

UNA PERSPECTIVA ECOLÓGICA SOBRE EL USO DEL AGUA EN EL NORTE GRANDE:

LA REGIÓN DE TARAPACÁ COMO ESTUDIO DE CASO*

**Fabián M. Jaksic, Pablo A. Marquet
y Héctor González**

En este trabajo se señala que los ecosistemas altoandinos son frágiles porque los procesos que concurren a su mantención y perpetuación son muy sensibles a cambios producidos por catástrofes naturales o modificaciones introducidas por el hombre. A esto se suma su baja capacidad para responder a perturbaciones, producto de suelos poco desarrollados y con escasos nutrientes, bajas temperaturas, baja productividad biológica y pequeño potencial regenerativo. En conse-

FABIÁN M. JAKSIC. Licenciado en Biología, Universidad de Chile. D. del Departamento de Ecología, Ph. D. en Zoología, University of California-Berkeley; Certified Senior Ecologist, Ecological Society of America. Director Académico y Profesor Titular de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Catedrático Presidencial en Ciencia.

PABLO A. MARQUET. Licenciado en Biología, Universidad de Concepción. Ph. D. en Biología, University of New Mexico. Profesor auxiliar de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Tesorero de la Sociedad de Ecología de Chile.

HÉCTOR GONZÁLEZ. Investigador del Departamento de Arqueología y Museos, Universidad de Tarapacá.

* Trabajo presentado en seminario "Minería y uso de agua de Chile", efectuado en el Centro de Estudios Públicos el 3 de junio de 1997.

cuencia, se sostiene, los proyectos que contemplen un impacto significativo sobre los sistemas altoandinos deben considerar la implementación de medidas para aminorar efectos negativos tales como la alteración y destrucción de hábitats claves para el funcionamiento de dichos ecosistemas. De especial importancia de conservación, se señala finalmente, son las cuencas hidrográficas, particularmente aquellas cuya prioridad se categoriza como Sobresaliente o Superior, de acuerdo a las pautas que se entregan en este trabajo.

1. Características generales de los ecosistemas del Norte Grande

La gran mayoría de los ecosistemas de nuestro planeta se encuentran en distintos grados de degradación, producto de la acción directa e indirecta del hombre (Vitousek [1994], Hannah *et al.* [1995], Leemans y Zuidema [1995]). Parte de esta degradación se expresa en modificaciones sustanciales de la composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas, ligado a procesos tales como la extinción local y global de especies (crisis de la biodiversidad, Wilson [1992]) y la alteración de los ciclos biogeoquímicos producto del cambio global en el ambiente. En este contexto, es necesario contar con conocimiento básico de los distintos ecosistemas amenazados, tal que nos permita identificar los componentes y los procesos que dan cuenta de su funcionamiento y variabilidad temporal y espacial, y, por otro lado, diagnosticar y anticipar potenciales situaciones de cambio que podrían ser irreversibles de no ser identificadas a tiempo.

Todo lo anterior es especialmente aplicable a los ecosistemas del Norte Grande de Chile (Regiones I, II y III) dada su fragilidad, producto de condiciones climáticas de temperaturas y aridez extremas, y a la larga data de ocupación humana (más de 10.000 años). Los ecosistemas del Norte Grande corresponden esencialmente a ecosistemas desérticos. Mundialmente, éstos se caracterizan por (Noy-Meir [1973, 1985]): (a) baja productividad; (b) productividad muy variable y dependiente de las precipitaciones y la disponibilidad de nutrientes, principalmente nitrógeno; (c) alto cociente productividad/biomasa —esto es, tasa de recambio o producción relativa—; (d) alto cociente entre biomasa sobre y bajo el suelo; (e) baja eficiencia de utilización de la producción de plantas por parte de los herbívoros; (f) biomasa de plantas removida principalmente por erosión; (g) baja riqueza de especies, la cual está correlacionada con las precipitaciones.

La descripción anterior responde en gran medida a la existencia de características ambientales rigurosas entre las cuales destacan: (a) baja presión parcial de oxígeno y de dióxido de carbono, baja presión absoluta de vapor y alta radiación solar; (b) suelos pobremente desarrollados con baja disponibilidad de nutrientes; (c) bajas temperaturas con marcada variación diaria; (d) distribución irregular de precipitaciones con marcados períodos de aridez.

El Norte Grande de Chile se ubica en los Andes Centrales, que comprenden la zona andina de Perú, Bolivia, Argentina y Chile, situada entre las latitudes 8 y 27° S. Los Andes Centrales se caracterizan por la existencia de mesetas desérticas ubicadas por sobre los 3.500 m de altura, que en su conjunto forman lo que se denomina “Puna” o “Altiplano”. Las precipitaciones en esta área se concentran en una única estación (verano) de longitud variable. La precipitación anual total varía entre 150 y 1.000 mm, incrementando en sentido sur a norte. Esta zona presenta una vegetación compuesta principalmente de extensos matorrales de arbustos enanos, formaciones vegetacionales abiertas dominadas por gramíneas cespitosas y plantas en cojín y formaciones azonales de vegas (Troll [1958], Molina y Little [1981]).

La zona de la Puna (especialmente en Perú y Bolivia) es el área más densamente habitada de los Andes Centrales; 4 millones de personas viven en la puna de Perú y entre 2,6 a 3,5 en la puna de Bolivia (Molina y Little [1981], Little [1981], Brockman [1986], Morales [1990]). La puna en general ha sufrido una intensa y sostenida explotación por parte del hombre. Ha habido modificaciones debido a la introducción de especies exóticas de plantas y animales, lo que ha traído como consecuencia cambios en la cobertura de la vegetación y de la riqueza florística. A estos efectos se suman las modificaciones inducidas por el sobrepastoreo y las derivadas de la actividad minera en el área. Esta última ha contribuido sustancialmente a la casi desaparición de los bosques de *Polylepis* y de las formaciones de vegas (bofedales).

2. Caracterización ecológica del altiplano de la I Región

2.1. Fauna

La zona altoandina de la I Región se caracteriza por poseer una alta diversidad de especies de vertebrados (Valencia *et al.* [1992], Conama [1994], Simonetti *et al.* [1995], Jaksic [1997]). En total existen 164 espe-

cies, de las cuales 115 son de aves, 35 de mamíferos, 8 de reptiles y 6 de anfibios (Cuadro N° 1, basado en datos no publicados de Marquet). De este total sobresalen los roedores (con 22 especies) y las aves. Ambos grupos se caracterizan por poseer un alto número de especies endémicas a esta ecorregión, lo cual sumado a la fragilidad del ecosistema y al alto grado de intervención antrópica, ha resultado en que sea designada como un área prioritaria para la preservación de la biodiversidad en América Latina (Biodiversity Support Program *et al.* [1995]). El alto porcentaje de endemidad en esta fauna atestigua el papel del altiplano como un centro activo de generación de biota (Mueller [1973], Reig [1986], Vuilleumier y Simberloff [1980], Marquet [1989, 1994]).

La fauna de mamíferos del Altiplano chileno es la mejor conocida. Actualmente se cuenta con listas de especies (Osgood [1943], Mann [1960], Tamayo *et al.* [1987]) y con descripciones de sus hábitats y rasgos ecológicos básicos (Mann [1945, 1950, 1978]; Pearson [1948], Koford [1954], Miller y Rottmann [1976], Spotorno [1976], Fuentes y Jaksic [1979], Pine *et al.* [1979], Tamayo y Frasinetti [1980], Miller *et al.* [1983], Rau y Muñoz [1985], Campos [1986], Reise y Venegas [1987], Nowak [1991], Redford y Eisenberg [1992], Marquet *et al.* [1993a, 1993b], Jaksic [1997]). Resaltan estudios recientes (Marquet [1994], Marquet *et al.* [1994], Palma [1995]), que proveen información respecto de la biogeografía, ecología y estado de conservación de esta fauna. Dentro de la fauna de

CUADRO N° 1: ESPECIES DE VERTEBRADOS EFECTIVAMENTE OBSERVADOS EN ONCE CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA I REGIÓN

Cuenca hidrográfica	Aves	Mamíferos	Reptiles	Anfibios	Total
CH 201 Lluta	9	12	0	0	21
CH 202 San José	0	4	0	0	4
CH 204 Camarones	0	3	0	0	3
CH 501 Cauquena-Cosapilla	16	8	1	0	25
CH 502 Lauca	45	8	3	2	58
CH 503 Parajalla	8	3	2	1	14
CH 504 Isluga	43	11	2	1	57
CH 602 Chungará	21	10	3	2	36
CH 603 Surire	36	9	4	1	50
CH 604 Pampa Tamarugal	7	4	0	0	11
CH 605 Huasco	32	4	1	0	37
Total regional	115	35	8	6	164

mamíferos, el componente mejor conocido lo constituyen los roedores. Las especies de roedores presentes en esta área se caracterizan por sus altos niveles de simpatria (Pearson [1951, 1958]; Hershkovitz [1962], Yoneda [1983, 1984]; Marquet [1994]), así como por una alta tasa de recambio de especies a lo largo de gradientes altitudinales y latitudinales (Dorst [1971], Pearson y Ralph [1978], Pizzimenti y De Salle [1980, 1981]; Pearson [1982], Marquet [1994]).

