

**ESTRATEGIA DE ADAPATACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE BOFEDALES  
ALTOANDINOS**



**2014**

**Redacción:** Alejandra I. Domic

**Contribución:**

Ana Paola Castel

Rosa Isela Meneses

**Revisión:**

Paula Pacheco

Julieta Carrilla

Stephan Halloy

Agua Sustentable

Herbario Nacional de Bolivia

2014

# ÍNDICE

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Efectos del cambio climático en los ecosistemas Andinos.....	2
1.2 ¿Qué son los bofedales?.....	3
1.1.1 Características de los bofedales del área de estudio.....	6
<b>2 Área de estudio.....</b>	<b>8</b>
2.1 Ubicación.....	8
2.2 Fisiografía y topografía.....	8
2.3 Suelo.....	9
2.4 Hidrología.....	9
2.5 Clima.....	9
2.6 Uso del suelo.....	10
2.7 Características socioeconómicas.....	10
2.8 Vegetación.....	11
2.9 Bofedales estudiados.....	11
<b>3 Diagnóstico</b>	
3.1 Objetivos.....	14
<b>4 Metodología</b>	
4.1 Cambio temporal en los bofedales.....	15
4.2 Composición de la vegetación.....	16
4.3 Absorción de agua por suelos de bofedales.....	16
4.4 Requerimiento de agua de los bofedales.....	17
4.5 Concentración de contaminantes naturales.....	17
<b>5 Resultados</b>	
5.1 Cambio temporal en los bofedales.....	18
5.2 Uso de bofedales.....	21
5.3 Composición de la vegetación.....	23
5.4 Fluctuación anual en el nivel freático en los bofedales.....	24
5.5 Humedad de suelos en bofedales.....	25
5.6 Requerimiento de agua de los bofedales.....	26
5.7 Contenido de contaminantes naturales.....	27
5.8 Cambio climático.....	35
5.9 Implicancias de la investigación.....	38
<b>6 Plan de acción.....</b>	<b>42</b>
6.1 Visión estratégica.....	42

6.2	Lineamientos estratégicos.....	42
6.3	Importancia de priorizar.....	44
6.4	Políticas de conservación.....	44
6.5	Investigación científica.....	47
6.6	Sistema de monitoreo.....	49
6.7	Manejo sustentable de ganado.....	52
6.8	Restauración y repoblamiento.....	56
6.9	Desarrollo de capacidades.....	58
<b>7.</b>	<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>60</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Servicios ambientales que proveen los bofedales altoandinos.....	5
Figura 2. Consecuencias de actividades antrópicas y cambio climático en los bofedales.....	6
Figura 3. Comparación en combinación RGB 4, 3, 2 para resaltar la vegetación (rojo) entre época húmeda y seca.....	16
Figura 4. Relación de superficie (km <sup>2</sup> ) de los bofedales altoandinos entre la estación seca y húmeda por cada año en la cuenca del río Mauri.....	19
Figura 5. Relación de superficie entre los bofedales permanentes y temporales de la cuenca del río Mauri.....	21
Figura 6. Evolución de la superficie total de los bofedales de la cuenca del río Mauri....	21
Figura 7. Percepción local sobre usos y cambios temporales de los bofedales altoandinos en la cuenca del río Mauri.....	22
Figura 8. Especies que habitan las zonas húmedas y zonas secas en los bofedales altoandinos de la cuenca del Río Mauri.....	23
Figura 9. Variación en el nivel freático (m) en tres bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri.....	24
Figura 10. Humedad gravimétrica en suelos de bofedales de la cuenca del Mauri, Sajama y Páramo.....	26
Figura 11. Concentración de arsénico en agua de bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri, se presentan adicionalmente los límites permisibles como referencia..	28
Figura 12. Concentración de arsénico en suelos de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri.....	29
Figura 13. Concentración de arsénico en plantas de bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri.....	30
Figura 14. Comparación de concentración de arsénico en agua, suelo y plantas de tres bofedales altoandinos en la cuenca del río Mauri.....	31
Figura 15. Concentración de boro en agua de bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri.....	32
Figura 16. Concentración de boro en suelo de bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri.....	33
Figura 17. Concentración de boro en plantas de bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri.....	34
Figura 18. Comparación de concentración de boro en agua, suelo y plantas de tres bofedales altoandinos en la cuenca del río Mauri.....	35
Figura 19. Cambio en la temperatura promedio anual en el altiplano boliviano entre 1939 y 1998.....	36
Figura 20. Cambio en la temperatura promedio anual (1949 - 2011) y precipitación total anual en Charaña (1964-2010), Bolivia.....	37
Figura 21. Lineamientos estratégicos para la conservación de bofedales altoandinos....	43

Figura 22. Elementos para el establecimiento de la línea base de los bofedales altoandinos.....	48
Figura 23. Programa de rotación de ganado en bofedales altoandinos.....	54

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variación anual en la superficie total (Km <sup>2</sup> ) de los bofedales altoandinos durante la estación seca y húmeda de la cuenca del río Mauri.....	18
Tabla 2. Superficie total de los bofedales clasificados como permanentes o temporales en la cuenca del río Mauri.....	20
Tabla 3. Comparación de patrones de diversidad florística de bofedales.....	39
Tabla 4. Concentración de metales pesados en bofedales altoandinos, numerosos en rojos indican concentraciones por encima de los límites permisibles.....	40
Tabla 5. Leyes y decretos referentes al uso, conservación y manejo de humedales en Bolivia.....	44
Tabla 6. Parámetros físico-químicos de monitoreo de los bofedales altoandinos.....	49
Tabla 7. Parámetros bióticos de monitoreo en bofedales altoandinos.....	50
Tabla 8. Parámetros abióticos y bióticos del programa de monitoreo del efecto de sobrepastoreo.....	51

# 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático constituye uno de los mayores retos para la humanidad. Durante los dos últimos siglos, la temperatura promedio anual se ha incrementado en  $0.85^{\circ}\text{C}$  (IPCC 2013), sin embargo el incremento de la temperatura no ha sido homogéneo en todo el planeta. Algunas regiones han sido mucho más afectadas que otras como Europa del norte, Asia del norte, África central y la región sureste de América del Sur (IPCC 2013). Entre las principales consecuencias del cambio climático se encuentra el incremento de la frecuencia de los eventos climáticos extremos, incluyendo olas de calor, sequías e inundaciones. Por ejemplo, se registró un incremento de la ocurrencia anual de noches calientes y una disminución de las noches frías durante los últimos años (Solomon et al. 2007).

Los Andes es una de las regiones más vulnerables al cambio climático. En la región se ha producido un incremento de la temperatura anual de  $0.11^{\circ}\text{C}$  por década durante los últimos 60 años. Siendo mucho mayor durante los últimos 25 años, cuando se registró un incremento del  $0.34^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura promedio anual (Vuille & Bradley 2000, Marengo et al. 2011). El incremento de las temperaturas ha producido cambios tangibles como la retracción de los glaciares y aumento de la intensidad y frecuencia de El Niño Oscilación Sur (ENSO). Estos cambios han alterado significativamente los patrones climáticos, incluyendo el régimen de lluvias.

Actualmente las proyecciones de cambio de temperatura en los Andes son todavía incompletas. Entre las principales limitaciones se encuentran la baja resolución espacial de los Modelos Generales de Circulación (MGC) y la accidentada topografía de la región (Marengo 2007, Urrutia & Vuille 2009). Sin embargo, las proyecciones climáticas sugieren que las temperaturas se incrementan a medida que la elevación aumente en los Andes. Es decir, es muy probable que las zonas ubicadas a mayor altura experimenten un mayor incremento de temperatura que aquellas ubicadas a altura inferiores (Sokan et al. 2008, Marengo et al. 2009, Urrutia & Vuille 2009).

Estudios sobre cambios en los patrones climáticos en los Andes muestran importantes cambios en las temperaturas. En general se observa a nivel regional un incremento de las temperaturas máximas y una disminución de las temperaturas mínimas (Herzog et al. 2011). Las diferencias térmicas son mucho mayores entre estaciones, es decir los veranos más calientes y los inviernos más fríos. También se han observado cambios importantes en la precipitación anual, disminuyendo en general a lo largo de la región Andina, a excepción de la Cordillera Occidental de Colombia y los Andes australes de Ecuador (Herzog et al. 2011).



## 1.1 Efectos del cambio climático en los ecosistemas Andinos

Los cambios en el clima afectan significativamente a los ecosistemas. Los ecosistemas que poseen una mayor probabilidad de sufrir cambios son aquellos que son altamente sensibles o se encuentran en zonas vulnerables al cambio climático. Por ejemplo, un incremento en la intensidad y frecuencia de sequías puede producir la pérdida de hábitat e inducir a la migración de especies, generando eventualmente una mayor mortandad de poblaciones de plantas y animales vulnerables, cambios en la composición de especies y cambios en los servicios ecosistémicos que estos generan.

Los Andes tropicales es una de las regiones con mayor biodiversidad y endemismo en el planeta. En los Andes tropicales se han registrado cerca de 45,000 especies de plantas y 3,400 de vertebrados, lo cual representa el 15% y 12% de las especies conocidas a nivel mundial, respectivamente (Myers et al. 2000). En la actualidad ya existen evidencias de los efectos negativos del cambio climático en la biodiversidad de la región. Por ejemplo, en los Andes peruanos seis especies de ranas amenazadas ya no habitan sus rangos de distribución históricos (von May et al. 2008). Otras tres especies de ranas han expandido su rango de distribución, migrado a nuevas áreas producidas por el derretimiento de los glaciares (Seimon et al. 2007). En el Perú, el límite del bosque superior ha migrado entre 0.24 y 0.05 m/año durante los últimos años (Lutz et al. 2013). Sin embargo, es importante considerar que la información científica sobre los efectos del cambio climático en la biodiversidad Andina todavía es muy limitado.

Cambios en el clima pueden influir en la dinámica de los ecosistemas así como las funciones ecosistémicas que estos cumplen (p. ej., fijación de carbono, regulación del ciclo hídrico, prevención de la erosión, etc.). Eventos extremos climáticos podrían producir la degradación de los ecosistemas nativos a largo plazo. Por ejemplo, en las tierras altas andinas, un incremento de la intensidad de las lluvias y la disminución de la nieve podría aumentar la escorrentía, sedimentación y erosión. Se estima que en el páramo andino, el aumento de la precipitación y la disminución de la niebla podría afectar la capacidad de retención y filtración del agua (Foster 2001, Ruiz et al. 2008, Anderson et al. 2011).

Entre los ecosistemas andinos considerados como más vulnerables al cambio climático se encuentran los humedales y páramos (Squeo et al. 2006, Anderson et al. 2011). Ambos ecosistemas son altamente dependientes del agua y se cree que la disminución de la lluvia así como incrementos en las sequías podrían afectar fuertemente estos ecosistemas. Anderson y colaboradores (2011) sugieren que sequías más largas y frecuentes podrían alterar el régimen hídrico de estos ecosistemas, disminuyendo su capacidad de absorción de carbono.

