BOFEDALES DE LA CUENCA DEL RÍO MAURI: VEGETACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

Jorge S. Coronel

Cochabamba, Septiembre 2009

CONTENIDO

1 INTRODUCCION…… 1

2 ZONA DE ESTUDIO……. 3

3 MATERIALES Y MÉTODOS……. 5

3.1 Fuente de agua, ubicación y superficie de los bofedales……. 5

3.2 Caracterización físico-químico del agua…… 5

3.3 Caracterización botánica del bofedal……. 7

4 RESULTADOS…….. 9

4.1 Fuente de agua, ubicación y superficie de los bofedales: (información por Jhony)……. 9

4.2 Caracterización físico-químico del agua…… 9

4.3 Caracterización botánica del bofedal……. 10

4.4 Identificación de bofedales para el monitoreo de aguas subterráneas…… 16

4.5 Metodología de monitoreo de impactos en los bofedales por disminución del nivel freático…. 18

5 CONCLUSIONES…… 19

6 RECOMENDACIONES…… 20

7 REFERENCIAS……. 21

FIGURAS

Figura 1 Mapa indicando la cuenca del río Mauri y la zona de estudio……. 4

Figura 2 Biplot resultante del análisis de componentes principales (ACP)…….. 11

Figura 3 Representación de la composición florística de los bofedales de la cuenca del río Mauri…….. 15

Figura 4 Diagrama para la construcción de un pozo para el monitoreo del nivel freático…… 18

Figura 5 Composición florística catenal de acuerdo a un gradiente higrófilo en bofedales de aguas mineralizadas……... 19

TABLAS

Tabla 1 Composición florística de los bofedales estudiados en la cuenca del río Mauri……. 8

Tabla 2 Características físico – químicas de los bofedales en la cuenca del río Mauri……. 11

Introducción:

Los humedales, en general, constituyen zonas en las que el agua es el principal factor que controla tanto el paisaje natural como las interacciones entre el humedal, plantas y animales. Los humedales se encuentran entre los ecosistemas más productivos del planeta y brindan importantes beneficios económicos y sociales, mediante la provisión de: ***recursos***, tales como: agua, peces, madera, fibras, crustáceos, plantas medicinales y demás vida silvestre; ***funciones***, por ejemplo: provisión de agua dulce, regulación de inundaciones y sequías, retención de sedimentos y nutrientes, remoción de tóxicos, estabilización de microclimas, transporte, turismo, recarga de acuíferos, etc; y ***atributos*** como: banco genético de biodiversidad e importancia sociocultural (Ramsar 2002, Ramsar 2005, Williams 2006).

Un tipo particular de humedal altoandino es conocido como "bofedal". En este tipo de humedal la sobresaturación del agua más la condición anoxica casi total de los suelos, agravadas por el frío intenso, hace que parte de la vegetación que conforma los bofedales se incorpore lentamente al suelo produciendo turba, razón por la cual, se los conoce también como "turberas" o "vegas andinas" (Alzérreca *et al*. 2001, Navarro & Maldonado 2002). Los bofedales son esenciales para la dinámica de las microcuencas en las altas montañas así como para la provisión de aguan a otros sistemas hidrográficos en los valles y tierras bajas. Además de ser importantes como fuentes de agua, los humedales altoandinos presentan una alta diversidad biológica (Mittermier *et al*. 1998, WWF 2005), siendo sitios de refugio y de reproducción de una gran cantidad de animales amenazados como los flamingos andinos (Caziani *et al*. 2007, Childress *et al*. 2008) y los sapitos arlequín del género *Atelopus* (De la Riva *et al*. 2005, Lehr *et al*. 2008, Venegas *et al*. 2008). Por si fuera poco, son también componentes fundamentales del hábitat de algunos mamíferos de importancia económica y ecológica tales como la vicuña, el guanaco y la Chinchilla (Renaudeau & Lichtenstein 2003, Renaudeau 2005, Ibisch 2005).

Los humedales altoandinos han sido considerados por la Convención de Ramsar (España, 2002) como ecosistemas frágiles, cuya fragilidad, se encuentra amenazada por diversos factores que incluyen causas naturales como el cambio climático, las sequías prolongadas y a la intervención humana. Así como por prácticas inadecuadas de una agricultura no sostenible, el pastoreo excesivo y la minería a cielo abierto. Muchos humedales de montaña se están perdiendo de

manera acelerada, sobre todo, por mal manejo y desconocimiento de su importancia económica y ecológica. Una muestra de la desaparición de bofedales ocurre, por ejemplo, en territorio Boliviano en las cercanías de la comunidad de Charaña debido a la captación y desvío de aguas superficiales del río Uchusuma, aguas arriba en territorio peruano (JS Coronel, pers. obs.). Aquí, aguas procedentes de la subcuenca del río Uchusuma y las aguas subterráneas de la zona altiplánica de El Ayro han sido captadas para abastecimiento de agua potable y para riego de la ciudad de Tacna, con una derivación promedio anual de 1,48 m^3/s (Plan Basadre 2004).

Igual escenario se pretende repetir con las aguas internacionales de la cuenca del río Mauri. En éste río, el desvío se produce en las nacientes del mismo en el lugar denominado Kovire. El túnel Kovire, que fue concluido en 1994 y trasvasa un caudal promedio anual que oscila entre 1 a 5 m^3/s en época de lluvias hasta menos de 0.10 m^3/s en época de estiaje (ALT 2004). Una disminución del cauce principal del río Mauri por futuras captaciones tanto de aguas subterráneas como por desvíos de aguas superficiales en la cuenca alta de este río (en territorio Peruano) se constituye en una amenaza, principalmente, para la salud de las poblaciones asentadas aguas abajo en territorio Boliviano. Además, una disminución del caudal atenta directamente en contra de la economía local a través de la disminución de las áreas de pastoreo para camélidos (bofedales), disminuye la potencialidad de los bofedales en la provisión de bienes (por ejemplo: agua para consumo humano, peces de río, fibra de alpaca, etc) y servicios (por ejemplo: recarga de acuíferos, retención de contaminantes, lugares escénicos para el turismo, etc), y en general, atenta en contra de la diversidad biológica de los bofedales, los cuales presentan especies endémicas adaptadas a condiciones climáticas extremas y especies nuevas para la ciencia (Coronel *et al*. 2007, Vila *et al*. 2007, Coronel *et al*. 2006, Smirnov *et al*. 2006).

En el presente trabajo se realizó un estudio de caracterización de los bofedales situados en la cuenca del río Mauri en territorio Boliviano. Los objetivos fueron los siguientes:

- Validar la ubicación y superficie de los bofedales identificados en la Fase I, mediante análisis de la información existente (Fase I, Zonisig, ALT).

