

*Serie Conservación de la Naturaleza*

N° **24**

— 2018 —



**Fundación Miguel Lillo**

Ministerio de Educación de la Nación

Ley 12.935 – Tucumán – República Argentina

La Puna Argentina : naturaleza y cultura / Héctor Ricardo Grau ... [et al.]. - 1a ed. -  
Tucumán : Fundación Miguel Lillo, 2018.  
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online  
ISBN 978-950-668-032-9

1. Ciencias Geológicas. 2. Botánica. 3. Zoología. I. Grau, Héctor Ricardo  
CDD 306.4

*Serie Conservación de la Naturaleza*

Nº **24**

# La Puna argentina

## Naturaleza y cultura

---

**H. Ricardo Grau**

Instituto de Ecología Regional – CONICET – UNT

**M. Judith Babot**

Fundación Miguel Lillo – CONICET

**Andrea E. Izquierdo**

Instituto de Ecología Regional – CONICET – UNT

**Alfredo Grau**

Instituto de Ecología Regional – CONICET – UNT

— Editores —



**Fundación Miguel Lillo**

Ministerio de Educación de la Nación

Ley 12.935 – Tucumán – República Argentina

---

## **Serie Conservación de la Naturaleza**

Esta serie comprende trabajos relacionados con el problema de la conservación de la flora y fauna autóctonas, incluyendo lo relativo al grado de explotación y/o destrucción alcanzado y a los medios de protección proyectados o en aplicación.

ISSN 0325-9625

© 2018, **Fundación Miguel Lillo**. Derechos protegidos por Ley 11.723

Fundación Miguel Lillo, Miguel Lillo 251, (T4000JFE) San Miguel de Tucumán, Argentina  
Telefax +54 381 433 0868 / www.lillo.org.ar

### **Editor Área Zoología**

Mariano Ordano (Fundación Miguel Lillo y CONICET / Unidad Ejecutora Lillo, Tucumán, Argentina).

### **Editor gráfico**

Gustavo Sánchez (Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina).

### **Editor web**

Andrés Ortiz (Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina).

### **Secretaría editorial Área Zoología**

Felipe Castro (Fundación Miguel Lillo y Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina).  
Pamela Gómez (Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina).  
Eduardo Martín (Fundación Miguel Lillo y Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina).  
María del Pilar Medina Pereyra (Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina).  
Guido van Nieuwenhove (Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina).  
Florencia Vera Candiotti (CONICET / Unidad Ejecutora Lillo, Tucumán, Argentina).  
María Paula Zamudio (Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina).

### **Consejo editorial Área Zoología**

María de las Mercedes Azpeliueta (Universidad Nacional de La Plata y CONICET, Buenos Aires, Argentina).  
Julián Bueno-Villegas (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México).  
Margarita Chiaraviglio (Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina).  
Guillermo L. Claps (Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina).  
José Antonio Corronca (Universidad Nacional de Salta y CONICET, Salta, Argentina).  
Ada Echevarría (Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina).  
David Flores (Fundación Miguel Lillo y CONICET / Unidad Ejecutora Lillo, Tucumán, Argentina).  
Adriana Azucena Michel (Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina).  
Juan J. Morrone (Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México).  
Gustavo Moya-Raygoza (Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México).  
Paola Peltzer (Universidad Nacional del Litoral y CONICET, Santa Fe, Argentina).  
Marcela Peralta (Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina).  
Juan Timi (Universidad Nacional de Mar del Plata y CONICET / Unidad de Investigaciones Marinas y Costeras, Buenos Aires, Argentina).  
Julián R. Torres Dowdall (Universität Konstanz, Baden-Württemberg, Alemania).  
Fernando Zagury Vaz-de-Mello (Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, Brasil).

### **Comité editorial (editores asociados) Área Zoología**

Juan Pedro Bouvet (Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Concordia, INTA, Entre Ríos, Argentina).  
Sonia B. Canavelli (Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Paraná, INTA, Entre Ríos, Argentina).  
Mario Luis Chatellenaz (Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina).  
Néstor Ciocco (Universidad Nacional de Cuyo y CONICET / Instituto Argentino de Investigaciones de Zonas Áridas, Mendoza, Argentina).  
Carlos Andrés Cultid Medina (Centro Regional del Bajío, Instituto de Ecología, A.C., Michoacán, México).  
María Elisa Fanjul (Fundación Miguel Lillo y Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina).  
Guillermo Gil (Administración de Parques Nacionales / Centro de Investigaciones Ecológicas Subtropicales, Misiones, Argentina).  
Andrea Ximena González Reyes (Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina).  
María de los Ángeles Hernández (Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Chubut, Argentina).  
Marta Lizarralde (CONICET / Centro Austral de Investigaciones Científicas, Tierra del Fuego, Argentina).  
María Alejandra Maglianesi (Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica).  
Patricia Marconi (Fundación Yuchán, Salta, Argentina).  
Mariano Merino (Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina).  
Segundo Núñez-Campero (CONICET / Centro Regional de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica de La Rioja, La Rioja, Argentina).  
Gabriela Núñez Montellano (Universidad Nacional de Salta y CONICET / Instituto de Bio y Geociencias del NOA, Salta, Argentina).  
Massimo Olmi (Università degli Studi della Tuscia, Viterbo, Italia).  
Facundo Xavier Palacio (Universidad Nacional de La Plata y CONICET, Buenos Aires, Argentina).  
Nicolella Righini (Universidad Nacional Autónoma de México, Michoacán, México).  
Miguel E. Rodríguez Posada (Universidad Nacional de Colombia y Pontificia Universidad Javeriana, Capital, Colombia).  
Fátima Romero (Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina).  
Jorge R. Ronderos (Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina).  
Roman Ruggera (Universidad Nacional de Jujuy y CONICET / Instituto de Ecorregiones Andinas, Jujuy, Argentina).  
Mariano S. Sánchez (Universidad Nacional de Misiones y CONICET / Instituto de Biología Subtropical, Misiones, Argentina).  
Natalia Schroeder (CONICET / Instituto Argentino de Investigaciones de Zonas Áridas, Mendoza, Argentina).  
Claudia Szumik (CONICET / Unidad Ejecutora Lillo, Tucumán, Argentina).  
Eduardo Virla (Fundación Miguel Lillo y CONICET / Planta Piloto de Procesos Industriales Microbiológicos, Tucumán, Argentina).

### **Canjes**

Centro de Información Geo-Biológico del Noroeste Argentino, Fundación Miguel Lillo, Miguel Lillo 251, (T4000JFE) San Miguel de Tucumán, Argentina. Correo electrónico: maprieto@lillo.org.ar

Ref. bibliográfica: H. Ricardo Grau, M. Judith Babot, Andrea E. Izquierdo, Alfredo Grau (editores). 2018. La Puna argentina: naturaleza y cultura. *Serie Conservación de la Naturaleza* 24, Fundación Miguel Lillo. ISBN 978-950-668-032-9 (versión online)  
Imagen de tapa: Vista del salar de Antofalla (Catamarca) desde la vega Botijuela. Fotografía de Andrea Izquierdo, noviembre 2017.

Derechos protegidos por Ley 11.723  
Impreso en la Argentina. *Printed in Argentina.*

# Índice

Prólogo .....	9
Agradecimientos .....	10
 <b>I. EL AMBIENTE FÍSICO</b>	
<b>CAPÍTULO 1. Geología .....</b>	<b>13</b>
HONGN, FERNANDO; CAROLINA MONTERO-LÓPEZ; SILVINA GUZMÁN; ALEJANDRO ARAMAYO	
<i>Box:</i> Puncoviscana, sus huellas fósiles y su antigüedad .....	30
ACEÑOLAZA, FLORENCIO GILBERTO	
<b>CAPÍTULO 2. Volcanismo .....</b>	<b>32</b>
GROSSE, PABLO; SILVINA R. GUZMÁN	
<i>Box:</i> El volcán Tuzgle: un proyecto para la obtención de energía geotérmica .....	52
COIRA, BEATRIZ	
<b>CAPÍTULO 3. Paleoecología del Cuaternario tardío de la Puna del noroeste argentino .....</b>	<b>54</b>
LUPO, LILIANA; JULIO KULEMEYER; GONZALO TORRES; BRENDA OXMAN; KARSTEN SCHITTEK	
<i>Box:</i> El antiguo papel de las vegas en la Puna catamarqueña .....	73
BABOT, MARÍA DEL PILAR; JULIA LUND; SALOMÓN HOCSMAN	
<b>CAPÍTULO 4. Variabilidad hidroclimática en el sur del Altiplano: pasado, presente y futuro .....</b>	<b>75</b>
MORALES, MARIANO S.; DUCAN A. CHRISTIE; RAPHAEL NEUKOM; FACUNDO ROJAS; RICARDO VILLALBA	
<i>Box:</i> Estacionalidad climática e hidrológica: las vegas puneñas .....	92
NAVARRO, CARLOS JAVIER	
<i>Box:</i> Aprovechando la energía solar en la Puna .....	93
GONZÁLEZ, JORGE A.	
<b>CAPÍTULO 5. Humedales de la Puna: principales proveedores de servicios ecosistémicos de la región .....</b>	<b>96</b>
IZQUIERDO, ANDREA E.; ROXANA ARAGÓN; CARLOS J. NAVARRO; ELVIRA CASAGRANDA	
<i>Box:</i> El manejo de las vegas como estrategia adaptativa de las poblaciones puneñas .....	112
GONNET, JORGE M.	