Sobre las aves hay bastante menos información disponible, excepto por listas de especies y guías de campo (Philippi [1941, 1964]; Philippi *et al.* [1944], Barros [1954], Araya y Millie [1986], Araya *et al.* [1995]) o descripciones sumarias de su biología (Johnson [1965, 1967], McFarlane y Loo [1974], Fjeldsa y Krabbe [1990], Jiménez y Jaksic [1990], Jaksic *et al.* [1991], Fjeldsa [1992, 1993], Estades [1996]). Los flamencos y parinas (*Phoenicopteridae*) han recibido bastante atención, aunque los estudios más bien se concentran en la II Región de Antofagasta (Parada [1988a, b, c, d, e]). Datos no publicados sobre censos de aves acuáticas en la I Región (Cuadro N° 2, basado en datos no publicados de Marquet) revelan que el Lago Chungará, Salar de Surire, Salar de Huasco y Laguna de Parinacota son de especial relevancia por contener un gran número de individuos (1000 a 5700) y de especies (13 a 17) de aves. Las especies

CUADRO N° 2: NÚMERO DE INDIVIDUOS DE AVES ACUÁTICAS Y TERRESTRES CENSADOS EN 15 SITIOS DE LA I REGIÓN

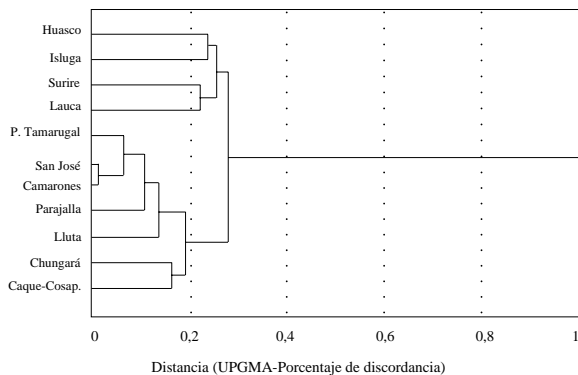
Sitios de la I Región	N° aves/spp. acuáticas	N° aves/spp. terrestres
CH 602 Chungará (lago)	5687/17	—
CH 603 Surire (bofedal)	182/13	—
CH 603 Surire (laguna)	4805/13	31/6
CH 605 Huasco (laguna)	1387/14	59/7
Ancuyo (laguna)	56/8	—
Arabilla (bofedal)	38/5	—
Chuzmiza (quebrada)	—	18/7
Enquelga (bofedal)	138/11	57/10
Enquelga (quebrada)	—	82/10
General Lagos (tolar)	—	7/2
Parinacota (bofedal)	135/12	56/10
Parinacota (laguna)	1116/16	—
Parinacota (tolar)	—	26/10
Tulacayacta (laguna)	386/12	—
Unguatire (laguna)	379/11	—

acuáticas más numerosas corresponden a la Tagua gigante (*Fulica gigantea*), Parina grande (*Phoenicoparrus andinus*), Blanquillo (*Podiceps occipitalis*), Parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*) y Pato puna (*Anas puna*). Para el caso de las aves terrestres (Cuadro N° 2, basado en datos no publicados de Marquet), los sitios de mayor relevancia en relación a su alto número de individuos (50 a 80) y de especies (7 a 10) corresponden a Laguna de Huasco, Bofedal y Quebrada de Enquelga, y Bofedal de Parinacota. Las especies más abundantes son el Plebeyo (*Phrygilus plebejus*), Tortolita aymara (*Metropelia aymara*) y Jilguero negro (*Carduelis atrata*).

Sobre los reptiles y anfibios también hay poca información disponible, que incluye listas de especies (Capurro [1950], Codoceo [1950], Veloso y Navarro [1988], Núñez y Jaksic [1992]) y descripción de algunos rasgos de su ecología (Ceí [1962], Donoso-Barros [1966], Valencia *et al.* [1982], Veloso *et al.* [1982], Ortiz y Marquet [1987], Marquet *et al.* [1989], Báez y Cortés [1990]). En cuanto a los peces, las especies de *Orestias* (*Cyprinodontidae*) en el altiplano han sido poco estudiadas (Arratia [1982]), y al respecto destaca el estudio de Pinto y Vila ([1987] sobre morfometría y relaciones tróficas de *Orestias laucaensis* en la I Región).

La asociación de las especies de vertebrados en relación a las distintas cuencas hidrográficas de la I Región se presenta en la Figura N° 1,

FIGURA N° 1: ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO (ESPECIES DE VERTEBRADOS)



donde se documenta un análisis de agrupamiento basado en la disimilitud de las cuencas en cuanto a la composición de especies que cada una posee. En este análisis se usó como índice de distancia el porcentaje de discordancia, que varía entre 0 (para sitios que comparten todas las especies) y 1 (sitios que no comparten ninguna especie). Este análisis revela un alto grado de similitud (nótese que en general la distancia es menor a 0,3, lo que implica que las distintas cuencas comparten a lo menos el 70% de su fauna). A pesar de esta homogeneidad faunística regional, es posible diferenciar dos grandes grupos de cuencas. Por un lado están las cuencas de Huasco, Isluga, Surire y Lauca y por otro la cuencas de Chungará, Caqueña-Cosapilla, Lluta, Parajalla, Camarones, San José y Pampa del Tamarugal. Estas cuencas se diferencian principalmente en relación a las especies de aves que contienen (y no de los demás vertebrados), aparentemente una consecuencia de la presencia de aves que habitan cuerpos de agua salobres y bofedales.

2.2. Flora y vegetación

De acuerdo a la clasificación biogeográfica de Gajardo (1993), la vegetación andina de la I Región pertenece a la Región Biogeográfica de la Estepa Alto-Andina. Para esta ecorregión los factores determinantes de la fisonomía particular de sus formaciones vegetales son altitud y relieve, además de la aridez y el corto período vegetativo. La composición de la flora y la estructura de la vegetación en el Norte Grande han sido relativamente bien caracterizadas en relación a su distribución altitudinal, latitudinal y su riqueza de especies (Villagrán *et al.* [1981, 1983]; Arroyo *et al.* [1982, 1988]; Rundel *et al.* [1991]). En general, la diversidad de especies está correlacionada positivamente con las precipitaciones, y es máxima a alturas intermedias a lo largo de un gradiente altitudinal.

La vertiente occidental de la cordillera de los Andes proporciona un gradiente en altura, en conjunto con un gradiente en las precipitaciones (grado de desertificación), y en las características térmicas del ambiente. Estos factores han sido críticos en determinar la fisonomía de las formaciones vegetales y la distribución latitudinal de la flora andina (Arroyo *et al.* [1982], Villagrán *et al.* [1983]). En el gradiente altitudinal se distinguen una serie de formaciones vegetales que pueden caracterizarse por la dominancia de diversas formas de crecimiento. Villagrán *et al.* (1981, 1982) y Coserren (1982) caracterizaron esta secuencia para los Andes de Arica, Iquique y Antofagasta distinguiendo tres pisos altitudinales, cada uno con una formación vegetal característica:

(a) Formaciones Desérticas (piso Pre-puneño). Distribuidas entre los 1540 m, límite inferior de la vegetación zonal en la región, y los 2.800 m en la precordillera. Se caracterizan fisonómicamente como vegetación de matorral bajo con escasa cobertura y abundancia de suculentas columnares y cespitosas. El elemento florístico dominante es de procedencia desértica, endémico de la costa del Pacífico de Sudamérica (Arroyo *et al.* [1982]).