Los humedales son ecosistemas que cumplen importantes servicios hídricos, incluyendo suministro de agua, regulación del caudal y asimilación de contaminantes. Los



humedales andinos, incluyendo bofedales, y páramos cumplen importantes funciones en la regulación hídrica. Las principales funciones incluyen la recargar los acuíferos, acreción de sedimentos, remoción de contaminantes y conversión del agua de lluvia en un flujo contante de agua que alimenta a los ríos. Por ejemplo, las corrientes de agua provenientes del páramo aportan con agua a las ciudades de Bogotá y Quito (Bradley et al. 2006, Buytaert et al. 2006, Vuille et al. 2008). Adicionalmente los suelos de los humedales son reservorios de carbono, asociado con la continua cobertura vegetal, baja temperatura ambiental, baja presión atmosférica y frecuente saturación por agua de los suelos (Podwojewski et al. 2002, Poulénard et al. 2003).

Los humedales serán afectados fuertemente por el cambio climático en el futuro. Las principales amenazas son la pérdida de glaciares (una de las principales fuentes de agua) y cambios en el régimen de lluvias. Estos cambios producirán un mayor desecamiento de los humedales, degradación de la vegetación, cambios en la composición de especies, desplazamiento de aves acuáticas y extinción de especies endémicas. Estos cambios tendrán a su vez efectos en los servicios ecosistémicos, incluyendo alteraciones en los regimenes hidrológicos y recarga de acuíferos, cambios en la composición química asociados con eutrofización y salinización y cambios en la tasa de fijación de carbono de los suelos (Buytaert et al. 2011).

## 1.2 ¿Qué son los bofedales?

Los bofedales son un tipo de humedales típicos de la zona altoandina (Estensoro 1991). Estos también son conocidos como turbera andina, jojo o cenagal. Los bofedales se diferencian de otros humedales porque se encuentran a altas elevaciones a lo largo de la región Andina (desde Perú hasta Chile) y por la ausencia del musgo *Sphagnum*. Su distribución es dispersa y restringida a pequeñas áreas en el piso altiplánico (3650 – 4100 m, bofedales puneños) y altoandino (4100 – 5200 m, bofedales altoandinos).

En Bolivia, los bofedales se encuentran distribuidos a lo largo de la Cordillera Andina entre 3.800 y 5.200 msnm. (García & Beck 2006). Los bofedales forman praderas naturales que se desarrollan en áreas permanentemente o temporalmente saturadas con agua. El paisaje de los bofedales se caracteriza por un mosaico de cojines abombados y en placa, entremezclados por ojos de agua y una red de arroyos o cursos permanentes de agua superficiales. Estos ecosistemas reciben agua de la precipitación, cuerpos de agua cercanos (p. ej., lagunas y ríos), agua subterránea y/o deshielo de los glaciares (Ostria 1987).

Los bofedales están compuestos mayormente por pequeñas hierbas siempre verdes que pueden llegar a cubrir extensas superficies, comúnmente entremezcladas con parches de césped denso o disperso (Ostria 1987). La vegetación se encuentra mayormente



#### ESTRATEGIA DE ADAPATACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE BOFEDALES ALTOANDINOS

compuesta por especies vegetales pertenecientes a las familias Poaceae, Asteraceae, Juncaceae y Cyperaceae así como musgos de la subclase Bryidae (Estensoro 1991). La composición vegetal local está condicionada por características topográficas y climáticas, como la profundidad del manto freático, humedad atmosférica (promedio: 50%, máximo: 100%) y bajas temperaturas ( $-0.9^{\circ}\text{C}$ ) (Alzérreca 2001).

Debido su dependencia por el agua, los bofedales son altamente sensibles al cambio climático. Se espera que cambios en el ciclo de lluvias y la pérdida de glaciares afecten significativamente la distribución y composición de especies de los bofedales (Squeo et al. 2006). Asimismo, cambios drásticos en el régimen hídrico asociados con la desviación de los cursos de agua por actividades humanas (agricultura, minería, consumo humano, etc.) y actividades insostenibles (sobrepastoreo y extracción de turba) pueden producir el rápido desecamiento y degradación de los bofedales y la pérdida de especies vegetales. Los bofedales son ecosistemas que proveen muchos servicios ambientales, los cuales son detallados en la Figura 1. En la Figura 2 se detalla las consecuencias de la degradación ambiental y cambio climático en el agua, suelo, biodiversidad y social y económico.

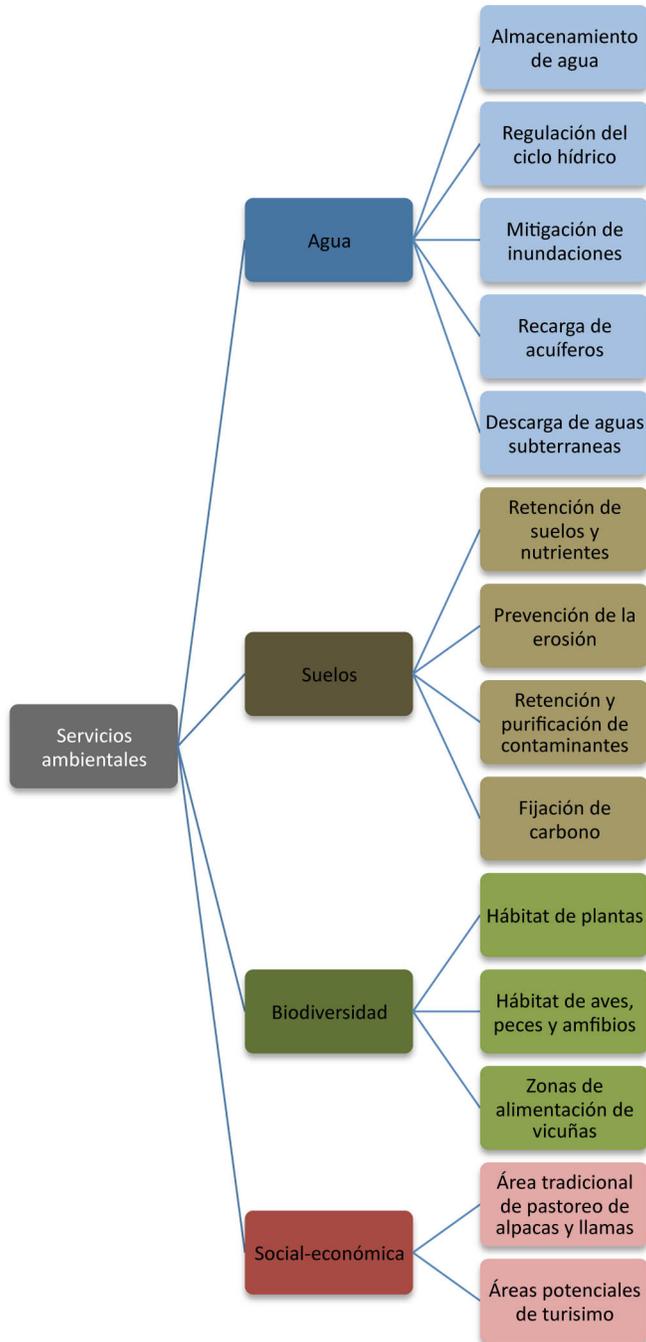


Figura 1. Servicios ambientales que proveen los bofedales altoandinos (Fuente: elaboración propia).

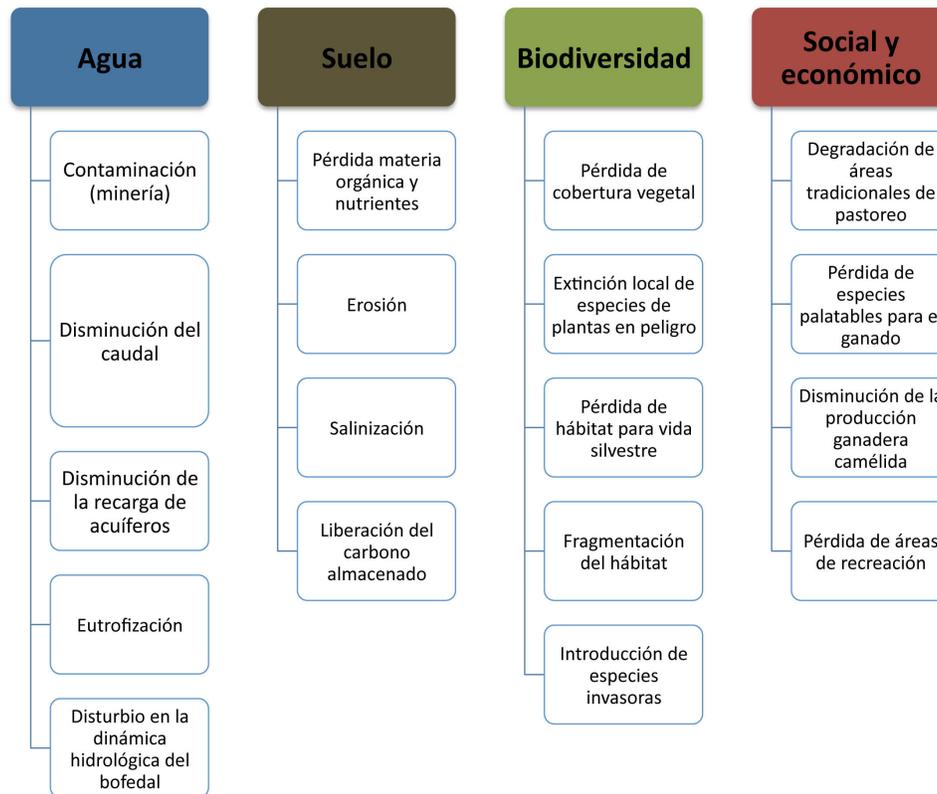


Figura 2. Consecuencias de actividades antrópicas y cambio climático en los bofedales (Fuente: elaboración propia).

Estos ecosistemas son sensibles a cambios en el medio ambiente y el clima. La vulnerabilidad de estos ecosistemas está asociada con algunas características propias de los bofedales, como por ejemplo: 1) tamaño reducido, la mayoría posee algunas hectáreas de extensión, 2) alta diversidad de especies de plantas, 3) presencia de un alto número de especies de plantas especialistas y endémicas y 4) alta dependencia a un flujo constante o semiconstante de agua.

### Características de los bofedales del área de estudio

Los bofedales de la cuenca del río Mauri están compuestos por cojines abombados y en placa. Muchos de los bofedales de la región reciben agua de los ríos que forman parte de la cuenca del río Mauri y algunos de ojos de agua, particularmente aquellos que no poseen una conexión directa con los ríos. Los bofedales poseen una menor diversidad de especies en comparación a aquellos en la Cordillera Occidental Andina puesto que en el área se registraron un total de 43 especies, mientras que en Tuni Condoriri existen hasta 90 especies (Meneses 2013, Domic 2014).