## II. BIODIVERSIDAD

CAPÍTULO 6. Registro fósil de la Puna .....	117
BABOT, M. JUDITH; GUILLERMO ACEÑOLAZA; HUGO ALFREDO CARRIZO; DANIEL A. GARCÍA-LÓPEZ	
<i>Box</i> : Huellas de aves fósiles .....	141
ALONSO, RICARDO	
CAPÍTULO 7. Vegetación de la Puna argentina .....	143
CARILLA, JULIETA; ALFREDO GRAU; SOLEDAD CUELLO	
<i>Box</i> : Ángel Cabrera y la Puna .....	157
BROWN, ALEJANDRO D.	
<i>Box</i> : Musgos del Socompa: islas de vida en el cielo .....	159
HALLOY, STEPHAN	
CAPÍTULO 8. Estado actual de conocimiento de las aves de la Puna argentina .....	161
OSINAGA ACOSTA, ORIANA; EDUARDO MARTÍN	
<i>Box</i> : Los flamencos de los Andes .....	180
DERLINDATI, ENRIQUE J.	
CAPÍTULO 9. Mamíferos puneños y altoandinos .....	182
PEROVIC, PABLO GASTÓN; CARLOS EDUARDO TRUCCO; CINTIA TELLAECHÉ; CÉSAR BRACAMONTE; PABLO CUELLO; AGUSTINA NOVILLO; LEÓNIDAS LIZÁRRAGA	
<i>Box</i> : El burro en la Puna. ¿Invasor o restaurador? .....	207
GRAU, H. RICARDO	
CAPÍTULO 10. Herpetofauna de la Puna .....	209
BARRIONUEVO, JOSÉ SEBASTIÁN; CRISTIAN SIMÓN ABDALA	
<i>Box</i> : Peces de la Puna .....	229
AGUILERA, GASTÓN	
CAPÍTULO 11. Macroinvertebrados acuáticos de las vegas de la Puna argentina .....	231
NIETO, CAROLINA; FÁTIMA ROMERO; CELINA REYNAGA; VERÓNICA MANZO	
<i>Box</i> : Artrópodos de la Puna .....	244
MOLINA, MARÍA ALEJANDRA; CLAUDIA SZUMIK	
CAPÍTULO 12. Ecosistemas microbianos de la Puna. El inmenso valor de lo diminuto .....	246
FARIAS, MARÍA EUGENIA	
<i>Box</i> : Diatomeas en humedales de la Puna .....	269
SEELIGMANN, CLAUDIA; NORA I. MAIDANA	

**III. SISTEMAS SOCIALES EN EL TIEMPO****CAPÍTULO 13. Sociedades prehispánicas de la Puna argentina: desde el poblamiento temprano hasta los inicios de la producción pastoril y agrícola . . . . . 273**

MARTÍNEZ, JORGE GABRIEL

*Box: Historias prehispánicas de gente y de una vega puneña . . . . . 295*

HOCSMAN, SALOMÓN; LORENA GRANA; MARÍA DEL PILAR BABOT

**CAPÍTULO 14. Arqueología del formativo: los inicios de la agricultura y la ganadería . . . . . 297**

OLIVERA, DANIEL ENZO

*Box: Caravanas de llamas: tecnología clave para la interacción social prehispánica . . . . . 319*

MARTEL, ÁLVARO

**CAPÍTULO 15. Las sociedades puneñas desde el inicio del segundo milenio hasta el fin del dominio incaico . . . . . 321**

ALBECK, MARÍA ESTER; DIEGO MARTÍN BASSO; MARÍA AMALIA ZABURLÍN

*Box: El volcán Lullailaco y los santuarios de altura de la Puna . . . . . 341*

CERUTI, MARÍA CONSTANZA

**CAPÍTULO 16. Historia socioambiental: entre la conquista y el siglo XX . . . . . 343**

GIL MONTERO, RAQUEL

*Box: Los caminos de la Puna en el tiempo . . . . . 362*

BENEDETTI, ALEJANDRO

**CAPÍTULO 17. Población y pobreza en la Puna argentina en los inicios del siglo XXI . . . . . 364**

LONGHI, FERNANDO; JULIETA KRAPOVICKAS

*Box: Entrevista a Lucas Soriano . . . . . 380*

BABOT, M. JUDITH

*Box: Plantas de la Puna: fitoquímica y su uso en el cuidado de la salud . . . . . 383*

ISLA, MARÍA INÉS; IRIS CATIANA ZAMPINI; MARÍA ROSA ALBERTO; SOLEDAD CUELLO

**IV. EL USO DEL TERRITORIO EN EL PRESENTE Y FUTURO****CAPÍTULO 18. Ganadería en la Puna argentina . . . . . 387**

QUIROGA MENDIOLA, MARIANA; JORGE LUIS CLADERA

*Box: La minería y su incidencia en el modo de vida pastoril de Santa Rosa de los Pastos Grandes . . . . . 403*

ABELED, SEBASTIÁN H.

*Box: Las plantas y el hombre en la Puna . . . . . 404*

GRAU, ALFREDO

CAPÍTULO 19. La actividad minera en la Puna argentina. Caracterización sociohistórica, presente y perspectivas . . . . .	406
LENCINA, ROBERTO; EDUARDO PERALTA; JOSÉ SOSA GÓMEZ	
<i>Box</i> : El potencial tecnológico alrededor del litio . . . . .	422
FLEXER, VICTORIA	
<i>Box</i> : Drenaje ácido en la Puna . . . . .	424
MURRAY, JESICA; ALICIA KIRSCHBAUM	
CAPÍTULO 20. Valorización turística en la Puna: tendencias recientes . . . . .	426
TRONCOSO, CLAUDIA ALEJANDRA	
<i>Box</i> : Los seísmos de la Puna . . . . .	441
BRAVO, CLAUDIO F.	
CAPÍTULO 21. Camélidos de la Puna argentina: aspectos sobre su conservación y uso . . . . .	443
VILÁ, BIBIANA; GISELA MARCOPPIDO; HUGO LAMAS	
<i>Box</i> : ¿La esquila de vicuñas silvestres conserva el formidable rol ecológico de esta especie? . . . . .	463
DONADIO, EMILIANO	
CAPÍTULO 22. Áreas protegidas de la Puna . . . . .	465
REID RATA, YAIZA; LUCIO R. MALIZIA; ALEJANDRO D. BROWN	
<i>Box</i> : Novedoso proceso de planificación territorial integral aplicado en la Reserva Provincial Los Andes-Salta . . . . .	482
MUSALEM, SEBASTIÁN; MARIELA ALVEIRA; STANLEY ARGUEDAS MORA; ELISA COZZI	
CAPÍTULO 23. Los socioecosistemas de la Puna en contexto nacional y global . . . . .	484
GRAU, H. RICARDO; IGNACIO GASPARRI	
<i>Box</i> : Telecoples del litio . . . . .	498
CASAGRANDA, ELVIRA; ANDREA IZQUIERDO	



# Prólogo

Altura donde el tiempo parece detenerse entre llanuras y valles, donde parece acelerarse. Sol intenso, viento helado; plantas, animales y bacterias que para sobrevivir han desarrollado formas de vida y asociaciones únicas. Comunidades criollas e indígenas, empresas mineras, turistas, montañistas. Mirar al llano, mirarse desde el llano. Uno de los sitios más tempranos de asentamiento humano en América de Sur. El borde sur del desarrollo preeuropeo de la agricultura, la ganadería y el temprano imperialismo. Fronteras que separan Argentina, Chile y Bolivia; tal vez demasiado respetadas por gobiernos y académicos. Una de las primeras regiones más “desarrolladas” del pasado; una de las más marginales del presente. Una de las únicas ecorregiones donde la biomasa de animales nativos compite con la de los domesticados. Suelo desnudo y erosión, que desnuda fósiles de millones de años y minerales valiosos; oro, plata, cobre; ayer gran fuente de sal de mesa, hoy la principal reserva de litio de un mundo ávido de litio. Volcanes (los más altos del mundo), salares enormes, lagunas azules y verdes, puestos, restos arqueológicos, choiques, vicuñas, zorros, pumas, pastores, aguas calientes o muy frías, nieve. Archipiélago de vegas verdes donde florece la biodiversidad que sirvió de puerto a los arrieros navegantes del desierto. Todo eso es la Puna, y más. Cerca de 80 autores de las más variadas disciplinas, en 23 capítulos y casi 30 recuadros se juntan en este libro para tratar de compilar mucho de lo que se sabe de todo esto. Y mostrar, por acción u omisión, lo que no se sabe: preguntas que, como los caminos de la Puna —por lo común solitarios, extensos, inhóspitos, bellísimos— presagian un hallazgo, una llegada, un retorno. Más caminos y más preguntas.

Los Editores, julio 2018

## 5 ► Humedales de la Puna: principales proveedores de servicios ecosistémicos de la región

Izquierdo, Andrea E.; Roxana Aragón; Carlos J. Navarro; Elvira Casagrande

Instituto de Ecología Regional (IER, CONICET-UNT), CC34, (4107) Yerba Buena, Tucumán, Argentina. aeizquierdo@gmail.com

► **Resumen** — Los humedales son unidades claves en el funcionamiento ecosistémico de la Puna, en la cual el agua es un recurso limitante. Entre los principales tipos de humedales que se encuentran en la región se destacan los ríos, lagos, lagunas, salares y vegas. Estos ecosistemas tienen un alto valor de conservación porque son los principales proveedores de servicios ecosistémicos: representan la mayor proporción de productividad primaria, soportan la mayor parte de biodiversidad y son los principales reguladores hídricos de la región. Históricamente han sido afectados por el uso ganadero y actualmente están expuestos a dos tipos de posibles amenazas que incidirían principalmente sobre la hidrología: el cambio climático y usos del territorio de creciente desarrollo, tales como la minería y el turismo. En el presente capítulo resumimos las principales características de los distintos tipos de humedales de la Puna, describimos su importancia como proveedores de servicios ecosistémicos y discutimos su relación con las principales presiones antrópicas a las que se ven actualmente expuestos. Destacamos la necesidad y urgencia de diseñar y promover estrategias de conservación de humedales de la Puna considerando las potenciales amenazas derivadas del cambio climático y el uso del territorio.

**Palabras clave:** Hidrología, uso del suelo, altamontaña.

► **Abstract** — Wetlands are key units in the Punaean ecosystem functioning where water is a limiting resource. The main types of wetlands in the region are: rivers, lakes, lagoons, salts, and vegas or peatbogs. These ecosystems have a high conservation value because they are the main suppliers of ecosystem services. They contribute to a significant proportion of primary productivity, maintain vertebrate populations and biodiversity, and regulate hydrological resources. Historically, they have been affected by grazing and presently are exposed to two types of potential threats, which would mainly affect hydrology: climate change and increasing land use development, such as mining and tourism. Here we summarize the main characteristics of the different types of wetlands in the Puna, describe their importance as ecosystem service providers and discuss the main anthropogenic pressures to which they are currently exposed. We highlight the need and urgency to design and promote strategies for the conservation of the Punaean wetlands, considering the potential threats arising from climate change and land use.

