, S GAWLER, C JOSSE… & J TEAGUE (2003) Ecological Systems of the United States: A Working Classification of U.S. Terrestrial Systems. NatureServe. Arlington, Virginia.
COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL 2018) Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe. (En línea) URL: https://repositorio.cepal.org/
COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA, 1994) Ley de bases del medio ambiente. CONAMA, Santiago de Chile. (En línea) URL: http://www.memoriachilena.gob.cl/
COMITÉ REGIONAL DE BIODIVERSIDAD (COREMA, 2009) Estrategia y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad de Atacama 2010 – 2017.
COMPAGNO LJV, M DANDO & S FOWLER (2005) A Field Guide to the Sharks of the World. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
CONAF (2021) Informe Censo estival de Camélidos altoandinos Parque Nacional Nevado de Tres Cruces y Sitio Ramsar "Complejo Lacustre Laguna del Negro Francisco- Laguna San Rosa", Corporación Nacional Forestal, Atacama.
CONTRERAS JM (2019) Nuevo registro de Liolaemus nigromaculatus (Wiegamnn, 1834) (Squamata, Liolaemidae) en la Región de Antofagasta, Chile. Boletín Chileno de Herpetología 6:44-46.
CONTRERAS JM, M MORA-CARREÑO & JE MELLA (2020) Ampliación del límite norte de distribución de *Callopistes maculatus* Gravenhorst 1838 (Squamata, Teiidae): registros en la Reserva Nacional La Chimba (Región de Antofagasta, Chile). Boletín Chileno de Herpetología 7:70-72.
CONTRERAS JP (2002) Norte de Chile: Conservación de humedales altoandinos para un desarrollo productivo sustentable. Ambiente y Desarrollo (Chile) 18: 125-131.
CONTRERAS L, D THOMAS, V FLORES & J CORREA (2011) Tolerance to oxidative stress induced by desiccation in *Porphyra columbina* (Bangiales, Rhodophyta). Journal of Experimental Botany 62(6): 1815-1829.
CONTRERAS L, G DENNETT, A MOENNE, RE PALMA & JA CORREA (2007) Molecular and morphologically distinct *Scytosiphon* species (Scytosiphonales, Phaeophyceae) display similar antioxidant capacities. Journal of Phycology 43: 1320-1328.
CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (CBD, 2022) 15/4. Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. The Conference of the Parties (COP) 15. www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf
CORFO (2022) Plan Nacional de Impulso al Turismo de Montaña.
CORKERON PJ & RC CONNOR (1999) Why do baleen whales mígrate? Marine Mammal Science 15: 1228-1245.
CORNEJO M, L BRAVO, M RAMOS, O PIZARRO, J KARSTENSSEN, M GALLEGOS, et al (2016) Biogeochemical characteristics of a long-lived anticyclonic eddy in the eastern South Pacific Ocean. Biogeosciences 13: 2971-2979.
CORREA-QUEZADA CL (2019) Nueva lista comentada de los anfibios de Chile (Amphibia, Anura). Boletín Chileno de Herpetología 6: 1-14.
CORREA-QUEZADA CL, E RIVEROS, G LOBOS & N VELÁSQUEZ (2010) Amphibia, Anura, Leiuperidae, *Pleurodema thaul* (Lesson, 1827): Altitudinal distribution extension and new records from its northern range. Check List 6(1): 010-012.
CORREA-QUEZADA CL, M SALLABERRY, B GONZÁLEZ, E SOTO & M MÉNDEZ (2007) Amphibia, Anura, Leiuperidae, *Pleurodema thaul*: Latitudinal and altitudinal distribution extension in Chile. Check List 3(3): 267-270.
CORREA-QUEZADA CL, M SALLABERRY-AYERZA, P JARA-ARANCIO, G LOBOS, E. SOTO & MA MÉNDEZ (2008) Amphibia, Anura, Bufonidae, *Rhinella atacamensis*: Altitudinal distribution extension, new records and geographic distribution map. Check List 4(4): 478-484.
CORVALÁN DJ (1974) Estratigrafía del neocomiano marino de la región al sur de Copiapó Provincia de Atacama. Revista Geológica de Chile 0 (1).
COUSO D (2012) Las secuencias didácticas en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias: modelos para su diseño y validación. En: Didáctica de la física y la química, 57-84. (En línea) URL: https://tinyurl.com/yykq9t78 (accedido marzo 7, 2022).
COWLING RM, RL PRESSEY, R SIMS-CASTLEY, A LE ROUX, E BAARD, C BURGERS & G PALMER (2003) The expert or the algorithm? Comparison of priority conservation areas in the cape floristic region identified by park managers and reserve selection software. Biological Conservation 112: 147-167.
CULIK BM, G LUNA-JORQUERA, H OYARZO, H CORREA (1998) Humboldt penguins monitored via VHF telemetry. Marine Ecology Progress Series 162: 279–286.
D'ELÍA G, J CANTO, G OSSA, LD VERDE-ARREGOITIA, E BOSTELMANN et al. (2020) Lista actualizada de los mamíferos vivientes de Chile. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural 69(2): 67-98, Chile.
DARWIN C (1890) Journal of researches into the natural history and geology op the countries visited during the voyage of H.M.S. Beagle round the world. - John Murray, Albemarle street, Londrés, Reino Unido.
DARWIN CR (1846) Geological observations on South America. Being the third part of the geology of the voyage of the Beagle, under the command of Capt. Fitzroy, R.N. during the years 1832 to 1836. London: Smith Elder and Co.
DASKALOV GM, AN GRISHIN, S RODIONOV & V MIHNEVA (2007) Trophic cascades triggered by overfishing reveal possible mechanisms of ecosystem regime shifts. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104: 10518-10523.
DE LA CRUZ L & N PÉREZ (2020) El saber escolar en biodiversidad en clave para resignificar su enseñanza. Praxis & Saber, 11: 1-17
DE VARGAS C, S AUDIC, N HENRY, J DECELLE, F MAHÉ et al. (2015) Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean. Science 348(6237): 1261605.
DELGADO E, LF PACHECO, J SALAZAR-BRAVO & O ROCHA (2018) Chinchilla real (*Chinchilla chinchilla*) en Bolivia: comentarios sobre localidades reportadas y bases para su conservación. Ecología en Bolivia 53: 31–38.
DELRIEU-TROTTIN E, H HARTMANN-SALVO, P SAENZ-AGUDELO, MF LANDAETA & A PÉREZ-MATUS

(2022) DNA reconciles morphology and colouration in the drunk blenny genus *Scartichthys* (Teleostei: Blenniidae) and provides insights into their evolutionary history. Journal of Fish Biology 100: 507-518.
DELSUC F, H BRINKMANN, D CHOURROUT & H PHILIPPE (2006) Tunicates and not cephalochordates are the closest living relatives of vertebrates. Nature 439 (7079): 965-968
DENISSEN J, A TEULING, A PITMAN, S KOIRALA, M MIGLIAVACCA et al. (2022) Widespread shift from ecosystem energy to water limitation with climate change. Nature Climate Change 12:677–684.
DESQUEYROUX R & H MOYANO (1987) Zoogeografía de Demospongias chilenas. Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción 58: 39-66.
DEVILLERS P & J DEVILLERS-TERSCHUREN (1996) A classification of South American habitats. Report / IRSNB, Brussels, and Institute of Terrestrial Ecology, Huntingdon. 419 pp.
DEVILLERS P, J DEVILLERS-TERSCHUREN & JP LEDANT (1991) CORINE Biotopes Manual Habitats of the European Community Data Specifications - Part 2. Commission of the European Communities. Luxembourg.
DHILLION SS, PE VIDIELLA, LE AGUILERA, CF FRIESE, E DE LEÓN, JJ ARMESTO & JC ZAK (1995) Mycorrhizal plants and fungi in the fog-free Pacific coastal desert of Chile. Mycorrhiza 5:381-386.
DIAZ S & M CABIDO (1997) Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. Journal of Vegetation Science 8: 463-474.
DÍAZ S & M CABIDO (2001) Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. Trends in ecology & evolution 16: 646-655.
DÍAZ S, D GURVICH, D PÉREZ-HARGUINDEGLUY & M CABIDO (2002) ¿Quién necesita tipos funcionales de plantas? Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 37: 135-140.
DÍAZ E, C JONES, R ZALAQUETT, N GODOY, R SILVA, A TRUJILLO & F ZAZZALI (2023) La Cultura Copiapó, Pueblo Originario del Valle de Copayapu 18-22 pp. Nantok Producciones. Copiapó.
DIEDERICH P, JD LAWREY & D ERTZ (2018) The 2018 classification and checklist of lichenicolous fungi, with 2000 non-lichenized, obligately lichenicolous taxa. The Bryologist 121: 340– 425.
DIGHTON J & JF WHITE (2017) The fungal community: its organization and role in the ecosystem. CRC Press, 619 pp. https://doi.org/10.1201/9781315119496
DONOSO-BARROS R (1966) Reptiles de Chile. Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago.
DRAPELA D, J LARRAÍN & M J CANO (2020) New national and regional bryophyte records. Journal of Bryology Volume 64.
DUIT R (2006) Enfoques de cambio conceptual en enseñanza de las ciencias. En: Schnotz W, S Vosniadou & M Carretero (eds) Cambio Conceptual y Educación: 221-249. Aiqué, Buenos Aires.
DUIT R (2007) Investigación en educación científica a nivel internacional: concepciones, métodos de investigación, dominios de investigación. Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education 3: 3–15.
DULVY NK, SL FOWLER, JA MUSICK, RD CAVANAGH, PM KYNE et al. (2014) Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. Elife 3: e00590.
DYER BS (1998) Phylogenetic systematics and historical biogeography of the Neotropical silverside family Atherinopsidae (Teleostei, Atheriniformes): 519–536 pp. En: Malabarba LR, RE Reis, RP Vari, ZM Lucena & CAS Lucena (eds) Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes. EDIPUCRS, Porto Alegre, Brazil, 603p.
DYER BS (2000a) Systematic review and biogeography of the freshwater fishes of Chile. Estudios Oceanológicos 19: 77–98.
DYER BS (2000b) Revisión sistemática de los pejerreyes de Chile (Teleostei, Atheriniformes). Estudios Oceanológicos 19: 99-127.
eBIRD (2022) eBird Basic Dataset. Version: EBD_relAug-2020. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York. Aug 2020.
EGER AM, EM MARZINELLI, R BEAS-LUNA, CO BLAIN, LK BLAMEY et al. (2023) The value of ecosystem services in global marine kelp forests. Nature Communications 14: 1894.
EME L, A SPANG, J LOMBARD, CW STAIRS & TJG ETTEMA (2017) Archaea and the origin of eukaryotes. Nat Rev Microbiol 15: 711–723.
ERIKSSON H & S CLARKE (2015) Chinese market responses to overexploitation of sharks and sea cucumbers. Biological Conservation 184: 163-173.
ESCRIBANO R, G DANERI, L FARÍAS, VA GALLARDO, HE GONZÁLEZ… & M BRAUN (2004). Biological and chemical consequences of the 1997–1998 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 51(20-21): 2389-2411.
ESPINOSA MI, N GOUIN, FA SQUEO, D LOPEZ & A BERTIN (2018) Landscape connectivity among remnant populations of guanaco (*Lama guanicoe* Müller, 1776) in an arid region of Chile impacted by global change. PeerJ 6: e4429. (Online) (DOI: 0.7717/peerj.4429)
ESQUEDA, M, A SÁNCHEZ, ML CORONADO, A GUTIÉRREZ, M LIZÁRRAGA & R VALENZUELA (2011) Nuevos registros de hongos gasteroides en la reserva de biosfera Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui. Revista Mexicana de Micología 34: 43-51.
ESTEVEZ RA, FA SQUEO, G ARANCIO & MB ERAZO (2010) Producción de carbón vegetal a partir de arbustos nativos en la Región de Atacama, Chile. Gayana Botánica 67: 213-222.
EVERARD M, L JONES & B WATTS (2010) Have we neglected the societal importance of sand dunes? An ecosystem services perspective. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 20(4): 476-487.
EYRIN V, S BONY, GA MEEHL, CA SENIOR, B STEVENS, RJ STOUFFER & KE TAYLOR (2016) Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. Geoscientific Model Development 9:1937–1958.
FABINYI M (2011) Historical, cultural and social perspectives on luxury seafood consumption in China. Environmental Conservation 39: 83–92.
FALVEY M & RD GARREAUD (2009) Regional cooling in a warming world: recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006). Journal of Geophysical Research: Atmospheres 114: D04102.
FERNANDES MR & JF ARAYA (2019) New species and records of Triphoroidea (Caenogastropoda) from Chile. The Nautilus. The Nautilus 133(1):1-13.
FERNÁNDEZ-URRUZOLA I, O ULLOA, RN GLUD, MH PINKERTON, W SCHNEIDER, F WENZHÖFER & R ESCRIBANO (2021) Plankton respiration in the Atacama Trench region: Implications for particulate organic carbon flux into the hadal realm. Limnology and oceanography 66(8): 3134-3148.
FERREYRA H, J RUDD, J FOLEY, R VANSTREELS, A MARTÍN, E DONADIO & M UHART (2022) Sarcoptic mange outbreak decimates South American camelid populations in San

