
**EFFECTOS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA SOBRE LAS
FLUCTUACIONES DEL NIVEL DE LAS AGUAS Y ACTIVIDAD
GANADERA EN HUMEDALES ALTOANDINOS**

Mónica Meza Aliaga y Yeraldy Díaz Villalobos

RESUMEN

Durante las últimas décadas se han evidenciado variaciones climáticas en el Altiplano chileno que amenazan la sustentabilidad de los bofedales presentes en la zona y con ello la sustentabilidad de las prácticas ganaderas que dependen de los mismos. Entre los bofedales más importantes de la región se encuentra el de Caquena, que por su valor ecológico y potencial productivo, se convierte en una de las fuentes más significativas de praderas naturales y recursos hídricos y alimenticios de la zona, jugando un rol fundamental en el eco- y ecosistema altoandino. El presente estudio pretende analizar

la relación existente entre las fluctuaciones de la superficie del bofedal de Caquena, la variabilidad climática y la actividad ganadera de la zona entre los años 1990 y 2011, considerando datos meteorológicos y el análisis de imágenes satelitales para los periodos de primavera y otoño. La menor y mayor superficie del bofedal cubierta por vegetación se registró en años con presencia del fenómeno El Niño fuerte y La Niña fuerte, respectivamente; sin embargo, al comparar los valores de vigor vegetacional, correlacionados con la precipitación, se observó que no siempre responden a esta dinámica opuesta.

Introducción

El altiplano andino del norte de Chile posee ecosistemas azonales que se ubican por sobre los 4000msnm y que se asocian a la alta variabilidad fisiográfica, ecológica y ambiental de los

Andes centrales, que junto a sus peculiares condiciones climáticas (caracterizadas por la ocurrencia de lluvias estivales) favorecen la presencia de ríos, humedales y de diferentes tipos de vegas (Veit, 1993) sobre el borde oriental del Desierto de Atacama.

Las vegas altoandinas, llamadas también bofedales por sus habitantes indígenas, corresponden a ecosistemas azonales complejos, en la medida que se diferencian de los paisajes áridos del desierto subtropical costero, que se localizan principalmente en los

cinturones alpinos y subalpinos a alturas entre 3200 y 5000msnm en la parte norte y central de la región y que se extienden en elevaciones superiores a 2800msnm en su límite sur (Squeo *et al.*, 2006). En estas vegas se concentran recursos vegetacionales e

PALABRAS CLAVE / Aguas / Bofedal / Caquena / Chile / Ecosistemas Altoandinos / ENSO / Ganado / Variabilidad Climática /

Recibido: 23/01/2014. Modificado: 07/07/2014. Aceptado: 29/07/2014.

Mónica Meza Aliaga. Geógrafa, Universidad de Playa Ancha, Chile. Magíster en Geografía, Universidad de Chile. Investigadora, Centro de Investigación Vulnerabilidades y Desastres Socionaturales (CIVDES) y Profesora,

Universidad de Tarapacá (UTA), Chile. Dirección: Departamento de Ciencias Históricas y Geográficas, Facultad de Educación y Humanidades, UTA. Av. 18 de septiembre 2222, Arica, Chile. e-mail: msmezaa@uta.cl

Yeraldy Díaz Villalobos. Geógrafa y Licenciada en Ciencias Históricas y Geográficas, UTA, Chile. e-mail: yeraldydiaz@gmail.com

EFFECTS OF CLIMATE VARIABILITY ON WATER LEVEL FLUCTUATIONS AND FARMING PRACTICES IN ANDEAN HIGHLAND WETLANDS

Mónica Meza Aliaga and Yeraldy Díaz Villalobos

SUMMARY

During the last decades, climatic variations in the Chilean Highlands (Altiplano) that threaten the sustainability of the local wetlands and, thus, the sustainability of farming practices that depend on them, have been demonstrated. Among the most important wetlands in the region is the area of the Caquena 'bofedal', which thanks to its ecological value and potential yields, is one of the most significant natural meadow and an important source of food and water in the area, playing a key role in the high Andean ecosystem and social system. The present study aims to analyze the existing relationship

between the fluctuations of the surface of the Caquena marsh, climate variability and livestock activity in the area between 1990 and 2011 using weather data and satellite imagery analysis for the spring and autumn periods. The lowest and the highest surface covered by wetland vegetation was recorded in years when strong El Niño and strong La Niña phenomena, respectively, took place. However, when comparing the values of vegetation vigor, correlated with precipitation, it was found that they do not always correspond to such opposing dynamics.

EFEITOS DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA SOBRE AS FLUTUAÇÕES DO NÍVEL DAS ÁGUAS E ATIVIDADE DE CRIAÇÃO DE GADO EM UMEDEAIS ALTOANDINOS.

Mónica Meza Aliaga e Yeraldy Díaz Villalobos

RESUMO

Durante as últimas décadas tem-se evidenciado variações climáticas no Altiplano chileno que ameaçam a sustentabilidade dos bofedales presentes na região e, com isto, a sustentabilidade das práticas de criação de gado que dependem dos mesmos. Entre os bofedales mais importantes da região se encontra o de Caquena, que por seu valor ecológico e potencial produtivo, se converte em uma das fontes mais significativas de pradarias naturais e recursos hídricos e alimentícios da área, desenvolvendo um papel fundamental no eco- e socio-sistema altoandino. O presente estudo pretende analisar a

relação existente entre as flutuações da superfície do bofedal de Caquena, a variabilidade climática e a atividade de criação de gado da região entre os anos 1990 e 2011, considerando dados meteorológicos e a análise de imagens de satélites para os períodos de primavera e outono. A menor e maior superfície do bofedal coberta por vegetação se registrou em anos com presença do fenômeno "El Niño" forte e "La Niña" forte, respectivamente; no entanto, ao comparar os valores de vigor vegetacional, correlacionados com a precipitação, se observou que não sempre respondem a esta dinâmica oposta.

hídricos, a partir de los cuales grupos humanos se benefician social, económica y culturalmente (Castro *et al.*, 2009; SAG, 2009; Garcés, 2011). Asimismo, junto a su condición de reservorios hídricos, filtros de agua y sales, y de recursos forrajeros en un ambiente escaso de ellos, los bofedales son focos de biodiversidad y hábitat para un conjunto heterogéneo de invertebrados (Cortes *et al.*, 1995; Tabilo, 2006; Cepeda-Pizarro y Pola, 2013).