**Keywords:** Hydrology, land use, high mountain.

### DEFINICIÓN Y TERMINOLOGÍAS. TIPOS DE HUMEDALES Y CARACTERIZACIÓN DE LOS HUMEDALES PRESENTES EN LA PUNA

Los humedales son ampliamente reconocidos por su importancia en la producción de bienes y servicios para las poblaciones humanas y por su valor para el mantenimiento de la biodiversidad (MEA, 2005; Gardner *et*

*al.*, 2015). Especialmente estratégicos son los humedales de zonas áridas y semiáridas como la Puna donde las precipitaciones anuales son exclusivamente estivales y en promedio menores a 400 mm anuales (Cabrera, 1976; Morales *et al.*, en este volumen). A su vez, los humedales altoandinos son especialmente sensibles en el contexto de cambio climático. Escenarios futuros predicen un aumento de temperatura de entre 2

a 4°C para ecosistemas de altura (Urrutia y Vuille, 2009; Morales *et al.*, en este volumen) y un descenso en disponibilidad de agua con estaciones secas más prolongadas (Buytaert *et al.*, 2010). A pesar de su reconocida importancia y vulnerabilidad, el conocimiento básico acerca de los distintos humedales de la Puna y su funcionamiento e interacciones ecohidrológicas es aún escaso.

Un primer paso para el estudio de los humedales es definir y clasificar sus distintos tipos. En general se acepta que los humedales son zonas en las que el agua es el principal factor que controla el medio y la vida vegetal y animal asociada a ellos. Se desarrollan en lugares donde la napa freática se halla en o cerca de la superficie de la tierra o donde el suelo está cubierto de agua poco profunda. A pesar de la amplia utilización del término, la definición de humedal todavía no está completamente consensuada aunque tiene importantes implicancias para los lineamientos en manejo y conservación de estos sistemas (Neiff, 2001).

La definición más difundida suele ser la de la Convención de Ramsar, tratado intergubernamental que ofrece el marco para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos del cual Argentina es miembro. Esta definición emplea un criterio amplio y enumerativo definiendo a los humedales como “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. Con esta amplia definición, la Convención de Ramsar abarca todos los lagos y ríos, pantanos y marismas, pastizales húmedos, turberas, oasis, estuarios, deltas y bajos de marea, manglares y otras zonas costeras, arrecifes coralinos, y sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, reservorios y salinas.

Otras definiciones más específicas se basan en características propias de los humedales y los definen como “ambientes en los cuales la presencia temporaria o permanente de

agua superficial o subsuperficial causa flujos biogeoquímicos propios, suelos con acentuado hidromorfismo y una biota adaptada a dicho rango de disponibilidad de agua” (Neiff *et al.*, 1994). Esta definición especificando aspectos estructurales y funcionales propios de los humedales marca la diferencia entre estos y los ambientes netamente terrestres y los ambientes netamente acuáticos. Por un lado, en los sistemas terrestres la zona saturada se encuentra por debajo de la rizósfera (*i.e.*, 30-50 cm superiores del suelo donde se encuentra la mayor parte de las raíces) y los procesos biológicos tienen lugar en la zona aérea, mientras que en los sistemas acuáticos el agua está sobre el nivel aéreo de la biota y los procesos biológicos ocurren dentro de la columna de agua (Brinson, 2004; Benzaquén *et al.*, 2013). En los humedales la zona de saturación fluctúa entre los primeros niveles subsuperficiales del suelo (incluyendo la rizósfera) y los primeros niveles por sobre la superficie del suelo; los procesos biológicos están adaptados a esta fluctuación en la disponibilidad de agua (Brinson, 2004; Benzaquén *et al.*, 2013). Estrictamente bajo esta definición los lagos y lagunas profundos y los ríos permanentes cuya columna de agua mantenga niveles altos y constantes de flujo no serían humedales; pero sí podría incluirse como humedal al ecosistema ribereño sujeto a periódicas inundaciones por aumentos del caudal del sistema acuático (*i.e.*, humedal marginal fluvial en el caso de los ríos y humedal marginal palustre en el caso de riberas de lagos y lagunas profundas). Un caso particular son las vegas o bofedales que si bien cumplen con los rasgos de todo humedal (*i.e.*, presencia de agua temporaria o permanente, biota adaptada y ciclos biogeoquímicos propios) la causalidad del ecosistema podría discutirse considerando más bien que hay un ciclo de retroalimentación entre los componentes que crean y mantienen el sistema (E. Jobaggy, com. pers.). Si bien las vegas se originan por afloramientos del acuífero freático, ésta se mantiene cerca o en superficie debido a que la vegetación característica de vega promueve la acumulación de materia orgánica y modifica la

hidrología del lugar con su capacidad de retención y regulación del flujo del agua. Si la vegetación no mantuviera el agua bajo su cubierta, ésta podría circular y formar otro tipo de humedal o sistema netamente acuático, como arroyos o ríos, típicamente menos extendidos espacialmente que la vega.

A fin de contemplar la mayor cantidad de tipos de humedales como principales proveedores de recursos hídricos de la Puna, este trabajo se basa en la definición amplia de Ramsar, pero diferencia las características funcionales y estructurales de cada tipo de humedal descrito y su sistema acuático asociado. Así, en este contexto, se incluyen ríos (permanentes y transitorios), lagos y lagunas someros (y márgenes palustres de lagos y lagunas profundas), vegas (*i.e.*, turberas altoandinas) y salares.

En general, las particularidades de la Puna condicionan a estos recursos hídricos principalmente debido al control orográfico de las precipitaciones. Los cordones montañosos de orientación norte-sur actúan como barrera a los vientos húmedos del océano Atlántico haciendo disminuir progresivamente las precipitaciones estivales de norte a sur y de este a oeste. Los valores promedio varían desde 50 mm/año en la zona árida (Salta-Catamarca) hasta 350 mm/año en la zona más húmeda (Puna jujeña) (Paoli, 2003). Los meses de invierno son por lo general secos, pero ocasionalmente se presentan nevadas que se originan por la llegada de aire frío proveniente del Pacífico (Ruthsatz, 2012). A su vez, estos cordones montañosos delimitan una depresión de altura entre ellos formando valles de poco drenaje, los cuales tienen, en su mayoría, un salar en su parte más baja (Hongn *et al.*, en este volumen). Las escasas precipitaciones combinadas a otras variables climáticas extremas, tales como la alta evapotranspiración asociada al viento y la alta radiación, resultan en un balance hídrico regional negativo todo el año. Durante las lluvias de verano se ocasionan escurrimientos torrentosos de agua superficial que elevan el caudal de los ríos permanentes presentes en la región y originan otros cauces transitorios que no presentan agua superficial y/o

tienen muy escaso caudal durante el resto del año.

En toda la región, así como en otras áreas áridas de montaña, las zonas con vegetación de estos “desiertos de sombra de lluvia” están fuertemente influenciadas por las entradas de agua laterales suministradas por ríos o acuíferos abastecidos por los frentes de montaña (Contreras *et al.*, 2011). En el caso de la Puna, la típica aridez de la región genera un entorno de cuencas hidrográficas cerradas con desagües en depresiones superficiales o lagunas presentes en el sector norte, o salares en el sur de la región. Las cuencas de la Puna se caracterizan por su endorreísmo con ríos, arroyos y pequeños cursos de agua que terminan en lagunas o salares o se infiltran (SRHN, 2002).

#### DISTRIBUCIÓN Y PATRONES ESPACIALES DE DIFERENTES HUMEDALES DE LA PUNA

Las condiciones ambientales arriba descritas de la Puna son similares a las de otras regiones áridas de altura del planeta donde se desarrollan ecosistemas parecidos. En América del Sur esta meseta de altura se presenta además en Chile, Bolivia y el sur de Perú; en Asia condiciones similares se encuentran en la meseta tibetana y la cordillera de Pamir.

A pesar de la reconocida importancia ecológica y económica de los humedales, los relevamientos para conocer sus patrones espaciales básicos son pocos y muchas veces incompletos (Finlayson y Davidson, 1999). La base de datos más global de humedales es la Global Lakes and Wetlands Database (GLWD) que reporta para las ecorregiones de Puna y Altos Andes de Argentina 16.880 ha (0,8% del área total de ecorregiones) de humedales incluyendo lagos, lagunas, reservorios y salares (Lehner y Doll, 2004). Nuestro equipo de trabajo desarrolla sus investigaciones en un área de 14.300.000 ha de la Puna argentina que se delimita al norte y oeste por los límites internacionales con Bolivia y Chile respectivamente; al este por la cota altitudinal de los 3200 msnm; y al