Guillermo National Park, Argentina. Plos One, 17(1): e0256616.
FIBLA P, JM SERRANO, F CRUZ-JOFRÉ, A FABRES, F RAMÍREZ, PA SÁEZ et al. (2020) Evidence of predation on the Helmeted water toad *Calyptocephalella gayi* (Duméril & Bibron, 1841) by the invasive African clawed frog *Xenopus laevis* (Daudin 1802). Gayana 84(1): 56-59.
FIGUEROA D & C MOFFAT (2000) On the influence of topography in the induction of coastal upwelling along the Chilean Coast. Geophysical Research Letters 27(23): 3905-3908.
FINOT V, C BAEZA, M MUÑOZ-SCHICK, E RUIZ, J ESPEJO et al. (2018) Guía de Campo Alstroemerias Chilenas. Ed. Corporación Chilena de la Madera, Concepción, Chile. 292 pp.
FISHER RL & RW RAITT (1962) Topography and structure of the Peru-Chile trench. In Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts. Elsevier Volume 9(11-12): 423-443.
FLORES GE & J PIZARRO-ARAYA (2012) Systematic revision of the South American genus *Praocis* Eschscholtz, 1829 (Coleoptera: Tenebrionidae). Part 1: Introduction and subgenus *Praocis* s. str. Zootaxa 3336: 1-35.
FLORES GE & J PIZARRO-ARAYA (2022) Revision of the subgenus Mesopraocis Flores & Pizarro-Araya of the Neotropical genus *Praocis* Eschscholtz (Coleoptera: Tenebrionidae: Pimeliinae). ZooKeys 1100: 29-55.
FOLGUERA A, E CONTRERAS-REYES, N HEREDIA, A ENCINAS, S IANNELLI… & C ARRIAGADA (eds) (2018) The Evolution of the Chilean-Argentinean Andes. Springer Earth System Sciences, Cham, Suiza. 569 pp.
FONCK F (1912) Los cráneos de paredes gruesas según Luis Vergara Flores y un dato más. Revista Chilena de Ciencias Naturales.
FONSECA T & M FARÍAS (1987) Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. Investigaciones Pesqueras 34: 33-46.
FONTOURA L, M CANTOR, GO LONGO, M BENDER, RM BONALDO & SR FLOETER (2020) The macroecology of reef fish agonistic behaviour. Ecography 43: 1278–1290.
FONTOURA P, PJ BARTELS, A JØRGENSEN, RM KRISTENSEN & JG HANSEN (2017) A dichotomous key to the genera of the Marine Heterotardigrades (Tardigrada). Zootaxa 4294:1-45
FOSTER MW (1989) Brachiopods from the extreme South Pacific and adjacent waters. Journal of Paleontology 63: 268-301.
FOWLER S & B SÉRET (2010) Shark fins in Europe: implications for reforming the EU finning ban, European Elasmobranch Association and IUCN Shark Specialist Group.
FRICKE R, WN ESCHMEYER & WN FONG (2022) Eschmeyer's catalog of fishes: genera/species by family/subfamily. http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp. (accedido Diciembre 13, 2022).
FRIEDRICH H (1970) Nemertinen aus Chile. Report, 47 of the Lund University Chile Expedition 1948-49. Sarsia 40: 1-80.
FUENTES HR (1987) Observaciones sobre *Pseudorca crassidens* (Owen 1846) (Odontoceti: Delphinidae) varadas en Los Choros, Coquimbo, IV Región, Chile. Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso 18: 169-175.
FUENTES N, A MARTICORENA, A SALDAÑA, V JEREZ, JC ORTIZ et al. (2020) Multi-taxa inventory of naturalized species in Chile. Neobiota 60: 25-41.
FUENZALIDA PH (1950) Clima. En: Geografía Económica de Chile, Tomo 1, CORFO: 188-254. Imprenta Universitaria, Santiago, Chile.
FUENZALIDA VILLEGAS H (1951) El señor Enrique Ernesto Gigoux. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural 25: 5-13.
GAJDZIK L, R AGUILAR-MEDRANO & B FRÉDÉRICH (2019) Diversification and functional evolution of reef fish feeding guilds. Ecology Letters 22: 572-582.
GALAZ JL (2005) Plan Nacional de Conservación del Tricahue, *Cyanoliseus patagonus bloxami* Olson, 1995, en Chile. Corporación Nacional Forestal, CONAF. Santiago, Chile. 51 pp.
GAMBI C, A VANREUSEL & R DANOVARO (2003) Biodiversity of nematode assemblages from deep-sea sediments of the Atacama Slope and Trench (South Pacific Ocean). Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 50(1): 103-117.
GAME ET, HS GRANTHAM, AJ HOBDAY, RL PRESSEY, AT LOMBARD et al. (2009) Pelagic protected areas: the missing dimension in ocean conservation. Trends in Ecology & Evolution 24: 360-369.
GARCÍA N & AW MEEROW (2020) Corrigendum to: García & al., Generic classification of Amaryllidaceae tribe Hippeastreae [in Taxon 68: 481–498. 2019]. Taxon 69(1): 208–209.
GARCÍA N & C ORMAZABAL (2008) Árboles Nativos de Chile. Enersis S.A, Santiago, Chile. 196 pp.
GARCÍA N, AW MEEROW, S ARROYO-LEUENBERGER R OLIVEIRA, J DUTILH, P SOLTIS & WS JUDD (2019) Generic classification of Amaryllidaceae tribe Hippeastreae. Taxon 68(3): 481–498.
GARCÍA-GÓMEZ J & FJ MARTÍNEZ (2010) Cómo y qué enseñar de la biodiversidad en la alfabetización científica. Enseñanza de las Ciencias 28: 175-184.
GARMENDIA V, MD SUBIDA, A AGUILAR & M FERNÁNDEZ (2021) The use of fishers' knowledge to assess benthic resource abundance across management regimes in Chilean artisanal fisheries. Marine Policy 127:104425.
GARZÓN J (2021). An Overview of Twenty-Five Years of Augmented Reality in Education. Multimodal Technologies and Interaction, 5(7): 37. (DOI: 10.3390/mti5070037)
GASCOIN S, C KINNARD, R PONCE, S LHERMITTE, S MACDONELL & A RABATEL (2011) Glacier contribution to streamflow in two headwaters of the Huasco River, Dry Andes of Chile. The Cryosphere 5: 1099-1113.
GAY C (1847) Historia física y política de Chile. Zoología 1. Maulde & Renou, Paris, 182 pp
GAYMER CF, W STOTZ, R GARAY-FLÜHMANN, G LUNA-JORQUERA & M RAMOS (2008) Evaluación de línea base de las Reservas Marinas "Isla Chañaral" e "Isla Choros-Damas". Informe Final Proyecto FIP 2006-56, Subsecretaria de Pesca y Acuicultura, Valparaíso, Chile, 532 pp.
GBIF (2020) GBIF.org (23 September 2020) GBIF Occurrence DOI: 10.15468/dl.mj5qq8
GELCICH S, M FERNÁNDEZ, N GODOY, A CANEPA, L PRADO & J CASTILLA (2012) Territorial User Rights for Fisheries as Ancillary Instruments for Marine Coastal Conservation in Chile. Conservation Biology 26: 1005–1015.
GELLON G, E ROSENVASSER, M FURMAN & D GOLOMBEK (2005). La Ciencia en el Aula. Lo que nos dice la Ciencia sobre cómo Enseñarla. Paidos, Buenos Aires.
GIBSON C & P NOBEL (1986) The Cactus Premier. Harvard University Press, Cambridge, USA.
GIGOUX EE (1934) Los moluscos marinos de Atacama. Revista Chilena de Historia Natural XXXVIII: 274-286.
GIGOUX EE (1898) Lo que viven sin comer algunos animales. Las Últimas Noticias, Santiago, Chile 2(4): 37.
GIGOUX EE (1926) El *Mixini Dombeyi*. Revista Universitaria, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago 11(6): 423-426.

GIGOUX EE (1926) La Quebrada del León (Caldera). Revista Chilena de Historia Natural 30(1): 288–297.
GIGOUX EE (1929a) Contribución a la ornitología chilena. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Santiago de Chile 12: 42-64.
GIGOUX EE (1929b) Ferozmente perseguido por los hombres fue extinguido hace ya muchos años el Alca impennis, hermoso pingüino que vivía en aguas septentrionales. Las Últimas Noticias, septiembre 7 (1929): 5-7.
GIGOUX EE (1935) El Morro Copiapó. Revista Chilena de Historia Natural 39(1): 253–265.
GIGOUX EE (1944) Los Bengalis, gatos de raza doméstica. Las Últimas Noticias, Santiago, Chile, julio 29 (1944): 5.
GIL D, C SIFREDO, P VALDÉS & A VILCHES (2005) ¿Cuál es la importancia de la educación científica actual? En: Gil D, B Macedo, J Martínez, C Sifredo, P Valdés & A Vilches (eds) ¿Cómo Promover el Interés por la Cultura Científica?: 15-28. UNESCO-OREALC, Santiago de Chile.
GILMAN E, S CLARKE, N BROTHERS, J ALFARO-SHIGUETO, J MANDELMAN et al. (2007) Shark Depredation and Unwanted Bycatch in Pelagic Longline Fisheries: Industry Practices and Attitudes, and Shark Avoidance Strategies. Western Pacific Regional Fishery Management Council, Honolulu
GIRIBET G & GD EDGECOMBE (2019) The Phylogeny and Evolutionary History of Arthropods. Current Biology 29: R592-R602.
GIRIBET G & GD EDGECOMBE (2020) The Invertebrate Tree of Life, Princeton University Press, Princeton & Oxford, 589 pp.
GMELIN JF (1791) Vermes. En: Gmelin JF (ed) Caroli a Linnaei Systema Naturae per Regna Tria Naturae, Edition 13, 1(6): 3021-3910. (En línea) URL: http://www.biodiversitylibrary.org /item/83098#5
GOBIERNO REGIONAL DE ATACAMA (2007) Estrategia Regional de Desarrollo de Atacama 2007-2017, 89 pp.
GODOY E, R MARQUARDT & N BLANCO (2003) Carta Caldera, Región Atacama. Serie Geología Básica, Carta Geológica de Chile escala 1:100.000, Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile.
GONZÁLEZ AV, ME CHACANA & PC SILVA (2012) *Codium bernabei* sp. nov. (Bryopsidales, Chlorophyta), a coalescing green seaweed from the coast of Chile. Phycologia 51(6): 666-671.
GONZÁLEZ B, P ACUÑA, G CASTELLARO, B CONTESSE, DS DONOSO et al. (2015) Diagnóstico de la ecología poblacional de la vicuña (*Vicugna vicugna mensalis*), taruka (*Hippocamelus antisensis*) y guanaco (*Lama guanicoe cacsilensis*) y medidas de solución al conflicto silvoagropecuario – ungulados silvestres en la Región de Tarapacá. Laboratorio de Ecología de Vida Silvestre, Servicio Agrícola y Ganadero.
GONZÁLEZ BA & P ACEBES (2016) Reevaluación del guanaco para la Lista Roja de la UICN: situación actual y recomendaciones a futuro. GECS News 6: 15-21.
GONZÁLEZ BA, L GONZÁLEZ, M MONNARDI, DS DONOSO & A VILEMA (2017) Burrowing Parrot (*Cyanoliseus patagonus*) records in the Andes Mountain of Santiago. Revista Chilena de Ornitología 23(1): 38-42.
GONZÁLEZ J, C TAPIA, A WILSON, W STOTZ, JM ORENSANZ et al. (2005) Bases biológicas para la evaluación y manejo de metapoblaciones de loco en la III y IV Regiones. Informe Final FIP 2002-16, Subsecretaria de Pesca y Acuicultura, Valparaíso, Chile, 338 pp.
GONZÁLEZ J, J GARRIDO, G JEREZ, A WILSON, E FIGUEROA et al. (1999) Estudio Piloto Ecológico y Socioeconómico en Áreas Potenciales de Reserva Marina en la III y IV Regiones. Informe Final FIP 1997-45, Subsecretaria de Pesca y Acuicultura, Valparaíso, Chile, 351 pp.
GONZÁLEZ S, G MANSILLA, B MUÑOZ, M NAVEAS, L TRAVELLA, M CÁCERES & M ABAD (2022) Guía geoturística de Quebrada Descubridora y alrededores. Arte Sonoro Austral ediciones, 56 pp.
GONZÁLEZ SA & ME EDDING (1990) Achelia assimilis (Haswell, 1884) in the Heterozostera bed of Puerto Aldea, Coquimbo: first record from the northern Chilean coast (Pycnogonida: Ammotheidae). Proceedings of the Biological Society of Washington 103: 151-156.
GONZÁLEZ-GAUDIANO E (1997) Educación Ambiental: Historia y Conceptos a Veinte Años de Tbilisi. SITESA, México.
GONZÁLEZ-GÓMEZ C & Y V GUEVARA-TORREJÓN (2020) Guía de Campo de Flora Nativa de Territorios Kolla, Atacama, Chile. Comunidad Sinchi Wayra, Copiapó. 147 pp.
GRADSTEIN R & F OSORIO (2018) *Pseudocephalozia quadriloba* (Steph.) R.M. Schust., new to Chile. Journal of Bryology. Vol. 40 (3): 271 – 296.
GRADSTEIN R, F OSORIO & J VANA (2018) *Gymnocoleopsis cylindriformis* (Mitt.) R.M. Schust., new to Chile. Journal of Bryology Volume 40(3): 271 - 296.
GREGORY PH & DR HENDEN (1976) Terminal velocity of basidiospores of the giant puffball (*Lycoperdon giganteum*). Transactions of the British Mycological Society 67(3): 399-407.
GREZ AA, T ZAVIEZO, HE ROY, PMJ BROWN & G BIZAMA (2016) Rapid spread of Harmonia axyridis in Chile and its effects on local coccinellid biodiversity. Diversity and Distributions 22(9): 982-994.
GRIEM W (2007 – 2020). Resumen de la Estratigrafía de la Región Atacama. (En línea) URL: http://geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap09.htm (Accedido abril 4, 2023).
GRISMADO CJ & J PIZARRO-ARAYA (2016) The spider genus *Cyrioctea* Simon on Chanaral Island (Pingüino de Humboldt National Reserve, Atacama, Chile): description of a new species, and the male of *Cyrioctea cruz* Platnick (Araneae, Zodariidae). Zootaxa 4107: 267-276.
GROOM MJ, GK MEFFE & CR CARROLL (2006) Principles of Conservation Biology. Third Edition. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts.
GROSJEAN M, B VALERO-GARCÉS, M GEYH, B MESSERLI, H SCHOTTERER, H SCHREIER & K KELTS (1997) Mid-and late-Holocene limnogeology of Laguna del Negro Francisco, northern Chile, and its palaeoclimatic implications. The Holocene 7: 151-159.
GUBE M & M PIEPENBRING (2009) Preliminary annotated checklist of Gasteromycetes in Panama. Nova Hedwigia 89: 519-543.
GUERRERO PC, HE WALTER, MTK ARROYO, CM PEÑA, I TAMBURRINO, M BENIDICTIS & I LARRIDON (2019) Molecular phylogeny of the large South American genus *Eriosyce* (Notocacteae, Cactaceae): generic delimitation and proposed changes in infrageneric and species ranks. Taxon 68: 557-573.
GUICHARROUSSE M, G ROA, G CORTÉS & JF ARAYA (2015) La fauna de moluscos cuaternarios de Caldera, Región de Atacama, Chile. XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena, Chile (October 4 to October 8, 2015).
GUILLEMIN ML, L CONTRERAS-PORCIA, ME RAMÍREZ, EC MACAYA, CB CONTADOR… & J BRODIE (2016) The bladed Bangiales (Rhodophyta) of the South Eastern Pacific: Molecular species delimitation reveals extensive diversity. Molecular