(b) Formaciones de Tolar (piso Puneño). Esta formación se extiende entre aproximadamente 3.000 y 4.000 m de altura. Se caracteriza fisonómicamente por la alta cobertura de la vegetación y la riqueza de arbustos y subarbustos siempreverdes y caducifolios.

(c) Formaciones de Pajonales (piso Altoandino). Se extiende por el Altiplano y en los cerros que emergen sobre éste, hasta el límite superior de la vegetación entre los 4.000 y 4.900 m de altura. La fisonomía de la formación está determinada por la dominancia de gramíneas perennes de crecimiento en champas. Localmente dentro de este piso altitudinal, se presentan formaciones intrazonales de bosquesillos de *Polylepis tarapacana* (queñoales) y agrupaciones de *Azorella compacta* (llaretales). Es también característica la presenciaazonal de formaciones de vegas (bofedales) de *Oxychloe andina* y *Distichlia muscoides*.

En total se han documentado 218 especies de plantas para la zona andina de la I Región (Villagrán *et al.* 1982], Coserren [1982]), dominando en cuanto a riqueza de especies la familia de las Compuestas (*Angiospermae*, *Compositae*) con 85 especies (39%). Un análisis de agrupamiento basado en la similitud en composición de especies a nivel de siete cuencas muestra que no existe una clara diferenciación de cuencas que posean conjuntos de especies característicos (datos no publicados de Marquet). En general, la mayoría de las cuencas comparten una alta proporción de sus especies (ca. 70%), a excepción de la cuenca del río Lluta, que posee una gran riqueza de especies.

2.3. Suelos

Los suelos de las zonas bajas de la I Región son de tipo desérticos (Entisoles), sin evolución de horizontes o con muy poco desarrollo de ellos. Éstos predominan en la depresión intermedia o Pampa del Tamarugal, y en la precordillera hasta los 4.000 m de altura. A esta altura comienzan a aparecer en forma abundante los Molisoles asociados a estepas altiplánicas, con inclusiones más o menos importantes de suelosazonales, fundamentalmente halomórficos (Rovira [1984]). Los Molisoles se caracterizan por

poseer escasa materia orgánica, constituidos fundamentalmente por elementos minerales (Toledo y Zapater [1989]). Los suelos de la zona altiplánica son, por lo general, recientes y las variaciones del perfil por efecto de pedogénesis son escasas. Están compuestos por arenas y gravas finas, y la estratificación está dada principalmente por fenómenos aluviales y coluviales. Azonalmente se encuentran en el área altiplánica suelos turbosos o bofedales. Conjuntamente a las planicies esteparias, se desarrollan formas volcánicas cuaternarias de relieve abrupto, en donde los tipos más representativos de suelos son los afloramientos rocosos, Litosoles y Regosoles de muy débil desarrollo.

En relación a su capacidad de uso, los suelos de la zona altiplánica y precordillerana son generalmente de los tipos IV, VI, VII y VIII. Los suelos tipo IV se caracterizan por poseer rendimientos marginales ubicándose en el límite en que es posible cultivar el suelo con rendimientos remunerativos. Son suelos pobres en nutrientes ubicados en zonas con serias limitaciones en relación a pendiente, erosión, pedregosidad y drenaje. Éstos predominan en las áreas precordilleranas. En los suelos tipo VI, VII y VIII se acentúan las características que imposibilitan su cultivo. Son, en general, no aptos para cultivos y su uso está limitado principalmente a praderas naturales y vida silvestre. Éstos son los tipos de suelos predominantes en la zona altiplánica. Albornoz (1977) realizó un estudio acerca de las características químicas y aptitud de los suelos de secano y de riego de la zona de Isluga. Este autor señaló que los suelos de secano se caracterizan por un bajo contenido salino, pH ligeramente alcalino a ligeramente ácido. También señaló que los suelos bajo riego presentan mayores contenidos de sales, aunque sin llegar a los límites de considerarse suelos salinos. En general todos los suelos analizados por Albornoz (1977) se caracterizan por una capacidad de uso tipo III con texturas moderadamente gruesas, baja retención de humedad, pero suficiente en algunos casos para el desarrollo de cultivos andinos explotables, tales como quinoa, papa y ajo, pero susceptibles a la erosión y a convertirse en salinos.

El análisis (no publicado) de 8 muestras de suelo provenientes de la localidad de Tacora en las formaciones de Tolar dominado por *Parastrephia lucida* y Pajonal dominado por *Festuca orthophylla*, indica la existencia de suelos con baja a muy baja disponibilidad de nitrógeno, media a alta disponibilidad de macronutrientes tales como potasio y fósforo, salinidad entre baja y media, pH levemente alcalino y bajo porcentaje de materia orgánica. Esto es aplicable para ambas situaciones —de Tolar y Pajonal. Estos resultados no publicados concuerdan en señalar la baja aptitud de los suelos altoandinos para fines agrícolas.

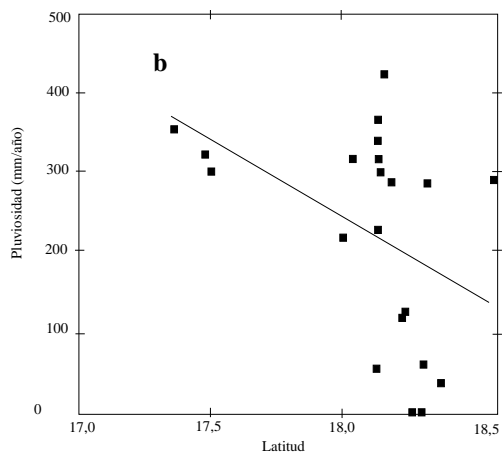
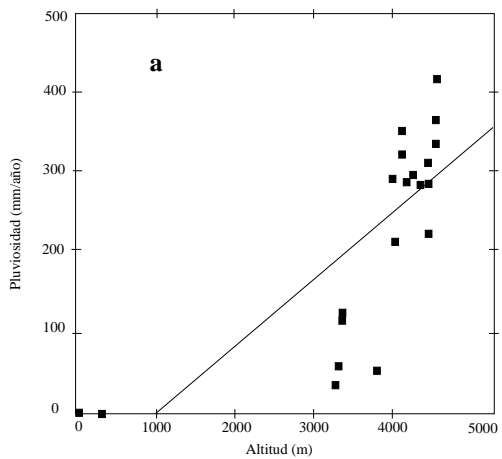
2.4. Recursos hídricos

Las características de las aguas superficiales de la I Región están condicionadas por un régimen de lluvias Atlántico concentrado en la época de verano. Típicamente, las precipitaciones aumentan con la altura y disminuyen en sentido norte-sur (Figura N° 2). Estas tendencias se verifican en que las cuencas hidrográficas presentes en la zona altiplánica varíen en relación al volumen de agua captada en función de su ubicación altitudinal y latitudinal.

Para los efectos de este análisis, se pueden distinguir 11 cuencas hidrográficas cuyos límites geográficos las sitúan total o marginalmente en el área altiplánica de la I Región (Iren-Corfo 1976) y para las cuales existe información —aunque en algunos casos escasa— respecto de sus recursos naturales. Éstas son las cuencas de Huasco, Isluga, Surire, Lauca, Chungará, Caquena-Cosapilla, Lluta, Parajalla, Camarones, San José y Pampa del Tamarugal. De éstas, las cuencas del Lluta, Camarones y San José se clasifican como preandinas (Iren-Corfo [1976]), con drenaje hacia el Pacífico, en tanto que las cuencas de Caquena-Cosapilla, Lauca, Parajalla e Isluga son cuencas con aporte hacia el extranjero. Un tercer grupo lo conforman las cuencas de Chungará, Surire, Pampa del Tamarugal y Huasco, que corresponden a cuencas cerradas, con drenaje interior o al menos sin salida superficial.