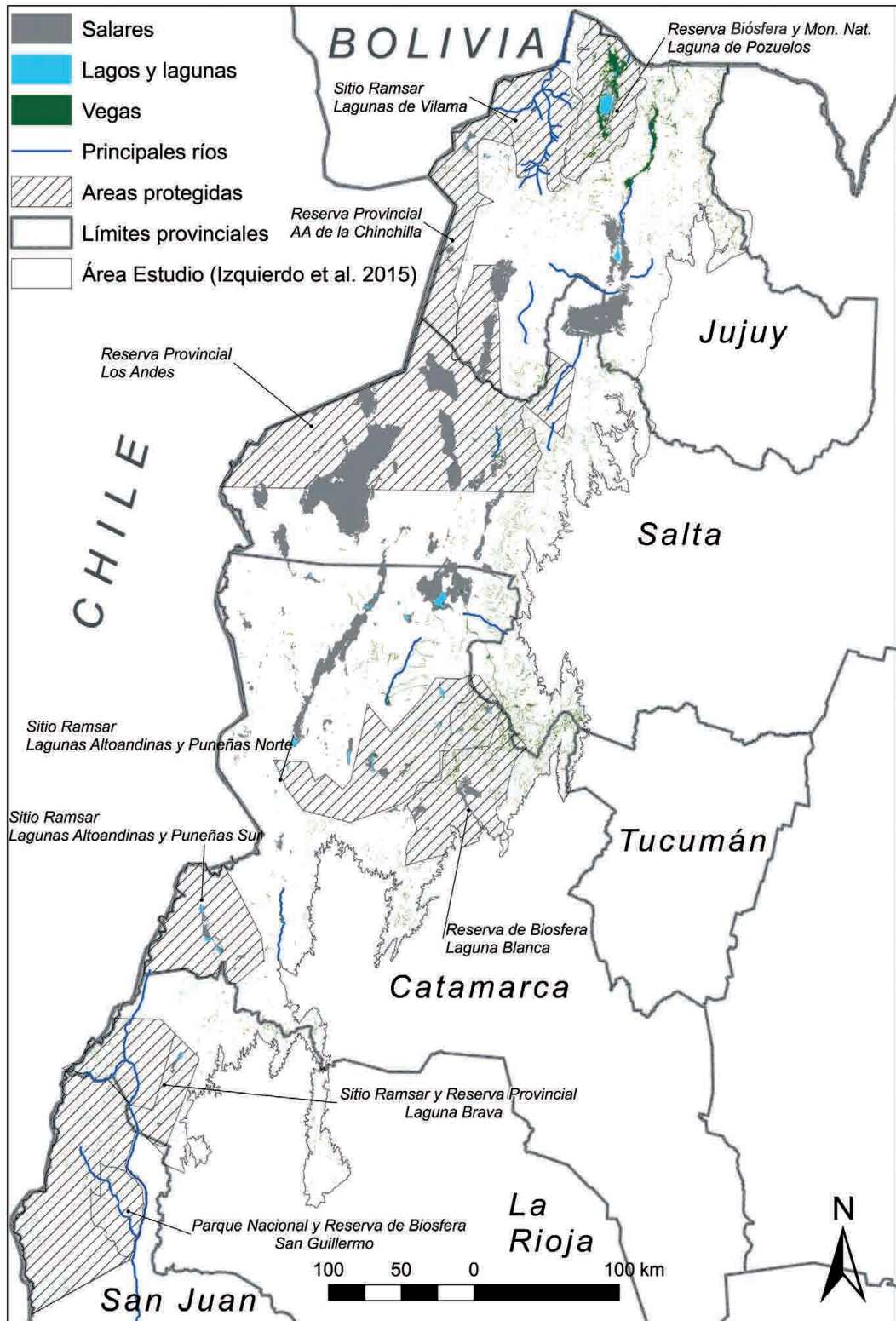


Figura 1. Humedales de la Puna: ríos principales, lagos, salares y vegas.

sur por los límites de la Reserva de Biosfera San Guillermo en la provincia de San Juan (Izquierdo *et al.*, 2015b). Nuestros estudios reportan 866.580 ha de humedales (6,06% del área de estudio), de los cuales 654.076 ha son salares (4,6% de la superficie del área de estudio), 40.486 ha son cuerpos de agua (0,28%), 61.123 ha son vegas salitrosas (0,43%) y 110.895 ha vegas (0,78%) (Izquierdo *et al.*, 2016; Figura 1). Estas diferencias muestran la importancia de relevamientos locales y técnicamente específicos para las particularidades de cada ecorregión.

Los 33 salares mapeados en el área de estudio se distribuyen mayormente sobre cuencas endorreicas al noroeste de la región y varían en tamaño desde pocas hectáreas (11 salares de entre 1 a 10 ha) hasta Arizaro, el mayor de la región con > 234.000 ha (Figura 1). Los lagos y las lagunas son más numerosos (113 unidades) pero de menor extensión, variando de 1 a 10 ha (66 unidades) a 11.038 ha (sistema de lagunas de Pozuelos). Estos valores fluctúan considerablemente de manera estacional e inter-anual. Las vegas son más numerosas, con la mayor cantidad en las clases de menor tamaño (1 a 10 ha) y unas pocas vegas mayores a 1.000 ha representan el 18% de la superficie total (Figura 1).

De la superficie total de humedales altoandinos, 321.488 ha (50,6%) se encuentran bajo algún tipo de protección (Figura 1), y entre ellas 224.753 ha lo están solo bajo jurisdicción de áreas protegidas provinciales y 96.735 ha (el 15% de la superficie total) bajo categorías de protección de relevancia internacional tales como Reservas de Biosfera o Sitios Ramsar (Figura 1). La implementación de las diferentes áreas protegidas es heterogénea en la región (Reid Rata *et al.*, en este volumen). La situación de cada una debería ser revisada con el objetivo de mejorar su eficiencia y acercarse al logro de sus objetivos.

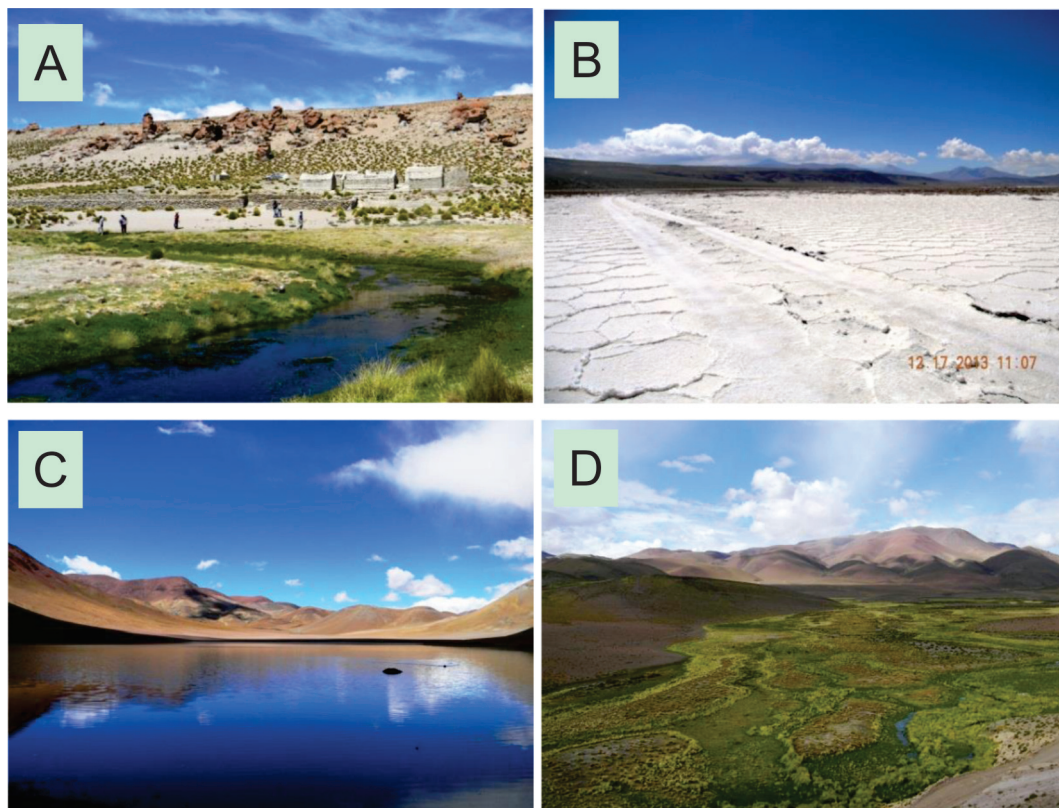
#### CARACTERES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES DE LOS DISTINTOS TIPOS DE HUMEDALES DE LA PUNA

En un sistema árido como la Puna, entender los flujos de agua de los humedales es fundamental para evaluar su funcionamiento actual y para predecir su variación en el futuro. La gran diversidad de humedales altoandinos corresponde parcialmente al origen de los mismos. En la región se pueden encontrar ríos permanentes o estacionarios, lagos y lagunas de agua dulce de origen glaciar, hidrotermal o tectónico, salares y lagunas salobres en fondos de cuencas y turberas o bofedales que se formaron por sobresaturación del suelo (Figura 2).

#### RÍOS

Los ríos y arroyos de la región son alimentados por las escasas lluvias de verano que frecuentemente son torrenciales y ocasionan fenómenos aluvionales con fuertes crecidas y transporte de sedimentos. Los deshielos estivales son importantes para algunos ríos como el Jachal en el extremo sur de la ecorregión, mientras que las lluvias de invierno, generalmente en forma de nieve, no tienen efectos significativos en la dinámica fluvial intra ni interanual (Paoli, 2003).

En la Puna se distinguen dos grandes grupos de cuencas, las endorreicas y las exorreicas. Las cuencas endorreicas ocupan la mayor superficie e incluyen a ríos y arroyos que desembocan en lagunas y salares (Figura 2A), y están principalmente ubicadas en el oeste de las provincias de Jujuy, Salta y Catamarca. Los ríos de estas cuencas nacen en la cordillera de los Andes, específicamente en la cordillera de San Buenaventura y en las vertientes occidentales de las sierras Santa Victoria, Aguilar, Chañi y Acay. Los principales lagos, lagunas y salares donde desaguan los ríos más importantes son: laguna de Pozuelos (río Santa Catalina y Cincel), laguna de Vilama (cauces transitorios), laguna de Guayatayoc-Salinas Grandes (río del Puesto, Pastos Chicos, San Antonio de los Cobres, y Susques o Las Burras), salar Olaroz-Cauchari (río del Rosario), salar del Hombre Muer-



**Figura 2.** Tipos de humedales de la Puna: río Los Patos (A); salar Rincón (B); laguna El Gato (C), vega Incahule (D).

to (río Los Patos), laguna Antofagasta (río Antofagasta), salar de Antofalla (río Antofalla), laguna de Carachi Pampa y salar Arizaro (cauces transitorios).