Los bofedales de la región se encuentran compuestos mayormente por pequeñas hierbas en cojín y gramíneas. Las especies dominantes identificadas son mayormente ciperáceas (*Scirpus deserticola*) y pequeñas gramíneas (*Deyeuxia curvula* y *D. rigescens*). En las zonas permanentemente inundadas, dominan los cojines compactos de *Oxychloe andina* y en menor proporción *Distichia muscoides*, particularmente asociados a vegas con suelos ricos en materia orgánica y húmedos (Figura 1) (Domic 2014).

Existe una diferenciación en la composición florística entre las zonas de los bofedales permanentemente y temporalmente inundados. En la zona permanentemente inundada dominan *D. muscoides* y *O. andina* y pequeñas hierbas (*Hypochaeris taraxacoides*, *Lachemilla pinnata*, *Hypsella reniformes*, *Gentiana sedoides*, *Myrosmodes weddelliana*). Mientras que en las zonas temporalmente inundadas se encuentran mayormente *Deyeuxia rigescens*, *Werneria pygmaea*, *Scirpus deserticola* y *Plantago tubulosa*. Adicionalmente, existe un tipo de flora acuática característica de los ojos de agua que incluye a *Lilaeopsis macloviana*, *Lachemilla diplophylla*, *Myriophyllum quitense* y *Ranunculus uniflorus* (Coronel 2009, Domic 2014).



## 2.

### ÁREA DE ESTUDIO

#### 2.1 Ubicación

El área de estudio se encuentra en el Municipio de Charaña, departamento de La Paz, Bolivia. El municipio está ubicado dentro de la Región del Altiplano Sur del departamento de La Paz. La región se caracteriza por una meseta andina ubicada entre la Cordillera Oriental y Occidental de los Andes (DALP 2012).

El Municipio de Charaña se encuentra ubicado en la quinta sección de la Provincia Pacajes al suroeste del departamento de La Paz. El municipio limita al oeste con la República de Chile y Perú, al Norte con la provincia José Manuel Pando, al Sur con el departamento de Oruro y al Este con la tercera sección municipal de Calacoto (PDLP 2003).

El municipio posee una extensión aproximada de 2709 km<sup>2</sup>, lo cual constituye el 65% de la Provincia Pacajes y el 2% del departamento de La Paz (PDLP 2003). Charaña está compuesta por 7 Ayllus de los cuales Quelca Berenguela (38,582 ha), Tanapaca Warisacata (73,900 ha) y Siqui (90,000 ha) son los que poseen las mayores extensiones (PDLP 2003).

#### 2.2. Fisiografía y topografía

El Municipio de Charaña posee un rango altitudinal entre 3900 y 4200 msnm, ubicado en la subregión de la cuenca del Altiplano cerca de la Cordillera Occidental Andina. La región se caracteriza por la presencia de colinas, volcanes, mesetas aisladas y serranías formadas por coladas de lava por la actividad volcánica del Mioceno y Pleistoceno. Resalta la meseta volcánica ignimbrítica de la formación geológica Pérez, del Plioceno inferior (PDLP 2003). La topografía es mayormente ondulada y quebrada, con algunas terrazas de pendiente leve.

#### 2.3 Suelo

Los suelos de la región son mayormente de tipo franco arenoso en los valles y suelos pedregosos en la parte alta. En la parte occidental, en el límite con la cordillera andina, los suelos poseen un origen por la intemperización de las rocas volcánicas. Los suelos son débilmente lixiviados, con horizontes poco diferenciados y una capa superior de tendencia arenosa granular y seguida por una base arcillosa de estructura compacta (PDLP 2003). Los suelos poseen una textura mayormente de tipo pedregoso, arcilloso y/o limo-arenoso. La abundancia de la textura es heterogénea y depende de la estancia.



Por ejemplo, en la estancia General Pérez y Avaroa abundan los suelos pedregosos, mientras que en las estancias Chiaraqui y Rosapata son comunes los suelos con una textura arenosa (PDLP 2003).

La erosión en la provincia Pacajes es moderada a poco profunda. Las regiones que poseen una mayor erosión están asociadas a los ríos que producen cárcavas, especialmente los ríos Mauri, Putani, Kanu y Caquena. En el municipio de Charaña, el grado de erosión varía entre medio o moderado a alto. Las principales causas de la erosión del suelo son el sobrepastoreo, establecimiento de parcelas agrícolas en áreas con alta pendiente y pérdida de la cobertura vegetal. Los principales agentes que causan erosión son la el agua, por acción de la lluvia y movimiento de suelos por los ríos y el viento. Los Ayllus que poseen suelos con mayor grado de erosión son Pahaza y Copacati (PDLP 2003).

## **2.4 Hidrología**

Los ríos que drenan el área pertenecen a la cuenca Altiplánica. Los ríos más importantes son Mauri, Kaño, Caquena, PUtani y Juchusma, este último actualmente está seco. Estos ríos tienen origen en la Cordillera Andina en el Perú y Chile, desembocando en el río Desaguadero y eventualmente en el salar de Coipasa. La subcuenca forma parte de la Cuenca Endorreica del Altiplano y del sistema TDPS (Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salares). Durante su curso recibe aguas de los ríos Caquena, originado en Chile y Uchuzuma, originado en el Perú.

Los ríos Mauri, Caquena y Kaño son permanentes con un buen caudal durante todo el año. El río Mauri confluye en el río Desaguadero, cuya descarga de agua anual es de 11.45 m<sup>3</sup>/s en las cercanías de Calacoto. El Municipio pertenece a la cuenca del Río Mauri y está dividido en tres subcuencas: 1) subcuenca del río Mauri, 2) subcuenca del río K' año, Putani y 3) subcuenca Caquena (PDLP 2003).

## **2.5 Clima**

El clima de la región es seco y frío, con dos épocas marcadas (seca y húmeda). La temperatura promedio anual es de 8.2°C y la precipitación total anual promedio oscila en un rango de 300 mm/año. La temperatura máxima promedio es de 18°C y una temperatura mínima promedio de -5.7°C. La época seca dura entre marzo y septiembre, donde se registran nevadas de fuerte intensidad, especialmente entre junio y agosto. Las granizadas son mayormente comunes a principios y finales de la época húmeda (octubre a febrero). Las heladas se presentan durante todo el año como consecuencia de drásticas variaciones de temperatura entre el día y la noche, aunque existe una mayor incidencia entre mayo y agosto.



Los principales riesgos climáticos que afectan al Municipio son las granizadas, heladas, sequías, fuertes vientos y ocasionalmente inundaciones. La granizada es un fenómeno climático que afecta las actividades económicas, pueden producir la pérdida de los cultivos agrícolas y muerte del ganado. Las sequías pueden producirse durante todo el año, mayormente durante la época seca y a principios o finales de la época húmeda. Este fenómeno es común en la región. La escasez de agua durante las sequías produce la pérdida de la producción agrícola, pérdida de la fertilidad del suelo, disminución de forraje disponible para el ganado y cambios en el ciclo agrícola. Las inundaciones son desastres naturales poco comunes pero pueden producirse por el desborde de los ríos pertenecientes a la cuenca del río Mauri. Estos producen la inundación de los bofedales y parcelas de cultivo, erosión de los bordes de los ríos y limitan la transitabilidad por los principales caminos carreteros (PDLP 2003).

## **2.6 Uso del suelo**

La región posee suelos aptos para el uso ganadero extensivo y para la agricultura extensiva. En la provincia Pacajes, el territorio es empleado mayormente para el pastoreo libre de ganado camélido, ovino y vacuno y para agricultura a pequeña escala. Aproximadamente el 33% del territorio del municipio de Charaña es utilizado para pastoreo y un bajo porcentaje para agricultura (8%). Sin embargo, una gran cantidad de la tierra no es apta para actividades económicas (56%) (PDLP 2003).

## **2.7 Características socioeconómicas**

La población del Municipio de Charaña es de 2766 habitantes (INE 2001), constituyéndose como uno de los municipios con la menor cantidad de habitantes en la provincia Pacajes. En el Municipio existen una proporción similar de hombres (52.6%) y mujeres (47.4%). En el poblado de Charaña existían 456 hombres y 407 mujeres en el 2001 (INE 2001). La mayoría de la población es joven, entre recién nacidos y jóvenes hasta 19 años (45%), seguidos por adultos entre 20 y 50 años (35%). La tasa de crecimiento poblacional intercensal fue de 2.3\$ entre 1992 y 2001, con una media anual de 1.3%.

El tamaño promedio de una familia es de 3.6 personas. La densidad poblacional en el Municipio de Charaña es de 0.94 habitantes/km<sup>2</sup> (INE 2001), mucho menor a la media de la provincia (4.65 habitantes/km<sup>2</sup>). Sin embargo el Ayllu Taracollo Condoroca, donde se encuentra en centro poblado de Charaña es el que posee la mayor densidad poblacional (5.5 habitantes/km<sup>2</sup>) (INE 2001).

Debido a la escasez de centros poblados con una población mayor a 2000 habitantes, el municipio es considerado como rural. La tasa de emigración es alta, el 80% de la población del municipio sostiene que al menos un miembro de la familia se emigró por lo menos durante 1 año (PDLP 2003). La alta emigración asociada principalmente con la carencia de centros educativos superiores y la búsqueda de trabajo especialmente



durante la época seca cuando la actividad agropecuaria disminuye. Otro factor importante es la falta de propiedad de la tierra, en especial de los jóvenes, lo cual produce la inmigración temporal y permanente hacia otros centros poblados. Un alto porcentaje de la población migra a la ciudad de El Alto (49%) y Viacha (29%) y el porcentaje restante migra a diferentes lugares incluyendo Calacoto, Santa Cruz y Tarija (PDLP 2003).

En el Municipio de Charaña se produjo un incremento de la tasa de alfabetismo entre 1992 y 2001. En el 2001, la tasa fue de 85%, un alto porcentaje de hombres (96%) y mujeres (82%) son alfabetos.

La población del municipio es de origen Aymara, descendiente del suyo de Pacajak'es. Una alta proporción de la población habla aymara (48%) y castellano (50%) (INE 2001).

## 2.8 Vegetación

La vegetación de Charaña es típica de la puna desértica, ubicada en la ecorregión denominada puna sureña, una de las zonas más áridas y desérticas de Bolivia (Ibisch et al. 2003). Esta se caracteriza por la baja cobertura vegetal, asociada a bajas precipitaciones estacionales y bajas temperaturas. La vegetación se encuentra dominada mayormente por pajonales de *Festuca*, tholares o matorrales abiertos de arbustos espinosos de *Parastrephia* spp. y *Bacharis* spp., bosques abiertos de *Polylepis tarapacana* y bofedales altoandinos en lugares húmedos (Beck et al. 2010).