- Realizar una caracterización de los bofedales de la Cuenca del río Mauri de acuerdo a: la fuente de agua, composición florística, y características físico-químicas del agua.
- Identificar bofedales para el monitoreo de aguas subterráneas.
- Desarrollar una metodología de monitoreo (agua subterránea).
- Diseñar una metodología que permita a la gente local monitorear impactos en los bofedales por disminución de disponibilidad de agua.

Zona de Estudio:

La zona de nuestro estudio comprende los bofedales situados en las zonas adyacentes al río Mauri, en territorio Boliviano, comenzando desde la confluencia Mauri-Desaguadero (cerca a la comunidad de Calacoto) y en dirección aguas arriba hasta los bofedales situados en la comunidad de Charaña entre los 3800 y 4100 m de altitud (Figura 1). Esta zona pertenece al Distrito Biogeográfico del Sajama y Carancas del Sector Norte-Altiplánico dentro del Piso Ecológico Altoandino. De acuerdo a la geomorfología, en la zona de estudio predomina la meseta volcánica ignimbrítica de composición río-dacítica atribuible a la formación litoestratigráfica Pérez, de edad Plioceno inferior. Sobre la meseta ignimbrítica aparecen edificios volcánicos (Sajama, Payachatas, Parinacota, etc) y lavas recientes del Pleistoceno y Holoceno. Entre estos depósitos volcánicos aparecen tres sub-cuencas fluviolacustres: Cuenca del Sajama-Lauca y las relacionadas con los ríos Desaguadero (Cuenca de Machaca) y Mauri (Cuenca de Charaña) (Navarro & Maldonado, 2002).

De acuerdo a las geoseries de vegetación del Distrito Biogeográfico Sajama-Carancas, nuestra zona de estudio pertenece a la geoserie Orotropical Altiplánica Occidental del Norte, el cual se extiende desde los 3900 hasta los 4700 metros de altitud, con un bioclima pluviestacional y xérico, y con heladas nocturnas todo el año excepto 1 a 3 meses en verano (Alzérreca *et al*. 2001, Navarro & Maldonado, 2002).

En este distrito biogeografico se pueden distinguir paisajes o series de vegetación que responden a un gradiente de humedad. Así, en las laderas y serranías volcánicas se desarrolla un microbosque o arbusteda compuesto por los khewiñares de *Polylepis tarapacana* y por el bejuco endémico altiplánico *Mutisia lanígera*. En lugares en donde el bosque ha sido

desmontado le sucede la etapa serial de los Tholares orotropicales altiplánicos noroccidentales que incluyen la asociación *Parastrephia lepidóphylla – Parastrephia cuadrangularis* el cual constituye un matorral siempre-verde de 0,5 a 1 m de dosel, con abundante paja barava (*Festuca aff dilichophylla*). Las parte bajas están representados por pastos higrófilos de *Deyeuxia* spp con afloramientos almohadillados de *Oxycloe andina* (Navarro & Maldonado, 2002).

Figura 1: Mapa indicando la cuenca del río Mauri y la zona de estudio indicado por el ovalo rojo. Fuente del mapa: Molina *et al*. 2001.

Los bofedales situados en la cuenca del río Mauri forman parte del Distrito Biogeográfico Sajama-Carancas. El río Mauri por su parte, es un curso de aguas internacionales entre los países de Perú y Bolivia teniendo sus orígenes en la cordillera occidental de los Andes en territorio Peruano. Sigue un curso oeste-este y en su curso recibe a los ríos Caquena (que nace en Chile) y Uchuzuma (que nace en Perú). Confluye con el río Desaguadero (Bolivia) después de drenar una subcuenca de aproximadamente 9,874 km^2 de extensión con una descarga promedio anual de 11. 45 m^3/s en las cercanías de Calacoto. El Río Mauri por las características de sus aguas (aguas claras) cumple la importante función de regular la salinidad del Río

Desaguadero el cual corre de norte a sur, desde el Lago Titicaca hasta el Lago Poopó y cuyas aguas contienen un porcentaje de salinidad considerable; las mismas que, en el curso inferior, son utilizadas por las poblaciones ribereñas en diferentes usos (Molina *et al*. 2001).

Materiales y Métodos:

***Fuente de agua, ubicación y superficie de los bofedales*:** para la validación de la ubicación y superficie de los bofedales se utilizó información existente de los bofedales identificados en la Fase I (Fase I, ALT). En la fase I, la digitalización de los bofedales fue realizada tomando en cuenta los tonos de coloración de la imagen satelital, información secundaria por parte de los comunarios, y la experiencia técnica del grupo de estudio. El tratamiento y la digitalización de las imágenes, permitieron generar en gabinete una clasificación y digitalización "no supervizada" de bofedales. Este trabajo preliminar, permitió identificar y conocer la distribución anticipada de los bofedales en la zona de estudio. Posteriormente, en base a las coordenadas geográficas que proporciona el programa (Arc View), se ubicaron exactamente los bofedales a ser supervisados y evaluados en campo. Para cada salida de campo, las imágenes digitalizadas fueron utilizadas como material base para la localización, supervisión y evaluación de los mismos.

En la supervisión de campo se evaluó cada bofedal y aquellas áreas consideradas como bofedales en la clasificación no supervisada pero que en la supervisión de campo no correspondían a bofedales, fueron separados o descartados. El uso del GPS contribuyó al registro de las coordenadas geográficas y altitud de los distintos bofedales evaluados para luego en gabinete ubicarlos exactamente en la imagen satelital. Ya en gabinete, las supervisiones de campo permitieron efectuar correcciones, ajustes y actualizaciones de los polígonos digitalizados. Una vez concluida esta fase, se procedió a calcular el área total de los bofedales en la zona de estudio. La fuente de agua del bofedal (de vertiente o canal de riego) fue también registrada.

***Caracterización físico-químico del agua*:** las variables hídricas consideradas para la caracterización de los bofedales, fueron: Temperatura (°C), pH, Conductividad Eléctrica (CE),

sólidos totales disueltos (STD), Oxígeno disuelto (O2), y Turbidéz (Snell). Los parámetros físico-químicos fueron determinados directamente en cada punto de muestreo a través de sensores electrónicos (PHchímetro, oxigenómetro, conductivímetro; Foto 1).