Phylogenetics and Evolution 94: 814-826.
GUIRY MD & GM GUIRY (2011) AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. https://www.algaebase.org; searched on 30 April 2023.
GUTIÉRREZ JR & FA SQUEO (2004) Importancia de los arbustos leñosos en los ecosistemas semiáridos de Chile. Ecosistemas 1.
GUTIÉRREZ JR (2008) El desierto florido en la Región de Atacama. In: SQUEO FA, G ARANCIO & JR GUTIÉRREZ (eds). Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Atacama: 285-291. Ediciones Universidad de La Serena (Chile). La Serena - Chile.
GUTIÉRREZ JR, MESERVE PL, CONTRERAS LC, VÁSQUEZ H & FM JAKSIC (1993) Spatial distribution of soil nutrients and ephemeral plants underneath and outside the canopy of Porlieria chilensis shrubs (Zygophyllaceae) in arid coastal Chile. Oecología 95: 347-352.
HALPERN BS, S WALBRIDGE, KA SELKOE, CV KAPPEL, F MICHELI et al. (2008) A global map of human impact on marine ecosystems. Science 319: 948-952.
HASSAN R, N SCHOLES & N ASH (2005) Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends working group, Volume 1. Island Press, Washington, DC, USA.
HÄSSEL DE MENÉNDEZ GG & M RUBIES (2009) Catalogue of the Marchantiophyta and Anthocerotophyta from Chile, Argentina and Uruguay. Nova Hedwigia 134: 1-672.
HAWKSWORTH D & M GRUBE (2020) Lichens redefined as complex ecosystems. New Phytologist 227 (5): 1281 1283. https://doi.org/10.1111/nph.16630
HAWKSWORTH D & R LÜCKING (2017) Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. Microbiology Spectrum 5 (4). https://doi.org/10.1128/microbiolspec.funk-0052-2016
HAYE PA, X TURON & NI SEGOVIA (2021) Time or space? Relative importance of geographic distribution and interannual variation in three lineages of the ascidian *Pyura chilensis* in the Southeast Pacific Coast. Frontiers in Marine Science 8: 657411.
HAYMAN P, J MARCHANT & J PRATER (1991) Shorebirds. An identification guide to the waders of the world. Houghton Mifflin Company, Boston.
HEISE PJ (1998) Phylogeny and biogeography of Galápagos lava lizards (Microlophus) inferred from nucleotide sequence variation in mithocondrial DNA. Ph. D. Dissertation, The University of Tennessee Knoxville, Tennessee.
HELFMAN G, BB COLLETTE, DE FACEY & BW BOWEN (2009) The diversity of fishes: biology, evolution and ecology, Second edition. John Wiley & Sons 736 pp.
HELMS G, T FRIEDL, G RAMBOLD & H MAYRHOFER (2001) Identification of photophionts from the lichen family Physciaceae using algal-specific ITS rDNA sequencing. Lichenologist 33: 73-86.
HERLING C, B CULK & J HENNICKE (2005) Diet of the Humboldt penguin (Spheniscus humboldti) in northern and southern Chile. Marine Biology 147: 13–25.
HERNANDEZ S, PA HAYE & MS SHIVJI (2008) Characterization of the pelagic shark-fin trade in north-central Chile by genetic identification and trader surveys. Journal of Fish Biology, 73(10), 2293-2304.
HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ T, JW BROWN, BO SCHLUMPBERGER, LE EGUIARTE & S MAGALLÓN (2014) Beyond aridification: Multiple explanations for the elevated diversification of cacti in the New World Succulent Biome. New Phytologist 202: 1382-1397.
HERRERO OE (2019) Origin and evolution of gypsum stromatolites in salars of the Andes highlands, northern Chile. Andean geology 46(1): 211-222.
HOOPER DU, FS CHAPIN III, JJ EWEL, A HECTOR, P INCHAUSTI, S LAVOREL & DA WARDLE (2005) Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. Ecological monographs 75: 3-35.
HORMAZABAL S, G SHAFFER & O LETH (2004) Coastal transition zone off Chile. Journal of Geophysical Research: Oceans 109(C1).
HORMAZABAL S, G SHAFFER & O PIZARRO (2002) Tropical Pacific control of intraseasonal oscillations off Chile by way of oceanic and atmospheric pathways. Geophysical Research Letters 29(6): 5-1.
HORMAZABAL S, G SHAFFER, J LETELIER & O ULLOA (2001) Local and remote forcing of sea surface temperature in the coastal upwelling system off Chile. Journal of Geophysical Research: Oceans, 106(C8): 16657-16671.
HORMAZÁBAL S, V COMBES, C MORALES, M CORREA-RAMÍREZ, E DI LORENZO & N NÚÑEZ (2013) Intrathermocline eddies in the coastal transition zone off central Chile (31–41°S). Journal of Geophysical Research: Oceans 118(10): 4811-4821.
HYDE JR & RD VETTER (2007) The origin, evolution, and diversification of rockfishes of the genus Sebastes (Cuvier). Molecular phylogenetics and evolution 44: 790-811.
INAGAKI KY, TC MENDES, JP QUIMBAYO, M CANTOR & I SAZIMA (2019) The structure of fish follower-feeding associations at three oceanic islands in southwestern Atlantic. Environmental Biology of Fishes 103: 1–11.
INSTITUTO MARINO DE FLANDES (VLIZ, 2022) Mollusca Base. Sitio desarrollado por LifeWatch Bélgica. (En línea) URL: https://www.molluscabase.org/
IPCC (2022) Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. (Online) URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/
IRIARTE A (2008) Mamíferos de Chile. Lynx Ediciones. Barcelona, España, 424 pp.
IRIARTE JA & FM JAKSIC (1986) The fur trade in Chile: an overview of seventy-five years of export data (1910–1984). Biological Conservation 38: 243–253.
IRIARTE JA, P FEINSINGER & FM JAKSIC (1997) Trends in wildlife use and trade in Chile. Biological conservation 81: 9-20.
JACQUET J, JJ ALAVA, G PRAMOD, S HENDERSON & D ZELLER (2008) In hot soup: sharks captured in Ecuador's waters. Environmental Sciences 5: 269-283.
JACKSON D & C MÉNDEZ (2005) Primeras ocupaciones humanas en la costa del semiárido de Chile: patrones de asentamiento y subsistencia. Actas del XVI Congreso Nacional de Arqueología Chilena. Museo de Historia Natural de Concepción. Escaparate Ediciones.
JACKSON D, C MÉNDEZ, L NÚÑEZ & D JACKSON (2011) Procesamiento de fauna extinta durante la transición Pleistoceno-Holoceno en el centro-norte de Chile. Boletín de Arqueología PUCP (15): 315-336 (DOI: 10.18800/boletindearqueologiapucp.201101.012)
JAKSIC FM (1998) Vertebrate invaders and their ecological impacts in Chile. Biodiversity and Conservation 7: 1427-1445.
JARAMILLO E, M FERNÁNDEZ, P MARQUET, P CAMUS, J VÁSQUEZ… & V RIESCO (2006) Actualización y validación de la clasificación de zonas biogeográficas litorales. Informe final proyecto FIP 2004-28. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 191 pp.
JEREZ V & J PIZARRO-ARAYA (2020) Una revisión de *Henicotherus* Brèthes, 1928 (Coleoptera, Chrysomelidae,

Chrysomelinae); género endémico y áptero de Chile. Gayana 84: 101-111.
JETZ W, GH THOMAS, JB JOY, K HARTMANN & AO MOOERS (2012) The global diversity of birds in space and time. Nature 491: 444-448.
JIMÉNEZ JE, A DEANE, LF PACHECO, EF PAVEZ, J SALAZAR-BRAVO & P VALLADARES-FAÚNDEZ (2022) Chinchilla conservation vs. gold mining in Chile. Science 377(6605): 480-481.
JIRÓN C (2016) Nuevos registros de hongos gasteroides leñosos desertícolas (Agaricaceae): *Battarrea stevenii* (Liboschitz) Fr. y *Chlamydopus meyenianus* (Klotzsch) Lloyd, en el norte de Chile. Boletín micológico 31(2): 38-43.
JOFRÉ-MADARIAGA D, M RIVADENEIRA, F TALA & M THIEL (2014) Environmental tolerance of the two invasive species *Ciona intestinalis* and *Codium fragile*: their invasion potential along a temperate coast. Biological Invasions 16: 2507-2527.
JOSSE C, G NAVARRO, F ENCARNACIÓN, A TOVAR, P COMER… & F REÁTEGUI (2007) Sistemas Ecológicos de la Cuenca Amazónica de Perú y Bolivia. Clasificación y mapeo. NatureServe. Arlington, Virginia.
JULIÁ C, S MONTECINOS & A MALDONADO (2008) Características climáticas de la Región de Atacama. En: Squeo F, G Arancio & J Gutiérrez (eds) Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación, Región de Atacama: 25-42. Trama Impresores, Concepción, Chile.
JUNG P, K BAUMANN, D EMRICH, A SPRINGER, VJMNL FELDE… & P LEINWEBER (2020) Lichens Bite the dust – A bioweathering scenario in the Atacama Desert. iScience 23(11): 101647.
KÄMPF J & P CHAPMAN (2016) Upwelling systems of the world. Springer International Publishing Switzerland. 443 pp.
KANE CN, AJ BROOKS, SJ HOLBROOK & RJ SCHMITT (2009) The role of microhabitat preference and social organization in determining the spatial distribution of a coral reef fish. Environmental Biology of Fishes 84: 1–10.
KATTERMANN F (2014) Illustrations and observations on the Chilean Opuntioideae. Succulent Plant Research (UK) 8: 153-184.
KEITH DA, JR FERRER-PARIS, E NICHOLSON, MJ BISHOP, BA POLIDORO, E RAMÍREZ-LLODRA et al. (2022) A function-based typology for Earth's ecosystems. Nature 610 (7932): 513-518.
KINDINGER TL (2016) Symmetrical effects of interspecific competition on congeneric coral-reef fishes. Marine Ecology Progress Series 555: 1–11.
KINNARD C, P GINOT, A SURAZAKOV, S MACDONELL, L NICHOLSON & FA SQUEO (2020) Mass-balance and climate history of a high-altitude glacier, Desert Andes of Chile. Frontiers in Earth Sciences 8: 40
KOCK ST, K SCHITTEK, B MÄCHTLE, A MALDONADO, H VOS et al. (2020) Multi-centennial-scale variations of South American Summer Monsoon intensity in the Southern Central Andes (24-27°S) during the Late Holocene. Geophysical Research Letter 47(4): e2019GL084157.
KOCK ST, K SCHITTEK, B MÄCHTLE, H WISSEL, A MALDONADO & A LÜCKE (2019) Late Holocene environmental changes reconstructed from stable isotope and geochemical records from a cushion-plant peatland in the Chilean central Andes (27°S). Journal of Quaternary Science 34(2): 153–164.
KOROTKOVA N, D AQUINO, S ARIAS, U EGGLI, A FRANCK et al. (2021) Cactaceae at Caryophyllales.org – a dynamic online species-level taxonomic backbone for the family. Willdenowia 51: 251-270.
KRAFT NJB, R VALENCIA & DD ACKERLY (2008). Functional traits and niche-based tree community assembly in an amazonian forest. Science 322: 580–582.
KREISEL H & M AL-FATIMI (2008) Further Basidiomycetes from Yemen. Feddes Repert 119(5-6): 463- 483.
LAMILLA J, E ACUNA, M ARAYA, I KONG, M OLIVA et al. (2005) Lineamientos Básicos para Desarrollar el Plan de Acción Nacional de Tiburones, Vol. 1. Informes Técnicos FIP FIP/IT 2004-18. Santiago: Fondo de Investigación Pesquera.
LAMILLA J, R ROA, P BARRÍA, C BUSTAMANTE, F CONCHA et al. (2008) Desarrollo metodológico para la estimación del descarte de Condrictios en las pesquerías artesanales. Universidad Austral de Chile Informe técnico No. 2008-60, Valdivia (Online) URL: http://www.fip.cl/prog x year/2006/2006-31.htm.
LANCELLOTTI DA & JA VÁSQUEZ (2000) Zoogeografía de macroinvertebrados bentónicos de la costa de Chile: contribución para la conservación marina. Revista Chilena Historia Natural 73: 99-129.
LARGIER JL (2020) Upwelling bays: how coastal upwelling controls circulation, habitat, and productivity in bays. Annual Review of Marine Science 12: 415-447.
LARRAÍN J, R VARGAS, J URIBE & M VON KONRAT (2016) The rediscovery of *Frullania weberbaueri* Steph.: The first record for Chile, its conservation status and lectotypification. Gayana Botánica 73(1): 19-24.MÜLLER F (2009) An updated checklist of the mosses of Chile. Archive for Bryology 58:1–124.
LARRIDON I, HE WALTER, PC GUERRERO, M DUARTE, MA CISTERNAS et al. (2015) An integrative approach to understanding the evolution and diversity of *Copiapoa* (Cactaceae), a threatened endemic Chilean genus from the Atacama Desert. American Journal of Botany 102: 1506-1520.
LATCHAM RE (1910) Los changos de las costas de Chile. Imprenta Cervantes, Santiago de Chile.
LAURENT RF (1983) Contribución al conocimiento de la estructura taxonómica del género *Liolaemus* Wiegmann (Iguanidae). Boletín de la Asociación Herpetológica Argentina 1: 16-18.
LAZO-ANDRADE J, F GUZMÁN-RIVAS, P BARRÍA, J ORTEGA, S MORA & Á URZÚA (2021). Seasonal dynamics of biochemical composition and fatty acids of swordfish (*Xiphias gladius*) in the Southeast Pacific Ocean off the coast of Chile. Marine Environmental Research 169: 105388.
LEE MR, M CLARKE, ME FERNANDEZ, C GONZALEZ, N ROZBACZYLO et al. (2008) Diversity of free-living benthic marine invertebrates in Chile. Revista Chilena Historia Natural 81: 51-67.
LEIVA F, J LEGUA, U CIFUENTES, S GIGLIO, H REYES et al. (2014) Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la III y IV Regiones, año 2014. Informe Final Proyecto FIP 2013-04. Subsecretaria de Pesca y Acuicultura, Valparaíso, Chile, 495 pp.
LEÓN MF & FA SQUEO (2004) Levantamiento hidráulico: la raíz del asunto. En: CABRERA HM (ed) Fisiología Ecológica en Plantas: Mecanismos y Respuestas a Estrés en los Ecosistemas: 99-109. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso.
LEÓN MF, FA SQUEO, JR GUTIERREZ & M HOLMGREN (2011) Rapid root extension during water pulses enhances establishment of shrub seedlings in the Atacama Desert. Journal of Vegetation Science 22: 120-129.