Los balances hídricos de estas cuencas (Cuadro N° 3) dependen de las recargas efectuadas principalmente por (a) las precipitaciones y (b) los aportes de otras cuencas y de las descargas manifestadas en la (c) evaporación que ocurre en lagunas y bofedales y por evapotranspiración de cultivos, en conjunto con (d) los volúmenes de escurrimiento subterráneo o exportados a otras cuencas. De acuerdo a datos de Iren-Corfo (1976), el total de agua interceptada por cada una de estas cuencas varía entre 1.363,4 millones de m³/año (Pampa del Tamarugal) y 120,7 (Parajalla). En relación a las descargas o egresos, éstos son mayores para Pampa del Tamarugal (128,0 millones de m³/año) y Lauca (98,9 millones), y alcanzan el mínimo en San José (12,1 millones) y Parajalla (19,4 millones). Ambos aspectos (cargas y descargas) del balance hídrico de las cuencas se resumen en el coeficiente de escorrentía C, definido como la relación entre los volúmenes netos totales efluentes y los ingresos producidos por las precipitaciones. A este respecto, el mayor coeficiente de escorrentía lo presenta Chungará (C = 17,1) en tanto que alcanza un mínimo para el caso de San José (C = 8,1).

FIGURA Nº 2



CUADRO N° 3: BALANCE HÍDRICO Y CALIDAD DEL AGUA EN ONCE CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA REGIÓN

Cuenca hidrográfica	Evapor. total de otras cuencas	Ingresos a mar o Bolivia	Egresos otros	Egresos netos	Total intercep.	Coef. escorr. %	Calidad del agua*	Prod. Pot. total P50% l/s	Área laguna (há)	Área bofedal (há)
CH 201 Lluta	37,0	0,0	16,2	0,0	53,2	10,0	D a M	7944	0	5300
CH 202 San José	18,4	18,9	6,3	12,3	12,1	8,1	B a R	1640	0	0
CH 204 Camarones	5,2	0,0	18,6	0,0	23,8	8,4	M	2980	30	100
CH 501 Ca-Cospilla	19,8	0,0	51,5	0,0	71,3	275,8	B a R	5024	0	7900
CH 502 Lauca	30,1	33,5	83,4	0,0	98,9	838,8	MB a B	6664	660	9000
CH 503 Parajalla	6,4	0,0	13,0	0,0	19,4	120,7	B	1010	0	2560
CH 504 Isluga	28,8	0,0	32,1	0,0	60,9	761,7	A a M	6179	750	5130
CH 602 Chungará	25,0	0,0	0,0	0,0	58,5	178,5	E a R	1468	2100	1920
CH 603 Surire	42,8	0,0	0,0	0,0	42,8	226,7	D	924	3175	530
CH 604 P. Tamarugal	165,4	24,0	0,0	11,7	128,0	1363,4	D a M	5842	0	740
CH 605 Huasco	17,2	0,0	0,0	0,0	41,2	334,0	B a A	2343	950	1250

* E = Excelente, MB = Muy Buena, B = Buena, A = Aceptable, R = Regular, D = Deficiente, M = Mala

Dos factores importantes de considerar simultáneamente son la producción potencial total para el año de precipitaciones 50% (que corresponde a un año cuya precipitación es igual a la mediana de las precipitaciones registradas para esa cuenca) y la calidad del agua en función de sus características hidroquímicas. Esta información ha sido documentada extensamente por Niemeyer & Cereceda (1984) y MOP (1993) y se resume en el Cuadro N° 3. Por la magnitud de su producción potencial total y por la calidad desde Excelente hasta Regular en uso potable del agua correspondiente, se pueden caracterizar como cuencas importantes las de Lauca, Chungará, Caquena-Cosapilla y Huasco. Por otro lado, son interesantes por su producción potencial total —aunque no por la calidad química del agua que es de Aceptable a Mala— las cuencas de Lluta, Isluga y Pampa del Tamarugal. De acuerdo al informe del MOP (1993), la cuenca del Lauca posee el máximo atractivo en cuanto a la posibilidad de solucionar, con sus recursos de aguas excedentes, los problemas de abastecimiento potable y agrícola de Arica.

Finalmente, otro aspecto relevante de considerar para la caracterización ecológica del área de estudio es la superficie de bofedales y lagunas presentes en cada cuenca hidrográfica. Esto es importante debido a la alta concentración de fauna presente en estos hábitats, los cuales pueden ser considerados como claves para la sustentabilidad de los ecosistemas altoandinos de la I Región. A este respecto sobresalen la cuenca del Lauca, Caquena-Cosapilla e Isluga (Cuadro N° 3).

3. Estado de conservación de los recursos naturales del altiplano de la I Región

3.1. Flora y fauna

Benoit (1989) y Glade (1993) analizaron el estado de conservación de la flora y fauna de Chile y de la I Región. Las categorías utilizadas por estos autores son las siguientes. (a) Extinta: Especie que sin lugar a dudas no ha sido localizada en estado silvestre en los últimos 50 años; (b) En peligro: Taxon (especie o subespecie) en peligro de extinción y cuya supervivencia es poco probable si los factores causales de peligro continúan operando; (c) Vulnerable: Taxa de los cuales se cree que pasarán en el futuro cercano a la categoría En Peligro si los factores causales de la amenaza continúan operando; (d) Rara: Taxon cuya población mundial es pequeña, que no se encuentra actualmente En Peligro, ni es Vulnerable,

pero que está sujeto a cierto riesgo; (e) Amenaza Indeterminada: Taxon respecto del cual se sabe que corresponde ya sea a la categoría En Peligro, Vulnerable o Rara, pero respecto del cual no se sabe a ciencia cierta cuál es la más apropiada; (f) Fuera de Peligro: Taxon que antes estuvo incluido en una de las categorías anteriores, pero que en la actualidad se considera relativamente seguro debido a la adopción de medidas efectivas de conservación o a que la amenaza que existía ha sido eliminada; (g) Inadecuadamente Conocida: Taxon que se supone pertenece a una de las categorías anteriores, pero respecto del cual no se tiene certeza debido a falta de información.

En el Cuadro N° 4 se utilizan las categorías ya señaladas para clasificar la fauna de vertebrados de la I Región, de acuerdo a su estatus de conservación tanto a nivel nacional como regional. En total se detectaron 42 especies con estatus de conservación, que equivalen al 26% del total de especies de vertebrados potenciales en el área de estudio. De éstas, 16 corresponden a aves, 19 a mamíferos, 3 a reptiles y 4 a anfibios. Es importante además considerar que del total de especies con estatus de conservación, 15 (36%) están presentes sólo en la I Región. En relación a las distintas categorías de conservación a nivel nacional, 6 especies presentan estatus de conservación En Peligro, 19 son Vulnerables, 10 son Raras, 1 está con Amenaza Indeterminada y 6 son Inadecuadamente Conocidas. En relación al estatus de conservación Regional, 1 especie está Extinta, 8 aparecen en la categoría de En Peligro, 12 son Vulnerables, 6 son Raras, 1

CUADRO N° 4: ESPECIES DE VERTEBRADOS EN ALGUNA CATEGORÍA DE CONSERVACIÓN EN ONCE CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA I REGIÓN

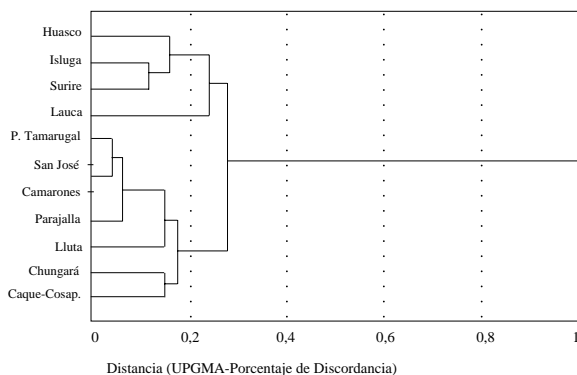
Cuenca hidrográfica	Aves	Mamíferos	Reptiles	Anfibios	Total
CH 201 Lluta	1	5	0	0	6
CH 202 San José	0	0	0	0	0
CH 204 Camarones	0	1	0	0	1
CH 501 Caquena-Cosapilla	2	5	0	0	7
CH 502 Lauca	9	4	0	1	14
CH 503 Parajalla	0	2	0	1	3
CH 504 Isluga	7	4	0	1	12
CH 602 Chungará	4	4	0	1	9
CH 603 Sureire	9	5	0	1	15
CH 604 Pampa Tamarugal	0	1	0	0	1
CH 605 Huasco	9	2	0	0	11

está con Amenaza Indeterminada, 5 son Inadecuadamente Conocidas y 4 están Fuera de Peligro. Cinco especies no tienen categorización regional, pero sí nacional.