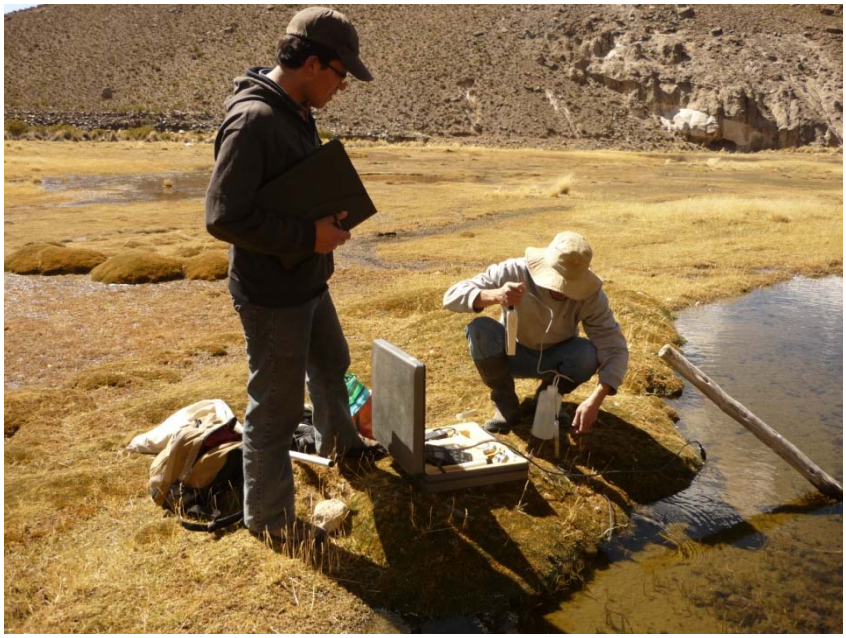

Foto 1

El grado de turbidez de las aguas se determinó con un tubo Snell (Foto 2). La medida Snell sirve para determinar el grado de turbidez en aguas claras y consiste en un tubo de aluminio de color negro de 1m de longitud y 2 pulgadas de diámetro con uno de los extremos serrado. El tubo es llenado con agua por el extremo abierto, una vez lleno, se introduce una varilla (graduada en centímetros) con un pequeño disco de color blanco y negro en el extremo inferior. La medida de turbidez corresponde a la distancia de visibilidad del disco blanco y negro dentro del tubo.

Para realizar una ordenación físico-química de los sistemas estudiados se utilizó un análisis de componentes principales (PCA) en el programa CANOCO v5. Seguidamente, para determinar si existen diferencias significativas entre los bofedales y ríos muestreados se utilizó un análisis de redundancia (RDA) en el programa estadístico CANOCO v5 (Ter Braak & Smilauer 2002). Aquí, las variables de respuesta estuvieron representadas por los parámetros físico-químicos,

mientras que, las variables explicativas estuvieron representadas las categorías “Bofedal” y “Rio” (Ter Braak & Smilauer 2002).

Foto 2

***Caracterización botánica del bofedal*:** la caracterización bioclimática del área y la delimitación local de pisos de vegetación se lo realizó de acuerdo a Navarro & Maldonado (2002). En cada uno de los bofedales se realizaron inventarios florísticos mediante el método clásico de BRAUN-BLANQUET (1979) y mediante transectos lineales de vegetación. Los diferentes inventarios fueron ordenados de acuerdo a sus afinidades florísticas (Tabla 1). Seguidamente, por medio de un estudio comparativo de cada de los inventarios, se diferenciaron y establecieron combinaciones particulares (características) de especies, esto permitió caracterizar cada de los bofedales estudiados. La denominación de las comunidades se ha realizado basándose en las

llamadas especies “características” en sentido fitosociológico (Navarro & Maldonado 2002). Dichas especies son aquellas que pueden ser dominantes o no en una comunidad, pero que siempre tienen un comportamiento ecológico y fitosociológico restringido a particulares condiciones ecológicas, y en función de ellas, asociadas a combinaciones florísticas particulares.

Tabla 1. Composición florística de los bofedales estudiados en la cuenca del río Mauri. Asteriscos indican las plantas más dominantes. Para los nombres de los bofedale ver Tabla 2.

	BOFEDALES																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Zona temporalmente inundada																			
*Deyeuxia rigescens**	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Werneria pygmaea	x	x	x	x						x			x		x		x		x
*Scirpus deserticola**	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Plantago tubulosa		x			x											x	x	x	x
Zona permanentemente inundada																			
*Distichia muscoides **										x	x		x	x	x				
*Oxycloe andina**	x		x					x			x				x		x		x
Hypochoeris taraxacoides	x	x	x	x						x									
Lachemilla pinnata	x	x	x	x			x			x			x		x		x		x
Hypsella reniformes																			
Gentiana sedoides	x	x	x	x															
Myrosmodes weddelliana																			x
Plantas acuáticas																			
Lachemilla diplophylla	x				x		x					x	x	x		x			
*Lilaeopsis macloviana**			x	x	x	x	x	x		X	x		x	x	x		x	x	x
*Ranunculus uniflorus**	x	x			x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schoenoplectus californicus	x	x	x	x		x	x						x						
Miriophyllum quitense	x	x							x										

La construcción de perfiles de vegetación (Figura 3) nos permitió identificar especies vegetales dentro de un gradiente de humedad. La identificación de las especies indicadoras se ha basado en criterios empleados normalmente en geobotánica y en ecología (Navarro & Maldonado 2002, De la Barra 2003), y que en resumen señalan que los indicadores son organismos que, con su presencia/ausencia, su abundancia o inclusive sus procesos fisiológicos, expresan características del medio en el que se desarrollan; en nuestro caso, requerimiento de agua.

Resultados:

***Fuente de agua, ubicación y superficie de los bofedales*:**

Como se indica en la Tabla 2, la mayoría de los bofedales estudiados en la Cuenca del río Mauri dependen del agua freática para su subsistencia. Un número considerable (42 %), sin embargo, depende de las tomas de agua o canales artificiales de riego.

Tanto en la parte "baja" del rio Mauri (zona Calacoto) como en su parte media (zona Charaña) los bofedales se ubican en las riberas de los ríos y en algunos casos forman parte del área de inundación del río, especialmente en los ríos Caño, Caquena y Putani. Se observaron también bofedales de "pradera" lejanas al cause principal del río y que básicamente dependen del agua subterránea (por ejemplo, los bofedales Chuyuncallani y Calaliri 3).

De acuerdo a la supervisión de campo la superficie total de bofedales en la zona de estudio alcanza las 1.682 ha (Tabla 2).

***Caracterización físico-químico del agua*:**

Como se observa en la Tabla 2, los bofedales y ríos estudiados presentaron moderada variación en las características físico-químicas de las aguas. La temperatura fluctuó entre los 0.6 y 17 °C, registrándose los máximos valores entre las 12:00 y 15:00 horas. Así mismo, la variación del pH fue apreciable desde valores de cercanos a la neutralidad (6,61) hasta ligeramente alcalinos (8,41). La conductividad y los sólidos totales disueltos (STD) por su parte mostraron valores fluctuantes con rangos entre los 119,9 y 4010 µs/cm para la conductividad y entre los 57,5 y 2000 mg/L para los STD. La mayoría de los bofedales y ríos estudiados mostraron aguas claras (con una alta transparencia permitiendo una visibilidad de fondo en la mayoría de los casos) ricas en oxígeno disuelto con valores entre los 2,5 y 9, 8 mg/L (% saturación: 19 -155).