LETELIER L, FA SQUEO, G ARANCIO, A MARTICORENA, M MUÑOZ-SCHICK et al. (2008) Diversidad vegetal de la Región de Atacama, Chile. 123–135 pp. En: Squeo FA, G Arancio & JR Gutiérrez (eds) Libro Rojo de la Flora nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación. Ediciones Universidad de La Serena, Chile.

LÉVÊQUE C, T OBERDORFF, D PAUGY, MLJ STIASSNY & PA TEDESCO (2008) Global diversity of fish (Pisces) in freshwater. Freshwater animal diversity assessment: 545-567.

LIAN X, S PIAO, A CHEN, CH HUNTINFGORD, B FU et al. (2021) Multifaceted characteristics of dryland aridity changes in a warming world. Nature Reviews Earth & Environment 2: 232–250.

LITVAK V, S POMA, R JONES, L FERNÁNDEZ, S IANNELLI… & V RAMOS (2018) The Late Paleogene to MARTÍNEZ F, B MUÑOZ, C LÓPEZ, R GONZÁLEZ, M PARRA & R RIQUELME (2021) Complex basement-involved contractional structures in the Pre-Andean basins of northern Chile: A review from seismic data. Tectonics 40(2), e2020TC006433.

LOBOS G & FM JAKSIC (2005). The ongoing invasion of African clawed frogs (*Xenopus laevis*) in Chile: causes of concern. Biodiversity & Conservation 14(2): 429-439.

LOBOS G, M VIDAL, C CORREA, A LABRA, H DÍAZ – PÁEZ et al. (2013) Anfibios de Chile, un desafío para la conservación. Ministerio del Medio Ambiente, Fundación Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile y Red Chilena de Herpetología, Santiago, 104 p.

LOBOS G, N REBOLLEDO, M SANDOVAL, C CANALES & JF PÉREZ-QUEZADA (2018) Temporal gap between knowledge and conservation needs in high Andean anurans: the case of the Ascotán salt flat frog in Chile (Anura: Telmatobiidae: *Telmatobius*). South American Journal of Herpetology 13(1): 33-43.

LOCEY KJ & JT LENNON (2016) Scaling Laws Predict Global Microbial Diversity. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 113, 5970–5975.

LÓPEZ BA, EC MACAYA, MM RIVADENEIRA, F TALA, F TELLIER & M THIEL (2018) Epibiont communities on stranded kelp rafts of *Durvillaea antarctica* (Fucales, Phaeophyceae) – do positive interactions facilitate range extensions? Journal of Biogeography 45(8): 1833-1845.

LÓPEZ GA & C RIVERA (2017) Ciencia ciudadana, una herramienta aplicada por operadores turísticos y guardaparques al registro de avistamientos de cetáceos durante los años 2014-2017 frente a isla Chañaral, Reserva Nacional Pingüino de Humboldt. Biodiversidata 5: 12-17

LÓPEZ MENDOZA P, C CARRASCO, R LOYOLA, F SANTANA-SAGREDO, V FLORES-AQUEVEQUE, A MALDONADO & P DÍAZ-JARUFE (2021) Caza de vicuñas en un refugio de las Tierras Altas de la Puna meridional de Chile (26° s). Archaeofauna 30: 55–73.

LÓPEZ MENDOZA P, C CARRASCO, R LOYOLA, V FLORES-AQUEVEQUE, A MALDONADO et al. (2022b) Huentelauquén coastal groups in the Andean highlands? An assessment of human occupations of the Early Holocene in Salar de Pedernales, Chile (26°S, 3356 masl). PaleoAmerica 8(3): 253-263

LÓPEZ MENDOZA P, C CARRASCO, R LOYOLA, V MÉNDEZ, D VARAS et al. (2022a) First human occupations in Salar de Pedernales (26°S; 3,456 masl, Chile): Chronology, evidence and cultural relations. Quaternary International 646: 34-50.

LÓPEZ-SIMÓ V, D COUSO & C SIMARRO (2020). Educación STEM en y para el mundo digital: El papel de las herramientas digitales en el desempeño de prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas, Revista de Educación a Distancia, 62(20): 7. (DOI: 10.6018/red.410011)

LOSEY GS & L MARGULES (1974) Cleaning symbiosis provides a positive reinforcer for fish. Science 184:179–180.

LOUCA S, F MAZEL, M DOEBELI & LW PARFREY (2019) A census-based estimate of Earth's bacterial and archaeal diversity. PLoS Biol 17(2): e3000106.

LUEBERT F & P PLISCOFF (2006) Sinopsis Climática y Vegetacional de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 287 pp.

LUNA N (2018) Golondrina de mar peruana (*Oceanodroma tethys*) En: Medrano F, F Schmitt & R Barros (eds) Atlas de aves nidificantes de Chile 282-283 pp.

LUNA-JORQUERA G & BM CULIK (1999) Diving behaviour of Humboldt penguins *Spheniscus humboldti* in northern Chile. Marine Ornithology 27:67–76

LUNA-JORQUERA G & BM CULIK (2000) Metabolic rates of swimming Humboldt penguins. Marine Ecology Progress Series 203: 301–309. https://doi.org/10.3354/meps203301

LUNA-JORQUERA G, A SIMEONE & R AGUILAR (2003) Ecofisiología de animales endotermos en un desierto cálido y un mar frío: El caso de las aves marinas de la Corriente de Humboldt. En: Bozinovic f (ed) Fisiología Ecológica & Evolutiva: 297-316 pp. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

MACDONELL S, C KINNARD, T MÖLG, L NICHOLSON & J ABERMANN (2013) Meteorological drivers of sublimation and melt on a cold glacier in the semi-arid Andes of Chile. The Cryosphere 7(5): 1513-1526.

MACLEAN GL (1996) Ecophysiology of desert birds. Springer Science & Business Media, Berlin, Germany.

MADRIGAL-GONZÁLEZ J, AP CEA, L SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, KP MARTÍNEZ-TILLERÍA, JE CALDERÓN & JR GUTIÉRREZ (2013) Facilitation of the non-native annual plant *Mesembryanthemum crystallinum* (Aizoaceae) by the endemic cactus *Eulychnia acida* (Cactaceae) in the Atacama Desert. Biological Invasions 15: 1439-1447.

MAGUNACELAYA JC & E DAGNINO (1999) Nematología Agrícola en Chile. Serie Ciencias Agronómicas N°2, Universidad de Chile.

MANKUK (2017) Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos Isla Grande de Atacama (AMCP-MU IGA). Puesta en Valor de su Patrimonio Cultural.

MANN G (1960) Regiones biogeográficas de Chile. Investigaciones Zoológicas Chilenas 6: 15-49.

MANZANILLA-LÓPEZ R & N MARBÁN-MENDOZA (2012) Practical Plant Nematology. Mundi Prensa, España. 883 pp.

MARAMBIO S, MJ BRAIN & J MELLA (2020) Vertebrados terrestres presentes en las cuencas andinas de los ríos Nevado, La Gallina y Quebrada Seca, Región de Atacama. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural 69(1): 107-127.

MARAMBIO-ALFARO Y & J TRONCOSO-PALACIOS (2014) Una nueva especie de *Liolaemus* del grupo de *L. nigromaculatus* (Iguania: Liolaemidae) para la Región de Atacama, Chile. Basic and Applied Herpetology. 2014; 28: 65-77.

MARAMBIO-ALFARO Y, JV SAAVEDRA, L ÑACARI, A LÓPEZ, AE SERRANO et al. (2020) Data on metal accumulation in the tails of the lizard *Microlophus atacamensis* in a coastal zone of the Atacama Desert, northern Chile: a non-destructive monitoring tool for heavy metal pollution. Data in Brief (32): 106032: 1-11.

MARÍN C, S TRONCOSO, G PALFNER & A CASANOVA-

KATNY (2020) Líquenes cortícolas del Parque Nacional Pan de Azúcar, Sector Las Lomitas. Boletín científico-técnico Biodiversidata 9: 92-94.
MARÍN JC, BA GONZÁLEZ, E POULIN, CS CASEY & WE JOHNSON (2013) The influence of the arid Andean high plateau on the phylogeography and population genetics of guanaco (*Lama guanicoe*) in South America. Molecular Ecology 22: 463–482.
MARINE MAMMAL PROTECTED AREAS TASK FORCE (MMPATF, 2022) Humboldt Archipelago IMMA (Online) URL: https://www.marinemammalhabitat.org/portfolio-item/humboldt-archipelago-imma/ Accedido diciembre 02, 2022.
MARIVAUX L, J VÉLEZ-JUARBE, G MERZERAUD, F PUJOS, LW VIÑOLA LÓPEZ, M BOIVIN et al. (2020) Early Oligocene chinchilloid caviomorphs from Puerto Rico and the initial rodent colonization of the West Indies. Proceeding of the Royal Society B 287: 20192806.
MARQUEZ J (2005) Técnicas de colecta y preservación de insectos. Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa, N°1 37: 385 – 408.
MÁRQUEZ PORRAS R & JA VÁSQUEZ (2020) El extractivismo de las algas pardas en el norte de Chile. European Review of Latin American and Caribbean Studies/Revista Europea de Estudios Latinoamericanos y del Caribe 110: 101-121.
MÁRQUEZ PORRAS R (2019) La fiebre de las algas. Forma y dinámicas del extractivismo en la costa chilena. Revista Andaluza de Antropología 17: 52-71.
MARTÍN M (2002) Enseñanza de las ciencias ¿Para qué? Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias 1: 57-63.
MARTÍNEZ-TILLERIA K (2015) Optimización de un portafolio de conservación marino-terrestre para Chile: efectos y consecuencias de la integración. Tesis doctoral, Departamento de Biología, Universidad de La Serena, Chile.
MARTÍNEZ-TILLERIA K, M NÚÑEZ ÁVILA, CA. LEÓN, P PLISCOFF, FA. SQUEO & JJ ARMESTO (2017) A framework for the classification Chilean terrestrial ecosystems as a tool for achieving global conservation targets. Biodiversity and Conservation 26: 2857-2876.
MASELLO JF, P QUILLFELDT, GK MUNIMANDA, N KLAUKE, G SEGELBACHER, HM SCHAEFER, M FAILLA, M CORTÉS & Y MOODLEY (2011) The high Andes, gene flow and a stable hybrid zone shape the genetic structure of a wide-ranging South American parrot. Frontiers in Zoology 8: Article 16 DOI 10.1186/1742-9994-8-16.
MCCAIN CM & JA GRYTNES (2010) Elevational gradients in species richness. En: Encyclopedia of Life Sciences: 1–10. John Wiley & Sons, Chichester, England.
MCDOWALL RM (1988) Diadromy in fishes. Migrations between freshwater and marine environments. Timber Press, Portland, Oregon, USA.
MCDOWALL RM (1997) The evolution of diadromy in fishes (revisited) and its place in phylogenetic analysis. Reviews in Fish Biology and Fisheries 7: 443–462.
MCLEAN M, D MOUILLOT, M LINDEGREN, S VILLÉGER, G ENGELHARD, J MURGIER & A AUBER (2019) Fish communities diverge in species but converge in traits over three decades of warming. Global Change Biology 25: 3972-3984.
MCLEAN M, RD STUART-SMITH, S VILLÉGER, A AUBER, GJ EDGAR, MA MACNEIL et al. (2021) Trait similarity in reef fish faunas across the world's oceans. Proceedings of the National Academy of Sciences 118.
MEA (2005) Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. World Resources Institute. Washington, DC.
MELLA J & I HORTA-PIZARRO (2019) Ampliación de la distribución geográfica de la rana grande chilena *Calyptocephalella gayi* (Dúmeril & Bibron 1841) (Anura, Calyptocephalellidae): registros en la Región de Atacama, Chile. Boletín Chileno de Herpetología 6: 15-18.
MELLA J (2017a) Guía de Campo de Reptiles de Chile. Tomo 1: Zona Central. Peñaloza APG (ed) Santiago, Chile.
MELLA J (2017b) Guía de Campo de Reptiles de Chile. Tomo 2: Zona Norte. Peñaloza APG (ed) Santiago, Chile.
MELLA J (2019) Reptiles de la Región de Atacama: distribución geográfica y altitudinal. En: Marambio-Alfaro & Hiriart-Lamas. Reptiles de la Región de Atacama: 30-37.
MERKLINGER FF, T BÖHNERT, M ARAKAKI, M WEIGEND, D QUANDT & F LUEBERT (2021) Quaternary diversification of a columnar cactus in the driest place on earth. American Journal of Botany 108: 184-199.
MEZA C & G STURLA (2015) Escasez y sequía en acuífero del río Copiapó. Revista de Derecho Ambiental 4: 81-89.
MILLER SD & J ROTTMANN (1976) Guía para el reconocimiento de mamíferos chilenos. En Expedición a Chile. Editora Nacional Gabriela Mistral, 200 pp.
MINISTERIO DE EDUCACIÓN (MINEDUC, 2015) Bases Curriculares 7° básico a 2° medio. Unidad de Currículum y Evaluación. Ministerio de Educación de Chile. (En línea) URL: https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-37136_bases.pdf (accedido marzo 6, 2022).
MINISTERIO DE EDUCACIÓN (MINEDUC, 2018a) Bases Curriculares Educación Parvularia. Subsecretaría de Educación Parvularia. Ministerio de Educación, República de Chile. https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-69957_bases.pdf (accedido marzo 6, 2022).
MINISTERIO DE EDUCACIÓN (MINEDUC, 2018b) Bases Curriculares Primero a Sexto Básico. Unidad de Currículum y Evaluación. Ministerio de Educación, República de Chile. (En línea) URL: https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-22394_bases.pdf (accedido marzo 6, 2022).
MINISTERIO DE EDUCACIÓN (MINEDUC, 2019a) Bases Curriculares 3º y 4º medio. Unidad de Currículum y Evaluación. Ministerio de Educación, República de Chile. (En línea) URL: https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-22394_bases.pdf (accedido marzo 6, 2022).
MINISTERIO DE EDUCACIÓN (MINEDUC, 2019b) Estadísticas de la Educación 2018, Ministerio de Educación, Centro de Estudios MINEDUC (CEM): Santiago, Chile. (En línea) URL: https://centroestudios.mineduc.cl/wp-content/uploads/sites/100/2019/11/ANUARIO-2018-PDF-WEB-FINALr.pdf (accedido marzo 7, 2022).
MINISTERIO DE EDUCACIÓN (MINEDUC, 2023). Actualización de la Priorización Curricular para la Reactivación Integral de Aprendizajes: Ciencias Naturales. Ciencias Para la Ciudadanía. Unidad de Curriculum y Evaluación, Ministerio de Educación. (En Línea) https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-331996_priorizacion.pdf
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP, 2017) Plan Especial de Infraestructura MOP de apoyo al Turismo Sustentable a 2030, 671 pp.
MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE & PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (2017) Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030. Desarrollada en el contexto del Proyecto "Planificación Nacional de la Biodiversidad para apoyar la implementación del Plan Estratégico de la Convención de Diversidad Biológica, 2011-2020".