Si bien las condiciones climáticas a nivel mundial han variado a través del tiempo, la distribución espacial de estos cambios ha sido heterogénea y compleja, dado que se presentan de distintas maneras a nivel local, dependiendo de las particularidades de las diversas regiones del planeta (Garreaud *et al.*, 2003). En el altiplano de los

Andes centrales, las condiciones climáticas presentan una alta variabilidad interanual, con fluctuaciones entre periodos húmedos y secos, que pueden tener fuertes impactos tanto a nivel local como continental (Gaete, 1974; Falvey y Garreaud, 2009). Estos periodos se relacionan especialmente con el comportamiento del Índice de Oscilación del Sur, que vincula el comportamiento de las temperaturas superficiales del mar y la presión atmosférica registrada en lugares representativos de las riberas occidental y oriental del Océano Pacífico del Sur. La fase positiva, asociada a temperaturas por debajo de lo normal y a presiones atmosféricas elevadas se conoce como La Niña y es especialmente responsable de la ocurrencia de precipitaciones sobre los altiplanos de los

Andes Centrales. La fase negativa, asociada a temperaturas superficiales del mar por encima de lo normal y a presiones atmosféricas más bajas, corresponde al Fenómeno El Niño, que permite explicar la mayoría de los periodos de sequía registrados en la región.

Entre los bofedales (humedales) más importantes de la región se encuentra el de Caquena, que se constituye como un elemento fundamental para la sustentabilidad del eco y socio-sistema altoandino, debido a que condiciona tanto el ámbito natural como social de la zona (Bernhardson, 1985; Jaksic *et al.*, 1997). Entre las múltiples funciones y servicios ambientales que presta este humedal destacan la regulación de la fase continental del ciclo hidrológico y de las temperaturas locales, el control del balance hídrico y

la acogida de gran diversidad de especies endémicas de aves, mamíferos y reptiles (Jaksic *et al.*, 1997; Castro *et al.*, 2009).

Desde una perspectiva socioespacial el bofedal de Caquena articula los asentamientos humanos y permite el desarrollo de una ganadería de subsistencia, compuesta especialmente por auquénidos adaptados a la altura y a sus condiciones climáticas extremas, que aporta el 90% de los ingresos de la población local (Mohlhauser, 1993; Castellano *et al.*, 1998). En función de estas características, el bofedal ha sido catalogado como un sistema complejo, vulnerable a cualquier acción antrópica y/o a variaciones en el clima, calificado por tanto como de 'alta prioridad' para su conservación (Jaksic *et al.*, 1997; Wright *et al.*, 2002).

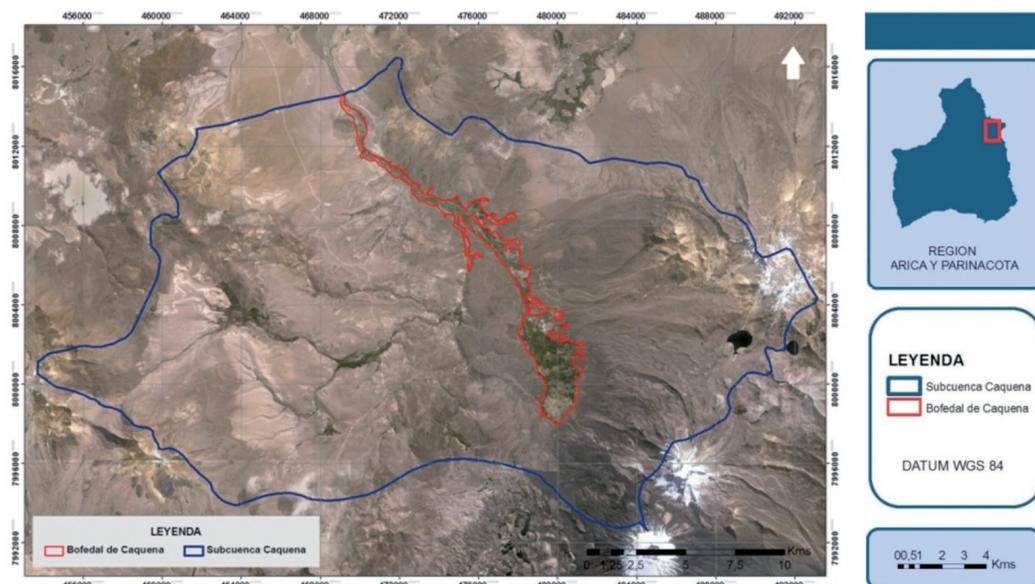


Figura 1. Área de estudio.

La cuenca de Caquena (Figura 1), debido a sus características climáticas, presenta un ambiente hostil que dificulta el desarrollo humano y la disponibilidad de recursos aprovechables (Castro, 1982; Gundermann, 1984). Dicho ambiente se caracteriza por bajos niveles de presión atmosférica (620 hPa) y densidad del aire ($1,2\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), ~ 40 y 35% inferiores a las observadas a nivel del mar, respectivamente, reducidos niveles de humedad atmosférica debido al efecto de altura que implica una menor capacidad de retención del vapor de agua, temperaturas medias bajas, con gran amplitud térmica y precipitaciones periódicas (Aceituno, 1993).

De esta manera, la población indígena que allí habita, conformada principalmente por representantes de la etnia aymara, se limita al uso del único recurso explotable en este territorio: el ganado camélido (llamas y alpacas) y el ganado ovino. Según el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG, 2009) el 67% de la superficie total del bofedal alcanza mayoritariamente una aptitud de uso ganadero. Las fuertes heladas de invierno impiden cualquier tipo de cultivo (Castro, 1982, 1993; Mohlhauser, 1993). Considerando la importancia ecológica-social del bofedal de

Caquena, sumado a la fragilidad del mismo y al escenario de variabilidad climática regional, el propósito de este trabajo es analizar a escala local la relación existente entre las variaciones climáticas interanuales, los cambios en la superficie ocupada por el bofedal y la actividad ganadera durante las últimas dos décadas.