Hay tres principales cuencas exorreicas. La Cuenca de río Grande de San Juan-Pilcomayo en el extremo norte de Jujuy que incluye los ríos Yavi, La Quiaca, Orosmayo y Cusi-Cusi; la Cuenca del río Abaucan que se ubica al sureste de la provincia de Catamarca y al norte de la Rioja y está formada por ríos en general temporarios con fuertes crecidas en el periodo de deshielo que descienden hacia el valle de Chascuil y de Tinogasta o el Bolsón de Fiambalá; y la cuenca del río Jachal que se ubica en el centro-norte de San Juan, oeste de La Rioja y una pequeña porción de Catamarca. El río Jachal nace en la cordillera, primero con el nombre de Salado discurriendo de norte a sur; luego

al dirigirse hacia el este toma el nombre de Jachal y llega al bañado de Zanjón donde en otras épocas llegaba a tributar al Bermejo. Es de régimen nival de primavera-verano. El río Blanco que desagua en el embalse Cuesta del Viento y el embalse Los Cauquenes son otros elementos importantes de esta cuenca.

#### SALARES

Los salares constituyen uno de los rasgos geomorfológicos más característicos y distintivos de la ecorregión puneña (Figura 2B) y en su mayor parte las sales que los conforman provienen de la meteorización de rocas volcánicas (Hongn *et al.*, en este volumen). En las cuencas endorreicas de la Puna la combinación de altas tasas de evapotranspiración y escasas precipitaciones da lugar a la acumulación y deposición de sales, con la consecuente formación de sala-

res en sitios en donde antes se encontraban lagos o lagunas. El tamaño y la frecuencia de los salares aumenta hacia el sudoeste de la región a medida que el clima se hace más seco (Izquierdo *et al.*, en prensa), en zonas en que las precipitaciones alcanzan los mínimos registros (50 mm/año). Los salares reciben aportes de ríos con desagües de escasa magnitud y en su centro suelen formarse, de manera temporal o permanente, ojos de agua de escasa profundidad como ocurre por ejemplo en los salares de Cauchari, Pastos Grandes y Hombre Muerto. Los salares más grandes del mundo se encuentran ubicados en la altiplanicie sudamericana, repartida entre el noroeste argentino, el suroeste de Bolivia y el noreste de Chile: el salar de Arizaro es el de mayor superficie de la Puna argentina (234.000 ha) y tercero en los Andes, luego de Uyuni (Bolivia) y Atacama (Chile) (Izquierdo *et al.*, 2016).

La aparición de este tipo de humedales implica el depósito y concentración de sales con elementos químicos de interés económico. Principalmente se extrae de ellos salitre o nitrato natural, yodo, cloruro de sodio o sal común entre las explotaciones más tradicionales. Entre los elementos de mayor valor económico se destacan el litio y el boro, los cuales conforman reservas de insumos estratégicos para industrias en actual crecimiento (Izquierdo *et al.*, 2015a; Lencina *et al.*, en este volumen).

Especial mención merece la minería del litio que en las últimas décadas ha cobrado particular importancia debido a su uso en la fabricación de baterías para dispositivos electrónicos y vehículos a propulsión eléctrica, generando un fuerte crecimiento en la demanda de litio en los mercados internacionales. Los depósitos más importantes de este metal se sitúan en lagos salinos continentales y en salares, encontrándose aproximadamente el 80% del litio (de salmueras) total del mundo en el denominado Triángulo del Litio, situado entre los salares de Atacama (Chile), Hombre Muerto (Argentina) y Uyuni (Bolivia). Esta creciente demanda, sumada a la abundancia de litio en el país y al bajo costo que representa su extracción de salmueras,

ha marcado un aumento en el número de inversores extranjeros que llegan a la Puna argentina en búsqueda del “oro blanco”. La utilización de litio como insumo para el funcionamiento de artículos electrónicos supone el reemplazo de energías convencionales por esta alternativa que reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y libera comparativamente menos contaminantes (Desselhaus y Thomas, 2001). Sin embargo, el proceso productivo de litio conlleva el bombeo de salmuera natural desde el núcleo del salar y la evaporación de agua en las pozas de evaporación solar, donde la salmuera va aumentando su concentración. Dependiendo de la concentración de litio en la salmuera es la cantidad de agua evaporada en el proceso productivo; algunos estudios estiman que para concentraciones promedio de 600 partes por millón de litio en salmueras, se evaporan alrededor de 2 millones de litros de agua (Gallardo, 2011). Teniendo en cuenta las características hidráulicas del sistema y de los materiales del salar, estas intervenciones podrían causar una disminución del nivel de base del agua subterránea de la cuenca produciendo un descenso del agua dulce fuera de los bordes del salar, afectando potencialmente el funcionamiento y la biodiversidad en lagunas y vegas asociadas (Gallardo, 2011). Aunque actualmente sólo dos empresas explotan litio en salares de la región (Hombre Muerto y Olaroz), existen numerosos proyectos en exploración (Salar de Diablillos), factibilidad (Salar de Cauchari) e incluso pre-producción (Salar de Rincón) (ver Lencina *et al.*, en este volumen).

La tendencia climática hacia una mayor aridización en la región debido a los efectos del cambio global (Carilla *et al.*, 2013; Morales *et al.*, en este volumen), puede hacer necesario evaluar la actividad minera del litio. Conocer la utilización que ésta hace de los recursos hídricos y comprender sus potenciales impactos son imprescindibles para tomar medidas de manejo y/o mitigación tendientes a minimizar los riesgos ambientales y la degradación del recurso más limitante de la región.



## LAGOS Y LAGUNAS

Lagos y lagunas altoandinas son otro tipo de humedal en la región (Figura 2C). Son, por ejemplo, especialmente clave para mantener muchas especies de aves, incluyendo algunas amenazadas como los flamencos. Esto es reconocido por iniciativas como Ramsar que ha declarado sitios de interés para las aves a Laguna de los Pozuelos, Lagunas de Vilama, Laguna Brava y Lagunas Altoandinas y Puneñas de Catamarca (Ramsar, 2005). Más recientemente se ha demostrado la importancia de estos humedales para el mantenimiento de comunidades microbianas de alto valor científico como los microbialitos (Farias *et al.*, 2013; Farías, en este volumen).

En la Puna la mayor área y cantidad de lagunas se encuentra en la parte más húmeda del noreste; otras más pequeñas y aisladas se distribuyen en el resto de la región (Figura 1). Alrededor de 40.486 ha de “cuerpos de agua” han sido mapeados en la Puna, correspondientes al 0,28% de la superficie total del área de estudio (Izquierdo *et al.*, 2016), los cuales suman un perímetro total de más de 2 millones de km. Esto permitiría estimar aproximadamente 200 millones de km<sup>2</sup> de humedales marginales lacustres considerando un *buffer* de 100 metros.

Estos ecosistemas pueden separarse en lagunas profundas y salobres, de otras someras e hipersalinas (Caziani y Derlindati, 1999). Las primeras tienen perfiles pronunciados que les dan profundidad y poseen abundante vegetación de macrófitas que albergan una diversa avifauna de patos, gallaretas y macáes. Las lagunas someras tienen gran desarrollo de costa, son ricas en diatomeas y constituyen hábitat casi exclusivo de flamencos (Caziani y Derlindati, 1999). Los cambios en los niveles de agua por ciclos naturales de sequía son característicos de este tipo de lagos y están siendo afectados por las tendencias de cambio climático en la región, excediendo sus rangos de variabilidad natural (Carilla *et al.*, 2013; Morales *et al.*, 2015, Morales *et al.*, en este volumen). Lagos y lagunas han mostrado una fuerte relación con

las precipitaciones y el balance hídrico, lo que los hace buenos indicadores de patrones regionales de estas variables (Carilla *et al.*, 2013; Morales *et al.*, 2015). Sin embargo las características particulares de los cuerpos de agua y sus cuencas muestran diferencias en dicha relación. En particular, lagos pequeños mostraron un patrón de fluctuaciones de tamaño más consistente con las fluctuaciones del balance hídrico regional (Carilla *et al.*, 2013). Por el contrario, los lagos más grandes experimentaron una mayor variabilidad interanual que podría estar asociado con una menor proporción de área de profundidad (Caziani y Derlindati, 1999) y a la mayor complejidad y tamaño de las cuencas (Carilla *et al.*, 2013).

## VEGAS

Las vegas o bofedales son probablemente los humedales de mayor importancia ecológica de la región (Figura 2D) y a su vez los más sensibles a influencias antrópicas sobre su funcionamiento. Se desarrollan por un proceso de retroalimentación positivo entre las características topográficas de la napa freática y la vegetación. En áreas cóncavas donde el suelo permite que la napa aflore o se encuentre cercana a la superficie, crece una vegetación característica del tipo cespitosa que actúa regulando el flujo de agua y formando capas de materia orgánica que retroalimenta positivamente el crecimiento vegetal. El sistema se comporta como una esponja, manteniendo el agua en o cerca de la superficie e impidiendo que ésta infiltre o se escurra rápidamente. De esta manera, las vegas se convierten en unidades funcionales clave del ecosistema, soportando la biodiversidad y proveyendo servicios ecosistémicos fundamentales como la regulación hídrica, la productividad y el secuestro de carbono, entre otros. Este intrincado acople de factores hace de las vegas un sistema frágil y vulnerable. Para que una vega se desarrolle y se mantenga en el tiempo se requiere de la combinación de diferentes condiciones ambientales que controlen la estabilidad de la “napa” (Tchilinguirian y Olivera, 2012),

la estructura y configuración espacial heterogénea de canales o cursos insertos en una matriz de vegetación (Squeo *et al.*, 2006) y la formación y acumulación de materia orgánica (Benavides-Duque, 2013). La alteración de estas condiciones por fuera de determinados umbrales de resiliencia puede empujar el ecosistema hacia un proceso desencadenante de emisión de carbono, aceleración de los flujos hídricos y pérdida de porosidad y capacidad de regulación hidrológica (Benavides-Duque, 2013).