En relación al número de especies de fauna observadas en terreno por cuenca hidrográfica, el mayor número de especies con estatus de conservación (15) se encuentra en la Cuenca de Surire, seguida por las cuencas del Lauca con 14 especies, Isluga con 12 especies y Huasco con 11 especies. Un análisis de agrupamiento tendiente a dilucidar la similitud en composición taxonómica para las distintas cuencas en base a las especies con estatus de conservación (Figura N° 3) revela la existencia de dos grupos. Hay un grupo compuesto por las cuencas con mayor riqueza de especies (Surire, Lauca, Isluga y Huasco) y otro caracterizado por un número menor de especies importantes para la conservación.

En relación a la flora, sólo existen 3 especies con estatus de conservación en el área de estudio (*Polylepis tarapacana*, *Polylepis besseri* y *Azorella compacta*). Estas especies son de amplia distribución en el área de estudio, encontrándose en casi todas las cuencas altoandinas y en las cabeceras de las cuencas que se desarrollan primariamente en la vertiente occi-

FIGURA N° 3: ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO (VERTEBRADOS CON ESTATUS DE CONSERVACIÓN)



dental de los Andes tales como Camarones, Lluta, Pampa del Tamarugal y San José. Debido a esto no es posible, por ahora, categorizar las distintas cuencas en relación a su importancia para la flora.

3.2. Suelos, recursos hídricos y hábitats

En relación a los suelos y de acuerdo a la información disponible, éstos son de baja calidad en la gran mayoría de las cuencas, siendo en general poco aptos para la agricultura. Sin embargo, la calidad aparente de los suelos es adecuada en la cuenca de Isluga de acuerdo a lo planteado por Alborno (1977).

Respecto a los recursos hídricos, es posible realizar una jerarquización de las distintas cuencas en relación a su Producción Potencial Total y Calidad del Agua. Tal como se señalara anteriormente, las cuencas de Lauca, Caquena-Cosapilla y Chungará son de alto valor ecológico por poseer una buena calidad de aguas y altas producciones potenciales. Tal como lo reconoce Castro (1992), los sistemas hidrológicos de Caquena y Lauca son las áreas más significativas en cuanto al aporte de agua y praderas naturales. Por otro lado, son interesantes por sus producciones potenciales totales, aunque no por la calidad química de sus aguas, las cuencas de Lluta, Isluga, Camarones y Huasco. Las otras cuencas son de menor importancia comparativa en virtud de sus bajas productividades aunque en algunas de ellas (e.g., Parajalla) la calidad del agua sea buena.

En relación a la importancia de los distintos tipos de hábitats para el funcionamiento de los ecosistemas altoandinos, sobresalen de manera importante los bofedales, lagunas y los bosques de queñoa. Los bofedales representan uno de los principales recursos forrajeros para camélidos y ovinos de la región (Gunderman [1984], Bernhardson [1985], De Carolis [1987], Castro [1992]). Entre los más importantes se reconocen los bofedales de Caquena-Cosapilla, Parinacota y Guallatire (todos en la cuenca del Lauca). Igualmente de importancia son las cuencas de Lluta e Isluga, las que poseen extensas áreas de bofedales (Cuadro N° 3).

Las lagunas también son piezas claves del funcionamiento del ecosistema andino altiplánico. Estos hábitats no sólo son importantes en el sentido de permitir y articular asentamientos humanos y actividades ganaderas, sino de controlar gran parte del balance hídrico de las cuencas, al representar grandes superficies de evaporación y posibilitar la existencia de poblaciones significativas de especies acuáticas de fauna y flora. El otro hábitat de gran importancia en la región son los bosques de queñoa. De

acuerdo a Kessler (1993), estos bosques ocupaban originalmente grandes extensiones en todo el altiplano compartido por Chile, Bolivia y Perú. Actualmente están relegados a pequeños parches, debido a efectos antropogénicos tales como la recolección de leña, quemas y pastoreo. La importancia de este tipo de vegetación está en ser actualmente uno de los hábitats boscosos en mayor peligro del mundo (Kessler [1993]) y en albergar un gran diversidad de especies de aves, de las cuales muchas son endémicas a este tipo de hábitat (Frimer y Nielsen [1989], Fjeldsa [1992, 1993]).

4. Valoración ecológica global del altiplano de la I Región

La valoración ecológica del área altoandina del Norte Grande es un problema complejo y multivariado. La complejidad emerge porque en alguna medida las distintas cuencas no son independientes, ni para procesos físicos (e.g., conexiones de aguas subterráneas entre las cuencas del Lauca y Chungará por ejemplo) ni en cuanto a la fauna y flora, ya que la fauna se desplaza y la flora lo hace a través de sus propágulos (gametos y semillas). Tampoco son independientes en relación a las actividades humanas, puesto que los grupos humanos de la zona articulan en su ámbito de actividad económica distintos espacios geográficos que pueden corresponder a distintas cuencas hidrográficas. De hecho, la ecorregión Puneña completa ha sido catalogada por el Biodiversity Support Program *et al.* (1995) y por Dinerstein *et al.* (1995) como Vulnerable, y de la más alta prioridad para la conservación. Dada esta situación, y reconociendo que en general todas las cuencas analizadas son importantes, lo factible es tratar de identificar aquellas cuencas que sobresalgan en relación a su importancia para la biodiversidad y para la sustentabilidad de los ecosistemas andinos de la región.

La naturaleza multivariada del problema de asignar prioridades se relaciona con el gran número de variables que inciden en asignar un criterio de importancia para un área dada. Tales variables son de índole tanto biológica como antropológica. Desde una perspectiva netamente ecológica es posible caracterizar las distintas cuencas presentes en el área de estudio sobre la base de los criterios recomendados y empleados por el Biodiversity Support Program *et al.* (1995) que son: (a) Valor biológico y (b) Estatus de conservación. El valor biológico se refiere al número total de especies, la diversidad filogenética de éstas y el número de especies endémicas. A este respecto, una localidad con un alto valor de estos atributos tendrá mayor valor ecológico. El estatus de conservación se refiere a la importancia de una localidad dada en relación a la presencia de especies amenazadas

o con estatus de conservación. Por último, a estas dos variables se puede incorporar una adicional relativa a la importancia de la cuenca en relación a la existencia de hábitats y recursos claves para la sustentabilidad de los ecosistemas. Esta variable la denominaremos Importancia para la sustentabilidad y puede ser estimada en base a la Productividad Potencial de la cuenca y su área de bofedales y lagunas.

En el Cuadro N° 5 se presenta una categorización de las distintas cuencas en relación a las tres variables. Para cada variable se asignó un valor entre 1 y 3 dependiendo de si la cuenca en cuestión era “normal” (= 1), “superior” (= 2) o “sobresaliente” (= 3) en relación a cada uno de los atributos. Posteriormente se sumaron los puntajes asignándose una prioridad o valoración de acuerdo al total de puntos acumulados —el puntaje más bajo posible es 3 y el más alto es 9. Es así como se pueden distinguir cuencas con un valor Sobresaliente (Lauca, Isluga y Surire), Superior (Lluta, Caquena-Cosapilla, Chungará y Huasco) y Normal (San José, Camarones, Parajalla y Pampa del Tamarugal). Para efectos del análisis aquí realizado se entiende por Sobresaliente a aquellas cuencas que sobresalen simultáneamente por su diversidad de especies, presencia de especies con estatus de conservación y que además albergan hábitats importantes para el funcionamiento de los ecosistemas altoandinos. Una valoración Superior implica que la cuenca es sobresaliente en al menos uno y tal vez dos de los atributos o variables analizadas. Por último, la categoría de Normal implica que la cuenca no sobresale con respecto a ninguno de los atributos analizados.