Materiales y Métodos

Recopilación y procesamiento de datos

Esta fase del estudio consistió en el procesamiento de datos meteorológicos registrados entre 1990 y 2011 por la estación Caquena de la Dirección General de Aguas (DGA), Chile, cuyas variaciones temporales fueron clasificadas según correspondan a las fases Niño/Niña/Neutro de los Índices de Oscilación del Sur, establecidas por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE), Brasil, para el hemisferio sur. Se obtuvo como resultado información sobre periodos de concentración de las precipitaciones y de mayor o menor temperatura del aire, y con ello, sobre la existencia de periodos húmedos y secos. De igual modo, esta etapa incluyó el procesamiento de datos del Censo Ganadero realizado por el Servicio

Agrícola y Ganadero (SAG), que registra anualmente las cabezas de ganado que pastan en el bofedal de Caquena. Los datos se encontraban disponibles desde 1999 (Primer Censo Ganadero) al 2011.

Procesamiento de imágenes satelitales

Utilizando el software SIG ArcMap 10.1 se procesaron las imágenes satelitales LANDSAT a partir de las que se calculó el Índice Normalizado de Diferencias Vegetacionales (NDVI, por sus siglas en inglés) y en función de éste, la superficie en hectáreas (ha) que ha ocupado el bofedal de Caquena desde 1990 hasta 2011. Se utilizaron dos imágenes por cada año de estudio, debido a que los bofedales manifiestan dos estados anuales: uno de gran vigor de vegetación y mayor cantidad de recursos hídricos (otoño) y otro

de escasos recursos vegetacionales e hídricos (primavera). Esto se debe a que se captura una mayor cantidad de agua durante los meses de verano, producto de las lluvias estivales (diciembre a marzo), que son las únicas que tienen lugar en el altiplano del norte del Chile. Los criterios para clasificar los valores de NDVI que se muestran en la Tabla I (entre -1 y +1), se construyeron de acuerdo con Chuvieco (2002), la descripción vegetacional de Genin y Alzérreca (1995) y las indicaciones de Buttolph y Coopock (2004). Los diferentes tipos de vegetación incluidos en dicha Tabla son: 1) pajonal, que se caracteriza por hierbas grandes y dispersas dependientes de las lluvias, y es la clase más vulnerable a los cambios climáticos y acción antrópica; 2) tolar, caracterizado por arbustos de menor altura, dependientes del agua de lluvia; 3) gramadal, que se caracteriza principalmente por las gramíneas, hierbas cortas, a menudo $< 6\text{cm}$, con frecuencia adyacente al bofedal; y 4) bofedal, correspondiente a vegetación esponjosa presente a lo largo de cursos de agua y en fondos de valle, dominada por plantas pequeñas, herbáceas de bajo crecimiento, con altura máxima (no pastoreadas) de 3cm (Genin y Alzérreca, 1995).

Trabajo de campo

Esta etapa permitió observar directamente el área de estudio y verificar en terreno los bordes del bofedal que arrojaron mayor fluctuación de acuerdo con el procesamiento de datos e imágenes satelitales. Para complementar la validación de los resultados se realizaron entrevistas abiertas a actores claves

TABLA I
CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN NDVI

Clase	Rango	Densidad vegetacional	Tipo de vegetación
1	-1 - 0	Muy baja	Suelo desnudo
2	0 - 0,06	Baja	Pajonal - Tolar
3	0,06 - 0,15	Moderada	Tolar - Gramadal
4	0,15 - 0,4	Alta	Bofedal
5	0,4 - 1	Muy alta	Bofedal

Basado en Genin y Alzérreca (1995) y Chuvieco (2002).

(pastores que hacen uso del bofedal y dirigentes vecinales), entendidas como conversaciones libres respecto a las características del bodedal, el clima en la cuenca y la actividad ganadera.

Contraste y análisis de resultados

Consistió en la integración de los resultados obtenidos a partir del procesamiento de datos estadísticos (precipitación, temperatura, cabezas de ganado) y procesamiento de imágenes satelitales (NDVI y superficie vegetal). Para ello se empleó el coeficiente de correlación lineal simple de Pearson, que permite conocer el grado de variación conjunta y la intensidad de su relación.

Para determinar la asociación entre las fluctuaciones del bofedal de Caquena y la variabilidad climática, se consideraron variables dependientes y explicativas. Las dependientes incluyeron las variaciones de la vegetación del bofedal medidas por la superficie ocupada y por su vigor. Las variables explicativas fueron la actividad ganadera y el clima, medidos por el número de cabezas de ganado y las precipitaciones y temperaturas, respectivamente.

Resultados y Discusión

Variaciones en los promedios anuales de precipitaciones y temperaturas

La altitud y latitud del altiplano andino chileno condicionan los indicadores climáticos de precipitación y temperatura (Mendoza, 2013). La Figura 2 muestra que las precipitaciones en Caquena presentan relevantes variabilidades temporales de sus valores anuales, existiendo periodos notoriamente alejados y otros cercanos a la media de 190,73mm. De igual modo y como muestra de su alta irregularidad, se observan periodos con precipitaciones anuales marcadamente elevadas que superan los 700mm de diferencia con los años más secos. Los primeros tienden a registrarse durante los años de

La Niña, cuando los gradientes barométricos entre la costa oceánica fría y el interior del continente sudamericano cálido favorecen la actuación de la Alta de Bolivia y del Monzón Sudamericano. Por el contrario, durante los años Niño, las aguas más cálidas de la superficie del mar atraen la circulación de los vientos del oeste y con ello de las masas de aire secas. De este modo, durante los años Niño (1991, 1992, 1994, 1997, 2002, 2004, 2006 y 2009) la precipitación anual en Caquena corresponde a los valores más bajos, mientras que durante los periodos Niña la precipitación arroja los valores más altos, distinguiéndose en particular los años 1998-2001. Para este último periodo, Cañón (2004) ha documentado la intensificación del hundimiento de la termoclina frente a Ecuador a partir de mediados de 1997, lo que produjo máximas anomalías de la temperatura superficial del mar en noviembre y diciembre. A partir de entonces, el evento declinó gradualmente, hasta conectarse con el inicio del periodo de La Niña, el cual se observa a partir de julio 1998, explicando el aumento de las precipitaciones en el altiplano andino del norte de Chile.