Las principales perturbaciones a las que pueden estar sometidas las vegas están relacionadas con el pastoreo, la minería, extracción de agua, la construcción de carreteras sobre el humedal y el cambio climático. Las canalizaciones en la vega, ya sean para riego o para evitar anegamiento de los animales que la usan, pueden llevar a la degradación generada por un descenso en la napa freática que incrementa la descomposición de la materia orgánica por aireación de estratos naturalmente carentes de oxígeno. Este proceso puede acelerarse por invasión de plantas arbustivas que desarrollan sus raíces y favorecen el ingreso de oxígeno y agua de percolación a niveles inferiores degradando lentamente el humedal y transformándolo en otro tipo de ecosistema. Una consecuencia grave del drenaje extensivo es la subsidencia (*i.e.* el descenso del terreno por la descomposición de la turba y la expulsión del agua contenida y la formación de surcos y cárcavas que genera una mayor pérdida de agua retenida por la vega). El equilibrio entre la ganancia/pérdida del agua y de la materia orgánica es crítico, determinando si la vega avanza, permanece o retrocede en el tiempo (Tchilinguirian y Olivera, 2012). Por otra parte, el manejo apropiado de canalizaciones y niveles freáticos por la población local puede ayudar a mantener o aún restaurar el funcionamiento de las vegas ante fluctuaciones climáticas adversas.

#### ECOLOGÍA Y BIODIVERSIDAD

Los humedales altoandinos presentan una alta diversidad biológica (Mittermeier *et*

*al.*, 1998). Varias de las especies de plantas y animales que los habitan son endémicas (Mittermeier *et al.*, 1998; Carilla *et al.*, Perovick *et al.* y Osinaga-Acosta y Martín, en este volumen).

La vegetación de los humedales puede separarse en: a) vegetación de zonas con poco drenaje (*e.g.*, vegas) usualmente dominadas por juncáceas (*e.g.*, *Distichia muscoides* y *Oxicloe andina*, y ciperáceas (*Eleocharis* spp., *Carex* spp., *Scyrpus* spp.) con la característica forma de cojín cuya función crucial en el funcionamiento hídrico de las vegas lleva a considerarlas como especies fundadoras (Ellison *et al.*, 2005), y b) plantas acuáticas de lagos y arroyos que incluyen *Crassula venezuelensis*, *Myriophyllum quitense*, *Potamogeton* spp., *Ranunculus* spp. y *Zannichellia*. Entre la flora andina endémica se pueden encontrar especies del género *Isoetes* (pteridófito andino) que han sido consideradas como especies en vías de extinción en la región (Young *et al.*, 1997) y de las cuales se han registrado especies endémicas de las lagunas de Huaca Huasi, Tucumán (A. Grau, com. pers.)

En los humedales se congregan temporalmente varias especies de aves migratorias (Caziani *et al.*, 2001), incluyendo especies como *Fulica gigantea* (gallareta) y *Chloephaga melanoptera* (guayata), ambas consideradas raras y de especial atención y vulnerable debido a su escasa presencia y distribución restringida respectivamente (SIB, 2017). Algunos de estos humedales son refugio y sitio de reproducción de flamencos endémicos como el flamenco andino (*Phoenicoparrus andinus*) y el flamenco de James (*Phoenicoparrus jamesi*), consideradas como especies vulnerables (BirdLife International, 2000).

Los humedales son también componentes fundamentales del hábitat de algunos mamíferos de importancia económica y ecológica tales como la vicuña, el guanaco, la chinchilla y algunos felinos (Cuyckens *et al.*, 2015) entre los cuales se destaca el emblemático gato andino (*Leopardus jacobita*), uno de los felinos menos conocidos y más vulnerables del país (Chébez *et al.*, 2008) e incluso considerado como la especie más amenazada

del continente americano (Villalba *et al.*, 2016).

La ictiofauna nativa del altiplano está representada por *Trichomycterus* sp., *Bryconamericus rubropictus* y *Jenynsia maculata* (ver Aguilera, en este volumen), cuya situación actual es desconocida para la región. Asimismo, algunas especies de anfibios endémicos no han sido bien estudiadas en los humedales, aunque se registra la presencia de especies propias de los géneros *Telmatobius*, *Batrachophrynus* y *Gastrotheca* (Barrionuevo *et al.*, en este volumen).

La biodiversidad microbiana también ha tomado relevancia en los últimos años en lagos y salares altoandinos con el descubrimiento de comunidades extremófilas (e.g., Farias *et al.*, 2013). Estas comunidades expuestas a radiaciones y condiciones químicas extremas han llamado la atención de astrobiólogos que las usan de modelos para la prospección de vida en otros planetas (Cabrol *et al.*, 2009) o para estudios sobre el origen de la vida (Farias *et al.*, 2013). Las condiciones ambientales adversas para la mayoría de los sistemas vivos en los humedales altoandinos son las que permiten el desarrollo de estas interesantes comunidades de importante valor científico (Albarracín *et al.*, 2016).

#### INTRODUCCIÓN A LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y USO ANTRÓPICO DE HUMEDALES

En líneas generales los “servicios ecosistémicos” son comúnmente definidos como “aquellos beneficios que la naturaleza provee a los seres humanos” (Daily, 1997; MEA, 2003; Díaz *et al.*, 2015). El concepto engloba bienes y servicios, incluyendo aquellos que en la clasificación más difundida se conocen como de soporte, provisión, regulación y culturales (MEA, 2003). Los humedales se encuentran entre los ecosistemas más productivos como proveedores de servicios ecosistémicos y, a su vez, los más amenazados por cambios de uso del suelo (MEA, 2005). En sistemas áridos como la Puna, los servicios ecosistémicos asociados a la econo-

mía hídrica toman una relevancia especial dada la gran dependencia y adaptación de las poblaciones al medio natural, lo cual los convierte en materia de oportunidades y de amenazas dependiendo de las decisiones de manejo que se haga de los mismos.

Las vegas en particular, aunque representan sólo el 0,78% de la superficie total de la región (Izquierdo *et al.*, 2015b, 2016) aportan una proporción significativa de la productividad primaria (Baldassini *et al.*, 2012). Los suelos de las áreas de vegas tienen muy alto contenido de materia orgánica y en zonas con drenaje pobre suele haber altos niveles de carbonatos y cloruros de sodio, calcio y litio como cationes predominantes. Esta combinación de características biofísicas convierten a las vegas en los principales reservorios de carbono en la alta montaña (Limpsen *et al.*, 2008; Benavides-Duque, 2013). Adicionalmente, al crear una matriz orgánica porosa en ambientes de roca, contribuyen a regular la velocidad del agua y generar caudales más constantes (Tchilinguirian y Olivera, 2012). Es así que estos sistemas clave en la región son proveedores de los principales servicios de provisión por regulación y mantenimiento.

Los ríos por su parte, además de la regulación y provisión de servicios hídricos son los principales corredores para la biodiversidad entre vegas en una matriz árida. Lagos y lagunas y salares son en general reservorios de una notable biodiversidad y en particular, hábitat de varias especies amenazadas (Caziani y Derlindati, 1999; Caziani *et al.*, 2001; Osinaga y Martín, en este volumen).

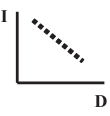
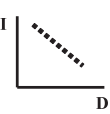
Dentro de las principales amenazas reconocidas para la región las predicciones de los modelos de cambio climático muestran que el calentamiento aumenta con la altitud (Beniston *et al.*, 1997) proyectando una tendencia a la aridización en la región (Urrutia y Vuillé, 2009; Morales *et al.*, en este volumen). A este escenario se agrega el incremento en la presión antrópica principalmente sobre los recursos hídricos por cambios en el uso del territorio. En la actualidad, entre los principales cambios que se suman a la tradicional actividad ganadera (Quiroga

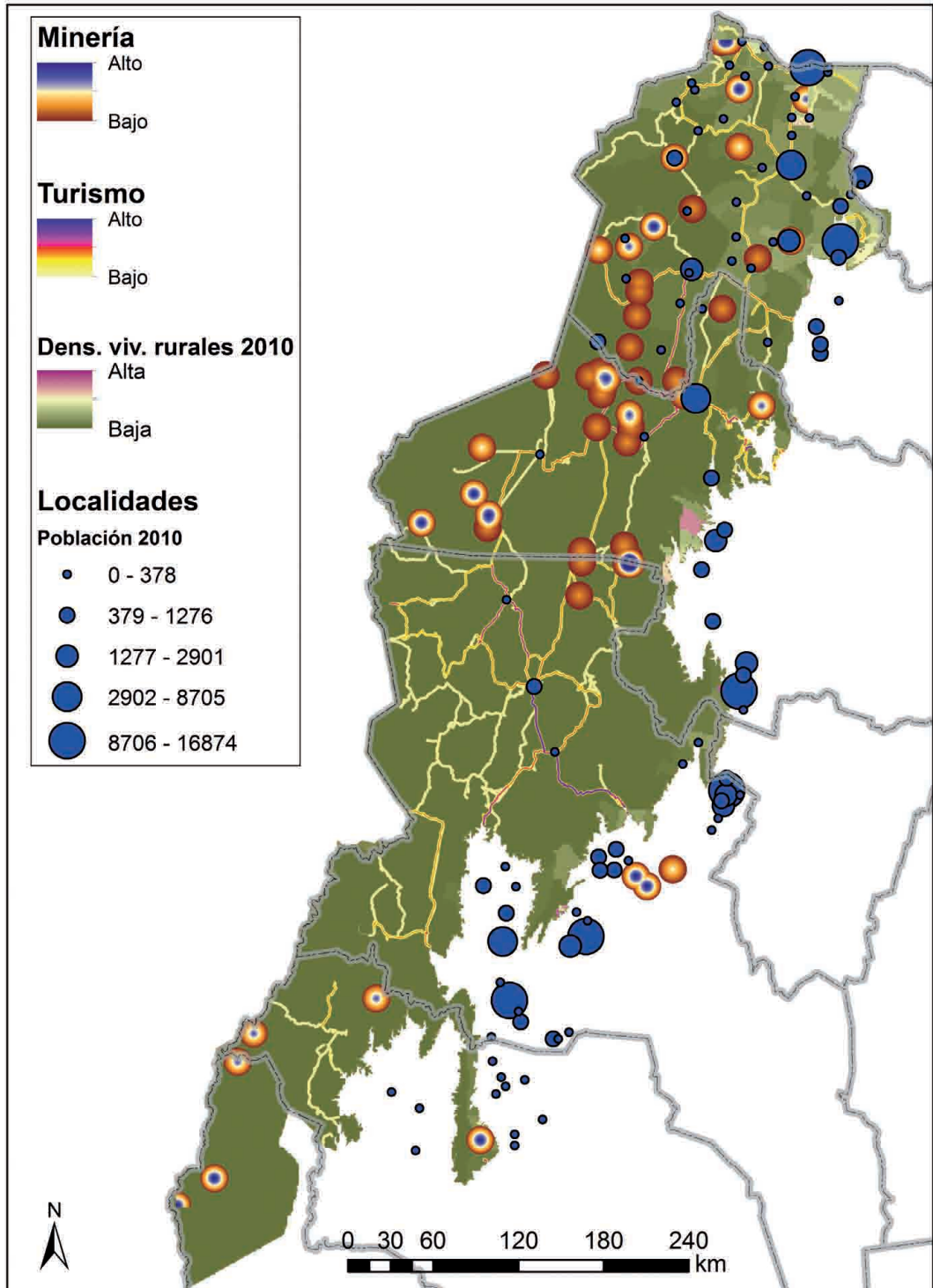
Mendiola y Cladera, en este volumen) se incluyen el incremento de la actividad minera (Izquierdo *et al.*, 2015a; Lencina *et al.*, en este volumen) y el creciente desarrollo turístico (Troncoso, en este volumen).