Estos resultados se muestran similares a los del sector pluviestacional de la subregión de la cordillera occidental volcánica en donde la conductividad varía entre los 109,7 y 1491 µS/cm, mientras que los STD varían entre los 159 y 1401 mg/L (Maldonado 2002), sugiriendo por lo tanto, que las aguas de los bofedales y ríos estudiados van desde hipo a hipermineralizadas, perteneciendo al tipo de aguas clorurado sódicas para las aguas de vertiente y del tipo clorurado-bicarbonatado sódicas para los ríos (Maldonado 2002). Los ríos se muestran más

mineralizados que la mayoría de los bofedales con excepción de los bofedales Winto y Calacoto que mostraron valores elevados de mineralización, una característica propia de bofedales alimentados por vertientes de agua subterránea (Tabla 2).

Por otro lado, el análisis de componentes principales (ACP) muestra que los sistemas estudiados están ordenados en un gradiente de mineralización liderada por la conductividad y sólidos totales disueltos. Los dos primeros ejes explican el 96,8% de variación de los datos (PCA1= 93,1% y PCA2= 5,7%) (Figura 3). El análisis de redundancia indicó que no existen diferencias significativas entre las variables físico-químicas de los bofedales y ríos (Trace: 0.132; F-ratio: 3.808; P-value: 0.062).

***Caracterización botánica del bofedal*:**

De acuerdo a Navarro & Maldonado (2002), los bofedales se pueden caracterizar de acuerdo a la trofía y permanencia del agua en: bofedales de "aguas no mineralizadas", bofedales "estacionalmente inundados por aguas mineralizadas" y bofedales "siempre anegados por aguas mineralizadas". Según las características físico-químicas y permanencia del agua en los bofedales estudiados, éstos corresponden al tipo de bofedales "estacionalmente inundados por aguas mineralizadas".

El perfil botánico representado por la Figura 3 muestra que los bofedales estudiados, están representados por un pajonal higrófilo de morfología plana compuesta mayoritariamente de *Scirpus desertícola* en asociación con *Deyeuxia curvula* y *D. rigescens* (Foto 3). Estos pastos ocupan las zonas estacionalmente anegadas del bofedal. Esta asociación fue denominada como *Scirpetum deserticolae* por Navarro & Maldonado (2002). En las planicies de pasto higrófilo generalmente sobresalen almohadillas compactas de *Oxychloe andina* y en menor proporción *Distichia muscoides* (Foto 4), las cuales ocupan las depresiones topográficas anegadas (vegas), en donde la presencia de agua subterránea es casi permanente. Muchas de las veces se observó manchas o eflorescencias blanquecinas sobre el bofedal debido a la evaporación de las aguas mineralizadas (Foto 5).

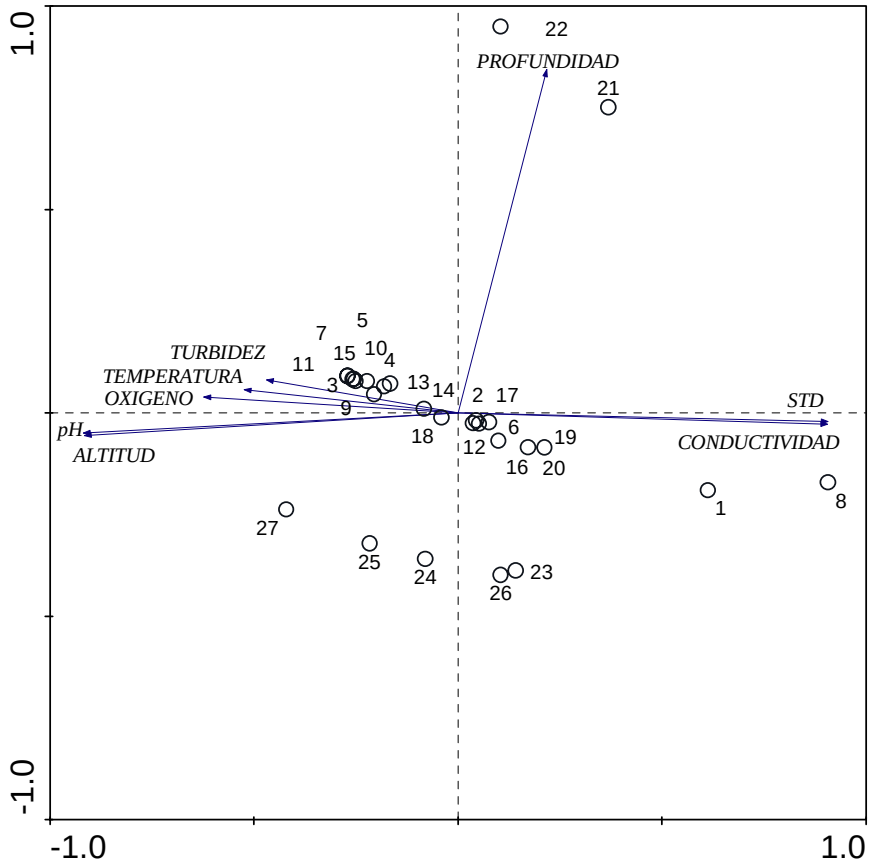

Figura 2. Biplot resultante del análisis de componentes principales (ACP). ACP1= 93,1% representado por un gradiente de conductividad y sólidos totales disueltos y ACP2= 5,7% representado por un gradiente de profundidad. Los bofedales muestreados están representados por círculos vacios. Para los nombres de los bofedales ver Tabla 2.

Tabla 2. Características físico – químicas de los bofedales en la cuenca del río Mauri: altitud (ALT), profundidad (PROF), turbidez (TURB), temperatura (TEMP), oxígeno (OXIG), conductividad (COND), pH, sólidos totales disueltos (TDS). Fuente de agua: V = vertiente, C = canal de regadío.