## 2.9 Bofedales estudiados

Para el diagnóstico se escogieron tres bofedales donde se realizó la evaluación de la vegetación, análisis de suelos y agua y se instalaron los piezómetros. A continuación se describen brevemente los bofedales estudiados.

### 2.9.1 Kurajpucho

El bofedal se encuentra ubicado entre las coordenadas 69°23'24.8''S y 17°29'58.3''W, a una elevación de 4038 msnm y una superficie de 4 ha. El bofedal no recibe un aguas de la cuenca del Mauri, el agua del bofedal proviene de ojos de agua. El bofedal se encuentra dominado por *Baccharis acaulis*, *Agrostis toluensis*, *Deyeuxia rigescens* y *Carex* cf. *maritima* (Domic 2014). Este es utilizado para el pastoreo de camélido doméstico, mayormente llamas y en menor cantidad alpacas. La carga animal actual es de 150 camélidos, de los cuales 100 son llamas y 50 alpacas (Melo 2014). El bofedal pertenece a dos familias pero en la actualidad sólo una de las familias lo utiliza como zona de pastoreo para camélidos domésticos.



### 2.9.2 Jalaru

El bofedal de Jalaru recibe aguas del río Caño y se encuentra ubicado en la frontera con el Perú ( $69^{\circ}26'36''S$  -  $17^{\circ}28'12''W$ ). El bofedal está ubicado a una elevación de 4060 msnm y posee una superficie de 10 ha. Las especies de plantas dominantes son *Lilaeopsis macloviana*, *Lobelia oligophylla*, *Juncus stipulatus* y *Werneria pygmaea*. El área es utilizada para la cría de ganado camélido y para la cría de truchas en una pequeña poza (Domic 2014). Adicionalmente, se observó la presencia de canales cerca de los bofedales utilizados para el manejo de los bofedales, principalmente para expandir el área inundada y así promover la expansión del mismo. El bofedal es utilizado por cinco familias para el pastoreo de camélidos de forma colectiva. Aproximadamente 500 alpacas pastean en el mismo (Melo 2014).





### 2.9.3 Putani

Ubicado cerca del pueblo de Charaña (17°36'10.7" – 69°24'25.5"), a una elevación de 4030 y una superficie de 4 ha. El bofedal recibe aguas del río Putani, perteneciente a la cuenca del río Mauri. El bofedal es el más degradado de todos puesto que se observó una alta carga animal, especialmente de alpacas y llamas, así como sobrepastoreo asociado con el ramoneo de cojines de plantas. La composición florística está dominada por *Cotula mexicana*, *Deyeuxia rigenscens*, *Aciachne pulvinata* y *Cuatrecasaciella argentina*. El bofedal pertenece a una sola familia que lo usa como zona de pastoreo para 200 llamas y 150 alpacas (Domic 2014, Melo 2014).





### 3.

## DIAGNÓSTICO

### 3.1 OBJETIVOS

#### 3.1.1 Objetivo general

Desarrollar una estrategia de adaptación al cambio climático de los bofedales altoandinos presentes en la cuenca del río Mauri.

#### 3.1.2 Objetivos específicos

Los objetivos del estudio son:

1. Determinar cambios temporales en los bofedales altoandinos.
2. Determinar cambios en la composición de especies vegetales según estacionalidad y degradación de los bofedales altoandinos
3. Determinar la absorción de agua de los suelos de los bofedales considerando estacionalidad y grado de degradación.
4. Determinar el requerimiento de agua de los bofedales.
5. Determinar la concentración de contaminantes naturales (arsénico y boro) en los bofedales altoandinos.



## 4

### METODOLOGÍA

#### 4.1 Cambio temporal en los bofedales

Para evaluar el cambio multitemporal en los bofedales de la cuenca del río Mauri, se utilizaron imágenes satelitales con resolución de 30 x 30 m, para los años 1986, 1996, 2006 y 2010 se utilizaron imágenes Landsat 5 TM e imágenes Landsat 8 para 2014. Las imágenes fueron rectificadas y corregidas radiométricamente. Para determinar cambios en la vegetación entre años y entre épocas se usó el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI). El Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) es un indicador que describe el verdor, la densidad relativa y salud de la vegetación para cada pixel de una imagen satelital multiespectral. Este índice permite observar la presencia de vegetación y evaluar el estado de desarrollo de la misma mediante la observación de la intensidad de la radiación reflejada o emitida por esta misma en las bandas 4 y 3, el infrarrojo cercano (NIR) y el color rojo del espectro visible, respectivamente, del espectro electromagnético.

Los bofedales fueron clasificados como permanentemente y temporalmente húmedos. Los bofedales permanentes son aquellos que poseen una fuente permanente de agua durante el año hidrológico y por ende no muestran cambios significativos en la vegetación. En contraste, los bofedales temporales son aquellos que poseen una fuente de agua temporal, usualmente durante la época húmeda, mostrando fluctuaciones entre estaciones. El análisis considera que una disminución constante o permanente del acceso al agua en los bofedales podría cambiar la composición florística de los mismos, pasando de una dominancia de plantas con altos requerimientos de agua (vegetación casi abnegada) a una dominancia de plantas con menor requerimiento de agua, vegetación con menor capacidad de retención de agua y menor biomasa, vegetación de menor salud para los bofedales.

Para la reclasificación de valores NDVI para la vegetación de bofedal se utilizó el método de optimización de Jenks para agrupar datos en categorías de ocurrencia naturales. La detección de los cambios en un año, distinguiendo la época seca de la húmeda en un mismo año, fue tomada como punto de referencia para diferenciar la vegetación permanente de la temporal en los bofedales. Primero, se realizó la clasificación de la vegetación para cada época utilizando los valores límite del NDVI para la vegetación de los bofedales identificada en el proceso descrito previamente. Posteriormente, se empleó el resultado de esta clasificación en cada época, sustrayendo la diferencia y



clasificando la superficie donde se identifican cambios como superficie de vegetación “temporal” y la superficie sin cambios significativos como “permanente”.

Época seca

Época húmeda

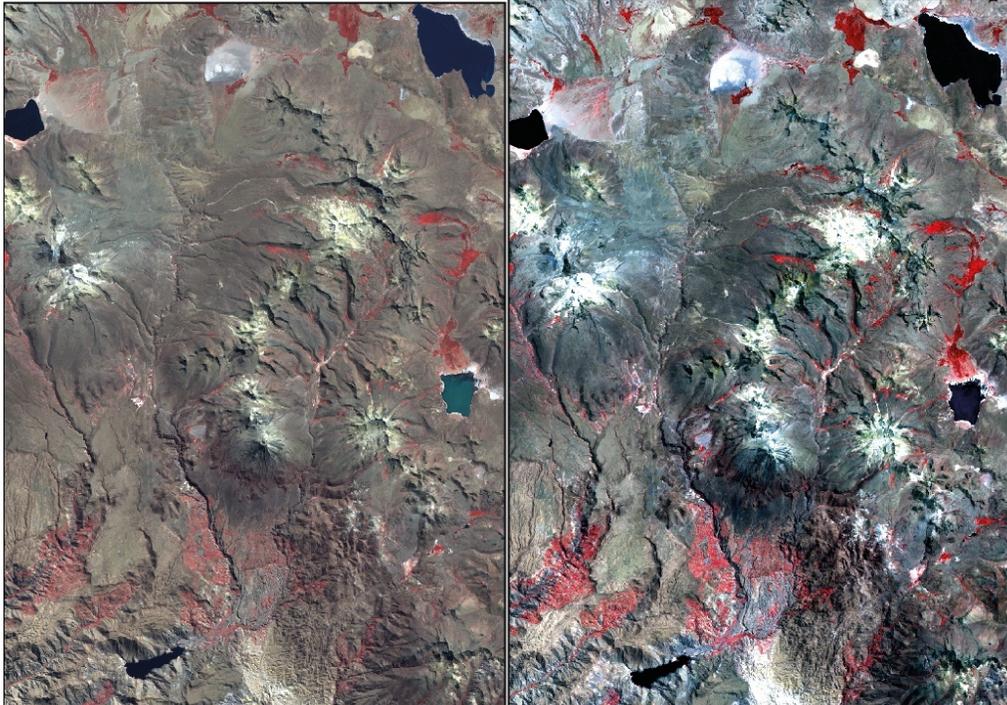


Figura 3. Comparación en combinación RGB 4, 3, 2 para resaltar la vegetación (rojo) entre época húmeda y seca.

#### 4.2 Composición de la vegetación

Para evaluar la vegetación presente en los bofedales utilizamos la metodología de Puntos y Áreas Flexibles de inventario rápido (PAF). Instalamos las líneas de intercepción en áreas permanentemente inundadas y temporalmente secas. Las líneas de intercepción tuvieron 200 m de largo y registramos todas las especies presentes cada 20 cm (100 puntos en total). Adicionalmente, registramos todas las especies que no fueron interceptadas a 20 cm a cada lado de la línea de intercepción, estimándose el área cubierta por cada especie.

#### 4.3 Absorción de agua por suelos de bofedales

Para determinar la absorción de agua en los bofedales, escogimos zonas con diferente estacionalidad es decir, zonas permanentemente inundadas y temporalmente secas. En marzo del 2014, colectamos muestras del suelo superficial (profundidad no mayor a 15 cm). En cada bofedal se colectaron cinco muestras en zonas permanentemente inundadas y cinco en temporalmente secas. Las muestras fueron secadas en una estufa



a 80°C durante 72-96 horas hasta que se encontraban totalmente secas. Las muestras fueron pesadas para determinar el peso húmedo y peso seco.

Adicionalmente se determinó el contenido de materia orgánica y el pH de los suelos colectados superficialmente. Para cada bofedal, las muestras de suelo según estacionalidad (temporalmente seco y permanentemente húmedo) fueron agrupadas y mezcladas y se extrajo una submuestra. El análisis fue realizado en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Católica Boliviana por Raissa Merlo.

#### **4.5 Concentración de contaminantes naturales**

Para determinar la capacidad de absorción de metales de arsénico y boro se colectaron muestras de tejido vegetal frescas, agua y suelo. Las muestras fueron colectadas en los tres bofedales en dos épocas del año. Las muestras de la época seca fueron colectadas en Octubre del 2013 y las muestras de la época húmeda fueron colectadas en Marzo del 2014. Se colectaron un total de 12 muestras de materia vegetal, 12 de suelo y 12 de agua. La concentración de arsénico y boro fue determinado por el Laboratorio de Calidad Ambiental, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés.