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA, 2011) Política Nacional de Educación para el Desarrollo Sustentable, Ministerio del Medio Ambiente, Santiago, Chile (En línea) URL: https://www.chiledesarrollosustentable.cl/desarrollo-sostenible/ministerio-de-medio-ambiente/educacion-ambiental-ministerio-de-medio-ambiente/politica-de-educacion-para-el-desarrollo-sustentable

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA, 2018) Decreto Nº95 "Declara santuario de la naturaleza Laguna Tebenquiche". CVE 1592264. Diario Oficial de la República de Chile, Lunes 20 de Mayo 2019, Santiago N° 42.358: 1-3.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA, 2021) Cliona chilensis. (En línea) URL: https://inaturalist.mma.gob.cl/observations/89867318.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA, 2021) Nómina de Especies según Estado de Conservación 17° proceso de clasificación de especies (2020 – 2021). https://clasificacionespecies.mma.gob.cl

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA, 2021) Parazoanthus elongatus. (En línea) URL: https://inaturalist.mma.gob.cl/observations/78537802

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA, 2022) Phymanthea pluvia. https://inaturalist.mma.gob.cl/observations/104308616

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA, 2023) Ley 21600: Crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. 21 de agosto, 2023.

MISSION BLUE (2018) (Online) URL: https://missionblue.org/2018/04/international-attention-turns-to-the-humboldt-archipelago-now-declared-a-mission-blue-hope-spot/.

MITCHELL ME (2007). Signposts to symbiosis: a review of early attempts to establish the constitution of lichens. Huntia 13: 101–120.

MOISAN P (2023) Devonian to Triassic paleobotanical record from Chile: An overview of the micro- and macrofossil record and fossil localities. Review of Palaeobotany and Palynology 320: 105014 (Online) (DOi: 10.1016/j.revpalbo.2023.105014).

MOLINA GI (1782) Saggio sulla storia naturale del Chili, del signor abate Gionanni Iganazio Molina. Stamperoa del S. Tommaso d'Aquino, Bologna, 367 pp.

MOLTÓ V, P HERNÁNDEZ, M SINOPOLI, A BESBES-BENSEDDIK, R BESBES et al. (2020) A global review on the biology of the dolphinfish (Coryphaena hippurus) and its fishery in the Mediterranean Sea: advances in the last two decades. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture 28: 376-420.

MONDACA J (2004) Nueva especie de *Gyriosomus* Guérin-Méneville, 1834 (Coleoptera: Tenebrionidae: Nycteliini) del extremo norte de la región de Atacama (Chile). Revista Chilena de Entomología 30: 21-26.

MONDACA J, J PIZARRO-ARAYA & FM ALFARO (2019) Revision of the genus *Luispenaia* Martinez (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae: Tanyproctini), with description of three new species from the Atacama Desert, Chile. Zootaxa 4615: 549-562.

MONTECINO V & C LANGE (2009) The Humboldt Current System: Ecosystem components and processes, fisheries, and sediment studies. Progress in Oceanography 83(1-4): 65-79.

MONTEIRO P, B DEWITTE, M SCRANTON, A PALMIER, & AK VAN DER PLAS (2011) The role of open ocean boundary forcing on seasonal to decadal-scale variability and long-term change of natural shelf hypoxia. Environmental Research Letters 6(2): 025002.

MONTERO A & C DIÉGUEZ (1998) Datos para la paleontología chilena, la paleontología en la expedición Heuland a Chile y Perú (1795-1800). Revista de historia de la medicina y de la ciencia 50(1): 69-78.

MORA M, DJ PONS, A PEÑAFIEL-RICAURTE, M ALVARADO-RYBAK, S LEBUY & C SOTO-AZAT (2019) High abundance of invasive African clawed frog *Xenopus laevis* in Chile: challenges for their control and updated invasive distribution. Management of Biological Invasions 10(2): 377-388.

MORALES NA, EE EASTON, AM FRIEDLANDER, ES HARVEY, R GARCIA & CF GAYMER (2019) Spatial and seasonal differences in the top predators of Easter Island: Essential data for implementing the new Rapa Nui multiple-uses marine protected area. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 29: 118-129.

MORANDO M, M OLAVE, LJ AVILA, SITES Jr JW & AD LEACHÉ (2020) Phylogenomic data resolve higher-level relationships within South American Liolaemus lizards. Molecular Phylogenetics and Evolution 147: 106781.

MOREIRA-MUÑOZ A (2014) Central Chile Ecoregion. En: Hobohm C (ed) Endemism in Vascular Plants: 221-233. Springer, Dordrecht.

MORRISON RIG & K ROSS (1989) Atlas of Neartic shorebirds on the coast of South America. Canadian Wildlife Service Special Publication. Vol I y II.

MOSCOSO P (2015) Eficiencia y eficacia del derecho de aprovechamiento de aguas en zonas áridas. Experiencia en la Región de Atacama. Revista de Derecho Administrativo Económico 20: 165-194.

MOSCOSO R & C MPODOZIS (1988) Estilos estructurales en el Norte Chico de Chile (28-31°S), regiones de Atacama y Coquimbo. Revista Geológica de Chile 15(2): 151-166.

MOSCOTE J (2022) Microorganismos en el Desierto de Atacama: Prestación de Servicios Ecosistémicos y su Conservación. Tesis de Magister. Programa de Magister Magíster en Ciencias Biológicas, mención Ecología de Zonas Áridas. Universidad La Serena, Chile.

MOSTNY GLASER G (Ed) (1980) Bibliografía. Museo Nacional de Historia Natural 1930-1980. Ministerio de Educación Pública, Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos, Museo Nacional de Historia Natural, Santiago de Chile. 412 pp.

MUJICA A, ML NAVA & F LEIVA-DIETZ (2022) On the presence of *Branchiostoma elongatum* juveniles (Cephalochordata: Branchiostomatidae) on the north-central coast of Chile. Latin American Journal of Aquatic Research 50(4): 622-627.

MÜLLER RD, J CANNON, X QIN, R WATSON, M GURNIS… & S ZAHIROVIC (2018) GPlates: Building a virtual Earth through deep time. Geochemistry, Geophysics, Geosystems 19: 2243–2261.

MUÑOZ-PEDREROS A & JL YAÑEZ (2009) Mamíferos de Chile, Segunda Edición. Ediciones CEA, Valdivia, Chile. 571 pp.

MUÑOZ-SCHICK M & A MOREIRA-MUÑOZ (2003) Alstroemerias de Chile: diversidad, distribución y conservación. Taller La Era, Santiago, Chile. 140 pp.

MUÑOZ-SCHICK M & A MOREIRA-MUÑOZ (2020) Reinterpretación del complejo *Alstroemeria diluta* Ehr. Bayer (Alstroemeriaceae) basada en el color y ornamentación de los tépalos, con cambio de distribución geográfica y de estatus de sus taxones. Gayana Botánica 77(2): 176-181.

MUÑOZ-SCHICK M (2000) Novedades en la familia Alstroemeriaceae. Gayana Botánica 57(1): 55-59.

MYERS RA & B WORM (2003) Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. Nature 423: 280-283.

MYERS RA, JK BAUM, TD SHEPHERD, SP POWERS & CH PETERSON (2007) Cascading effects of the loss of apex predatory sharks from a coastal ocean. Science 315: 1846-1850.
NARANJO J & R PASKOFF (1980) Evolución geomorfológica del desierto de Atacama entre los 26° y 33° de latitud Sur, Revisión Cronológica. Revista Geológica de Chile 10: 85-89.
NASH D, BATEMAN M, BULLARD J & C LATORRE (2018) Late Quaternary coastal evolution and aeolian sedimentation in the tectonically-active southern Atacama Desert, Chile. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 490: 546-562.
NAVARRETE A, N LAGOS & P OJEDA (2014) Latitudinal diversity patterns of Chilean coastal fishes: searching for causal processes. Revista Chilena de Historia Natural 87:2.
NEAR TJ, A GHEZELAYAGH, FP OJEDA & A DORNBURG (2019) Recent diversification in an ancient lineage of Notothenioid fishes (Bovichtus: Notothenioidei). Polar Biology 42: 943-952.
NEILL PE, O ALCALDE, S FAUGERON, SA NAVARRETE & JA CORREA (2006) Invasion of *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* in northern Chile: a new threat for *Gracilaria* farming. Aquaculture 259: 202-210.
NELSON JS (1994). Fishes of the world. Third edition. John Wiley & Sons, Inc., New York. 600 p.
NELSON JS, TC GRANDE & MVH WILSON (2016) Fishes of the World. Fifth Edition, John Wiley & Sons, Hoboken. (Online) (DOI: 10.1002/9781119174844).
NICHOLSON L, J MARÍN, D LOPEZ, A RABATEL, F BOWN & A RIVERA (2009) Glacier inventory of the upper Huasco valley, Norte Chico, Chile: glacier characteristics, glacier change and comparison with central Chile. Annals of Glaciology 50: 111–118.
NIELSEN V (2003) Métodos para recolectar insectos. Revista de Agricultura Tropical. 33: 59-68.
NIEMEYER H (1998) El Período Medio, Complejo Las Ánimas. En: H Niemeyer & M Cervellino (eds). Culturas Prehistóricas de Copiapó. Museo Regional de Atacama: 115-162.
NIEMEYER H & M CERVELLINO (1998) Culturas Prehistóricas de Copiapó. Museo Regional de Atacama, Copiapó.
NOVOA J (2001) Cambio climático global y pedogénesis en ambientes áridos. Revista de Estudios Socioterritoriales 2: 93-120.
NOVOA J, Y TRACOL & D LÓPEZ (2008) Paisajes Eco-geográficos de la Región de Atacama. En: Squeo FA, G Arancio & JR Gutiérrez (eds) Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación, Región de Atacama: 13-24. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile.
NUNES LT, RA MORAIS, GO LONGO, J SABINO & SR FLOETER (2020) Habitat and community structure modulate fish interactions in a neotropical clearwater river. Neotropical Ichthyology 18.
NÚÑEZ I, E GONZÁLEZ-GAUDIANO & A BARAHONA (2003). La biodiversidad: historia y contexto de un concepto. Interciencia 28(7): 387-393.
NOSS RF (1990) Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. Conservation Biology 4(4): 355-364.
OIKONOS-ROC-OPCC (2022) Guía para una Iluminación Amigable con Aves Marinas en Chile.
OJANGUREN-AFFILASTRO AA, CI MATTONI & L PRENDINI (2007) The genus *Brachistosternus* (Scorpiones: Bothriuridae) in Chile, with descriptions of two new species. American Museum Novitates 3564: 1-44.
OJANGUREN-AFFILASTRO AA, CI MATTONI, JA OCHOA & L PRENDINI (2012) *Rumikiru*, n. gen. (Scorpiones: Bothriuridae), a new scorpion genus from the Atacama Desert. American Museum Novitates 2012(3731): 1-43.
OJANGUREN-AFFILASTRO AA, J PIZARRO-ARAYA & JA OCHOA (2018) Five new scorpion species of genus *Brachistosternus* (Scorpiones: Bothriuridae) from the deserts of Chile and Peru, with comments about some poorly studied diagnostic characters of the genus. Zootaxa 4531(2): 151-194.
OJEDA P, FA LABRA & AA MUÑOZ (2000) Biogeographic patterns of Chilean littoral fishes. Revista chilena de historia natural 73: 625-641.
OLIVARES S & FA SQUEO (1999) Patrones fenológicos en especies arbustivas del desierto costero del norte-centro de Chile. Revista chilena de historia natural 72 (1): 353-370.
ORTEGA I & W FRANKLIN (1995) Social organization, distribution and movements of a migratory guanaco. Revista Chilena de Historia Natural 68: 489–500.
ORTIZ JC, RA MORENO (2008) Diversidad y biología de tortugas marinas. En: Vidal M & A Labra (eds) Herpetología de Chile. Science Verlag, Santiago, Chile: 269-299.
OSGOOD WH (1943) The mammals of Chile. Field Museum of Natural History. Zoological series 30: 1-268.
OSORIO C (1981) Caudofoveata y solenogastra de Chile. Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción 52: 115-128.
OTERO RA, S SOTO-ACUÑA & D RUBILAR-ROGERS (2015) El registro fósil de los Plesiosaurios (Sauropterygia) en Chile. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural 63:151-188.
PALMA S & P APABLAZA (2004) Abundancia estacional y distribución vertical de zooplancton gelatinoso carnívoro en un área de Surgencia en el norte del Sistema de la Corriente de Humbolth. Investigaciones Marinas 32(1): 49-70.
PAPINUTTI L (2014) *Morganella sulcatostoma* (Agaricales, Basidiomycota): Primer hallazgo en Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 49(2): 173-176.
PARDO JP, RA OTERO & ME SUÁREZ (2015) Síntesis del registro fósil de Ictiosaurios (Reptilia: Ichthyiosauria) en Chile. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural 63:113-150.
PARDO O (2002) Etnobotánica de algunas cactáceas y suculentas del Perú. Chloris Chilensis 5 (1).
PARRA-GÓMEZ A & LD FERNÁNDEZ (2022) Filling gaps in the diversity and biogeography of Chilean millipedes (Myriapoda: Diplopoda). Arthropod Systematics & Phylogeny 80: 561-573.
PAULY D (2009) Beyond duplicity and ignorance in global fisheries. Scientia Marina 73: 215-224.
PAULY D, V CHRISTENSEN, J DALSGAARD, R FROESE & F TORRES (1998) Fishing down marine food webs. Science 279: 860-863.
PAULY D, V CHRISTENSEN, S GUENETTE, TJ PITCHER, UR SUMAILA, CJ WALTERS, R WATSON & D ZELLER (2002) Towards sustainability in world fisheries. Nature 418: 689-695.
PEIMAN KS & BW ROBINSON (2010) Ecology and evolution of resource-related heterospecific aggression. The Quarterly Review of Biology 85: 133-158.
PEQUEÑO G (2000) Delimitaciones y relaciones biogeográficas de los peces del Pacifico suroriental. Estud. Oceanológicos. 19:53-76.
PÉREZ MJ, F THOMAS, F URIBE, M SEPÚLVEDA, M FLORES & R MORAGA (2006) Fin whales (*Balaenoptera physalus*) feeding on *Euphausia mucronata* in nearshore waters off north-central Chile. Aquatic mammals 32(1):109-113.
PÉREZ-MATUS A & A CEA-EGAÑA (2021) Libro De la Mar,