A pesar de ser una región poco habitada en relación a otras (Longhi y Krapovickas, en este volumen), las presiones antrópicas son varias y están ampliamente distribuidas (Figura 3) con diferente asociación espacial y potencial impacto sobre los distintos tipos de humedales (Tabla 1). En la región existen 45 localidades con 37.636 habitantes (Figura 3; INDEC, 2010; Longhi y Krapovickas, en este volumen). Otras 67 localidades con 100.303 habitantes existen fuera del área de estudio delimitada, pero se encuentran aguas abajo de la misma, por lo cual se proveen de los recursos hídricos “exportados” desde la región puneña (Figura 3; INDEC 2010). La densidad de viviendas rurales, que podría considerarse un indicador indirecto de la presión ganadera, es mayor hacia el límite este y noreste de la región (Figura 3; INDEC, 2010); mientras tanto, 38 desarrollos mineros en distintas fases de producción se encuentran mayormente distribuidos en el centro-oeste y algunos en el extremo sur (Figura 3). En el caso del turismo no se en-

cuentran los indicadores regionales sistematizados y mucho menos espacialmente explícitos, pero un *proxy* podría ser el registro de *tracks* en páginas especializadas. Hasta octubre de 2016 se encontraron 193 *tracks* en wikiloc.com (<https://www.wikiloc.com/>) que surcan el territorio de la Puna (Figura 3; Izquierdo *et al.*, datos no publicados) en diferentes tipos de actividades turísticas (*i.e.*, viajes en automóvil, todo terreno, motocross o motociclismo) y distintos grados de dificultad (*i.e.*, fácil, difícil, sólo expertos). En base a criterio de experto y a partir de estos indicadores de presiones antrópicas nosotros modelamos el impacto relativo espacial de dichas actividades. Para ello usamos parámetros de intensidad, distancia y *decay* (Tabla 1) para modelar una superficie de riesgo. Una superficie de riesgo es un modelo espacial de la relación entre elementos de riesgo (las presiones antrópicas en nuestro caso) y elementos de conservación (los humedales) a través de un valor de intensidad (*i.e.*, el grado de riesgo de cada presión antrópica para los elementos de conservación), la distancia a la que cada presión modelada actúa y el *decay* (*i.e.*, la forma en que ese indicador varía en relación a la distancia). Nuestro modelo reporta que 4,10% (35.562 ha) de

**Tabla 1.** Parámetros y sus valores utilizados en el modelado del impacto de los distintos usos del suelo a través de indicadores espaciales. I: intensidad; D: distancia.

Uso del suelo	Impacto	Indicador	Parámetros		
			Intensidad	Distancia (m)	Decay
Turismo	Daño por tránsito	Tipo de actividad ✓ Tren ✓ Auto ✓ Todo terreno ✓ Moto/endure	1 10 100 1.000	0 100 1.000 1.000	
Minería	Uso de recursos y contaminación	Tipo de producción ✓ No metálica ✓ Metálicas: ○ Abandonada ○ Prospecto ○ Activa	10.025 10.050 10.075 10.100	10.000 10.000 10.000 10.000	
Ganadería	Sobrepastoreo	Densidad de viviendas rurales	Densidad	0	x



**Figura 3.** Indicadores espaciales de diferentes presiones antrópicas en la región. Localidades por población 2010, proyectos y prospectos mineros, *tracks* de turismo y densidad de viviendas rurales por radio censal.

**Tabla 2.** Superficies y porcentajes de áreas de distintos tipos de humedales relacionados espacialmente con los diferentes indicadores de uso del suelo considerados.

Humedal Actividad	Vegas		Lagos y lagunas		Salares		TOTAL	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
<b>Ganadería</b>	1.186	0,69	2	0,005	2.950	0,45	4.138	<b>0,48</b>
<b>Turismo</b>	2.878	1,67	530	1,31	7.231	1,11	10.639	<b>1,23</b>
<b>Minería</b>	1.924	1,12	913	2,26	17.948	2,74	20.785	<b>2,40</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5.988</b>	<b>3,48</b>	<b>1.445</b>	<b>3,57</b>	<b>28.129</b>	<b>4,3</b>	<b>35.562</b>	<b>4,10</b>

la superficie total de humedales se encuentra espacialmente asociada a alguno de los indicadores de presiones antrópicas, estando la mayor parte de esta superficie relacionada a la minería (20.785 ha, 2,4%) y el turismo (10.639 ha, 1,23%) (Tabla 2). Por otro lado, hay diferencias en la relación espacial de estos indicadores de presiones antrópicas con los distintos tipos de humedales. Las vegas se encuentran mayormente asociadas con el turismo (2.878 ha, 1,67% de su superficie); mientras que los salares mayormente están asociados espacialmente a la presencia de minería (17.948 ha, 2,74%). Por último cabe destacar que las diferentes actividades tienen a su vez distintas intensidades de presión, por lo cual se considera que la asociación espacial con la actividad minera es relativamente de mayor impacto para los humedales que la asociación con los indicadores del turismo (Tabla 1).

Estas diferencias en la distribución espacial de las actividades antrópicas y en sus asociaciones espaciales con los distintos humedales pueden dar información para el manejo y gestión específicos para cada caso. Con parametrizaciones de los impactos relativos de cada actividad a partir de indicadores espaciales como los presentados aquí, podrían generarse modelos espaciales de uso del territorio. El relevamiento de información y actividades de monitoreo de las diferentes actividades en la región son una información necesaria para generar modelos de calidad y deberían ser una política de estado que permitan alcanzar y promover

decisiones políticas de manejo basadas en información regional.

### CONCLUSIONES

Los humedales de la Puna representan unidades funcionales clave con alto valor de conservación para la ecorregión. Estos poseen la mayor diversidad de plantas y animales de los ecosistemas de montaña y una rica diversidad microbiana en lagunas y salares de alta relevancia para la ciencia y el desarrollo de innovaciones biotecnológicas. Son los principales proveedores de servicios ecosistémicos dado que poseen la mayor productividad primaria y son los encargados de la regulación hídrica, en una región donde el agua es un recurso limitante.

Históricamente, estos ecosistemas han sido afectados por el uso ganadero y actualmente están expuestos a dos tipos de posibles amenazas crecientes que incidirían principalmente sobre la hidrología: el cambio climático y el incremento del uso del territorio generado por la minería y el turismo. Dado que estas actividades pueden ser oportunidades de desarrollo regional, deberían basarse en programas planificados compatibles con la conservación de los humedales y los servicios ecosistémicos que ellos proveen. A pesar de la importancia de los humedales de la Puna, su funcionamiento hidrológico y probables mecanismos de retroalimentación entre ellos y entre sus atributos son aún poco comprendidos. Esta información es necesaria para analizar la vulnerabilidad de estos ecosistemas al cambio climático y a

los usos del territorio y poder definir pautas de manejo tendientes a la conservación y al desarrollo regional.