## 5

## RESULTADOS

## 5.1 Cambio temporal de los bofedales

El análisis de imágenes satelitales mostró que el área de los bofedales altoandinos fluctúa entre la época seca y húmeda. Existe una relación de variación de la vegetación con mayor salud y contenido de agua (verdor) de aproximadamente 10 a 20 % de la superficie total alcanzada durante la cada estación (Tabla 1). De la misma manera, en la Figura 4 se puede observar que existe una relación de variación proporcional de superficie de los bofedales entre las estaciones de un mismo año, esto debido al contenido de agua de la vegetación a lo largo de un año hidrológico, lo que podría relacionarse con el tipo de año (año húmedo o seco), y que permite la recuperación de la salud de la vegetación del bofedal, es decir, aumentando el contenido de agua de la vegetación y los grados de verdor captados por el satélite durante un año húmedo, lo cual resulta en una superficie casi estable o con menor porcentaje de variación entre la estación seca y húmeda durante un año.

Tabla 1: Variación anual en la superficie total (Km<sup>2</sup>) de los bofedales altoandinos en la cuenca del Mauri entre la estación seca y húmeda.

Época	Año				
	1986	1996	2006*	2010	2014
Húmeda	238.11	193.06	235.08	268.8	269.95
Seca	1,932,819	1,650,105	2,557,334	185.05	250.36
Total (%)	18.83	14.53	-8.79	31.16	7.26

\* Fecha de imagen afectada por nubes durante la época húmeda.



Figura 4. Relación de superficie (km<sup>2</sup>) de los bofedales altoandinos entre la estación seca y húmeda por cada año en la cuenca del río Mauri.

Por otro lado, la relación de superficie entre bofedales clasificados como permanentes o temporales (Figura 4), es de aproximadamente entre 20% y 30% dependiendo del año, superficie que varía de forma inversamente proporcionalmente entre ambos tipos de bofedal en un mismo año. Esto quiere decir que, cuando se observa disminución de superficie del bofedal clasificada como permanente, la superficie temporal aumenta, siendo el caso inverso, de observarse aumento en los bofedales permanentes.

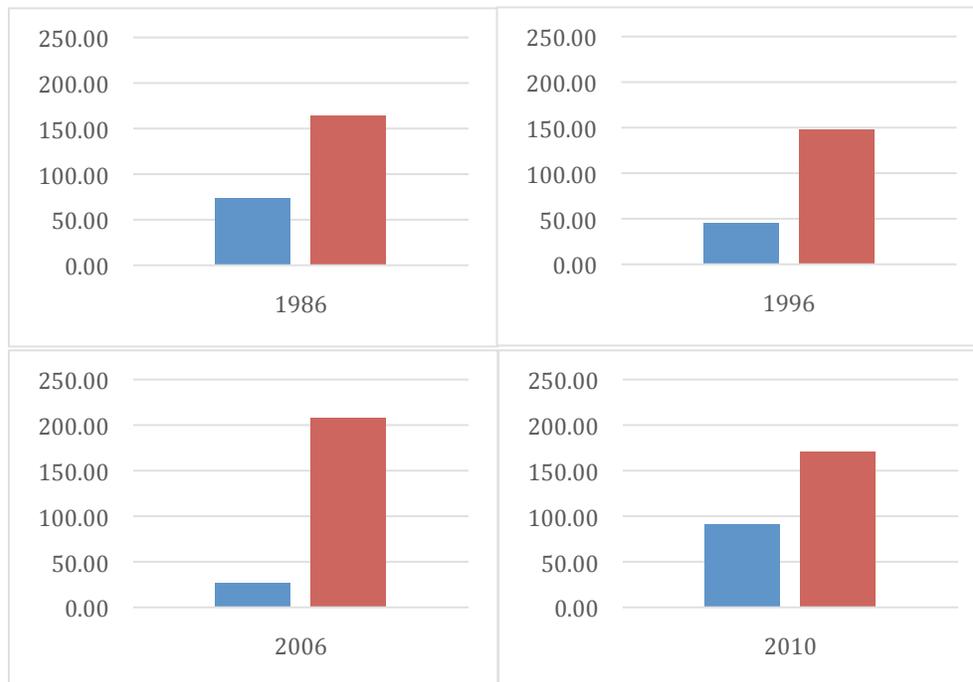


## ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE BOFEDALES ALTOANDINOS

La superficie total de los bofedales en la cuenca del río Mauri se puede estimar para el año 2013-2014 de 269,95 km<sup>2</sup> (Figura 6), con importantes fluctuaciones a través de los años y con una tendencia aparentemente ascendente. Sin embargo, la variación de superficie observada a través de los años no toma en cuenta de actividad fenológica de este tipo de vegetación, desconociéndose los picos máximos y mínimos de desarrollo de la vegetación de un bofedal, como para establecer un promedio de crecimiento en condiciones “normales” en la región para un momento dado del año (USGS, 2011<sup>1</sup>).

Tabla 2. Superficie total de los bofedales clasificados como permanentes o temporales en la cuenca del río Mauri.

Estacionalidad	Año			
	1986	1996	2010	2014
Temporal	73.64	45.17	91.19	60.47
Permanente	164.46	147.89	170.53	209.48
Total	238.11	193.06	261.72	269.95



<sup>1</sup> [http://phenology.cr.usgs.gov/ndvi\\_foundation.php](http://phenology.cr.usgs.gov/ndvi_foundation.php)

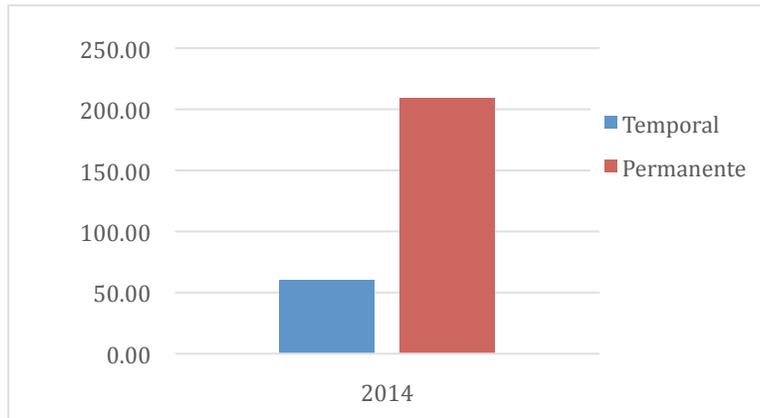


Figura 5. Relación de superficie entre los bofedales permanentes y temporales de la cuenca del río Mauri.

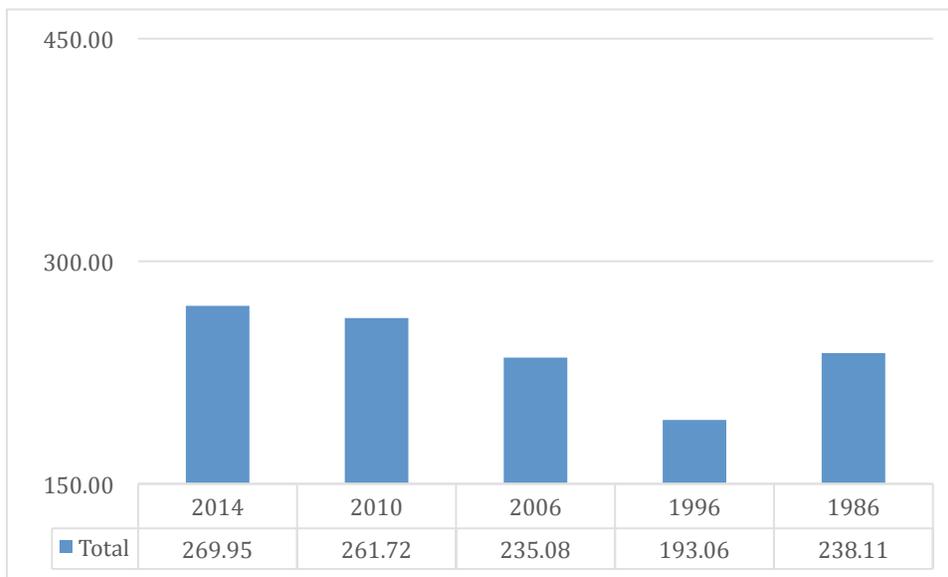


Figura 6. Evolución de la superficie total de los bofedales de la cuenca del río Mauri.

## 5.2 Uso de los bofedales

Los bofedales de la región son utilizados por las comunidades locales para áreas para el pastoreo de camélidos domésticos, alpacas y llamas (Melo 2014). Estos son manejados por las familias y estas poseen un número variable de ganado camélido, mayormente alpacas. El 36% de las familias entrevistadas poseían más de 500 animales y el 29% entre 100 y 200 (Figura 7a). Algunos de los bofedales son utilizados exclusivamente para el pastoreo de alpacas, y pueden llegar hasta 500 animales, mientras que otros son utilizados para el pastoreo de alpacas y llamas (Melo 2014).



## ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE BOFEDALES ALTOANDINOS

Los bofedales son utilizados como áreas de alimentación y también como fuente de agua para el ganado. El 45% de las personas utilizan agua de los bofedales para dar de beber al ganado, seguido por pozos (32%) y ríos (23%) (Figura 7b). Muchos de estos bofedales son utilizados intensamente durante todo el año para el pastoreo de ganado y soportan un alto número de cabezas de ganado. Debido a que la mayoría de los bofedales son pequeños, se encuentran sobrepastoreados y el número de animales que utilizan los bofedales sobrepasa la capacidad de carga actual de los mismos (Melo 2014). El sobrepastoreo es un agente importante de degradación y produce la pérdida de especies palatables, reduce la cobertura vegetal del bofedal, incrementa la erosión y disminuye la retención de agua por el suelo. La pérdida y degradación de los bofedales tiene impactos directos en la vida de los pastores puesto que produce el incremento de la mortalidad de ganado por falta de alimento y agua.

Los pastores coinciden al afirmar que los bofedales han sufrido importantes cambios durante los últimos años (Figura 7c). Una gran mayoría señala que solían tener más agua (36%), otros que eran más grandes (29%) y que eran más verdes (21%). También consideran que la mayor causa de degradación de los bofedales es la disminución de agua.

Las personas también consideran que es importante tomar acciones para contrarrestar la degradación de los bofedales. La única medida que ellos consideran es la instalación de bombas para riego de los bofedales (Figura 7d).