CUADRO N° 5: VALORACIÓN ECOLÓGICA GLOBAL DE ONCE CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA I REGIÓN

Cuenca hidrográfica	Valor biol.	Estatus conserv.	Import. sustent.	Total puntaje	Prioridad conservación
CH 201 Lluta	2	2	3	7	Alta
CH 202 San José	2	1	1	4	Normal
CH 204 Camarones	2	1	1	4	Normal
CH 501 Caquena-Cosapilla	3	2	3	8	Alta
CH 502 Lauca	3	3	3	9	Sobresaliente
CH 503 Parajalla	2	1	2	5	Normal
CH 504 Isluga	3	3	3	9	Sobresaliente
CH 602 Chungará	3	2	3	8	Alta
CH 603 Surire	3	3	3	9	Sobresaliente
CH 604 Pampa Tamarugal	1	1	1	3	Normal
CH 605 Huasco	3	3	2	8	Alta

5. Conclusiones

Los ecosistemas altoandinos de la I Región presentan características físicas y biológicas únicas (Veloso y Bustos-Obregón [1982], Tecchi y Veloso [1992]). Estos ecosistemas son frágiles, en el sentido que los procesos asociados con la mantención y perpetuación del sistema son muy sensibles a cambios producidos por eventos catastróficos naturales o modificaciones introducidas por el hombre. A esto se suma el hecho de su baja capacidad para responder a perturbaciones, producto de suelos poco desarrollados con disponibilidad marginal de ciertos nutrientes, bajas temperaturas, baja productividad y bajo potencial regenerativo (Winterhalder y Thomas [1978]). En este contexto, es evidente que cualquier proyecto que contemple un impacto sobre estos sistemas debe considerar la implementación de medidas preventivas tendientes a aminorar potenciales efectos negativos tales como la alteración y destrucción de hábitats claves para el funcionamiento de los ecosistemas. De especial importancia de conservación son las cuencas cuya prioridad es Sobresaliente y Superior.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albornoz, I. A. (1977). *Antecedentes sobre estudios de suelo y agua del sector de Isluca, altiplano tarapaqueño*. Iquique: Dirección Académica, Universidad del Norte. Convenio SERPLAC-Universidad del Norte.
- Araya, B. y G. Millie (1986). *Guía de campo de las aves de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago.
- Araya, B., M. Bernal, R. Schlatter y M. Sallaberry (1995). *Lista patrón de las aves chilenas*. Editorial Universitaria, Santiago.
- Arratia, G. (1982). "Peces del altiplano chileno". En Veloso, A. y E. Bustos-Obregón (editores), *El ambiente natural y las poblaciones humanas de los Andes del Norte Grande de Chile (Arica, Lat. 18° 28'S)*. Volumen I: Proyecto MAB-6, UNEP-UNESCO 1105-77-01, ROSTLAC, Montevideo, pp. 93-144.
- Arroyo, M. T. K., C. Villagrán, C. Marticorena y J. J. Armesto (1982). "Flora y relaciones biogeográficas en los Andes del norte de Chile". En Veloso, A. y E. Bustos-Obregón (editores), *El ambiente natural y las poblaciones humanas de los Andes del Norte Grande de Chile (Arica, Lat. 18°28'S)*. Volumen I, Proyecto MAB-6, UNEP-UNESCO 1105-77-01, ROSTLAC, Montevideo, pp. 71-92.
- Arroyo, M. T. K., F. A. Squeo, J. J. Armesto y C. Villagrán (1988). Effects of aridity on plant diversity on the northern Chilean Andes: Results of a natural experiment. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75, pp. 55-78.
- Báez, C. y A. Cortés (1990). "Precisión de la termorregulación conductual del lagarto neotropical *Tropidurus quadrivittatus* (Lacertilia: Iguanidae)". *Revista Chilena de Historia Natural*, 63, pp. 203-209.

- Barros, O. (1954). "Aves de Tarapacá". *Investigaciones Zoológicas Chilenas*, 2, pp. 35-64.
- Benoit, I. (1989). *Libro rojo de la flora terrestre de Chile*. Corporación Nacional Forestal, Santiago: Ministerio de Agricultura.
- Bernhardson, W. (1985). "El desarrollo de recursos hidrológicos del altiplano ariqueño y su impacto sobre la economía ganadera de la zona". *Chungará*, 9, pp. 169-181.
- Biodiversity Support Program, Conservation International, The Nature Conservancy, Wildlife Conservation Society, World Resources Institute & World Wildlife Fund (1995). *A regional analysis of geographic priorities for biodiversity conservation in Latin America and the Caribbean*. Washington, D.C.: Biodiversity Support Program.
- Brockman, C. E. (editor) (1986). *Perfil ambiental de Bolivia*. La Paz: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.
- Campos, H. (1986). *Mamíferos terrestres de Chile. Colección Naturaleza de Chile*, Volumen 5. Valdivia: Marisa Cúneo Ediciones.
- Capurro, L. (1950). "Batracios de Tarapacá". *Investigaciones Zoológicas Chilenas*, 1, pp. 9-12.
- Castro, M. (1992). "Utilización de recursos hídricos, economía de pastoreo y asentamientos humanos en la puna árida". En R. Tecchi y A. Veloso (editores) *Ecosistemas altoandinos de Argentina y Chile*. Instituto de Biología de la Altura, Universidad Nacional de Jujuy, Memoria 3, pp. 69-76.
- Ceí, J. M. (1962). *Batracios de Chile*. Santiago: Ediciones Universidad de Chile, Santiago.
- Codoco, M. (1950). "Reptiles de Tarapacá". *Investigaciones Zoológicas Chilenas*, 1, p. 15.
- CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente). 1994. *Perfil ambiental de Chile*. Santiago: Comisión Nacional del Medio Ambiente, Secretaría Técnica y Administrativa.
- COSERREN Consultores (1982). *Catastro de recursos del Parque Nacional Volcán Isluga*.
- De Carolis, G. (1987). "Descripción del sistema ganadero y hábitos alimentarios de camélidos domésticos y ovinos en el bofedal de Parinacota". Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago.
- Dinerstein, E., D. M. Olson, D. J. Graham, A. L. Webster, S. A. Primm, M. P. Bookbinder y G. Ledec (1995). *A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean*. Washington, D.C.: Banco Mundial.
- Donoso-Barros, R. (1966). *Reptiles de Chile*. Santiago: Ediciones Universidad de Chile.
- Dorst, J. (1971). "Nouvelles recherches sur l'écologie des rongeurs des haut plateaux Peruvians". *Mammalia*, 35, pp. 515-547.
- Estades, C. F. (1996). "Natural history and conservation status of the Tamarugo Conebill in northern Chile". *Wilson Bulletin*, 108, pp. 268-279.
- Fjeldsa, J. (1993). "The avifauna of the *Polylepis* woodlands of the Andean highlands: the efficiency of basing conservation priorities on patterns of endemism". *Bird Conservation International*, 3, pp. 37-55.
- (1992). "Biogeographic patterns and evolution of the avifauna of the relict high-altitude woodlands of the Andes". *Steenstrupia*, 18, pp. 9-62.
- y N. Krabbe (1990). *Birds of the high Andes*. *Zoological Museum*. Dinamarca: University of Copenhagen.
- Frimer, O. y S. M. Nielsen (1989). *The status of Polylepis forest and their avifauna in Cordillera Blanca, Peru*. Copenhagen: Zoological Museum.
- Fuentes, E. R. y F. M. Jaksic (1979). "Lizards and rodents: An explanation for their relative species diversity in Chile". *Archivos de Biología y Medicina Experimentales (Chile)* 12, pp. 179-190.