En cuanto a las temperaturas medias anuales de Caquena, registraron un promedio de 2,8°C y una desviación estándar de 1°C, variando entre 0,3 y 3,8°C en el periodo. La temperatura anual más baja de las últimas dos décadas se registró en 1999 y la mayor en el año 2010. Esto resulta coherente con la clasificación de intensidades ENSO para el hemisferio sur elaborada por el INPE, donde 1999 corresponde a un año Niña moderada y el primer trimestre 2010 se clasifica como un periodo Niño moderado. Al igual que las precipitaciones, esta variable presenta un comportamiento oscilante a través de los años, destacando dos periodos con tendencia opuesta: uno entre los años 1990 y 1999, en que las temperaturas tienden a descender, y otro desde el año 1999 al 2011, donde tienden a ascender

(Figura 2). Cabe señalar, que dicho comportamiento oscilante no se corresponde con las tendencias de cambio climático propuestas por CONAMA (2006), que señalan un aumento de las temperaturas en la sección norte del altiplano chileno.

Variaciones de la ganadería

Una de las principales formas en que las comunidades locales intervienen los bofedales es a través del pastoreo ganadero, que se constituye en su principal fuente de ingresos. Sin embargo, un inadecuado aprovechamiento de los recursos forrajeros aportados por los bofedales, como es el sobrepastoreo, puede tener consecuencias desastrosas sobre los mismos (Castellaro *et al.*, 1998; Cárdenas y Encina, 2002).

En Caquena se realiza un pastoreo intensivo y constante, el cual a partir de los Censos Ganaderos realizado por el SAG, se traduce en las cifras de cabezas de ganado presentadas en la Tabla III para el periodo de años disponible. Desde finales de la década de los 90 existe un promedio de ~8500 cabezas de ganado que hacen uso del bofedal en la localidad de Caquena. De acuerdo a los datos representados en la Figura 3, hay una clara tendencia descendente en su número. No obstante, esta disminución puede no estar relacionada con fluctuaciones en la disponibilidad de pastos sino con la significativa disminución de los habitantes locales y la mano de obra necesaria para su gestión y mantención. En el pueblo de Caquena, de acuerdo con los datos del

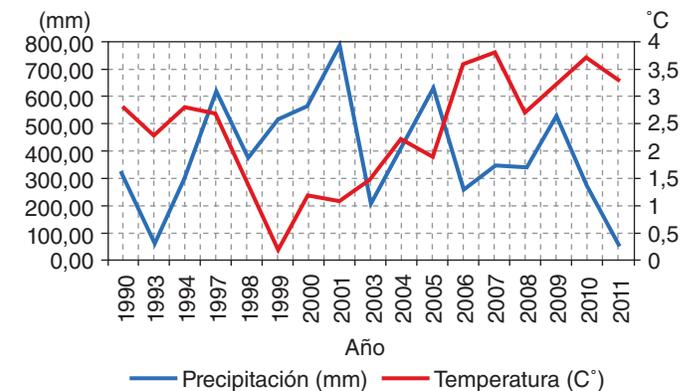


Figura 2. Precipitación y temperatura en Caquena (1990-2011). Tomados de datos meteorológicos de la Dirección General de Aguas (DGA), Chile.

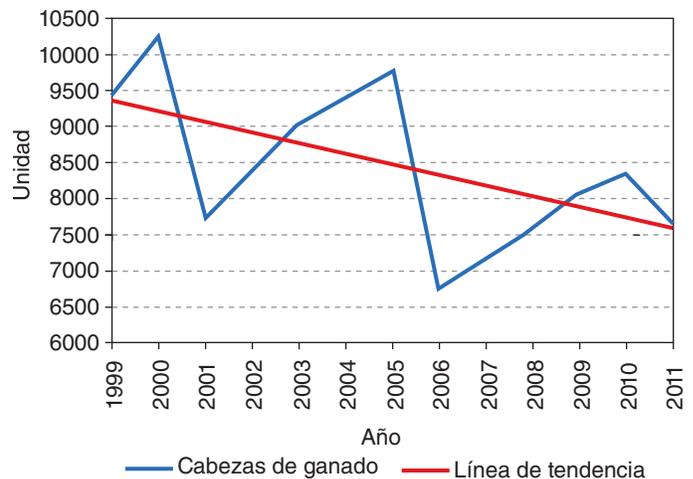


Figura 3. Número de cabezas de ganado en Caquena (1999-2011). Datos tomados de Censo Ganadero del Servicio Agrícola Ganadero (SAG), Chile.

TABLA II
CRITERIOS DE
CLASIFICACIÓN R²

Intervalos de correlación	Valoración
0,20 - 0,40	Correlación baja
0,41 - 0,60	Correlación moderada
0,61 - 0,80	Correlación alta
0,81 - 0,99	Correlación muy alta

Fuente: López, 2006.

TABLA III
CABEZAS DE GANADO
EN CAQUENA (1999-2011)

Año	Nº de cabezas de ganado
1999	9450
2000	10252
2001	7727
2003	9059
2005	9773
2006	6744
2008	7590
2009	8075
2010	8349
2011	7648

Datos tomados de Censos Ganaderos SAG.

Censo de Población levantado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), el año 2002 existía una población total permanente de tan solo 14 personas (INE, 2005). No obstante, en estudios más recientes realizados en terreno (Pronorte, 2010) se contabilizó un total de 25 familias que incluyen a 94 personas, considerando tanto población que habita permanentemente Caquena como aquella que reside temporalmente en la localidad altiplánica o que lo hace en la ciudad de Arica, que es la capital regional y principal centro urbano de la región de Arica y Parinacota, la más septentrional de Chile. Esta ciudad representa un polo de atracción

para la población nativa, debido a sus mejores oportunidades laborales, de vivienda, salud y educación, especialmente como consecuencia de la concentración espacial de los servicios públicos, además de la ampliación de la frontera agrícola en los valles de Lluta y Azapa (González, 1995, 1996) que le sirven de asiento y de fuente de recursos.

El uso tradicional del bofedal como fuente de pasto ha requerido el regadío mediante la operación de una red de canales que se ha construido a favor de la pendiente con el propósito de conducir el agua, siendo necesario limpiarlos año a año, lo que demanda mano de obra constante. Para los habitantes de Caquena, el descenso en el número de cabezas de ganado no se ha debido a la escasez de mano de obra causada por la migración, sino a las variaciones climáticas.

Variación del vigor vegetacional

En cuanto al vigor vegetacional del bofedal de Caquena, los valores obtenidos fluctúan entre -0,23 y 1, con promedio de 0,34 y desviación estándar de 0,08. Si bien se observan fluctuaciones importantes entre los sectores de borde con muy baja vegetación y otros con muy alta cobertura (alcanzando incluso el máximo valor de NDVI), el predominio de las coberturas de las clases alta y muy alta (Tabla IV) señalan la importancia ecológica-social permanente de este paisaje andino.