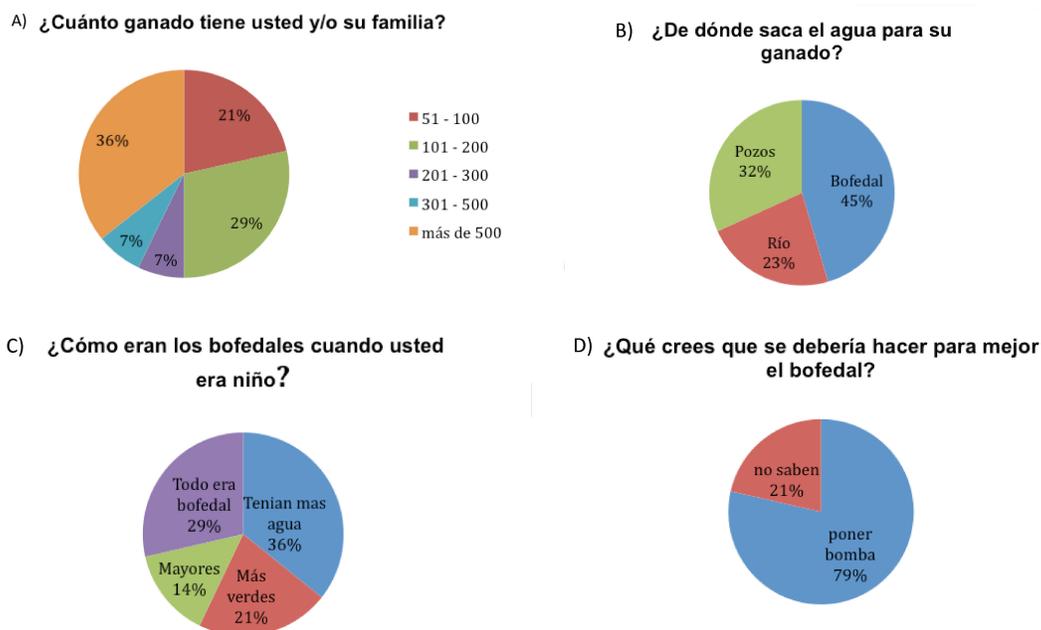


Figura 7. Percepción local sobre usos y cambios temporales de los bofedales altoandinos en la cuenca del río Mauri (Fuente: Melo 2014).



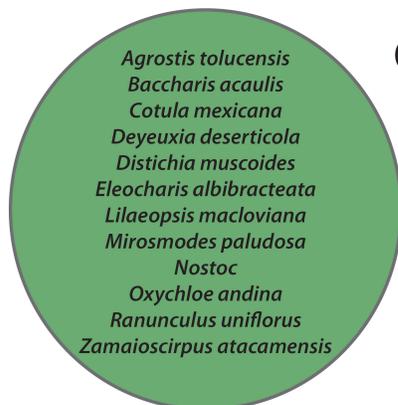
### 5.3 Composición de la vegetación

Los bofedales altoandinos estudiados en la cuenca del río Mauri presentan un total de 43 especies, incluyendo musgos. Los bofedales poseen mayormente hierbas y algunos pastos y en menor cantidad musgos y algas. A lo largo de los canales y ojos de agua, es común encontrar pequeñas hierbas semi-sumergidas como *Lilaeopsis macloviana* y otras acuáticas como *Ranunculus* sp. En los ojos de agua se encuentran particularmente algas como *Bolvox* (Domic 2014).

En promedio cada bofedal estudiado posee 26 especies (rango: 23 – 31). Los bofedales se encuentran dominados por muy pocas especies y la gran mayoría son poco comunes o raras. Algunas de las especies más comunes son *Ranunculus* sp., *Cotula mexicana*, *Deyeuxia rigescens*, *Lilaeopsis macloviana*, *Agrostis toluensis*, *Baccharis acaulis*, *Cuatrecasasiella argentina*, *Plantago tubulosa*, *Oxychloe andina*, *Juncus stipulatus* y *Zemioscirpus muticus* (Domic 2014).

Las especies de plantas que se encuentran en los bofedales son diferentes según el tipo de estacionalidad. Es decir, existen varias especies que se encuentran sólo en las zonas permanentemente inundadas. Muchas de estas especies son típicas de los bofedales y son mayormente pequeñas hierbas y algunas gramíneas, como por ejemplo *Cotula mexicana*, *Oxychloe andina*, *Distichia muscoides*, *Zameioscirpus atacamensis*, *Deyeuxia deserticola*, *Ranunculus uniflorus*, *Werneria pygmaea* y *Agrostis toluensis* (Figura 8). Por otro lado, en el caso de las zonas temporalmente secas, las especies más comunes son especies generalistas y que se encuentran comúnmente en pastizales. Algunas de las especies son *Deyeuxia rigescens*, *Salcocornia pulvinata*, *Geranium sessiflorum*, *Distichlis humilis* y *Zameioscirpus muticus* (Domic 2014).

#### Especies en zonas húmedas



#### Especies generalistas (habitan zonas húmedas y secas)



#### Especies en zonas secas

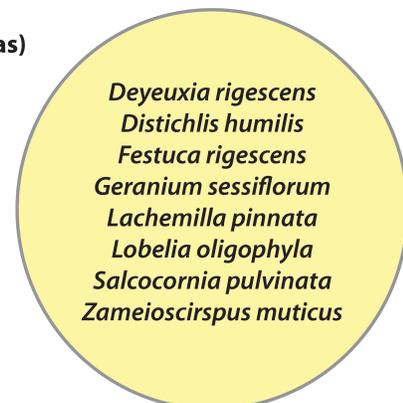




Figura 8. Especies que habitan las zonas húmedas y zonas secas en los bofedales altoandinos de la cuenca del Río Mauri (Fuente: Domic 2014).

#### 5.4 Fluctuación anual en el nivel freático en los bofedales

Los piezómetros instalados en tres bofedales altoandinos permitieron evaluar la fluctuación de agua de la capa freática por 10 meses (octubre 2013 – julio 2014). Los bofedales estudiados reciben agua de diferentes fuentes: el bofedal Kurajpucho recibe agua subterránea de ojos de agua, mientras que el bofedal Putani recibe agua del río Putani, el cual se origina en Perú, y el bofedal Jalaru del río Caño, cuyo origen está ubicado en Chile.

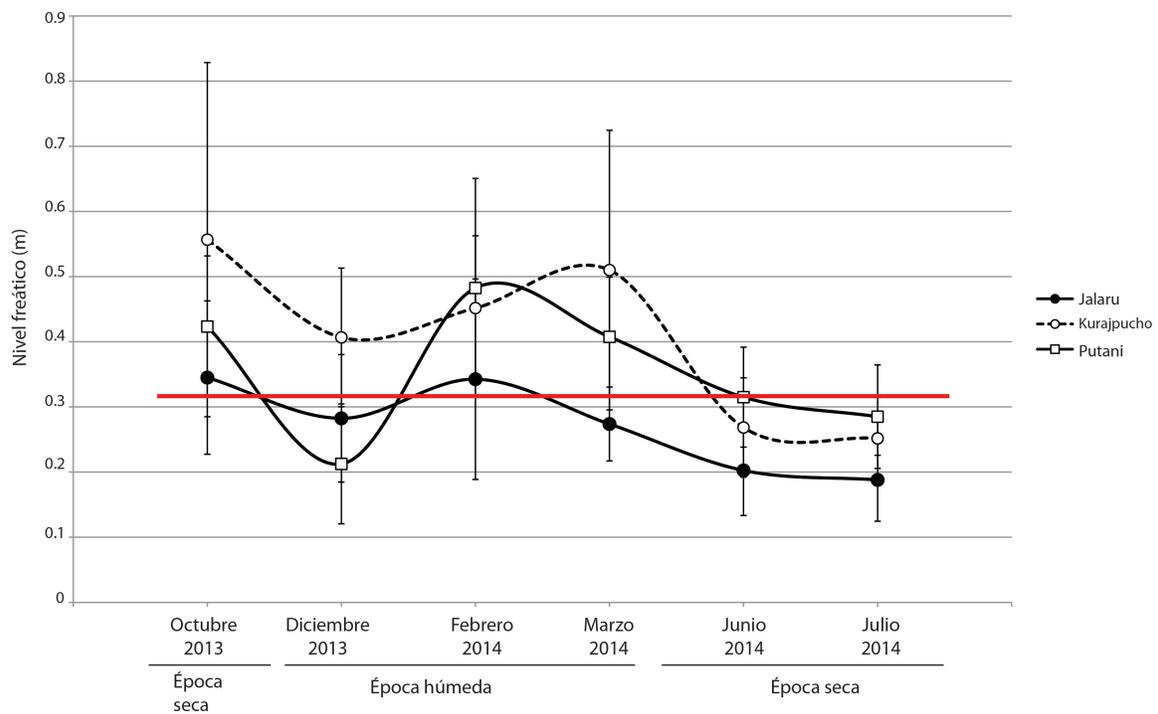


Figura 9. Variación en el nivel freático (m) en tres bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri. La línea roja representa el valor promedio anual (Fuente: Elaboración propia).

Comparaciones entre los tres bofedales muestran que el bofedal Kurajpucho fue el que registró los niveles freáticos más altos durante el tiempo de monitoreo, mientras que el bofedal Jalaru fue el que registró los valores más bajos (Figura 9). Es posible Kurajpucho posea niveles más altos en la capa freática porque recibe agua de ojos de agua permanentes a comparación de Putani y Jalaru que reciben agua de los ríos. Los niveles más altos en el nivel freático fueron observados entre durante la época húmeda, en particular entre febrero y marzo (nivel freático promedio: 0.35 m). En comparación, el nivel freático durante la época seca, junio y julio, fue de 0.25 m. Sin embargo, es importante mencionar que la época de lluvias (Noviembre 2013 – Marzo 2014) fue



particularmente seca porque sólo llovió hasta el mes de enero por lo que es muy probable que la recarga de los acuíferos que alimentan a los bofedales haya sido menor (Domic 2014).

### **5.5 Humedad de suelos en bofedales**

Los suelos de los bofedales poseen un alto contenido de agua en comparación a otros tipos de ecosistemas con suelos húmedos, como los páramos (Figura 10). Por ejemplo, los suelos de los bofedales del Sajama poseen en promedio 334% de humedad gravimétrica, es decir 5 veces mayor a los suelos de los Páramos del Ecuador sin intervención (69%) (Palabral 2011, León-Gordon 2014).

En la cuenca del Mauri, los suelos de los bofedales altoandinos poseen un alto contenido de humedad. La humedad gravimétrica promedio de los suelos fue de 185%. Los suelos de las zonas permanentemente inundadas, sin embargo, poseen 6 veces más humedad que las zonas temporalmente secas (345% y 55%, respectivamente) (Figura 10) (Domic 2014).

El contenido de humedad registrado en los bofedales de la cuenca del Mauri es 50% menor que el contenido de humedad de los suelos de los bofedales del Sajama (Palabral 2011). La diferencia en contenido de humedad está probablemente asociado con los bajos valores registrados en las zonas temporalmente secas (Domic 2014).