Bofedales	Ubicación	ALT. (msnm)	PROF. (m)	TURB. (cm)	TEMP. (°C)	OXIG. (mg/L)	OXIG. (%)	COND. (µS/cm)	pH	STD. (mg/L)	Area (Ha)	Fuente de agua
1 Calacoto	Copacati abajo	3812	0,2	20	3,6	2,5	19	1944	6,7	964	142,6	V
2 Leche	Ayllu Sora arriba	3817	0,4	19	4,6	7,2	86	461	6,6	213	367,3	V
3 Viscachani	Rosario 1	3848	0,2	29	13,3	3,6	52	128	6,9	65	58,3	V
4 Viscachani 1	Rosario	3867	0,2	27	12,8	7,6	109	194	7,2	97	103,4	V
5 Chuyuncallani	Pérez vertiente	3920	0,2	17	4,1	8,1	93	121	7,4	61	27,6	V
6 Huayllatuta	Transredes	3865	0,2	29	15,7	9,8	155	519	7,2	257	12,4	V
7 Llallagua	Rosario 3	3858	0,2	30	14,1	3,8	62	120	7,2	58	198,3	V
8 Winto	Ayllu Sora abajo	3809	0,3	33	9,1	3,7	53	4010	7,5	2000	36,1	V
9 Calaliri 1	Juntuma 1	4039	0,2	29	13,2	7,7	114	151	7,4	98	0,55	C
10 Calaliri 2	Juntuma 2	4030	0,2	28	12,5	5,7	82	134	7,4	67	0,82	C

11 Calaliri 3	Juntuma 3	4025	0,3	27	12,5	6,2	88	127	7,6	75	177,1	V
12 Picallani	Picallani	4050	0,4	18	14,5	6,2	99	192	7,8	134	70,5	C
13 Jalaru	Jalaru	4015	0,3	18	13,5	5,7	91	472	7,3	258	53,4	C
14 Ancochullpa	Ancochullpa	4037	0,2	18	10,8	6,4	93	303	8,4	152	68,2	VC
15 Jancovinto	Curanpucho	4030	0,2	24	6,1	4,2	55	122	7,4	87	19,1	C
16 Sucanavi	Sucanavi	4040	0,2	18	0,6	7,2	79	561	8	279	84,6	C
17 Choquicota	Patacapucho	4035	0,2	21	13	6,6	99	357	7,9	180	120,3	V
18 Japuma Putani	Japuma	4025	0,2	17	17,5	5,6	94	701	8,3	351	83,3	C
19 Lupirana	Calacalani	4038	0,3	10	15,5	6,3	103	787	7,5	392	58,1	C
Rios												
20 Rio Desaguadero	Confluencia río Mauri	3808	150	15	5,2	6,8	84	2170	7,5	1090		
21 Rio Mauri	Calacoto	3810	150	33	16,7	6,4	103	1163	8,1	582		
22 Río Mauri	Puente Chinche	4029	0,5	35	4,5	7,9	96	1359	8,5	705		
23 Arroyo Calaliri	Arriba Puente Chinche	4050	0,1	16	12,8	5,9	90	167	7,5	101		
24 Rio Caño	Cerca unión Putani	4008	0,3	18	14,3	5,4	85	248	7,3	124		
25 Rio Caño	Choquicota	4035	0,3	22	7,5	6,2	83	464	7,8	231		
26 Rio Caquena	Cerca Válvula	4015	0,3	33	10,5	7,4	106	1260	8,2	629		
27 Rio Putani 1	Max Paredes	4020	0,2	17	14,3	7,7	120	783	8,7	391		
28 Rio Putani 2	Frontera Chile	4040	0,3	15	13,5	4,7	72	520	8,2	259		

Entre la vegetación acompañante y en menor densidad se encuentran *Myrosmodes weddelliana*, *Gentiana sedoides, Hypochoeris taraxacoides*, *Plantago tubulosa* (Foto 6) y *Werneria pygmaea* (Foto 7). Estas dos últimas, se constituye en indicadores importantes de la disminución de agua freática (G. Navarro; pers. comm.). En las charcas y canales de flujo lento se encuentran comunidades de pequeños helófitos compuestos por *Lilaeopsis macloviana*, *Lachemilla diplophylla, Miriophyllum quitense* y *Ranunculus uniflorus*. Una comunidad monoespecífica de *Schoenoplectus californicus* (totora) fue observada en los bofedales Leche, Vizcachani y Huayllatuta.

Foto 3.

Foto 4.

Foto 5.

Foto 6.

Foto 7.

Una comunidad de plantas que no forma parte del bofedal ocupa la franja seca de laderas y el límite superior del pajonal higrófilo. Esta comunidad se encuentra representada mayoritariamente por *Parastrephia lepidóphylla* en asociación con *Tetraglochin cristatus* y *Festuca aff dilichophylla* (paja brava) (Foto 8).

Foto 8.

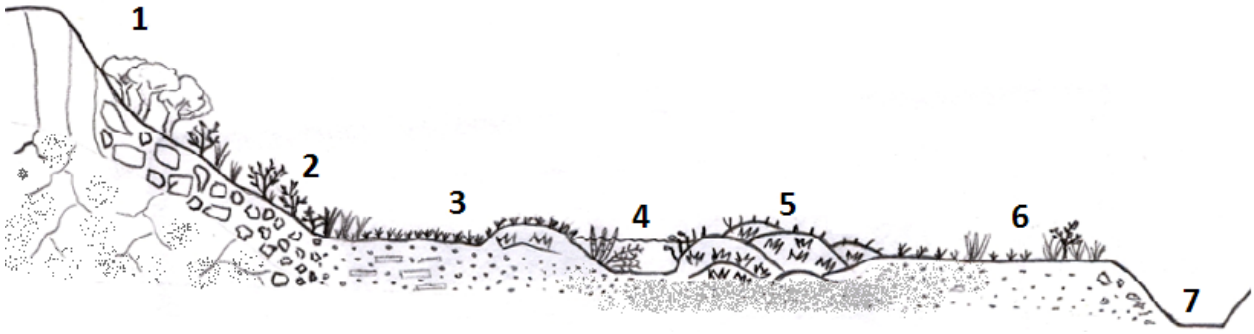

Figura 3. Representación de la composición florística de los bofedales de la cuenca del río Mauri: 1) Kewiñares altiplánicos occidentales de *Polylepis tarapacana*, 2) Tolares representados por *Parastrephia lepidophylla* en asociación con *Tetraglochin cristatus* y *Festuca aff dilichophylla*, 3) Pasto higrófilo estacionalmente anegado compuesto por *Scirpus desertícola, Deyeuxia curvula*, *D. rigescens* y *Plantago tubulosa*, 4) Vegetación acuática de aguas mineralizadas compuestas principalmente por *Lilaeopsis macloviana*, *Lachemilla diplophylla* y *Ranunculus uniflorus*, 5) Bofedal siempre anegado por aguas mineralizadas compuesto por almohadillas compactas de *Oxychloe andina* y en menor proporción *Distichia muscoides*, 6) Pasto higrófilo estacionalmente anegado compuesto por *Deyeuxia curvula*, *D. rigescens* con abundante paja brava (*Festuca aff dilichophylla*), 7) Canal principal del Río Mauri.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio coinciden con otros estudios en los cuales se establece una distribución de la vegetación del bofedal de acuerdo a un gradiente freático. Así, por ejemplo, Buttolph (1998) clasificó a los bofedales de la localidad de Cosapa (provincia Sajama, Oruro) en tres clases en función del nivel freático: 1) bofedales de mayor humedad, 2) bofedales de humedad intermedia y 3) bofedales de menor humedad. Los primeros están

dominados por *Distichia muscoides* y *Oxychloe andina;* los segundos (a menudo presentes en áreas salinizadas) están dominados por *Werneria pygmaea*, *Plantago tubulosa*, *Juncus stipulatus* y *Puccinellia oresigena;* y los últimos que reciben humedad semipermanente hacia se encuentran dominados por pastos como *Calamagrostis curvula*, *Distichlis humilis* y *Carex sp*.