La Figura 4 presenta una tendencia al aumento del índice normalizado de vegetación. No obstante, el comportamiento de dichos valores presenta

TABLA IV
VIGOR VEGETACIONAL DEL BOFEDAL DE CAQUENA
SEGÚN NDVI (1990-2010)

Clase	Rango	Densidad vegetacional	Nº	%
1	-1 - 0	Muy baja	0	0%
2	0 - 0,05	Baja	0	0%
3	0,05 - 0,2	Moderada	0	5,1%
4	0,2 - 0,42	Alta	23	64,1%
5	0,42 - 1	Muy alta	16	30,8%

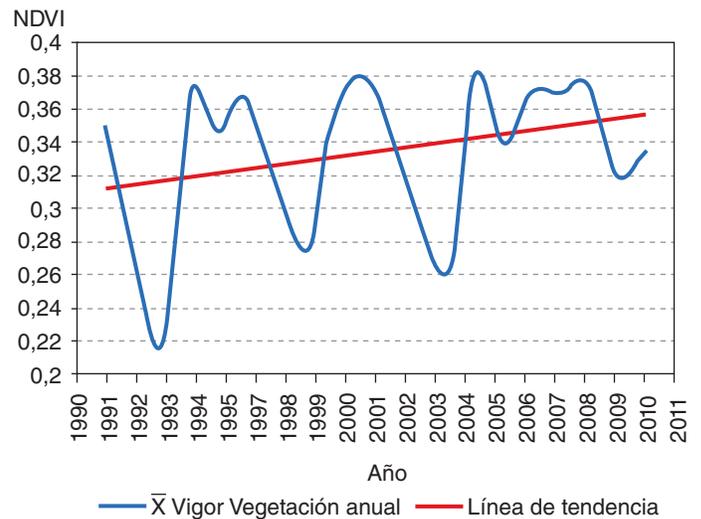


Figura 4. Vigor vegetacional anual medio del bofedal de Caquena (1991-2010).

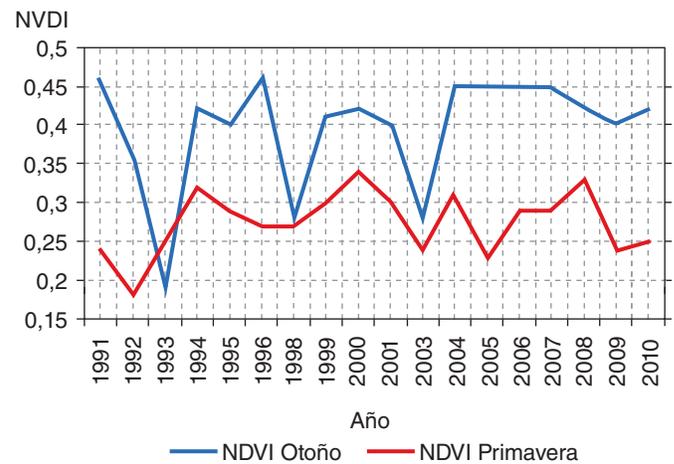


Figura 5. Vigor vegetacional del bofedal de Caquena estaciones de primavera y otoño (1991-2010).

fluctuaciones interanuales particularmente altas en los años 1992 y 1993, que coinciden con periodos El Niño, cuando la precipitación es menor y la productividad vegetal consecuentemente más baja. Durante los periodos 1994-1997, 1999-2001 y 2004-2008, por el contrario, alcanzan los registros más altos.

Por otro lado, al comparar los datos correspondientes a las estaciones de otoño y primavera, se observa que en los periodos 1998-2003 y 2008-2010 (Figura 5) los valores de la primera estación siempre se presentan por encima de los meses de primavera, exceptuando a 1993.

En la Figura 6 se observan los datos de vigor vegetacional obtenidos de imágenes correspondientes a las estaciones de años alternados del periodo 1991-2010. Las clases quedan asociadas a los siguientes tipos de vegetación: pajonal-tolar (clase 2), tolar-gramadal (clase 3) y bofedal (clase 4 y 5); en el caso de la clase 1, se trata de un suelo prácticamente desnudo, desprovisto de vegetación.

Los resultados muestran una clara diferencia entre las estaciones del año analizadas. En otoño el bofedal tiende a presentar una muy alta vegetación que cubre gran parte de su

superficie dependiendo de la cantidad de precipitaciones caídas durante el verano austral, en tanto que en primavera la vegetación es menos vigorosa pero muy importante desde el punto de vista ecológico-social.

Cabe señalar que las clases con mayor vegetación se presentan principalmente en la parte sur del bofedal, que corresponde al sector más ancho del mismo y que responde a la elevación y régimen hidrológico de la cuenca. A medida que el río Caquena avanza en dirección sur-norte, el recurso hídrico va disminuyendo debido a la infiltración, evaporación y consumo del ganado, lo que repercute en la vegetación.

Variaciones en la superficie vegetacional

El bofedal de Caquena abarca una superficie promedio total de 1940ha. La menor superficie cubierta por vegetación durante las últimas dos décadas correspondió a 1883ha, registradas en 1992, y la máxima alcanzó las 2023ha en 2008. En la Figura 7 se aprecian dos diferentes situaciones, períodos con marcadas fluctuaciones entre los meses de otoño y primavera (1990-1994, 2004-2011) y otro con una disminución considerable entre ambas estaciones (1995-2001).

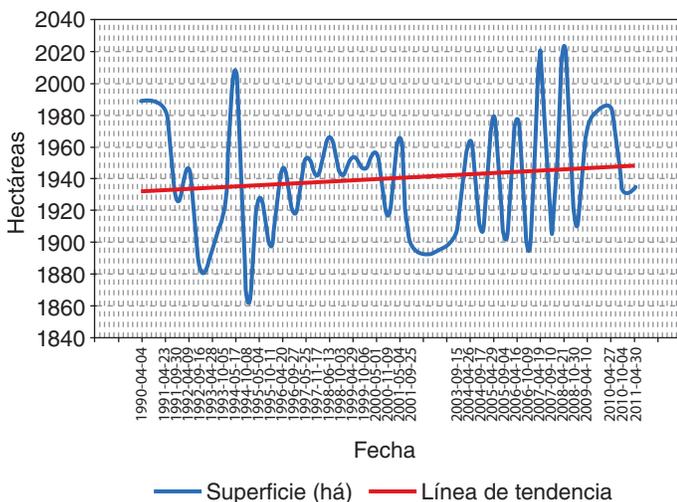


Figura 7. Superficie vegetacional del bofedal de Caquena (1990-2011).