Historia natural de los peces de Chile Continental. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, 451 pp.
PÉREZ-MATUS A, A OSPINA-ALVAREZ, PA CAMUS, SA CARRASCO, M FERNÁNDEZ et al. (2017a) Temperate rocky subtidal reef community reveals human impacts across the entire food web. Marine Ecology Progress Series 567: 1-16.
PÉREZ-MATUS A, P NEUBAUER, JS SHIMA & MM RIVADENEIRA (2022) Reef Fish Diversity Across the Temperate South Pacific Ocean. Frontiers in Ecology and Evolution 10: 768707.
PÉREZ-MATUS A, SA CARRASCO, S GELCICH, M FERNÁNDEZ & EA WIETERS (2017b) Exploring the effects of fishing pressure and upwelling intensity over subtidal kelp forest communities in Central Chile. Ecosphere 8: e01808.
PÉREZ-SCHULTHEISS J (2021) Opiliones de Chile: Estado del conocimiento y checklist de las especies. Revista Parasitología Latinoamericana, Edición especial, Arácnidos comunes de Chile 70: 51-81.
PETIT IJ, AN CAMPOY, MJ HEVIA, CF GAYMER & FA SQUEO (2018) Protected areas in Chile: are we managing them? Revista Chilena de Historia Natural 91: 1.
PFEIFFER M, A MORGAN, A HEIMSATH, T JORDAN, A HOWARD & R AMUNDSON (2021) Century scale rainfall in the absolute Atacama Desert: Landscape response and implications for past and future rainfall. Quaternary Science Reviews 254: 106797.
PHILIPPI RA (1860) Viaje al desierto de Atacama hecho por orden del Gobierno de Chile en el verano 1853- 1854 por el Dr. Rodulfo Amando Philippi. Librería Anton, Sajonia. 254 pp.
PIETREK AG, JI TÚNEZ, J CROCE, VS BERRIOS, J HERNÁNDEZ, S OCARANZA & J SEGOVIA (2022) Confirmación de la presencia de la chinchilla de cola corta (*Chinchilla chinchilla*) en la Argentina. Mastozoología Neotropical 29(2): e0828. https://doi.org/10.31687/saremMN.22.29.2.08.e0828
PIZARRO O (1999) Low frequency fluctuations in the Eastern Boundary Current off South America: Remote and local forcing. Ph. D. Thesis. Earth Sciences Centre, Göteborg. 102 pp.
PIZARRO O, AJ CLARKE, & S VAN GORDER (2001) El Niño Sea Level and Currents along the South American Coast: Comparison of Observations with Theory. Journal Physical Oceanography 31(7): 1891-1903.
PIZARRO O, G SHAFFER, B DEWITTE & M RAMOS (2002) Dynamics of seasonal and interannual variability of the Peru-Chile Undercurrent, Geophysical Research Letters 29(12).
PIZARRO-ARAYA & GE FLORES (2004) *Gyriosomus granulipennis* (Coleóptera: Tenebrionidae): Un caso extremo a conservar. Revista Chilena de Historia Natural 85(3): 345-349.
PIZARRO-ARAYA J & GE FLORES (2004) Two new species of *Gyriosomus* Guérin-Méneville from Chilean coastal desert (Coleoptera: Tenebrionidae: Nycteliini). Journal of the New York Entomological Society 112: 121-126.
PIZARRO-ARAYA J (2010) Hábitos alimenticios del género *Gyriosomus* Guérin-Méneville, 1834 (Coleoptera: Tenebrionidae): ¿qué comen las vaquitas del desierto costero? Idesia 28: 115-119.
PIZARRO-ARAYA J, EV VILLALOBOS, FM ALFARO & A MOREIRA-MUÑOZ (2023) Conservation efforts in need of survey improvement in epigean beetles from the Atacama coast, Chile. Journal of Arid Environments 214: 104995 (Online) URL: https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.104995
PIZARRO-ARAYA J, FM ALFARO & GE FLORES (2023) Evidences of a local extinction in the north from Chile? The case of the tenebrionid *Praocis (Orthogonoderes) insularis* Kulzer, 1958 (Coleoptera: Tenebrionidae). Annals of the Brazilian Academy of Sciences. in press.
PIZARRO-ARAYA J, J CEPEDA-PIZARRO & GE FLORES (2008) Diversidad taxonómica de los artrópodos epígeos de la región de Atacama (Chile): estado del conocimiento. En: Squeo FA, G Arancio & JR Gutiérrez (eds.). Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: región de Atacama: 257-274. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena. Chile.
PNUD (2017) Catálogo de las especies exóticas asilvestradas/ naturalizadas en Chile. Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB) Universidad de Concepción, Proyecto GEF/MMA/PNUD Fortalecimiento de los Marcos Nacionales para la Gobernabilidad de las Especies Exóticas Invasoras: Proyecto Piloto en el Archipiélago de Juan Fernández. Santiago de Chile, 61 pp.
POBLETE-MORALES M, D CARVAJAL, R ALMASIA, S MICHEA, C CANTILLANA, A LEVICAN & E SILVA-MORENO (2020) *Pseudomonas atacamensis* sp. nov., isolated from the rhizosphere of desert bloom plant in the region of Atacama, Chile. Antonie van Leeuwenhoek 113: 1201-1211.
POOLE A & D PENNY (2007) Evaluating hypotheses for the origin of eukaryotes. Bioessays 29 (1): 74-84.
POORTVLIET M, GC LONGO, K SELKOE, PH BARBER, C WHITE, JE CASELLE & G BERNARDI (2013) Phylogeography of the California sheephead, *Semicossyphus pulcher*: the role of deep reefs as stepping stones and pathways to antitropicality. Ecology and Evolution 3: 4558-4571.
PORTER C (1925) Galería de los naturalistas de Chile. Enrique Ernesto Gigoux. Revista Chilena de Historia Natural 29: 236–237.
PORTER C (1935) Don Enrique Ernesto Gigoux, presidente de la Academia Chilena de Ciencias Naturales. Revista Chilena de Historia Natural 39: 31–33.
POTTER IC, HS GILL, CB RENAUD & D HAOUCHER (2015) The Taxonomy, Phylogeny, and Distribution of Lampreys. In: MF Docker (ed) Lampreys: Biology, Conservation and Control, Fish & Fisheries Series 37 DOI: 10.1007/978-94-017-9306-3_2
PROGRAMA ECBI•CHILE (2015) Método Indagatorio. http://www.ecbichile.cl/home/metodo-indagatorio/ (accedido marzo 6, 2022).
PUIG S, F VIDELA, MI CONA & VG ROIG (2008) Habitat use by guanacos (*Lama guanicoe*, Camelidae) in northern Patagonia (Mendoza, Argentina) Studies on Neotropical Fauna and Environment 43: 1-9.
QIAN LS, HH SHI, XK OU & H SUN (2022) Elevational patterns of functional diversity and trait of *Delphinium* (Ranunculaceae) in Hengduan Mountains, China. Plant diversity, 44: 20-29.
QUIMBAYO JP, M CANTOR, MS DIAS, AS GRUTTER, S GINGINS, JHA BECKER & SR FLOETER (2018a) The global structure of marine cleaning mutualistic networks. Global Ecology and Biogeography 27: 1238–1250.
QUIMBAYO JP, ORC SCHLICKMANN, SR FLOETER & I SAZIMA (2018b) Cleaning interactions at the southern limit of tropical reef fishes in the Western Atlantic. Environmental Biology of Fishes 101: 1195–1204.
QUINTANA J & P ACEITUNO (2012) Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43°S. Atmósfera 25: 1–22.
QUISPE R, M LERMA, N LUNA, M PORTFLITT-TORO, J SERRATOSA & G LUNA-JORQUERA (2020) Foraging Ranges of Humboldt Penguins *Spheniscus humboldti* From Tilgo Island:

the Critical Need for Protecting a Unique Marine Habitat. Marine Ornithology 205–208.
RABATEL A, H CASTEBRUNET, V FAVIER, L NICHOLSON & C KINNARD (2011) Glacier changes in the Pascua-Lama region, Chilean Andes (29 ° S): recent mass balance and 50 yr surface area variations. Cryosphere 5: 1029–1041.
RAHBEK C (1995) The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? Ecography, 18: 200-205.
RAMÍREZ C, C SAN MARTÍN & J SAN MARTÍN (1992) Vegetación y dinámica vegetacional en las dunas litorales chilenas. Bosque (Valdivia) 13 (1): 41-48.
RAMÍREZ ME & B SANTELICES (1991) Catálogo de las algas marinas bentónicas de la costa temperada del Pacífico de Sudamérica. Ediciones Universidad Católica de Chile, Monografías Biológicas 5: 437.
RAMÍREZ-FLANDES S, C GONZALEZ, M ALDUNATE, J POULAIN, P WINCKER et al. (2022) High genetic diversity in the pelagic deep-sea fauna of the Atacama Trench revealed by environmental DNA. bioRxiv.
RAMÍREZ-HERRANZ M, F SAYOL, RS RIOS, A ANTONELLI & FA SQUEO (2024) The origin of excavator nesting behavior and its impact on the evolution of Neotropical parrots. Oikos, e10155. DOI: 10.1111/oik.10155
RAMIREZ-HERRANZ M, RS RIOS, R VARGAS-RODRIGUEZ, JE NOVOA-JEREZ & FA SQUEO (2017) The importance of scale-dependent ravine characteristics on breeding-site selection by the Burrowing Parrot, *Cyanoliseus patagonus*. PeerJ 5: e3182; DOI 10.7717/peerj.3182
RAMOS M, B DEWITTE, O PIZARRO & G GARRIC (2008) Vertical propagation of extratropical Rossby waves during the 1997-1998 El Niño off the west coast of South America in a medium- resolution OGCM simulation. Journal of Geophysical Research: Oceans 113(C8).
RAMOS M, O PIZARRO, L BRAVO & B DEWITTE (2006) Seasonal variability of the permanent thermocline off northern Chile, Geophysical Research Letters 33(9).
RAMSAR (2013) Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971). Secretaría de la Convención de Ramsar. Gland, Suiza
RAMSAR (2021) Perspectiva mundial sobres los Humedales. Edición Especial 2021. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención sobre los Humedales.
REDFORD KH & JF EISENBERG (1991) Mammals of the Neotropic. Vol 2: The Southern Cone: Argentina, Chile, Paraguay & Uruguay. University of Chicago Press, Chicago.
REYES P & M HÜNE (2012) Libro Peces del Sur de Chile. Ediciones Ocho Libros. Santiago, 498 pp.
REYES-OLIVARES C, D HIRIART & Y MARAMBIO (2020) Predation on *Liolaemus atacamensis* Muller & Hellmich, 1933 (Squamata, Liolaemidae) by *Callopistes maculatus* Gravenhorst 1838 (Squamata, Teiidae) in the Atacama Desert. Herpetology notes 13: 267-269.
RIGBY CL, R BARRETO, J CARLSON, D FERNANDO, S FORDHAM et al. (2019) Isurus oxyrinchus. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T39341A2903170. (Online) URL: https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-1.RLTS.T39341A2903170. Accessed November 06, 2022.
RITTER B, V WENNRICH, A MEDIALDEA, D BRILL, G KING et al. (2019) Climatic fluctuations in the hyperarid core of the Atacama Desert during the past 215 ka. Scientific Reports 9: 1-13.
RITZ DA, AJ HOBDAY, JC MONTGOMERY & AJ WARD (2011) Social aggregation in the pelagic zone with special reference to fish and invertebrates. Advances in Marine Biology 60: 161-227.
RIVERA P & F CRUCES (2009) Diatomeas (Bacillariophyceae) de zonas andinas del norte de Chile: Nueva localidad geográfica para *Holoroundia speciosa* (Hustedt) Diaz et Maidana. Gayana Bot 66(2): 280-282.
ROBBINS WD, M HISANO, SR CONNOLLY & JH CHOAT (2006) Ongoing collapse of coral-reef shark populations. Current Biology 16: 2314-2319.
ROBERTSON DR (1996) Interspecific competition controls abundance and habitat use of territorial caribbean damselfishes. Ecology 77: 885–899.
ROBISON BH (2009) Conservation of Deep Pelagic Biodiversity. Conservation Biology 23: 847-858.
RODRÍGUEZ LJ, OA BARBOSA, C SOTO-AZAT, M ALVARADO-RYBAK, CL CORREA-QUEZADA, MA MÉNDEZ et al. (2022) Amphibian phylogenetic diversity in the face of future climate change: not so good news for the chilean biodiversity hotspot. Biodiversity and Conservation 31(11): 2587-2603.
RODRÍGUEZ R, C MARTICORENA, D ALARCÓN, C BAEZA, L CAVIERES et al. (2018) Catálogo de las plantas vasculares de Chile. Gayana Botánica 75: 1-430.
ROFF G, C DOROPOULOS, A ROGERS, YM BOZEC, NC KRUECK et al. (2016) The ecological role of sharks on coral reefs. Trends in Ecology & Evolution 31: 395-407.
ROJO M (1983) Geología y evaluación geólica del yacimiento de fosforitas uraníferas de Bahía Inglesa. Informe proyecto Terciario Costero, CORFO / CCHEN.
ROJO M (1985) Un aporte al conocimiento del Terciario marino: formación Bahía Inglesa. Actas del IV Congreso geológico chileno, Universidad del Norte, Antofagasta 1:514-533.
ROTHHAMMER F, M MORAGA, CM SANTORO & BT ARRIAZA (2010) Origins of Changos. Mitochondrial DNA analysis suggests Chinchorro culture fishermen ancestry. Revista Médica de Chile 138(2): 251-256.
ROVIRA J & J HERREROS (2016) Clasificación de ecosistemas marinos chilenos de la zona económica exclusiva. Departamento de Planificación y Políticas en Biodiversidad. División de Recursos Naturales y Biodiversidad. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago de Chile. 48 pp.
ROZAS E (2012) Cambios vegetacionales y paleoclima del Valle del Río Huasco (29ºS) durante el Holoceno inferidos a partir del análisis de polen preservado en paleomadrigueras de roedores. Departamento de Biología, Universidad de La Serena, La Serena, 63 pp.
RUIZ DE GAMBOA M (2020) Estados de conservación y lista actualizada de los reptiles nativos de Chile. Boletín Chileno de Herpetología 7: 1-11.
RUTLLANT J & V MONTECINOS (2002) Multiscale upwelling forcing cycles and biological response off north-central Chile. Revista Chilena de Historia Natural 75(217): 231.
SABINO J, LP ANDRADE, I SAZIMA, F TERESA, SR FLOETER, C SAZIMA & RM BONALDO (2017) Following fish feeding associations in marine and freshwater habitats. Marine and Freshwater Research 68: 381–387.
SALAZAR A, M THATCHER, K GOUBANOVA, P BERNAL, JR GUTIÉRREZ & FA SQUEO (2024) CMIP6 precipitation and temperature projections for Chile. Climate Dynamics 62: in press (DOI: 10.1007/s00382-023-07034-9).
SALGADO H, C GONZÁLEZ, JC SUEIRO & S DE LA PUENTE (2015) Estimación del Valor Económico Total (VET) de los bienes y servicios ecosistémicos del gran ecosistema marino de la corriente de Humboldt (GEMCH). Proyecto GEF-PNUD