De la misma manera, en el Parque Nacional Sajama fueron reportados tres clases de bofedales. La primera clase está dominada por *Distichia muscoides* y *Oxychloe andina,* presentes en las partes permanentemente inundadas. La segunda clase está representada por *Scirpus spp* y *Plantago tubulosa* y en ocasiones *Deyeuxia curvula, que* aparecen en áreas temporalmente inundadas y con presencia de eflorescencias salinas. Y por último la tercera clase representada por *Deyeuxia curvula* en el estrato alto y *Plantago rigida* y *Juncus stipulatus* en el estrato bajo, ocupando las zonas más secas del bofedal (Alzérreca, 2001).

Por otro lado, Olivares (1988) indica que una formación vegetal de *Oxichloe andina* está asociada a un nivel de napa freática de 15 cm de profundidad, mientras que una vegetación compuesta por *Deyeuxia curvula* y *Werneria pygmaea* está asociada a una napa freática más inferior (1.15 m de profundidad). De la misma manera, Lara y Lenis (1996) sugiere dos tipos de asociaciones: a) *Plantago tubulosa* - *Gentiana postrata*, sobre suelos hidromórficos no inundados y b) *Distichia muscoides* - *Oxychloe andina*, en suelos hidromórficos inundados y nivel freático con escurrimiento superficial.

***Identificación de bofedales para el monitoreo de aguas subterráneas*:**

En principio, todos los bofedales tienen la potencialidad de ser utilizados para el monitoreo de aguas subterráneas, sin embargo, para mayor efectividad en el monitoreo sugerimos dos puntos de monitoreo. Estos puntos están ubicados en la cuenca media del río Mauri en territorio boliviano cerca de los límites con Perú y Chile, en la comunidad de Charaña; específicamente en los bofedales del sector Calaliri (cerca del puente Chinche sobre el río Mauri) y en los bofedales del sector Lupirana (cerca del río Putani). La selección de estos dos bofedales se basa en la presunción de que éstos dependen directamente de aguas tanto superficiales como subterráneas provenientes de territorio Peruano y Chileno. Por lo tanto el efecto de una disminución del caudal del río Mauri (y por ende de los respectivos acuíferos)

será más notorio en estos bofedales, por la simple razón de que están más cerca de la captación para la desviación de aguas en territorio Peruano, antes que en los bofedales situados río abajo. Los bofedales situados río abajo, por ejemplo, en la comunidad de Calacoto, podrían estar influenciados alimentados por otros acuíferos provenientes de territorio Boliviano.

Para medir y monitorear el nivel de agua freática existen diferentes metodologías entre las cuáles podemos mencionar el uso de "piezómetros" de medición (Stelmaszczyk & Okruszko 2005) y la construcción de "pozos de mamposteria" (Melesse *et al.* 2007). Estos dos métodos demandan una moderada inversión económica y un conocimiento especializado para el caso de los piezómetros. Sin embargo, considerando que la profundidad del nivel freático en los bofedales no sobrepasa los 150 cm (Alzérreca *et al.* 2001), sugerimos la utilización de dos técnicas de monitoreo: la de "tubos de PVC perforados" y la construcción de "pequeñas norias" o pozos (Figura 4). Estas técnicas, además de basarse en el mismo principio de los piezómetros, resultan económicas y de fácil operación por parte de comunidades campesinas (Díaz *et al*. 2008).

Como se muestra en la Figura 4, la utilización de tubos de PVC de un diámetro de 2 pulgadas (perforados en su parte inferior), permiten de una manera ingeniosa y fácil la medición del nivel freático en los bofedales. Para el establecimiento de estos "piezómetros caseros" se necesita elegir el lugar (o los lugares) a monitorear y seguidamente, con la ayuda de una barretilla, se procedea a la perforación manual de un hoyo de aproximadamente 10 pulgadas de diámetro y de 1.5 m de profundidad. Luego colocamos el tubo PVC perforado en el centro del hoyo y lo recubrimos externamente con piedra fina o arena para facilitar la infiltración del agua en el tubo y para evitar un taponamiento de los agujeros en los tubos (Figura 4). Con la utilización de una varilla, ya sea de metal o madera, provista de una escala métrica en centímetros se puede determinar la variación del nivel freático. La otra técnica, la construcción de "pequeñas norias", consiste en la perforación de hoyos de 10 pulgadas de diámetro y de 1.5 m de profundidad. Esta técnica se diferencia de la anterior porque no lleva el tubo perforado ni la recubierta de arena o piedra. Si bien esta técnica es más simple y económica, corre el riesgo de derrumbamientos y por lo tanto la inserción de sesgos en las mediciones del nivel freático. En

los dos casos, para la obtención de un registro confiable y válido para la construcción de un grafico de fluctuación del nivel freático, las mediciones deberían ser registradas semanalmente (una vez por semana).

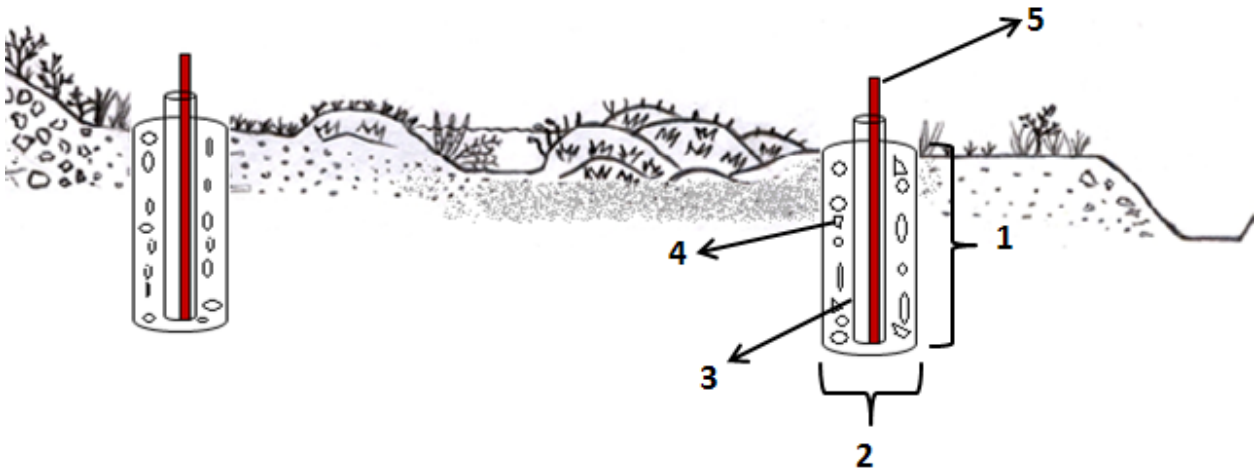

Figura 4. Diagrama para la construcción de un pozo para el monitoreo del nivel freático: 1) Hoyo de 1.5 metros de profundidad, 2) Ancho del hoyo de 10 pulgadas de diámetro, 3) Tubo PVC perforado de 4 pulgadas de diámetro, 4) Recubierta externa de piedra o arena, o una mezcla de los dos, 5) Escala métrica de medición.