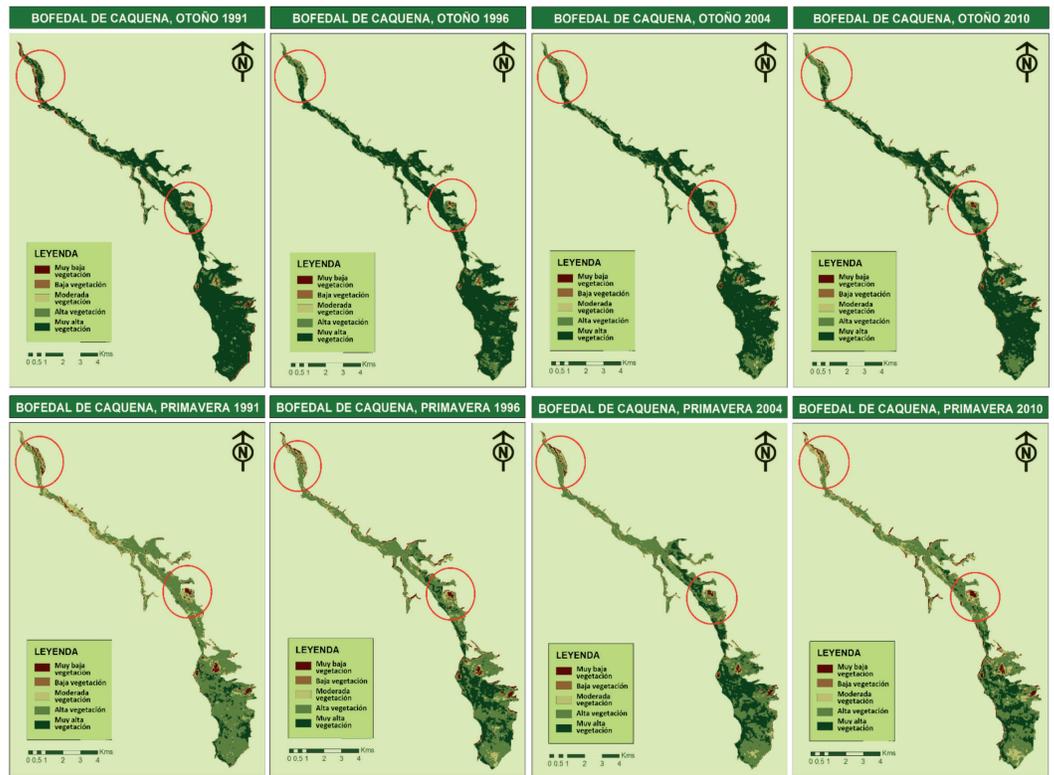


Figura 6. Vigor vegetacional del bofedal de Caquena por clase de densidad vegetacional (1991-2010).

En la Figura 8 se presentan los cambios de superficie vegetacional que ha experimentado el bofedal de Caquena mediante el contraste de los datos correspondientes a la estación de otoño y primavera. A partir de este mapeo se han identificado dos áreas de mayor fluctuación (destacadas en el círculo de la Figura 8). La primera, se localiza en el centro del bofedal y

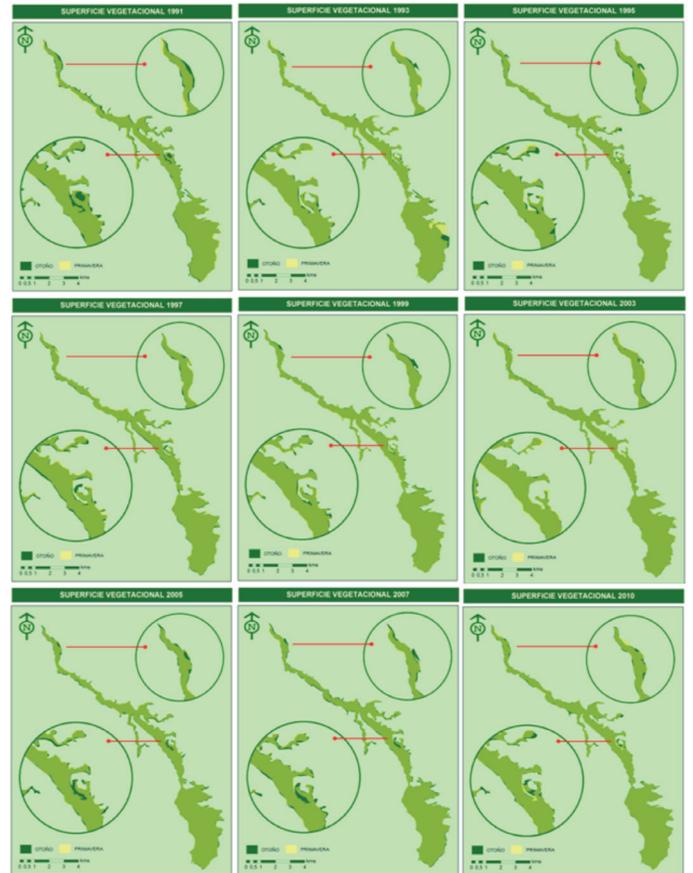


Figura 8. Superficie del bofedal de Caquena estaciones de primavera y otoño (1990-2010).

la segunda en el sector norte del mismo, correspondiente al sector de menor altura.

Análisis de correlación

Los coeficientes de correlación calculados oscilan entre 0,04 y 0,12. El más alto corresponde a la relación entre precipitación y vigor vegetacional, y el mínimo a la relación temperatura-vigor vegetacional (Tabla V).

La variable que se relaciona mayormente con el comportamiento del vigor de la vegetación del bofedal de Caquena corresponde a las precipitaciones, seguida por la ganadería y finalmente por las temperaturas. En cuanto a la superficie vegetacional del bofedal, las variables que se asocian a las variaciones corresponden en orden de importancia a la ganadería, temperatura y precipitaciones.