#### LITERATURA CITADA

- Aguilera G. 2018. Peces de la Puna. En H. R. Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura*. Serie de Conservación de la Naturaleza, 24: 229-230.
- Albarracín V. H., Gärtner W., Farías M. E. 2016. Forged under the sun: life and art of extremophiles from Andean lakes. *Photochemistry and Photobiology*, 92: 14-28.
- Baldassini P., Volante J. N., Califano L. M., Paruelo J. M. 2012. Caracterización regional de la estructura y de la productividad de la vegetación de la Puna mediante el uso de imágenes MODIS. *Ecología Austral*, 22: 22-32.
- Barrionuevo J. S., Abdala C. 2018. Herpetofauna de la Puna. En H. R. Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura*. Serie de Conservación de la Naturaleza, 24: 209-228.
- Benavides-Duque J. C. 2013. The Changing Face of Andean Peatlands: the Effects of Climate and Human Disturbance on Ecosystem Structure and Function. Ph. D. dissertation, Southern Illinois University Carbondale, USA, 230 pp.
- Beniston M., Diaz H., Bradley R. 1997. Climatic change at high elevation sites. An overview. *Climatic Change*, 36: 233-251.
- Benzaquén L., Blanco D. E., Bó R., Kandus P., Lingua G., Quintana R., Minotti P. 2013. Los humedales y sus beneficios. En: L. Benzaquén, D. E. Blanco, R. Bó, P. Kandus, G. Lingua, R. Quintana y P. Minotti (eds.), *Inventario de los Humedales de Argentina: Sistemas de Paisajes de Humedales del Corredor Fluvial Paraná Paraguay*. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Buenos Aires, Argentina, pp. 17-28.
- Birdlife International. 2000. *Threatened Birds of the World*. Lynx Editions, Barcelona Spain, 852 pp.
- Brinson M. 2004. Niveles extremos de variación de patrones y procesos en humedales. En: A. I. Malvárez y R. F. Bó (eds.), *Documentos del Curso-taller Bases Ecológicas para la Clasificación e Inventario de Humedales en Argentina*. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires, Argentina, pp. 19-24.
- Buytaert W., Vuille M., Dewulf A., Urrutia R., Karmalkar A., Celleri R. 2010. Uncertainties in climate change projections and regional downscaling in the tropical Andes: implications for water resources management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14: 1247-1258.
- Cabrera A. L. 1976. *Regiones Fitogeográficas Argentinas*. Editorial Acme. Buenos Aires, Argentina, 85 pp.
- Cabrol N. A., Grin E., Chong G., Minkley E., Hock A. N., Yu Y. *et al.* 2009. The high-lakes project. *Journal of Geophysical Research*, 114: doi:10.1029/2008JG000818
- Carilla J., Grau H. R., Paolini L., Morales, M. 2013. Lake fluctuations, plant productivity, and long-term variability in high-elevation tropical Andean ecosystems. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 45: 179-189.
- Carilla J., Grau A., Cuello S. 2018. Vegetación de la Puna argentina. En H. R. Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura*. Serie de Conservación de la Naturaleza, 24: 143-156.
- Caziani S. M., Derlindati, E. J. 1999. Humedales altoandinos del noroeste de Argentina: su contribución a la biodiversidad regional. En: A. I. Malvarez (ed.), *Tópicos sobre Humedales Subtropicales y Templados de Sudamérica*. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe, Montevideo, Uruguay, pp. 1-13 pp.
- Caziani S., Derlindati E. J., Tálamo A., Sureda A. L., Trucco C. E., Nicolossi, G. 2001. Waterbird richness in Altiplano wetlands of Northwestern Argentina. *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology*, 24: 103-117.
- Chébez J. C., Nigro N. A., Martínez, F. 2008. Gato andino. En: J. C. Chébez (ed.), *Los que se Van. Fauna argentina amenazada*. Editorial Albatros, Buenos Aires, pp. 109-115.
- Contreras S., Jobaggy E., Villagra P., Nosetto M., Puidefabregas J. 2011. Remote sensing estimates of supplementary water consumption by arid ecosystems of central Argentina. *Journal of Hydrology*, 397: 10-22.
- Cuyckens E., Perovick P. G., Cristóbal L. 2015. How are wetlands and biological interactions related to carnivore distributions at high altitude? *Journal of Arid Environments*, 115: 14-18.

- Daily G. C. 1997. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystem Services*, 1st ed.; Island Press: Washington, DC, USA, 393 pp.
- Díaz S., Demissew S., Carabias J., Joly C., Lonsdale M., Ash N. *et al.* 2015. The IPBES conceptual framework-connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14: 1-16.
- Desselhaus M. S., Thomas I. L. 2001. Alternative energies technologies. *Nature*, 414: 332-337.
- Ellison A. M., Bank M. S., Clinton B. D., Colburn E. A., Elliott K., Ford C. R., Foster D. R., Kloeppel B. D., Knoepp J. D., Lovett, G. M. 2005. Loss of foundation species: consequences for the structure and dynamics of forested ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3: 479-486.
- Farías M. E., Rascovan N., Toneatti D. M., Albarracín V. H., Flores M. R., Poiré D. G., Collavino M., Aguilar O. M., Vázquez M. P., Polerecky L. 2013. The discovery of stromatolites developing at 3570 m above sea level in a high-altitude volcanic lake Socompa, Argentinean Andes. *PloS One*, 8:e53497.
- Farías M. E. 2018. Ecosistemas microbianos de la Puna. El inmenso valor de lo diminuto. En: H. R. Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura. Serie de Conservación de la Naturaleza*, 24: 246-268.
- Finlayson C. M., Davidson N. C. 1999. *Global Review of Wetland Resources and Priorities for Wetland Inventory: Summary Report*. Wetlands International, The Netherlands and the environmental research institute of the supervising scientists, Australia. 15 pp.
- Gallardo S. 2011. Extracción de litio en el norte argentino. *La fiebre comienza. Exactamente*, 48: 26-29.
- Gardner R. C., Barchiesi S., Beltrame C., Finlayson C. M., Galewski T., Harrison I., Paganini M., Perennou C., Pritchard D. E., Rosenqvist A., Walpole M. 2015. *State of the World's wetlands and their services to people: a compilation of recent analyses*. Ramsar Briefing Note no. 7. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat.
- Hongn F., Montero-López C., Guzmán S., Aramayo A. 2018. *Geología*. En: H. R. Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura. Serie de Conservación de la Naturaleza*, 24: 13-29.
- INDEC. 2010. *Censo Nacional de Población y Viviendas 2010*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Argentina.
- Izquierdo A. E., Grau H. R., Carilla J., Casagrande, E. 2015a. Side effects of green technologies: the potential environmental costs of Lithium mining on high elevation Andean wetlands in the context of climate change. *GLP-News*, 12: 53-56.
- Izquierdo A. E., Foguet J., Grau H. R. 2015b. Mapping and spatial characterization of Argentine High Andean peatbogs. *Wetlands Ecology and Management*, 23: 963-976.
- Izquierdo A. E., Foguet J., Grau H. R. 2016. "Hidroecosistemas" de la Puna y Altos Andes de Argentina. *Acta Geológica Lilloana*, 28: 390-402.
- Lehner B., Doll P. 2004. Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of Hydrology*, 296: 1-22.
- Lencina R., Peralta E., Sosa Gómez J. 2018. La actividad minera en la Puna argentina. Caracterización sociohistórica, presente y perspectivas. En: H. R. Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura. Serie Conservación de la Naturaleza*, 24: 406-421.
- Longhi F., Krapovickas J. 2018. Población y pobreza en la Puna argentina en los inicios del siglo XXI. En: H. R. Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura. Serie Conservación de la Naturaleza*, 24: 364-379.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2003. *Ecosystems and Human Well-being: a Framework for Assessment*. World Resources Institute, Washington, DC, 31 pp.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC, 80 pp.
- Mittermeier R. A., Myers N., Thomsen J. B., Da Fonseca G. A., Olivieri S. 1998. Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities. *Conservation Biology*, 12: 516-520.
- Morales M., Carilla J., Grau H. R., Villalba, R. 2015. Multi-century lake area changes in the Andean high-elevation ecosystems of the Southern Altiplano. *Climate of the Past*, 11: 1821-1855.
- Morales M. S., Christie D. A., Neukom R., Rojas F., Villalba R. 2018. Variabilidad



- hidroclimática en el sur del Altiplano: pasado, presente y futuro. En H. R. Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura*. Serie Conservación de la Naturaleza, 24: 75-91.
- Neiff J. J. 2001. Humedales de la Argentina: sinopsis, problemas y perspectivas futura. En: A. Fernandez Cirelli (ed.), *El Agua en Iberoamérica. Funciones de los Humedales, Calidad de Vida y Agua Segura*. CYTED, España, pp. 1-30 pp.
- Neiff J. J., Iriondo M. H., Carignan R. 1994. Large tropical South American wetlands: an overview. En: G. L. Link y R. J. Naiman (eds.), *The Ecology and Management of Aquatic-terrestrial Ecosystems*. University of Washington, USA, pp. 156-165.
- Osinaga-Acosta O., Martín E. 2018. Estado actual de conocimiento de las aves de la Puna argentina. En: H. R. Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura*. Serie Conservación de la Naturaleza, 24: 161-179.
- Paoli H. P. 2003. Recursos Hídricos de la Puna, Valles y Bolsones Áridos del Noroeste Argentino. INTA y CIED, Salta, 134 pp.
- Perovic, P. G., Trucco C. E., Tellaeche C., Bracamonte C., Cuello P., Novillo A., Lizárraga L. 2018. Mamíferos puneños y altoandinos. En: H. R. Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura*. Serie Conservación de la Naturaleza, 24: 182-206.
- Quiroga Mendiola M., Cladera J. L. 2018. Ganadería en la Puna argentina. En: H. R. Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura*. Serie Conservación de la Naturaleza, 24: 387-402.
- RAMSAR. 2005. Regional Strategy for the conservation and sustainable use of High Andean Wetlands. COP9 DOC. 26. IX Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Wetlands. Kampala, Uganda.
- Reid Rata Y., Malizia L. R., Brown A. D. 2018. Áreas protegidas de la Puna. En: H. R. Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura*. Serie Conservación de la Naturaleza, 24: 465-481.
- Ruthsatz B. 2012. Vegetación y ecología de los bofedales altoandinos de Bolivia. *Phytocoenología*, 42: 133-179.
- SIB (Sistema de Información de Biodiversidad). 2017. <https://www.sib.gov.ar> Accedido el 03/02/2017.
- SRHN (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación – Instituto Nacional del Agua). 2002. Atlas digital de los recursos hídricos superficiales de la República Argentina. CD-ROM, Buenos Aires.
- Squeo F. A., Warner B. G., Aravena R., Espinoza D. 2006. Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79: 245-255.
- Tchilinguirian P., Olivera D. E. 2012. Degradación y formación de vegas puneñas (900-150 años AP), Puna Austral (26° S) ¿Respuesta del paisaje al clima o al hombre? *Acta Geológica Lilloana*, 24: 41-61.
- Troncoso C. 2018. Valoración turística: tendencias recientes. En: H. R. Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura*. Serie Conservación de la Naturaleza, 24: 426-440.
- Urrutia R., Vuille M. 2009. Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. *Journal of Geophysical Research*, 114: doi:10.1029/2008JD011021.
- Villalba, L., Lucherini, M., Walker, S., Lagos, N., Cossios, D., Bennett, M., Huaranca, J. 2016. *Leopardus jacobita*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T15452A50657407. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T15452A50657407.en>. Accedido el 18 April de 2017.
- Young K. R., Leon B., Cano A., Herrera Macbryde O. 1997. 'Peruvian puna, Peru'. En: S. D. Davis, V. H. Heywood, O. Herrera MacBryde y A. C. Hamilton (eds.), *Centres of Plant Diversity: a Guide and Strategy for their Conservation: the Americas*, WWF and IUCN, London, pp. 470-476.