Metodología que permita a la gente local monitorear impactos en los bofedales por disminución del nivel freático:

Una disminución permanente del nivel freático en los bofedales de la zona de estudio puede cambiar la composición florística de los mismos (Olivares, 1988, Lara & Lenis 1996, Buttolph 1998, Alzérreca et al. 2001), pasando de una dominancia de plantas con altos requerimientos de agua (por ejemplo: *Oxychloe andina*, *Distichia muscoides*) a una dominancia de plantas con requerimientos temporales de agua (por ejemplo: *Plantago tubulosa*, *Werneria pygmaea*, *Scirpus deserticola*) y finalmente a una asociación de plantas de ambientes xéricos representados principalmente por pastos de *Deyeuxia rigescens* y *Festuca dilichophylla*.

Plantas indicadoras de una disminución del nivel freático en los bofedales están representadas por las especies de *Plantago tubulosa* (Foto 4) y *Werneria pygmaea* (Foto 5). Estas especies son las primeras colonizadoras cuando un bofedal de *Oxychloe andina* - *Distichia muscoides* empieza a secarse. La Figura 5 muestra una representación de la dominancia de vegetación de acuerdo a la profundidad del nivel freático.

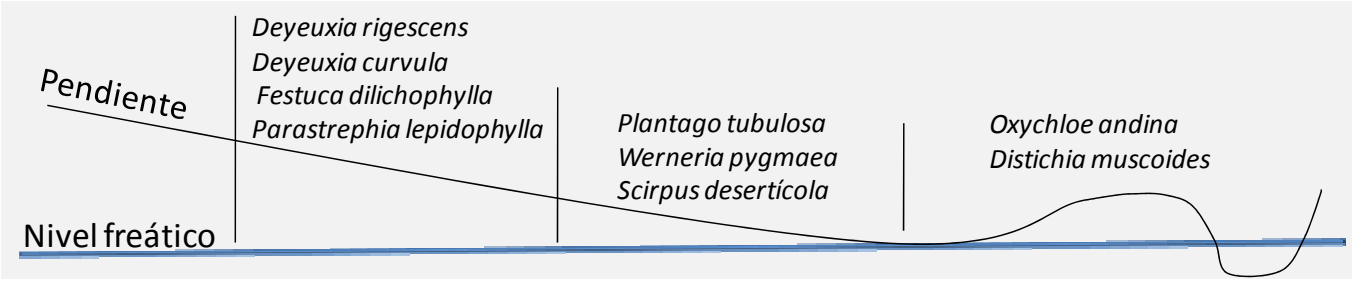

Figura 5. Composición florística catenal de acuerdo a un gradiente higrófilo en bofedales de aguas mineralizadas.

Conclusiones:

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, las conclusiones son:

- Ecológicamente los bofedales estudiados son humedales que se desarrollan en la faja orotropical de la cordillera de los Andes brindando forraje para la ganadería andina de camélidos y hábitats naturales para una diversidad de flora y fauna silvestre. Los bofedales, por su categoría de humedales alto andinos, confieren también al paisaje xérico, un ambiente atractivo y agradable con potencialidad para la recreación y turismo.

- La cuenca del río Mauri abarca una superficie aproximada de 9,874 km^2 y alberga una superficie de bofedales de 1.682 ha, la mayoría de carácter semi-permanente y aguas mineralizadas, caracterizados por *Scirpus desertícola*, *Deyeuxia curvula*, *Oxychloe andina*, y *Distichia muscoides*.

- Si bien, la mayor parte de los bofedales estudiados (aproximadamente el 60%) poseen una vertiente de agua subterránea, éstos depende mayoritariamente del agua canalizada de los ríos Mauri, Caño y Putani, para su mantenimiento y producción.

- En cada bofedal estudiado, la mayor superficie está compuesta por una asociación de plantas higrófilas compuestas mayoritariamente por *Scirpus desertícola* y *Deyeuxia*

curvula. Una posible disminución del nivel freático en los bofedales podría dar paso a la colonización de *Plantago tubulosa* y *Werneria pygmaea*, plantas con menor requerimiento de agua y las siguientes en la sucesión florística catenal.

Recomendaciones:

- Dar a conocer los resultados de este estudio a los municipios y comunidades asentadas en la cuenca del río Mauri, para que puedan usarla como base para planes de desarrollo y conservación de bofedales.

- Realizar estudios para identificar alternativas tecnológicas para mejorar el manejo y promover la conservación y la ampliación de los bofedales en la cuenca del río Mauri.

- Realizar una caracterización de fauna silvestre (aves y mamíferos), fauna acuática (macro y microorganismos) y de lugares con potencial escénico con vistas a promover un turismo "ecológico" como una alternativa de ingresos económicos para las comunidades asentadas en esta cuenca.

- Dar a conocer y difundir a nivel local, nacional, e internacional la importancia de los bofedales de la cuenca del río Mauri tanto en la economía de las comunidades y en la diversidad biológica que allí se alberga. Además, resaltar que el Río Mauri por las características de sus aguas (aguas claras) cumple la importante función de regular la salinidad del Río Desaguadero, permitiendo el uso de éstas aguas a poblaciónes asentadas en el curso inferior del río desaguadero.

- Monitorear los bofedales para detectar cambios en la composición florística debido a una disminución del nivel freático de las aguas. Mediciones de la variación del nivel freático en los bofedales será una herramienta indispensable para conocer la dinámica freática y predecir los efectos de una disminución de agua en los acuíferos. Una medición semanal durante 2 años (como mínimo) permitirá tener una visión clara del

comportamiento freático en los bofedales estudiados. Paralelo a la medición del nivel freático, se debería monitorear también la variación del caudal del agua en el curso principal de los ríos Mauri, Caño y Putani.

Referencias:

ALT 2004, Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hidrico del Lago Titicaca - Rio Desaguadero – Lago Poopo - Salar de Coipasa. Informe sobre los temas de la Audiencia pública realizada en Oruro el 04 de Junio de 2004.

Alzérreca, H., Prieto, G., Laura, J., Luna, D. & Laguna, S. 2001. Caracteristicas y distribucion de los bofedales en el ámbito boliviano (subcontrato 21.12). La Paz, Bolivia.