Discusión y Conclusiones

Las condiciones climáticas del altiplano chileno han variado significativamente durante las últimas décadas (Gaete, 1974; Garreaud, 2003; IPCC, 2013) presentando desde 1930 una tendencia a la intensificación de los periodos húmedos y secos debido a la disminución de precipitaciones y aumento de temperaturas. En este sentido pueden presentarse paradójicos los resultados obtenidos en estudios locales *versus* los escenarios y tendencias proyectadas a escala regional (CONAMA, 2006), pues los comportamientos a nivel local no necesariamente responden a las tendencias globales.

Las diferencias de cubrimientos vegetacionales entre las distintas estaciones del año constituyen una característica natural del bofedal, que en

función de la cantidad de precipitaciones caídas durante la temporada de lluvias estivales, tenderá a presentar vegetación más vigorosa en otoño y menor en primavera. En cuanto a los tipos de vegetación, su resistencia dependerá de la variación en la disponibilidad de recursos hídricos. Estas características otorgan estabilidad al sistema desde el punto de vista ecológico-social.

La menor superficie del bofedal cubierta por vegetación se registró el año 1992, correspondiente a un año Niño fuerte, mientras que la máxima se presentó el 2008, representativo de un año Niña fuerte. Este comportamiento de anomalías opuestas coincide con los resultados obtenidos por Romero *et al.* (2013) para el altiplano andino y por Grimm (2009) en Brasil. Sin embargo, cabe señalar que esta dinámica no es inmutable, pues al comparar los valores de vigor vegetacional para las estaciones de otoño y primavera (variable que resultó más fuertemente correlacionada con la precipitación), se observa que en 1993 el NDVI disminuyó en otoño y aumentó en primavera.

El año de 1993 es clasificado por el INPE como un año 'neutro', lo que merece atención dado que podrían existir variabilidades en el Pacífico y Atlántico que expliquen la dinámica inversa que exhiben este tipo de años.

En cuanto a la tendencia descendente en el número de cabezas de ganado, se infiere que no necesariamente responde a las fluctuaciones en la disponibilidad de pastos que ofrece el bofedal, pues de acuerdo al SAG 2009, en lo que a aptitud ganadera se refiere, las unidades de vegetación del bofedal de Caquena

presentan un aptitud ganadera que mayoritariamente va de buena a muy buena (67% de su superficie en esta condición), un 14% regular, un 13% mala y un 3% de la superficie en una condición muy mala. Estos últimos corresponden a sectores de suelo desnudo o a unidades de pajonal zonal de *Festuca orthophylla*.

Para los habitantes de Caquena, el descenso en el número de cabezas de ganado no se ha debido a la escasez de mano de obra causada por la migración, sino a la variabilidad del clima. En este sentido cabe considerar que el altiplano chileno nunca ha estado densamente poblado; no obstante, la mano de obra es necesaria para la gestión, riego y mantención del bofedal y la ganadería, ya sea por tradición o como medio de subsistencia, sigue siendo practicada por las personas adultas que viven temporal o esporádicamente en Caquena.

La disminución del ganado que pasta en el bofedal de Caquena se traduce en una baja de vegetación y agua destinada para alimento y bebida, permitiendo que el bofedal se mantenga con mayor vegetación durante el año, lo que impide además afloramientos salinos, creación de charcos y mal drenaje, que influye en la producción y distribución de vegetación. Por otra parte es importante considerar que al disminuir la continuidad e intensidad del pastoreo en el bofedal, se produce una menor compactación de sus suelos, evitando la perturbación del ciclo de crecimiento vegetacional, producción de semillas y pérdida de suelo (Cárdenas y Encina, 2002), dinámicas que contribuyen a mantener las funciones propias de bofedal de Caquena en cuanto a su rol prioritario para el ciclo del agua de la árida región de Arica y Parinacota.

Desarrollo Regional Sustentable del Altiplano del Norte de Chile". Las autoras agradecen al Centro de Investigación Vulnerabilidades y Desastres Socionaturales (CIVDES) y al Convenio de Desempeño UTA-MINEDUC.

AGRADECIMIENTOS:

El presente trabajo se enmarca en el Proyecto Fondecyt 1120204 "Análisis Multiescalar de los Cambios Climáticos y su Consideración en la Evaluación Ambiental Estratégica del Desarrollo Regional Sustentable del Altiplano del Norte de Chile" y el Centro de Investigación Vulnerabilidades y Desastres Socionaturales (CIVDES). Las autoras agradecen al Convenio de Desempeño UTA-MINEDUC.

REFERENCIAS

- Aceituno P (1993) Aspectos generales del clima en el altiplano sudamericano. En *Geología y Tectónica del Altiplano Chileno. Actas II Simp. Int. Estudios Altiplánicos*. Arica, Chile.
- Bernhardson W (1985) El desarrollo de recursos hidrológicos del altiplano ariqueño y su impacto sobre la economía ganadera de la zona. *Chungará* 14: 169-181.
- Buttolph L, Coppock L (2004) Influence of deferred grazing on vegetation dynamics and livestock productivity in an Andean pastoral system. *J. Appl. Ecol.* 41: 664-674.
- Cañon JR (2004) El Niño 1997-1998: Sus efectos en el sector pesquero industrial de la zona norte de Chile. En Avaria S, Carrasco C, Ruttant J, Yáñez R (Eds.) *El Niño-La Niña 1997-2000. Sus Efectos en Chile*. CONA. Valparaíso, Chile. pp. 137-151.
- Castellaro G, Cristián AC, Parraguéz VH, Rojas R, Raggi LA (1998) Productividad de un rebaño de camélidos sudamericanos domésticos (CSAD) en un sector de la Provincia de Parinacota: I. Variación estacional de la composición botánica, disponibilidad de materia seca, valor pastoral y valor nutritivo de los bofedales. *Agric. Téc.* 58(3): 191-204.
- Cárdenas M, Encina G (2002) *Gestión Sustentable de Bofedales del Salar del Huasco*. Proyecto Conservación de la Biodiversidad y Manejo Sustentable del Salar del Huasco. Centro de Estudios para el Desarrollo. Chile. 21 pp.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se enmarca en el Proyecto Fondecyt 1120204 "Análisis Multiescalar de los Cambios Climáticos y su Consideración en la Evaluación Ambiental Estratégica del

TABLA V
RESUMEN ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente	Variable dependiente	R ²	R ² (%)
Precipitación	Vigor vegetacional	0,12	12
Precipitación	Superficie vegetacional	0,06	6
Temperatura	Vigor vegetacional	0,04	4
Temperatura	Superficie vegetacional	0,09	9
Ganadería	Vigor vegetacional	0,09	9
Ganadería	Superficie vegetacional	0,10	10