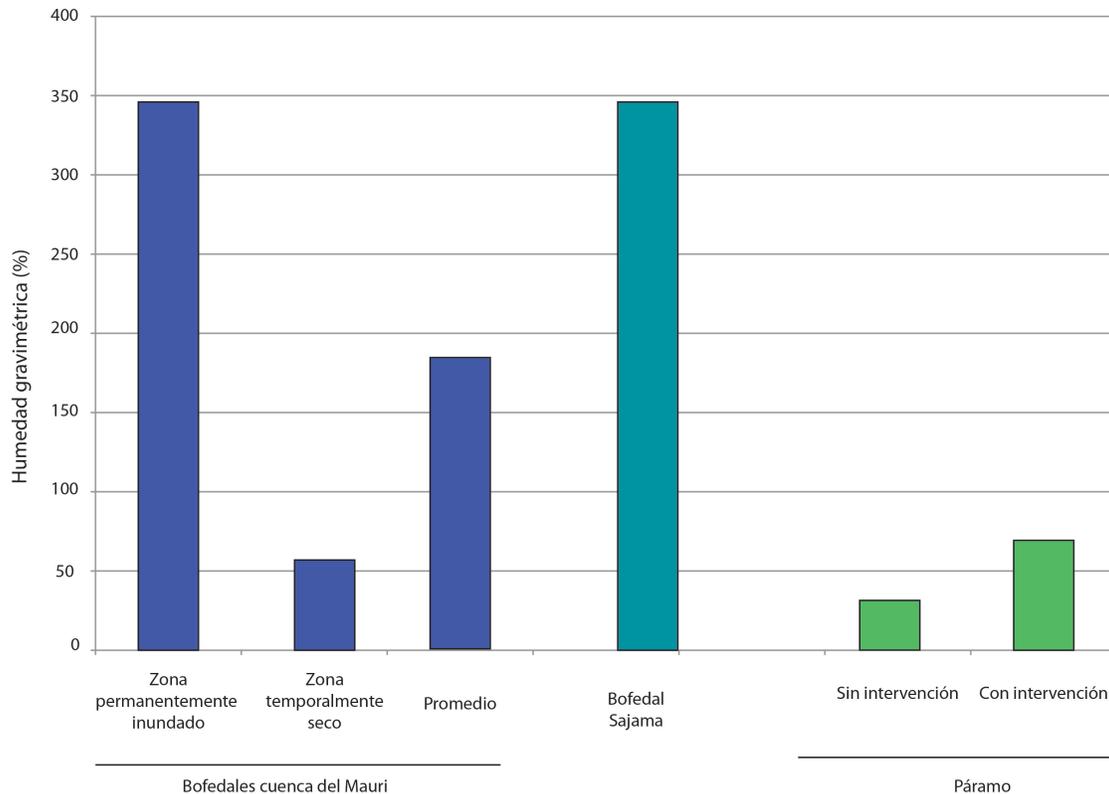


Figura 10. Humedad gravimétrica en suelos de bofedales de la cuenca del Mauri (Domic 2014), Sajama (Palabral 2011) y Páramo (León 2014).

## 5.6 Requerimiento de agua de los bofedales

A una escala local, el requerimiento de agua de los bofedales varía según la composición de las especies de plantas. El requerimiento de agua de una planta está asociado con el tipo de hábitat donde crece y la cantidad de agua que necesita para desarrollarse y crecer idóneamente. Por ejemplo, especies que viven en ojos de agua o en los canales de los bofedales necesitan de mucha más agua que una especie que habita las zonas secas o con sal (Domic 2014).

Para poder determinar el requerimiento de agua de las especies presentes en los bofedales de la cuenca del río Mauri, utilizamos la biomasa (peso seco) de cada especie como un indicador indirecto de desarrollo de la planta y lo relacionamos con la profundidad de la capa freática, como una medida indirecta de la cantidad de agua presente en el bofedal. Muchas de las especies típicas de los bofedales son sensibles a la sequía pero no mostraron una preferencia por zonas con una particular profundidad de la capa freática. La única especie anfibia, *Lilaeopsis macloviana*, mostró una mayor biomasa en zonas relativamente poco profundas (hasta 40 cm). *Eleocharis melanocephala*, una especie tolerante a la sequía posee una mayor biomasa en zonas poco profundas a diferencia de *Phylloscirpus deserticola* que se desarrolla mejor en



zonas con una profundidad de la capa freática entre 40 – 160 cm. La única especie resistente a la sequía, *Deyeuxia spicigera*, habita exclusivamente zonas temporalmente secas del bofedal pero con una profundidad desde 10 hasta 120 cm (Domic 2014).

## **5.7 Contenido de contaminantes naturales en bofedales**

El arsénico y boro son contaminantes con un origen natural en la cuenca del Río Mauri. Estos compuestos están presentes en el agua producto de la meteorización de las rocas volcánicas que se encuentran en zonas adyacentes a los ríos. Ambos compuestos son arrastrados hacia las aguas de los ríos por erosión hídrica o por la filtración subterránea.

### **5.7.1 Arsénico**

Los bofedales estudiados poseen altas concentraciones de arsénico en el agua, suelo y plantas. Existen algunas variaciones entre la época seca y húmeda pero aún así la concentración de estos compuestos se encuentran por encima de los límites permisibles de toxicidad en muchos casos. En el caso del arsénico, la concentración en el agua es en promedio es mayor a los límites considerados como permisibles para agua de riego según la legislación boliviana (Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de Bolivia, Decreto Supremo N° 24176) (Figura 11). La concentración promedio de arsénico es cercana a 0.06 mg/l y la concentración máxima registrada fue de 0.12 mg/l, dos veces encima de los límites nacionales (Domic 2014).

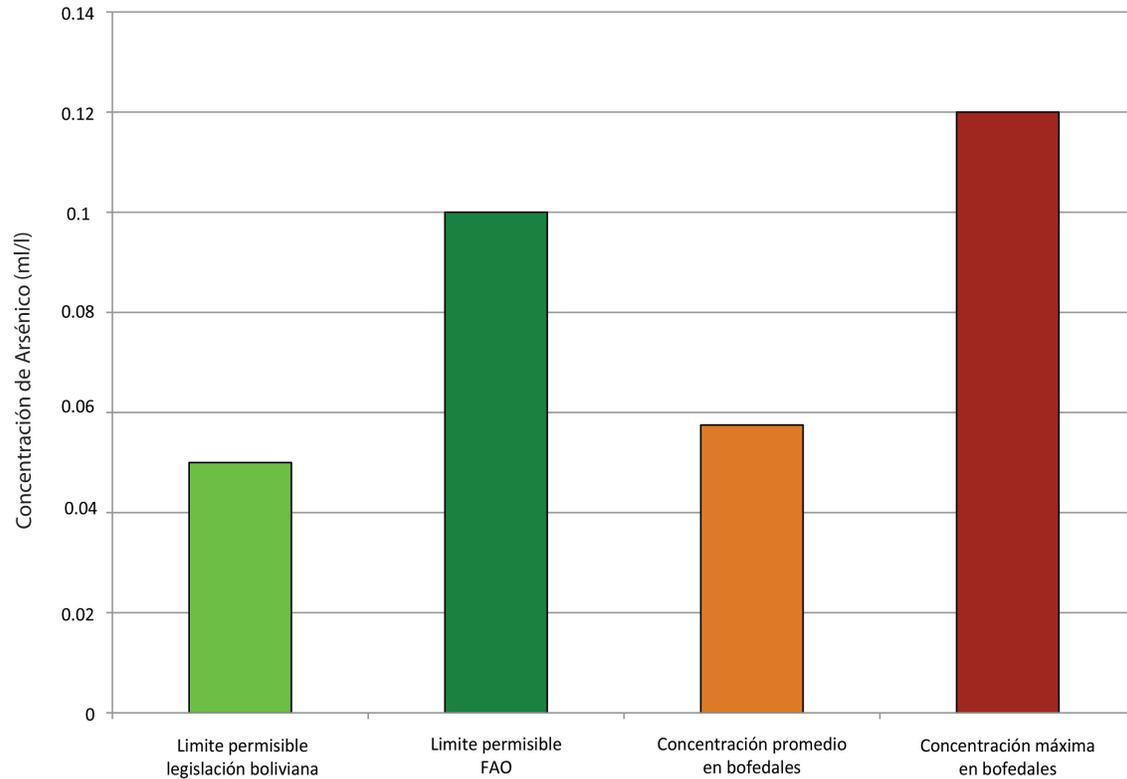


Figura 11. Concentración de arsénico en agua de bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri, se presentan adicionalmente los límites permisibles como referencia. (Fuente: Domic 2014).

Los suelos también poseen altas concentraciones de arsénico. La legislación boliviana no establece límites permisibles para suelos de uso agrícola, es por ello que se utilizan como referencia los límites establecidos por la FAO. En promedio, la concentración de arsénico en los suelos de los bofedales altoandinos se encuentra por encima del límite establecido (Figura 12). La concentración máxima de arsénico es el doble al límite permisible por lo que los suelos de los bofedales no son aptos para la agricultura (Domic 2014).

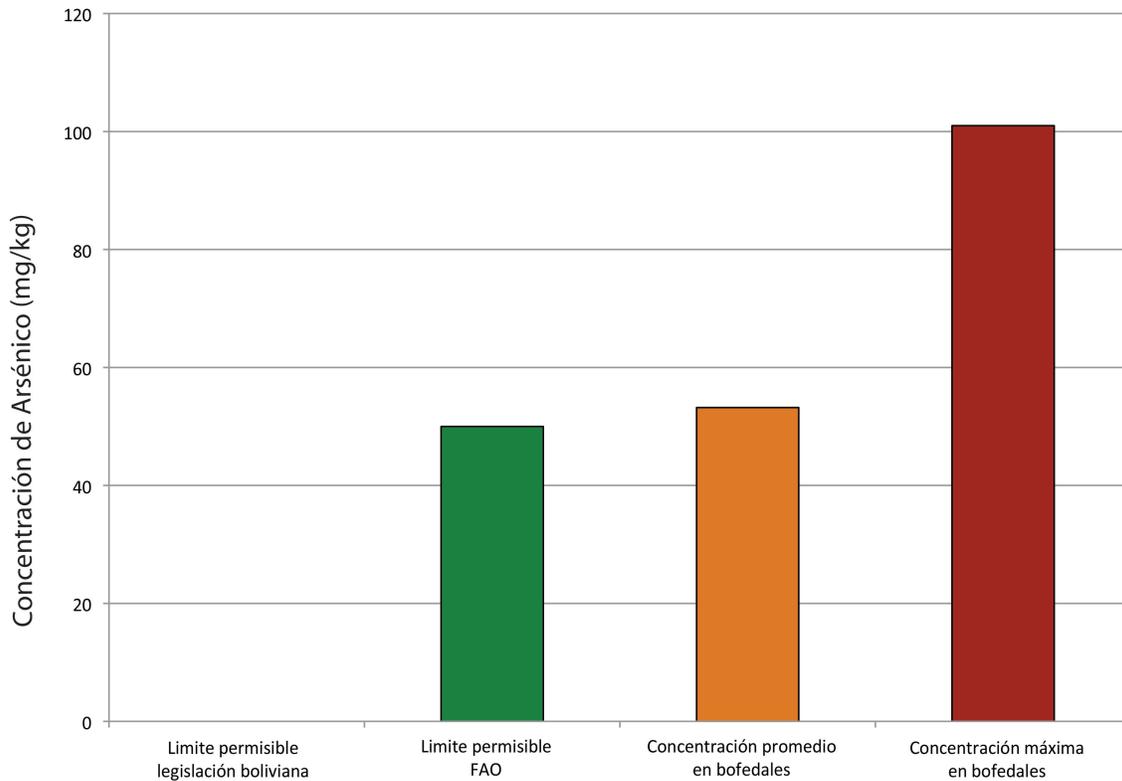


Figura 12. Concentración de arsénico en suelos de los bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri, se presentan adicionalmente los límites permisibles como referencia. (Fuente: Domic 2014).