Braun - Blanquet J. 1979. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. H. Blume. Madrid. 820p.

Buttolph, L. 1998. Rangland Dynamics and Pastoral Development in the High Andes: The Camelids Herders of Cosapa, Bolivia. Thesis for Doctor of Phylosophy, Utah State University. Logan, Utah. 286 p.

Caziani, S. M., Rocha, O., *et al*. 2007, Distribución Estacional, Abundancia, y Nidificaciones de los Phoenicoparrus jamesi, P. andinus, y Phoenicopterus Chilensis, The Condor 109(2):276-287.

Childress, B., Arengo, F. and Bechet, A. (eds.) 2008. *Flamingo*, Bulletin of the IUCNSSC/Wetlands International Flamingo Specialist Group, No. 16, December 2008. Wildfowl & Wetlands Trust, Slimbridge, UK.

Sinev, A. & Coronel, J. S. 2006. A new species of genus Alona Baird, 1843 (Cladocera: Anomopoda: Chydoridae) from the Bolivian Andes. Archive für Hydrobiologie, Suppl: 151/4, Monograph Studies: 395-408.

Coronel J. S., Declerck S. & Brendonck L. 2007. High-altitude peatland temporary pools in Bolivia house a high cladoceran dyversity. *Wetlands*, 27: 1166-1174.

De la barra, N. 2003. Clasificación ecológica de la vegetación acuática en ambientes lacustres de Bolivia. Revista Boliviana de Ecología y Conservación, 13: 65 – 93.

De la Riva, I., Rios, J. & Aparicio, J. N. 2005. A new species of Bufo (Anura: Bufonidae) from the Andes of Bolivia. Herpetologica, 61: 3, 280-286.

Díaz, M. F., Larraín, J., Zegers, G. & Tapia, C. 2008. Caracterización florística e hidrológica de turberas de la Isla Grande de Chiloé, Chile.Revista Chilena de Historia Natural, 81: 455-468.

Autoridad Binacional de Lago Titicaca (ALT). 1993. Estudio de suelos y erosión. Plan Director Global Binacional de Protección–Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de los Recursos del

Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Lago Salar de Coipasa (Sistema T.D.P.S.). La Paz, Bolivia. pp.7-14.

Ibisch, P. L. 2005. Biodiversity conservation in Bolivia: history, trends and challenges. Environmental issues in Latin American and the Caribean, 57-71. Netherlands.

Lara, R. y A. Lenis. 1996. Identificación y Caracterización de Bofedales en los Lípez-Potosí. En: Seminario Taller Manejo Sostenible de Praderas Nativas Andinas. Programa de Autodesarrollo Campesino-Fase Consolidación, Foro Boliviano para el Medioambiente y Desarrollo (PAC-C,FOBOMADE). Potosí, Bolivia. pp.33-38.

Lehr, E., Lötters, S. & Lundberg, M. 2008. A New Species of *Atelopus* (Anura: Bufonidae) from the Cordillera Oriental of Central Peru, Herpetologica 64(3):368-378.

Maldonado, M. 2002. Hidroecorregiones y Ambientes Acuáticos. p. 511-568. In: Navarro, G. and M. Maldonado. 2002. Geografía Ecológica de Bolivia: Vegetacion y Ambientes Acuáticos. Editorial: Centro de Ecología Simón I. Patiño – Departamento de Difusión. Cochabamba, Bolivia.

Melesse, A. M., Nangia, V., Wang, X. & McClain, M. 2007.Wetland Restoration Response Analysis using MODIS and Groundwater Data. *Sensors, 7*: 1916-1933.

Mittermeier, R. A., Myers, N., Thomsen, J. B., da Fonseca, G. A. B. & Olivieri, S. 1998. Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities. Conservation Biology 12: 516-520.

Navarro, G. & Maldonado, M. 2002. *Geografía Ecológica de Bolivia, Vegetación y Ambientes Acuáticos*. Editorial, Centro de Ecología Simón I. Patiño, Departamento de Difusión. Cochabamba, Bolivia.

Olivares, A. 1988. Experiencias de Investigaciones en Pradera Nativa en un Ecosistema Frágil. En: Primera Reunión Nacional en Praderas Nativas de Bolivia. Programa de Autodesarrollo Campesino, Corporación Desarrollo de Oruro (PAC, CORDEOR). Oruro, Bolivia. pp.265-291.

Plan Integral de Desarrollo de Tacna 2005-2010 "Plan Basadre". Comisión de Alto Nivel Tacna: DS 030-2004-PCM y DS 031-2004-PCM

Ramsar. 2002. 8th Meeting of the Conference of the Contracting Parties to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971). High Andean wetlands as strategic ecosystems, Resolution VIII.39, Valencia, Spain, 18-26 November 2002. http: // www. ramsar. org / res/key_res_viii_39_e.htm.

Ramsar. 2005. 9th Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971) "*Wetlands and water: supporting life, sustaining livelihoods"* Kampala, Uganda, 8-15 November 2005.

Renaudeau d'Arc, Nadine. 2005. Linking community aims with vicuna conservation: a bolivian case study. *school of development studies, university of east anglia, norwich nr4 7tj, uk.*

Renaudeau d´Arc, N., Lichtenstein, G. (2003). Impacto del Manejo de la vicuña en Bolivia y Argentina sobre la conservación de la vicuña y el desarrollo local. Memorias III Congreso Mundial sobre Camélidos. UNEPCA. Tomo II: 903-908.

Smirnov NN, Kotov AA, & Coronel JS. 2006. Partial revision of the aduncus-like species of Pleuroxus Baird, 1843 (Chydoridae, Cladocera) from the southern hemisphere with comments on subgeneric differentiation within the genus. Journal of Natural History, 40: 1617-1639.

Stelmaszczyk, E. M. & Okruszko, E. T. 2005. Wetlands Monitoring – which Hydrological Indicators Can Describe their Ecological Status?, ICID 21st European Regional Conference, Frankfurt and Slubice - Germany and Poland.

Ter Braak C. J. F. & Smilauer P. 2002. CANOCO for Windows Version 4. 5. Biometrics – Plant Research International, Wageningen.

Venegas, P. J., Catenazzi, A., *et al*., 2008. Two new harlequin frogs (Anura: *Atelopus*) from the Andes of northern Peru. Salamandra, 44: 3, 163-176.

Vila, I., Mendez, M. A., et al., 2007. Threatened fishes of the world: Orestias ascotanensis Parenti, 1984 (Cyprinodontidae). Environ. Biol. Fish, 80:491–492

Williams, D. D. 2006. The biology of temporary waters. Oxford University Press, New York, NY, USA.

WWF 2005. Los humedales: fuente de agua y servicios para la gente. http://andes.wwf.org.co