- Castro M (1982) Estrategias socio-culturales de subsistencia en las comunidades aymaras altoandinas en el interior de la provincia de Arica, Parinacota. En *Biología Humana y Aspectos de la Antropología Social en el Transeco Arica-Lago Chungará*. Vol. II. Proyecto MAB-6. Unesco. pp. 99-132.
- Castro M (1993). El campesinado Altoandino del Norte de Chile. En *El Altiplano: Ciencia y Conciencia en Los Andes. Actas II Simp. Int. Estudios Altiplánicos*. Arica, Chile.
- Castro M, Fernández L (2009) Gestión sostenible de humedales. *Rev. Geogr. Norte Gde.* 42: 103-104.
- Cepeda-Pizarro J, Pola M (2013) Relaciones de abundancia de órdenes de hexápodos terrestres en vegas altoandinas del desierto-transicional de Chile. *Ideias*. 31: 31-39.
- CONAMA (2006) *Estudio de la Variabilidad Climática en Chile para el Siglo XXI*. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 65 pp.
- CONAF (2003) *Plan de Acción para la Conservación Sustentable y Uso Racional de Humedales Altoandinos*. Corporación Nacional Forestal Ministerio de Agricultura-Convencción Ramsar Chile. Santiago, Chile. 25 pp.
- Cortes A, Torres-Mura JC, Contreras L, Pino C (1995) *Fauna de Vertebrados de los Andes de Coquimbo: Cordillera de Doña Ana*. Universidad de La Serena. Chile. 96 pp.
- Chuvieco E (2002) *Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel. Barcelona, España. 586 pp.
- Falvey M, Garreaud R (2009) Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979-2006). *J. Geophys. Res.* 114: 1-16.
- Gaete A (1974) Análisis estadístico del comportamiento de las precipitaciones en el altiplano de Arica, Provincia de Tarapacá (1932-1973). *Rev. Geogr. Norte Gde.* 1: 169-181.
- Garcés I (2011) Salar de Surire: un ecosistema altoandino en peligro, frente al escenario del cambio climático. *Nexo* 24: 43-49.
- Garreaud R, Vuille M, Clements A (2003) The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Paleo* 3(3054): 1-18.
- Genin D, Alzérreca H (1995) Reseña de la vegetación de la zona de Turco. En Genin D, Picht HJ, Lizarazu R, Rodríguez T (Eds.) *Waira Pampa*. ORSTROM. CONAP-Oruro. IBTA, pp. 35-56.
- González H (1995) *Los Migrantes Aymaras en la Ciudad: Acceso a Educación, Vivienda y Salud*. Serie Documentos de Trabajo. Corporación Norte Grande. Arica, Chile.
- González H (1996) *Características de la Migración Campo-Ciudad entre los Aymaras del Norte de Chile*. Serie Documentos de Trabajo. Corporación Norte Grande. Arica, Chile.
- Gundermann H (1984) Ganadería Aymara, ecología y forrajes: Evaluación regional de una actividad productiva andina. *Chungará* 12: 99-124.
- Grimm AM (2009) Variabilidad interanual do clima no Brasil. Em Cavalcanti IFdeA, Ferreira NJ, Silva MGAJda, Dias MAFdaS (Orgs.) *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de Textos São Paulo. Brasil. pp. 353-374.
- INE (2005) *Chile: Ciudades, Pueblos, Aldeas, Caseríos*. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago, Chile. 300 pp.
- IPCC (2013) The Physical Science Basis. En Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung K, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (Eds.) *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, RU. 1535 pp.
- Jaksic F, Marquet P, González H (1997) Una perspectiva ecológica sobre el uso del agua en el norte grande: La región de Tarapacá como estudio de caso. *Seminario Minería y Uso de Agua de Chile*. Centro de Estudios Públicos. Chile. 25 pp.
- López E (2006) *Estadística Descriptiva Bivariada. I) La Correlación de Pearson r*. Universidad Complutense de Madrid. España. CM.
- Mendoza M, Romina P (2013) *Análisis Comparativo del Comportamiento de las Precipitaciones y su Agresividad Climática en Zonas Áridas Secas y Semiáridas Frías*. Tesis. Universidad de Talca. Chile. 104 pp.
- Mohlhauser H (1993) Área ecosistemas acuáticos: Significado de la estructura y funcionamiento de ecosistemas acuáticos y zonas ecotonaes altiplánicas para su evaluación, gestión ambiental y conservación. En *El Altiplano. Ciencia y Conciencia de los Andes. Actas II Simp. Int. Estudios Altiplánicos*. Arica, Chile.
- Pronorte (2010) *Construcción de Alcantarillado y Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Caquena, Comuna de Putre. Etapa de Estudio y Diseño*. IC Pronorte Ltda. Arica, Chile. 76 pp.
- Romero H, Smith P, Mendonça M, Méndez M (2013) Macro y mesoclimas del altiplano andino y desierto de Atacama: desafíos y estrategias de adaptación social ante su variabilidad. *Rev. Geogr. Norte Gde.* 1: 19-41.
- SAG (2007) *Estudio de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hidricos del Altiplano*. Gestión y Consultorías Ambientales Ltda / Servicio Agrícola Ganadero. Chile. 47 pp.
- SAG (2009) *Caracterización Vegetacional y de Condición Ganadera del Bofedal de Caquena Ubicado en la Región de Arica y Parinacota*. Gestión y Consultorías Ambientales Ltda / Servicio Agrícola Ganadero. Chile. 77 pp.
- Squeo F, Wagner B, Aravena R, Espinoza D (2006) Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 79: 245-255.
- Tabilo VE (2006) Avifauna del humedal Tambo-Puquios. En Cepeda PJ (Ed.) *Geoecología de los Andes Desérticos. La Alta Montana del Valle del Elqui*. Universidad de La Serena. Chile. pp. 355-379.
- Veit H (1993) Upper quaternary landscape and climate evolution in the Norte Chico: an overview. *Mount. Res. Devel.* 13: 138-144.
- Wright CH, Astudillo J (2002) *Los Bofedales. Turba Alcalina Pantanosa del Altiplano Chileno Semi-Arido Ubicados de 4.000 a 4.500 Metros sobre el Nivel del Mar*. Taller de Conservación y Manejo Sustentable de Bofedales con Comunidades Indígenas. CONAF, Región de Tarapacá. Chile. 8 pp.