Humboldt, 127.
SAN MARTÍN J, C RAMÍREZ & C SAN MARTÍN (1992) La flora de las dunas chilenas y sus adaptaciones morfológicas. Bosque 13 (1): 29-39.
SÁNCHEZ M (1973) Sobre 4 especies de nemertinos de Quintero (Chile). Studies on the Neotropical Fauna, 8: 195-214.
SANDERS WB & H MASUMOTO (2001) Lichen algae: the photosynthetic partners in lichen symbioses. The lichenologist 53: 347-397.
SANTOS-CARVALLO M, M SEPÚLVEDA, R MORAGA, MF LANDAETA, D OLIVA & MJ PÉREZ-ALVAREZ (2018) Presence, behavior and resighting pattern of transient bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Humboldt current system off north-central Chile. Pacific Science 72(1):41-56
SARMIENTO-DEVIA R, C HARROD & AS PACHECO (2015) Ecology and conservation of Sea Turtles in Chile. Chelonian Conservation and Biology 14(1):21-33.
SAYOL F, J MASPONS, O LAPIEDRA, AN IWANIUK, T SZÉKELY & D SOL (2016) Environmental variation and the evolution of large brains in birds. Nature Communications 7:13971.
SAZIMA C, JP KRAJEWSKI, RM BONALDO & I SAZIMA (2007) Nuclear-follower foraging associations of reef fishes and other animals at an oceanic archipelago. Environmental Biology of Fishes 80: 351–361.
SCHELLER U (1968) Chilean and Argentinean Pauropoda. En: Debouttéville, D & E. Rapoport (eds), Biologie de l' Amérique Australe. pp. 275-306. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris, Francia.
SCHOPF J (1994) Disparate rates, differing fates: tempo and mode of evolution changed from the Precambrian to the Phanerozoic. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 91 (15): 6735-42.
SEINFELD W (2002) Phylum Platyhelminthes: Clases Temnocephalida y Turbellaria. In: Guías de Identificación y Biodiversidad Fauna Chilena. Apuntas de Zoología, Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile, 9 pp.
SEPÚLVEDA FA & MT MGONZÁLEZ (2017) Spatio-temporal patterns of genetic variations in populations of yellowtail kingfish Seriola lalandi from the south-eastern Pacific Ocean and potential implications for its fishery management. Journal of Fish Biology 90: 249-264.
SEPÚLVEDA M, M SANTOS-CARVALLO, G PAVEZ, MJ PÉREZ-ÁLVAREZ, C OLAVARRÍA et al. (2020) Determinación del estado poblacional en las Reservas Marinas isla Chañaral e islas Choros y Damas, de las especies delfín nariz de botella, chungungo, pingüino de Humboldt y cetáceos. Informe Final Proyecto FIPA 2018-43, 343 pp + Anexos.
SEPÚLVEDA M, MJ PÉREZ-ÁLVAREZ, M SANTOS-CARVALLO, G PAVEZ, C OLAVARRÍA, R MORAGA & AN ZERBINI (2018) From whaling to whale watching: Identifying fin whale critical foraging habitats off the Chilean coast. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 28 (4):821-829.
SERNAGEOMIN (2003) Mapa Geológico de Chile, edición digital, escala 1:1.000.000. Servicio Nacional de Geología y Minas, Santiago, Chile.
SERNAPESCA (2009). Anuario Estadístico de Pesca. Servicio Nacional de Pesca. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Santiago.
SERNAPESCA (2018–2021). Anuarios Estadísticos de Pesca. Chile: Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.
SERNAPESCA (2020 y 2022) Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura. http://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/anuarios-estadisticos-de-pesca-y-acuicultura
SERNAPESCA (2021) Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Chile.
SHAFFER G (1997) Circulation and Low-Frequency Variability near the Chilean Coast: Remotely Forced Fluctuations during the 1991–92 El Niño. Journal of Physical Oceanography 27(2): 217-235.
SHAFFER G, S HORMÁZABAL, O PIZARRO & S SALINAS (1999) Seasonal and interannual variability of currents and temperature off central Chile. Journal of Geophysical Research: Oceans 104(C12): 29951–29961.
SHEEHAN MR & S POTTER (2017) Managing Opuntioid Cacti in Australia: Best practice control manual for *Austrocylindropuntia*, *Cylindropuntia* and *Opuntia* species. Department of Primary Industries and Regional Development (WA), Perth, 158 pp.
SHIMABUKURO M, D ZEPPILLI, D LEDUC, F WENZHÖFER, P BERG, AA ROWDEN & RN GLUD (2022) Intra- and inter-spatial variability of meiofauna in hadal trenches is linked to microbial activity and food availability. Scientific Reports 12: 4338 DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-022-08088-1.
SIELFELD W & G GUZMÁN (2008) Diversidad de especies de invertebrados marinos. En: Rovira J, J Ugalde & M Stutzin (eds). Biodiversidad de Chile: patrimonio y desafíos. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago, 174-199 pp.
SIELFELD W (1983) Mamíferos marinos de Chile. Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago 199 pp.
SIELFELD W (2002) Clase Chilopoda. Guías de identificación de la biodiversidad de fauna chilena. Apuntes de Zoología, Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile: 5 pp.
SILVA N, N ROJAS & A FEDELE (2009) Water masses in the Humboldt Current System: Properties, distribution, and the nitrate deficit as a chemical water mass tracer for Equatorial Subsurface Water off Chile. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 56(16): 1004-1020.
SILVA R, F MEDRANO, I TEJEDA, D TERÁN, R PEREDO, R BARROS et al. (2020) Evaluación del impacto de la contaminación lumínica sobre las aves marinas en Chile: Diagnóstico y Propuestas. Ornitología Neotropical 31: 13-24.
SIMEONE A, R AGUILAR, G LUNA-JORQUERA (2018) Censo de Pingüinos de Humboldt. Informe Final Proyecto FIPA Nº 2016-33.
SIQUEIRA AC, RA MORAIS, DR BELLWOOD & PF COWMAN (2020) Trophic innovations fuel reef fish diversification. Nature communications 11: 2669.
SOBARZO M, GS SALDÍAS, FJ TAPIA, L BRAVO, C MOFFAT & JL LARGIER (2016) On subsurface cooling associated with the Biobio River Canyon (Chile), Journal of Geophysical Research: Oceans 121(7): 4568–4584.
SOBERÓN J & M NAKAMURA (2009) Niches and distributional areas: concepts, methods and assumptions. Proceedings of the National Academy of Sciences 106: 19644-19650.
SOLÍS R, G LOBOS, SF WALKER, M FISHER & J BOSCH (2010) Presence of Batrachochytrium dendrobatidis in feral populations of *Xenopus laevis* in Chile. Biological Invasions 12(6): 1641-1646.
SOTO-ACUÑA S, RA OTERO, D RUBILAR-ROGERS & AO VARGAS (2015) Arcosaurios no avianos de Chile. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural 63:209-263.
SOWERBY G (1833) New species of shells collected by Mr. Cuming on the Western coast of South America and among the Islands of the South Pacific Ocean. They were accompanied by characters from the pen of Mr. G. B. Sowerby. Proceedings of the

Zoological Society of London 1833: 34–38.
SPALDING MD, HE FOX, GR ALLEN, N DAVIDSON, ZA FERDAÑA, MAX FINLAYSON…& J ROBERTSON (2007) Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. BioScience 57(7): 573-583.
SPOTORNO AE, P VALLADARES, JC MARÍN, RE PALMA & C ZULETA (2004) Molecular divergence and phylogenetic relationships among chinchillids (Rodentia, Chinchillidae). Journal of Mammalogy 85: 384–388.
SPRIBILLE T, V TUOVINEN, P RESL, D VANDERPOOL, H WOLINSKI et al. (2016) Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. Science 353: 488-492.
SQUEO FA, C ESTADES, N BAHAMONDE, LA CAVIERES, G ROJAS et al. (2010) Revisión de la clasificación de especies en categorías de amenaza en Chile. Revista Chilena de Historia Natural 83: 511-529
SQUEO FA, G ARANCIO, R OSORIO, MTK ARROYO & H VEITH (1994) Flora y vegetación de los Andes desérticos de Chile. En: Squeo FA, R Osorio & G Arancio (eds) Flora de Los Andes de Coquimbo: Cordillera de Doña Ana: 1-17. Ediciones Universidad La Serena. La Serena.
SQUEO FA, L LETELIER, R ESTEVEZ, L CAVIERES, M MIHOC, D LÓPEZ & G ARANCIO (2008) Definición de los sitios prioritarios para la conservación de la flora nativa de la Región de Atacama. En: Squeo FA, G Arancio & JR Gutiérrez (eds) Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Atacama: 137-163. Ediciones Universidad de La Serena (Chile). La Serena - Chile.
SQUEO FA, N OLIVARES, S OLIVARES, A POLLASTRI, E AGUIRRE… & JR EHLERINGER (1999) Grupos funcionales en arbustos desérticos del norte de Chile, definido sobre la base de las fuentes de agua utilizadas. Gayana Botánica 56: 1-15.
STEVENS JD, R BONFIL, NK DULVY & PA WALKER (2000) The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. ICES Journal of Marine Science 57: 476-494.
STRUB P, J MESÍAS, V MONTECINO, J RUTLLANT & S SALINAS (1998) Coastal ocean circulation off western South America. En: Robinson A & K Brink (eds) The Sea, The Global Coastal Ocean 11: 272-313. Wiley, New York.
SUÁREZ M & D SEPÚLVEDA (2007) Criterios para la definición de un área paleontológica protegida en la localidad de Los Dedos, Mina Fosforita Comuna de Caldera, Región de Atacama.
SULLIVAN JP, JG LUNDBERG & M HARDMANN (2006) A phylogenetic analysis of the major groups of catfishes (Teleostei: Siluriformes) using rag1 and rag2 nuclear gene sequences. Molecular Phylogenetics and Evolution 41: 636–662
SWART B (2014) The evolutionary history of the genus Seriola and the phylogeography and genetic diversity of S. lalandi (yellowtail) across its distribution range. PhD Thesis, Stellenbosch University, Stellenbosch, South Africa.
SWEENEY B, T BOTT, J JACKSON, L KAPLAN, D NEWBOLD… & R HORWITZ (2004) Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 101 (39): 14132-14137.
TALA C, R AVILÉS & L ROJAS (2013) Evaluando el estado de conservación de nuestras especies nativas y difundiendo el conocimiento sobre las especies que viven en Chile. Folleto de difusión Especies en Peligro y Sistemas de Información en Biodiversidad. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago.
TAPIA-JOPIA C (2022) Análisis del modelo de gobernanza del manejo pesquero en Chile: los Comités de Manejo, Nuevo Mundo Mundos Nuevos. DOI: 10.4000/ nuevomundo.86926.
TARIFEÑO E (1995) Sipuncula, Echiura y Priapula. En: Simonetti, J, M Arroyo, A Spotorno & E Lozada (eds) Diversidad Biológica de Chile, 128-140 pp. Comité Nacional de Diversidad Biológica, CONICYT, Santiago, Chile.
TASSIA MG, JT CANNON, CE KONIKOFF, N SHENKAR, KM HALANYCH & BJ SWALLA (2016) The Global Diversity of Hemichordata. PLOS ONE 11(10): e0162564 (Online) URL: 10.1371/journal.pone.0162564
TAUCARE-RÍOS A, AD BRESCOVIT & J VILLABLANCA (2022) A new species of *Loxosceles* Heineken & Lowe, 1832 (Araneae: Sicariidae) from Chile. Revista Chilena de Entomología 48 (1): 157-164.
TEDERSOO L, M BAHRAM, S PLME, U KLJALG, NS YOROU et al. (2014) Global diversity and geography of soil fungi. Science 346 (6213): 1256688. DOI: 10.1126/science.1256688
TEILLIER S & P BECERRA (2003) Flora y vegetación del salar de Ascotan, Andes del norte de Chile. Gayana Botánica 60:114-122.
TEILLIER S, J MACAYA, A SUSANNA & A CALLEJA (2014) *Volutaria tubuliflora* (Murb.) Sennen (Asteraceae), nueva especie alóctona asilvestrada para Chile. Gayana Botánica 71(2): 276-279.
TERESA FB, C SAZIMA, I SAZIMA & SR FLOETER (2014) Predictive factors of species composition of follower fishes in nuclear-follower feeding associations: a snapshot study. Neotropical Ichthyology 12: 913–919.
THIEL M & J NORENBURG (2009) Nemertea-ribbon worms. In: Häussermann V & G Försterra (eds) Marine Benthic Fauna of Chilean Patagonia, 369-380 pp. Nature in Focus, Puerto Montt, Chile.
THIEL M & N ULLRICH (2002) Hard rock versus soft bottom: the fauna associated with intertidal mussel beds on hard bottoms along the coast of Chile, and considerations on the funcional role of mussel beds. Helgoland Marine Research 56: 21-30.
THIEL M, EC MACAYA, E ACUÑA, WE ARNTZ, H BASTIAS… & A VEGA (2007) The Humboldt Current System of northern-central Chile: Oceanographic processes, ecological interactions and socio-economic feedback. Oceanography and Marine Biology – An Annual Review 195-344.
TOBIAS JA, C SHEARD, AL PIGOT, AJ DEVENISH, J YANG, F SAYOL et al. (2022) AVONET: morphological, ecological and geographical data for all birds. Ecology Letters 25: 581-597.
TORO F, YA VILINA, JJ CAPELLA & J GIBBONS (2016) Novel coastal feeding area for eastern south pacific fin whales (*Balaenoptera physalus*) in mid-latitude humboldt current waters off chile. Aquatic Mammals 42(1): 47.
TORRES-PÉREZ F, M LAMBOROT (2008) Hipótesis filogenéticas de reptiles. En Vidal M & A Labra (eds) Herpetología de Chile. Science Verlag, Santiago, Chile: 137-160.
TRIPATHI M & Y JOSHI (2019) Endolichenic fungi: present and future trends. Singapore: Springer.
TRONCOSO S (2020) Diversidad de macrohongos en áreas desérticas del Norte Grande de Chile. Tesis de Magíster en Ciencias mención Botánica, Universidad de Concepción. http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/483
TRONCOSO S, A CASANOVA-KATNY, C MARIN & G PALFNER (2020) Nuevos registros de hongos desertícolas en los Parques Nacionales Nevado Tres Cruces y Pan de Azúcar, Región de Atacama, Chile. Gayana Botánica 77(1): 67-72.
TRONCOSO-PALACIOS J & D RAMIREZ-ÁLVAREZ (2021) Description of a new species of the *Liolaemus elongatus* group from de Andes of Central Chile (Iguania: Liolaemidae). Revista Latinoamericana de Herpetología Vol 04(1): 148-163.