- Gajardo, R. (1993). *La vegetación natural de Chile*. Santiago: Editorial Universitaria.
- Glade, A. (editor) (1993). *Libro rojo de los vertebrados terrestres chilenos*. Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura, Santiago.
- Gundermann, H. (1984). "Ganadería aymara, ecología y forrajes: evaluación regional de una actividad productiva andina". *Revista Chungará*, 12, pp. 99-124.
- Hannah, L., J. J. Carr y A. Lankerani (1995). "Human disturbance and natural habitat: A biome level analysis of a global data set". *Biodiversity and Conservation*, 4, pp. 128-155.
- Hershkovitz, P. (1962). "Evolution of Neotropical cricetid rodents (Muridae) with special reference to the Phyllotine group". *Fieldiana, Zoology*, 46, pp. 1-525.
- IREN-CORFO (Instituto de Investigación de Recursos Naturales, Corporación de Fomento de la Producción) (1976). *Inventario de recursos naturales por método de percepción del satélite Landsat, I Región, Tarapacá*. Convenio IREN-SERPLAC I Región. Tomo 1.
- Jaksic, F. M. (1997). *Ecología de los vertebrados de Chile*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago.
- , S. Silva, P. A. Marquet y L. C. Contreras (1991). "Food habits of Gurney's Buzzard in pre-Andean ranges and the high Andean plateau of northernmost Chile". *Journal of Raptor Research*, 25, pp. 116-119.
- Jiménez, J. E. y F. M. Jaksic (1990). "Diet of Gurney's Buzzard in the puna of northernmost Chile". *Wilson Bulletin*, 102, pp. 344-346.
- Johnson, A.W. (1965). *The birds of Chile and adjacent regions of Argentina, Bolivia and Peru*. Platt Establecimientos Gráficos, Buenos Aires. Volumen I.
- (1967). *The birds of Chile and adjacent regions of Argentina, Bolivia and Peru*. Platt Establecimientos Gráficos, Buenos Aires. Volumen II.
- Koford, O. (1954). "Nuevos mamíferos para Chile". *Investigaciones Zoológicas Chilenas*, 2, pp. 95-96.
- Leemans, R. y G. Zuidema (1995). Evaluating changes in land cover and their importance for global change". *Trends in Ecology and Evolution*, 10, pp. 76-81.
- Little, M. A. (1981). "Human populations in the Andes: the human science basis for research planning". *Mountain Research & Development*, 1, pp. 145-170.
- Mann, G. (1945). "Mamíferos de Tarapacá". *Biológica*, 2, pp. 23-134.
- (1950). "Nuevos mamíferos de Tarapacá". *Investigaciones Zoológicas Chilenas*, 1, p. 2.
- (1960). "Regiones biogeográficas de Chile". *Investigaciones Zoológicas Chilenas*, 6, pp. 15-49.
- (1978). "Los pequeños mamíferos de Chile (marsupiales, quirópteros, edentados y roedores)". *Gayana (Zoología)*, 40, pp. 1-342.
- Marquet, P. A. (1989). "Paleobiogeography of South American cricetid rodents: A critique to Caviedes & Iriarte". *Revista Chilena de Historia Natural*, 62, pp. 193-197.
- (1994). "Diversity of small mammals in the Pacific coastal desert of Peru and Chile and in the adjacent Andean area: Biogeography and community structure". *Australian Journal of Zoology*, 42, pp. 527-542.
- , J. C. Ortiz, F. Bozinovic y F. M. Jaksic (1989). "Ecological aspects of thermoregulation at high altitudes: the case of Andean *Liolaemus* lizards in northern Chile". *Oecologia*, 81, pp. 16-20.

- , L. C. Contreras, J. C. Torres-Mura, S. I. Silva y F. M. Jaksic (1993a). "Food habits of *Pseudalopex foxes* in the Atacama desert, pre-Andean ranges, and the high Andean plateau of northernmost Chile". *Mammalia*, 57, pp. 130-135.
- , L. C. Contreras, S. Silva, J. C. Torres-Mura y F. Bozinovic (1993b). "Natural history of *Microcavia niata* in the high Andean zone of northern Chile". *Journal of Mammalogy*, 74, pp. 136-140.
- , J. Salazar y R. Ojeda (1994). "Small mammals conservation in the Puna area of Bolivia and Argentina". Final Report of the Biodiversity Support Program, Washington, D.C.
- McFarlane, R. W. y E. P. Loo. (1974). "Food habits of some birds in Tarapacá". *Idesia (Chile)*, 3, pp. 163-166.
- Miller, S. y J. Rottmann (1976). *Guía para el reconocimiento de mamíferos chilenos*. Editora Nacional Gabriela Mistral, Santiago.
- Miller, S. D., J. Rottmann, K. J. Raedeke y R. D. Taber (1983). "Endangered mammals of Chile: status and conservation". *Biological Conservation*, 25, pp. 335-352.
- Molina, E. G. y A. V. Little (1981). "Geocology of the Andes: the natural science basis for research planning". *Mountain Research & Development*, 1, pp. 115-144.
- DGA-MOP (Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Chile) (1993). "Estudio análisis de los recursos de agua de la Primera Región de Tarapacá". Realizado por Ingeniería y Geotecnia Ltda., Santiago.
- Morales, C. B. (1990). *Bolivia: medio ambiente y ecología aplicada*. Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- Mueller, P. (1973). *The terrestrial centres of terrestrial vertebrates in the Neotropical Realm*. La Haya.
- Niemeyer, H y P. Cereceda (1984). *Hidrografía*. Tomo VIII. Colección Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar, Santiago.
- Nowak, R. M. (1991). *Walker's mammals of the world*, 5ta edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Noy-Meir, I. (1973). "Desert ecosystems: Environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, pp. 25-51.
- (1985). "Desert ecosystems: structure and function". Pp. 93-103. En M. Evenari, I. Noy-Meir y D.W. Goodall (editores) *Hot deserts and arid shrublands*. Elsevier, Amsterdam.
- Núñez, H. y F. M. Jaksic (1992). "Lista comentada de los reptiles terrestres de Chile continental". *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural (Chile)*, 43, pp. 63-91.
- Ortiz, J. C. y P. Marquet (1987). "Una nueva especie de lagarto altoandino: *Liolaemus istuensis* (Reptilia-Iguanidae)". *Gayana (Zoología)*, 51, pp. 59-63.
- Osgood, W. H. 1943. "The mammals of Chile". *Field Museum of Natural History. Zoological Series*, 30, pp. 1-268.
- Palma, R. E. (1995). "Range expansion of two South American mouse opossums (*Thylamys*, Didelphidae) and their biogeographic implications". *Revista Chilena de Historia Natural*, 68, pp. 515-522.
- Parada, M. (1988a). "Flamencos en el norte de Chile: Distribución, abundancia y fluctuaciones poblacionales del número". Pp. 52-66. En Parada, M., J. Rottmann y C. Guerra (editores). *Actas del I Taller Internacional de Especialistas en Flamencos Sudamericanos*. Corporación Nacional Forestal, Chile & New York Zoological Society, Estados Unidos.

- (1988b). "Flamingos in northern Chile: Distribution, abundance and fluctuation in numbers". Pp. 67-79. En Parada, M., J. Rottmann y C. Guerra (editores), *Actas del I Taller Internacional de Especialistas en Flamencos Sudamericanos*. Corporación Nacional Forestal, Chile & New York Zoological Society, Estados Unidos.
- (1988c). "Flamencos en el norte de Chile y su reproducción". Pp. 132-139. En Parada, M., J. Rottmann y C. Guerra (editores), *Actas del I Taller Internacional de Especialistas en Flamencos Sudamericanos*. Corporación Nacional Forestal, Chile & New York Zoological Society, Estados Unidos.
- (1988d). "Flamingo breeding in northern Chile". Pp. 140-147. En Parada, M., J. Rottmann y C. Guerra (editores), *Actas del I Taller Internacional de Especialistas en Flamencos Sudamericanos*. Corporación Nacional Forestal, Chile & New York Zoological Society, Estados Unidos.
- (1988e). "Flamencos en el norte de Chile: Decrementos invernales y proposición de movimientos migratorios". Pp. 148-153. En Parada, M., J. Rottmann y C. Guerra (editores), *Actas del I Taller Internacional de Especialistas en Flamencos Sudamericanos*. Corporación Nacional Forestal, Chile & New York Zoological Society, Estados Unidos.
- Pearson, O. P. (1948). "Life history of mountain viscachas in Peru". *Journal of Mammalogy*, 29, pp. 345-374.
- (1951). "Mammals in the highlands of southern Peru". *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* (Harvard), 106, pp. 117-174.
- (1958). "A taxonomic revision of the rodent genus *Phyllotis*". *University of California Publications in Zoology*, 54, pp. 391-496.
- (1982). "Distribución de pequeños mamíferos en el altiplano y los desiertos del Perú". En P. Salinas (editor), *Actas del VIII Congreso Latinoamericano de Zoología*. Mérida.
- y J. Ralph (1978). "The diversity and abundance of vertebrates along an altitudinal gradient in Peru". *Memorias del Museo de Historia Natural "Javier Prado"*, Volumen 18.
- Philippi, R. A. (1941). "Notas sobre aves observadas en la provincia de Tarapacá". *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural* (Chile) 19, pp. 43-77.
- (1964). "Catálogo de la aves chilenas con su distribución geográfica". *Investigaciones Zoológicas Chilenas*, 11, pp. 1-179.
- , A. W. Johnson y J. D. Goodall (1944). "Expedición ornitológica al norte de Chile". *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural* (Chile), 22, pp. 65-120.
- Pine, R. H., S. D. Miller y M. L. Schamberger (1979). "Contributions to the mammalogy of Chile". *Mammalia*, 43, pp. 339-376.
- Pinto, M. y I. Vila (1987). "Relaciones tróficas y caracteres morfofuncionales de *Orestias laucaensis* Arratia 1982 (Pisces, Cyprinodontidae)". *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso*, 18, pp. 77-84.
- Pizzimenti, J. J. y R. De Salle (1980). "Dietary and morphometric variation in some Peruvian rodent communities: The effects of feeding strategy on evolution". *Biological Journal of the Linnean Society*, 13, pp. 263-285.
- y R. De Salle (1981). "Factors influencing the distributional abundance of two trophic guilds of Peruvian cricetid rodents". *Biological Journal of the Linnean Society*, 15, pp. 339-354.
- Rau, J. R. y A. Muñoz (1985). "Una contribución para el conocimiento de los mamíferos chilenos". *Boletín de Vida Silvestre*, 4, pp. 23-59.

- Redford, K. H. y J. F. Eisenberg (1992). *Mammals of the Neotropics*, Vol. 2: *The southern cone*. Chicago University Press, Chicago.
- Reig, O. A. (1986). "Diversity patterns and differentiation of high Andean rodents". Pp. 405-439. En F. Vuilleumier & M. Monasterio (editores), *High altitude tropical biogeography*. Oxford University Press, Nueva York.
- Reise, D. y W. Venegas (1987). "Catalogue of records, localities and biotopes for research work on small mammals in Chile and Argentina". *Gayana (Zoología)*, 51, pp. 103-130.
- Rovira, A. (1984). *Geografía de los suelos. Serie Geografía de Chile*, Tomo V. Instituto Geográfico Militar, Santiago.
- Rundel, P. W., M. O. Dillon, B. Palma, H. A. Mooney, S. L. Gulmon y J. R. Ehleringer (1991). "The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian deserts". *Aliso*, 13, pp. 1-49.
- Simonetti, J. A., Arroyo, M. T. K., Spotorno, A. E. y Lozada, E. (editores) (1995). *Diversidad biológica de Chile*. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, Santiago.
- Spotorno, A. E. (1976). "Análisis taxonómico de tres especies altioplánicas del género *Phyllotis* (Rodentia: Cricetidae)". *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso*, 9, pp. 141-161.
- Tamayo, M. y D. Frassinetti (1980). "Catálogo de los mamíferos fósiles y vivientes de Chile". *Noticiario Mensual del Museo Nacional de Historia Natural (Chile)*, 37, pp. 323-399.
- , H. Núñez y J. Yáñez (1987). "Lista sistemática actualizada de los mamíferos vivientes en Chile y sus nombres comunes". *Noticiario Mensual del Museo Nacional de Historia Natural (Chile)*, 312, pp. 1-13.
- Tecchi, R. y A. Veloso (compiladores) (1992). *Ecosistemas altoandinos de Argentina y Chile*. Memorias: Instituto de Biología de Altura, Universidad Nacional de Jujuy, Vol. 3.
- Toledo, X. y E. Zapater (1987). *Geografía general y regional de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago.
- Troll, C. (1958). "The cordilleras of the tropical Americas: aspects of climatic, phytogeographical and agrarian ecology". Pp. 15-56. En C. Troll (editor), *Geo-ecology of the mountainous regions of the tropical Americas*. Dummelers Verlag, Bonn.
- Valencia, J., A. Veloso y M. Sallaberry (1982). "Nicho trófico de las especies de herpetozoos del transecto Arica-Chungará". Pp. 269-291. En Veloso, A. y E. Bustos-Obrégón (editores), *El ambiente natural y las poblaciones humanas de los Andes del Norte Grande de Chile (Arica, Lat. 18° 28'S)*. Volumen I, Proyecto MAB-6, UNEP-UNESCO 1105-77-01, ROSTLAC, Montevideo.
- Valencia, J., M. Salaberry, J. G. Fernández y V. Mascitti (1992). "Estado del conocimiento de la fauna de vertebrados terrestres de la puna, con especial énfasis en la zona del Parque Nacional Lauca (Chile) y Laguna de Pozuelos (Argentina)". Pp. 23-33. En R. Tecchi y A. Veloso (editores), *Ecosistemas altoandinos de Argentina y Chile*. Memoria: Instituto de Biología de la Altura, Universidad Nacional de Jujuy, Vol. 3.
- Veloso, A. y E. Bustos-Obrégón (editores) (1982). *El ambiente natural y las poblaciones humanas de los Andes del norte de Chile (Arica, Lat. 18° 28' S)*. Volumen I: *La vegetación y los vertebrados inferiores de los pisos altitudinales entre Arica y el Lago Chungará*. Proyecto MAB-6, UNEP-UNESCO 1105-77-01, ROSTLAC, Montevideo.

- Veloso, A. y J. Navarro (1988). "Lista sistemática y distribución geográfica de anfibios y reptiles de Chile". *Bollettino del Museo Regionale di Scienze Naturali*, Torino 6, pp. 481-539.
- , M. Sallaberry, J. Navarro, P. Iturra, J. Valencia, M. Penna y N. Díaz (1982). "Contribución al conocimiento de la herpetofauna del extremo norte de Chile". Pp. 135-268. En Veloso, A. & E. Bustos-Obregón (editores), *El ambiente natural y las poblaciones humanas de los Andes del Norte Grande de Chile (Arica, Lat. 18° 28'S)*. Volumen I, Proyecto MAB-6, UNEP-UNESCO 1105-77-01, ROSTLAC, Montevideo.
- Villagrán, C., J. J. Armesto y M. T. K. Arroyo (1981). "Vegetation in a high Andean transect between Turi and Cerro Leon in northern Chile". *Vegetatio*, 48, pp. 3-16.
- , J. J. Armesto y M. T. K. Arroyo (1982). "La vegetación en los Andes del norte de Chile" (18-19 Sur). Pp. 13-69. En Veloso, A. y E. Bustos-Obregón (editores), *El ambiente natural y las poblaciones humanas de los Andes del Norte Grande de Chile (Arica, Lat. 18° 28'S)*. Volumen I, Proyecto MAB-6, UNEP-UNESCO 1105-77-01, ROSTLAC, Montevideo.
- , M. T. K. Arroyo y C. Marticorena (1983). "Efectos de la desertización en la distribución de la flora andina de Chile". *Revista Chilena de Historia Natural*, 56, pp. 137-157.
- Vuilleumier, F. y D. Simberloff (1980). "Ecology versus history as determinants of patchy and insular distributions in high Andean birds". *Evolutionary Biology*, 12, pp. 235-379.
- Vitousek, P. M. (1994). "Beyond global warming: ecology and global change". *Ecology*, 75, pp. 1861-1876.
- Wilson, E. O. (1992). *The diversity of life*. Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Winterhalder, B. P. & R. B. Thomas (1978). "Geoecology of southern highland Peru". University of Colorado, Institute of Arctic and Alpine Research, *Occasional Paper*, 27.
- Yoneda, M. (1983). "Roedores del altiplano y los valles bolivianos". *Museo Nacional de Historia Natural (La Paz)* 2.
- (1994). "Composición por especies y ciclo reproductor de los roedores de la parte norte de los Andes bolivianos". *Ecología en Bolivia*, 5, pp. 53-62. □