TRUJILLO AP & HV THURMAN (2016) Essentials of Oceanography. Pearson. 634 pp.
UICN (2001) Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. ii + 33 pp
UICN (2012) Directrices para el uso de los Criterios de la Lista Roja de la UICN a nivel regional y nacional: Versión 4.0. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: UICN. iii + 43 pp.
UICN (2014). Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 11. Prepared by the Standards and Petitions Subcommittee. (Online) URL: http://www.iucnredlist.org/documents/ RedListGuidelines.pdf.
UICN (2022) Lista Roja de la UICN de Especies Amenazadas TM. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. URL: https://www.iucnredlist.org/ (accedido Diciembre 01, 2022).
ULLOA O (2021) Travesía al Inframundo. La Fosa de Atacama, Mandrágora Ltda.
ULLOA O, R ESCRIBANO, S HORMAZÁBAL, R QUIÑONES, M RAMOS & R GONZÁLEZ (2001) Evolution and biological effects of the 1997–98 El Niño in northern Chile. Geophysical Research Letters 28(8): 1591– 1594.
VALDERRAMA-ARAVENA N, K PÉREZ-ARANEDA, J AVARIA-LLAUTUREO, C HERNÁNDEZ, M LEE & A BRANTE (2014) Diversidad de nematodos marinos de Chile continental y antártico: una evaluación morfológica y molecular. Revista de Biología Marina y Oceanografía 49(1): 147-155.
VALLADARES FAÚNDEZ P, T LASTEROS-OBLITAS, L CORNEJO-PONCE & R PEPE-VICTORIANO (2017) Pollution assessment in the habitat of a population of the aquatic frog *Telmatobius pefauri* (Anura, Telmatobiidae), a critically endangered species from Northern Chile. Interciencia 42(11): 750-755.
VALLADARES-FAÚNDEZ P (2012) Mamíferos terrestres de la Región de Atacama, Chile. Comentarios sobre su distribución y estado de conservación. Gayana 76(1): 13-28.
VALLADARES-FAÚNDEZ P, A SPOTORNO & C ZULETA (2014) *Chinchilla lanígera* (Molina 1782) and *C. chinchilla* (Lichtenstein 1830). Review of their distribution and new findings. Animal Biodiversity and Conservation 37:89–93.
VALLADARES-FAÚNDEZ P, M ESPINOZA, M TORRES, E DÍAZ, N ZELLER et al. (2012) Nuevo registro de *Chinchilla chinchilla* (Rodentia, Chinchillidae) para la Región de Atacama. Extensión de su rango de distribución y estado de conservación. Mastozoología Neotropical 19: 173–178.
VARGAS R & A BECK (2012) Photobiont selectivity and specificity in *Caloplaca* species in a fog-induced community in the Atacama Desert, northern Chile. Fungal Biol. 116(6): 665-76.
VARGAS S, C BONACIC & C MORAGA (2016) Recopilación preliminar de registros de amenazas actuales a las poblaciones de camélidos silvestres en la zona Centro-Norte de Chile. GEGS News N°6: 22-26.
VARGAS-RODRÍGUEZ R & FA SQUEO (2014) Historia natural del Loro Tricahue en el Norte de Chile. Universidad de La Serena Press, La Serena, Chile.
VÁSQUEZ JA & B SANTELICES (1990) Ecological effects of harvesting *Lessonia* (Laminariales, Phaeophyta) in central Chile. Hydrobiologia 204(1): 41-47.
VÁSQUEZ JA (1983) *Pyura chilensis* Molina 1782 en el norte del Perú (Ascidiacea, Pyuridae). Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción, Chile 54: 171-172.
VÁSQUEZ JA (2008) Production, use and fate of Chilean brown seaweeds: re-sources for a sustainable fishery. Journal of Applied Phycology 5(20): 457-467.
VÁSQUEZ JA, E FONCK & MA VEGA (2001) Comunidades submareales rocosas dominadas por macroalgas en el norte de Chile: diversidad, abundancia y variabilidad temporal. En: Alveal K & T Antezana (eds) Sustentabilidad de la biodiversidad: 351-366. Universidad de Concepción, Concepción.
VÁSQUEZ JA, S ZUÑIGA, F TALA, N PIAGET, DC RODRÍGUEZ & JA VEGA (2014) Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. Journal of Applied Phycology 26: 1081-1088.
VEACH V, E DI MININ, FM POUZOLS & A MOILANEN (2017) Species richness as criterion for global conservation area placement leads to large losses in coverage of biodiversity. Diversity and Distributions 23: 715-726.
VEGA-ROMÁN E & VH RUIZ (2018) Catalogue of Chilean centipedes (Myriapoda, Chilopoda). Soils Organisms 90 (1): 27-37.
VEIT H (1996) Southern Westerlies during the Holocene Deduced from Geomorphological and Pedological Studies in the Norte Chico, Northern Chile (27-33°S). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 123: 107–119.
VELÁSQUEZ H (2011) Informe de las actividades de excavación de los sitios arqueológicos en Proyecto Puerto Castilla (Etapa Pre-Construcción). Archivos del CMN.
VELLINGA EC (2004) Ecology and Distribution of *Lepiotaceous* Fungi (Agaricaceae) A Review. Nova Hedwigia 78 (3–4): 273-299.
VERA-ESCALONA I, ML DELGADO, E HABIT & DE RUZZANTE (2020) Historical and Contemporary Diversity of Galaxiids in South America: Biogeographic and Phylogenetic Perspectives. Diversity 12: 304.
VERGANI M, E ACHA, J DIAZ DE ASTARLON & D GIBERTO (2008) Food of the yellowtail amberjack Seriola lalandi from the south-west Atlantic. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 88: 581–852.
VIDAL M, JC ORTIZ & A LABRA (2002) Sexual and age differences in ecological variables of the lizard *Microlophus atacamensis* (Tropiduridae) from northern Chile. Revista Chilena de Historia Natural 75: 283-292.
VILCHES A & D GIL (2007) Emergencia planetaria: necesidad de un planteamiento global. Educatio Siglo XXI 25: 19-49.
VILLASEÑOR-PARADA C, A PAUCHARD, ME RAMÍREZ & EC MACAYA (2018) Macroalgas exóticas en la costa de Chile: patrones espaciales y temporales en el proceso de invasión. Latin American Journal of Aquatic Research 46(1): 147-165.
VILLÉGER S, NW MASON & D MOUILLOT (2008) New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. Ecology 89: 2290-2301.
VIOLLE C, ML NAVAS, D VILE, E KAZAKOU, C FORTUNEL, I HUMMEL & E GARNIER (2007) Let the concept of trait be functional. Oikos 116: 882-892.
VIOLLE C, PB REICH, SW PACALA, BJ ENQUIST & J KATTGE (2014) The emergence and promise of functional biogeography. Proceedings of the National Academy of Sciences 111: 13690-13696.
VOBIS G, M SOLANS, JM SCERVINO & I MESSUTI (2020) Isolation and characterization of an endolichenic actinobacterium from the lichen thallus of *Pseudocyphellaria berberina*. Symbiosis 80(1). DOI:10.1007/sl3199-019-00653-z.
VON REUMONT BM & GD EDGECOMBE (2020) Crustaceans and Insect Origins. En: Poore GCB & M Thiel (eds) The natural history of the Crustacea: Evolution and Biogeography: 105-120. Oxford University Press, Oxford, U.K.
VOSNIADOU S (2006) Investigaciones sobre cambio conceptual:

direcciones futuras y de vanguardia. En: Schnotz W, S Vosniadou & M Carretero (eds) Cambio Conceptual y Educación: 35-54. Aiqué, Buenos Aires.
WALKER BH (1992) Biodiversity and ecological redundancy. Conservation Biology 6: 18-23.
WALTER HE & PC GUERRERO (2022) Towards a unified taxonomic catalogue for the Chilean cacti: assembling molecular systematics and classical taxonomy. Phytotaxa 550: 79-98.
WATSON JM & AR FLORES (2019) When did you last see your Dad? A new Chilean *Zephyranthes* and Argentinian *Olsynium* gifted to Darling Daughters by their step-mum and often absent father. International Rock Gardener 120: 25–76.
WESTERN PACIFIC FISHERY MANAGEMENT COUNCIL (1998) Pelagic fisheries of the western Pacific region: 1997 annual report. Western Pacific Fishery Management Council, Honolulu, Hawaii, USA.
WESTON JN, L ESPINOSA-LEAL, JA WAINWRIGHT, EC STEWART, CE GONZÁLEZ, TD LINLEY et al. (2021) *Eurythenes atacamensis* sp. nov. (Crustacea: Amphipoda) exhibits ontogenetic vertical stratification across abyssal and hadal depths in the Atacama Trench, eastern South Pacific Ocean. Marine Biodiversity 51(3): 1-20.
WHEELER JC (1995) Evolution and present situation of the South American Camelidae. Biological Journal of the Linnean Society 54: 271–295.
WHITFIELD AK, J PANFILI & J-D DURAND (2012) A global review of the cosmopolitan flathead mullet *Mugil cephalus* Linnaeus 1758 (Teleostei: Mugilidae), with emphasis on the biology, genetics, ecology and fisheries aspects of this apparent species complex. Reviews in Fish Biology and Fisheries 22(3): 641–681.
WIENS JA (1991) The ecology of desert birds. En: Polis GA (ed) The ecology of desert communities: 278-311. University of Arizona Press, Tucson, USA.
WIESCHER PT, JM PEARCE-DUVET & DH FEENER (2012) Assembling an ant community: species functional traits reflect environmental filtering. Oecologia 169: 1063-1074.
WOLFFSOHN JA (1923) Medidas máximas y mínimas de algunos mamíferos chilenos colectados entre los años 1896 y 1917. Revista Chilena de Historia Natural 1: 159–167.
WORM B, EB BARBIER, N BEAUMONT, JE DUFFY, C FOLKE et al. (2006) Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. Science 314: 787-790.
WYLIE T, JC MARTIN, M DANTE, MD MITREVA, SW CLIFTON et al. (2004). Nematode.net: a Tool for Navigating Sequences from Parasitic and Free-living Nematodes, 32: D423-D426 Nucleic Acids Research. www.nematode.net/Species.Summaries/Xiphinema.index/index.php
WWF (2022) Informe Planeta Vivo 2022. Hacia una sociedad con la naturaleza en positivo. Almond REA, M Grooten, D Juffe Bignoli & T Petersen (Eds.), WWF, Gland, Suiza, 112 pp.
XU Y, X LI, M LUO, W XIAO, J FANG, H RASHID et al. (2021) Distribution, Source, and Burial of Sedimentary Organic Carbon in Kermadec and Atacama Trenches. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences 126: 1-16.
ZECH R, C KULL & H VEIT (2006) Late Quaternary Glacial History in the Encierro Valley, Northern Chile (29° S), Deduced from 10Be Surface Exposure Dating. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 234(2-4): 277-286.
ZEDLER JB & S KERCHER (2005) Wetland Resources: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability. Annual Review of Environment and Resources 30 (1): 39-74.
ZHAO X, H LUO, S HE, B YANG, T WEI et al. (2022) Vertical distribution of size-fractionated bacterial communities in the water column of the Atacama Trench. Regional Studies in Marine Science 102470.
ZÚÑIGA G (2019) Registro de canibalismo en *Callopistes maculatus* Gravenhorst 1838 (Squamata, Teiidae). Boletín Chileno de Herpetología 6:72. 0-755.
ZÚÑIGA-REINOSO A & D MARDONES (2014) Primer registro de la especie exótica *Pieris brassicae* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Pieridae) en la Región de Atacama, Chile. IDESIA 32(3): 117-118



CMP

UNA EMPRESA DEL GRUPO CAP

IEB
INSTITUTO DE ECOLOGÍA & BIODIVERSIDAD

Ministerio del Medio Ambiente
Gobierno de Chile

UNIVERSIDAD DE LA SERENA
CHILE

AMVAR
ASESORIAS SOCIOAMBIENTALES



ISBN: 978-956-8907-12-9