En el caso de las plantas, éstas también registraron una alta concentración de arsénico en sus tejidos. Las concentraciones registradas en las plantas de bofedales se encuentran muy por encima de los límites considerados como tóxicos para las plantas (Figura 13). La concentración promedio de arsénico en plantas fue de 4.5 mg/kg, cuatro veces mayor al límite de tolerancia para plantas alimenticias. El valor máximo registrado en plantas de bofedales fue cerca de 8 mg/kg, el cual es dos veces mayor al límite de tolerancia por encima a plantas forrajeras. La alta concentración de arsénico en plantas está afectando su desarrollo y supervivencia puesto que este compuesto a altas concentraciones puede producir clorosis, necrosis de los tejidos e inhibir el crecimiento de las plantas (Domic 2014).



## ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE BOFEDALES ALTOANDINOS

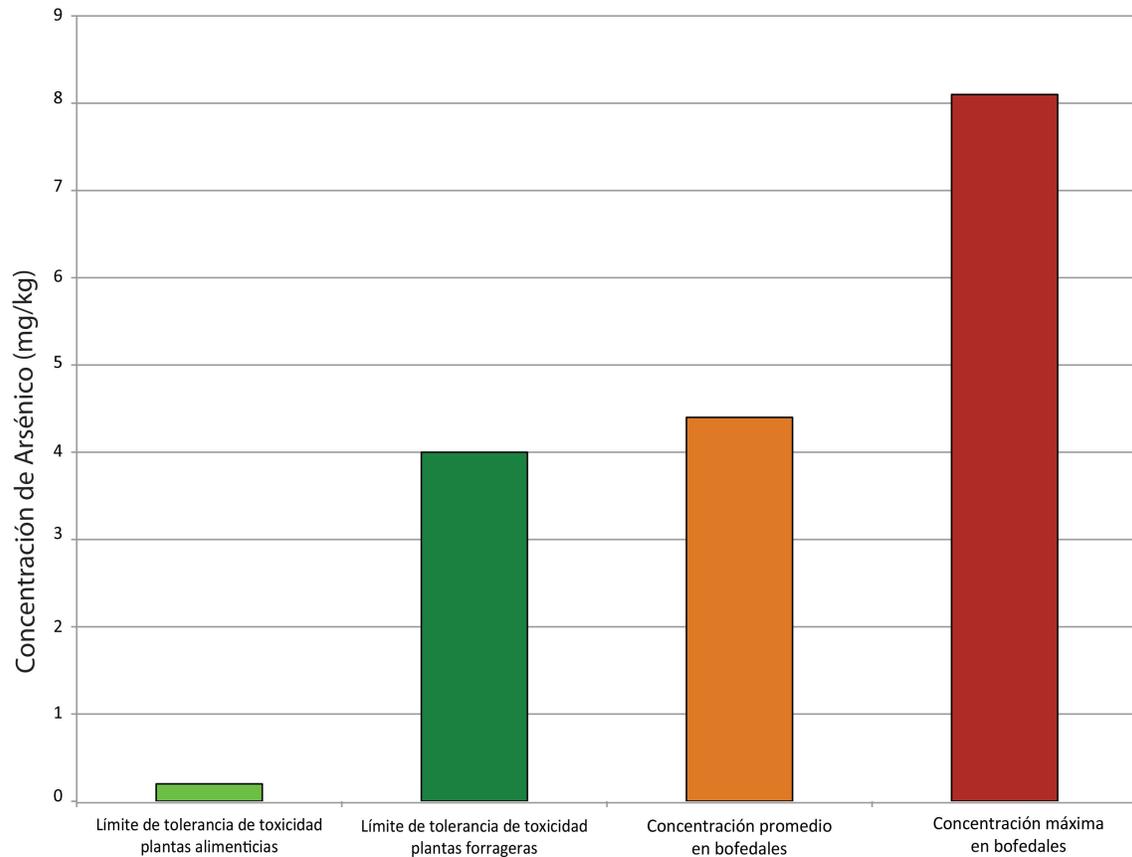


Figura 13. Concentración de arsénico en plantas de bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri, se presentan adicionalmente los límites permisibles como referencia. (Fuente: Domic 2014).

Comparaciones entre agua, suelo y plantas sugieren que el arsénico es retenido en los bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri (Figura 14). Las concentraciones de arsénico en el agua son muy bajas en comparaciones a aquellas en suelo y plantas. Los resultados muestran que el arsénico es mayormente retenido en el suelo de los bofedales para ser seguidamente absorbido y almacenado por las plantas (Domic 2014).

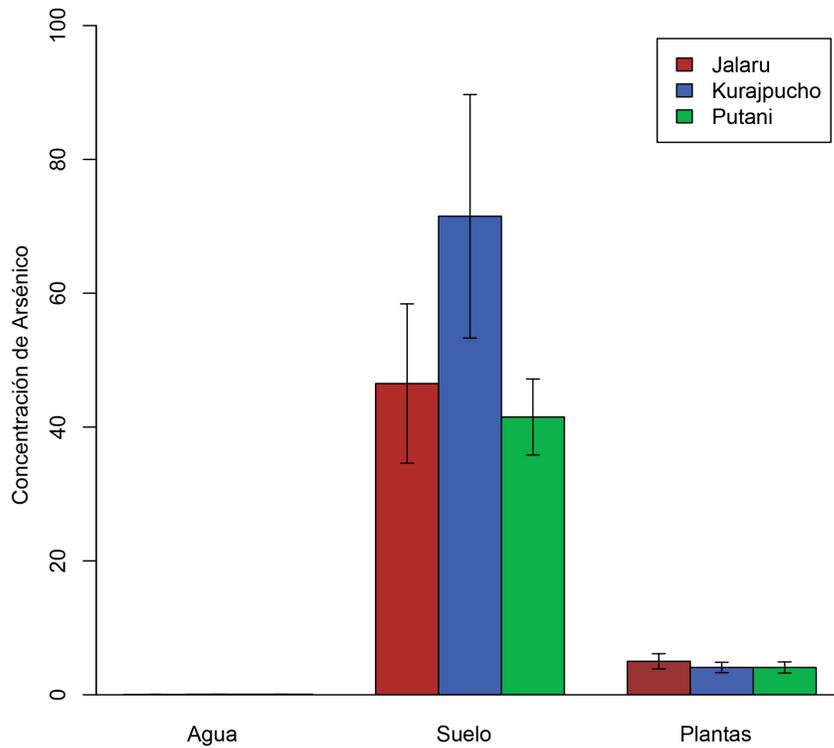


Figura 14. Comparación de concentración de arsénico en agua, suelo y plantas de tres bofedales altoandinos en la cuenca del río Mauri (Fuente: Domic 2014).

### 5.7.2 Boro

En el caso del Boro, la concentración en el agua también mostró altos niveles. La concentración de boro en el agua fue 7 veces mayor al límite permisible y la concentración máxima registrada fue 18 veces mayor al límite permisible en Bolivia. En este sentido, las altas concentraciones de boro hacen que el agua no sea aceptable para el consumo humano ni para el riego agrícola (Domic 2014).

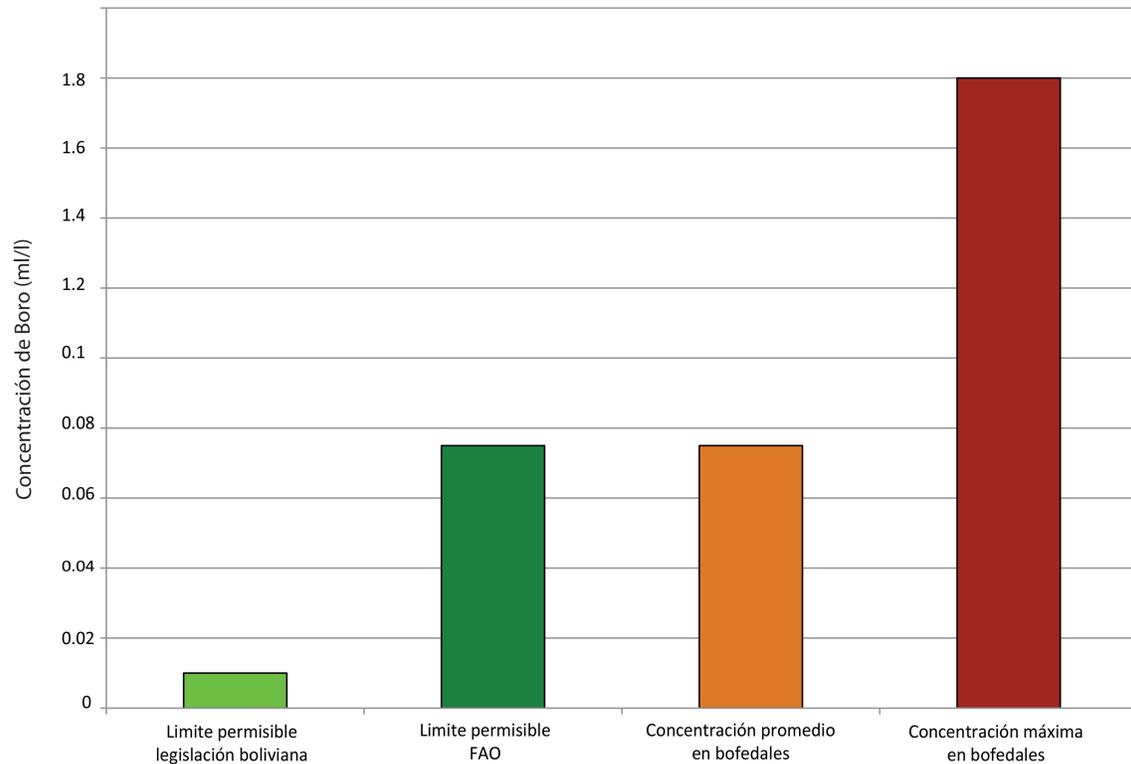


Figura 15. Concentración de boro en agua de bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri, se presentan adicionalmente los límites permisibles como referencia. (Fuente: elaboración propia).

Los niveles de boro en el suelos de los bofedales también son elevados. El límite permisible establecido por la FAO es de 50 mg/kg, sin embargo la concentración promedio de boro fue 8 veces mayor a este límite (410 mg/kg) (Figura 16). Incluso la concentración máxima registrada fue 14 veces mayor al límite considerado como permisible (730 mg/kg). Las altas concentraciones de boro en los suelos hacen que estos no sean aptos para la agricultura (Domic 2014).

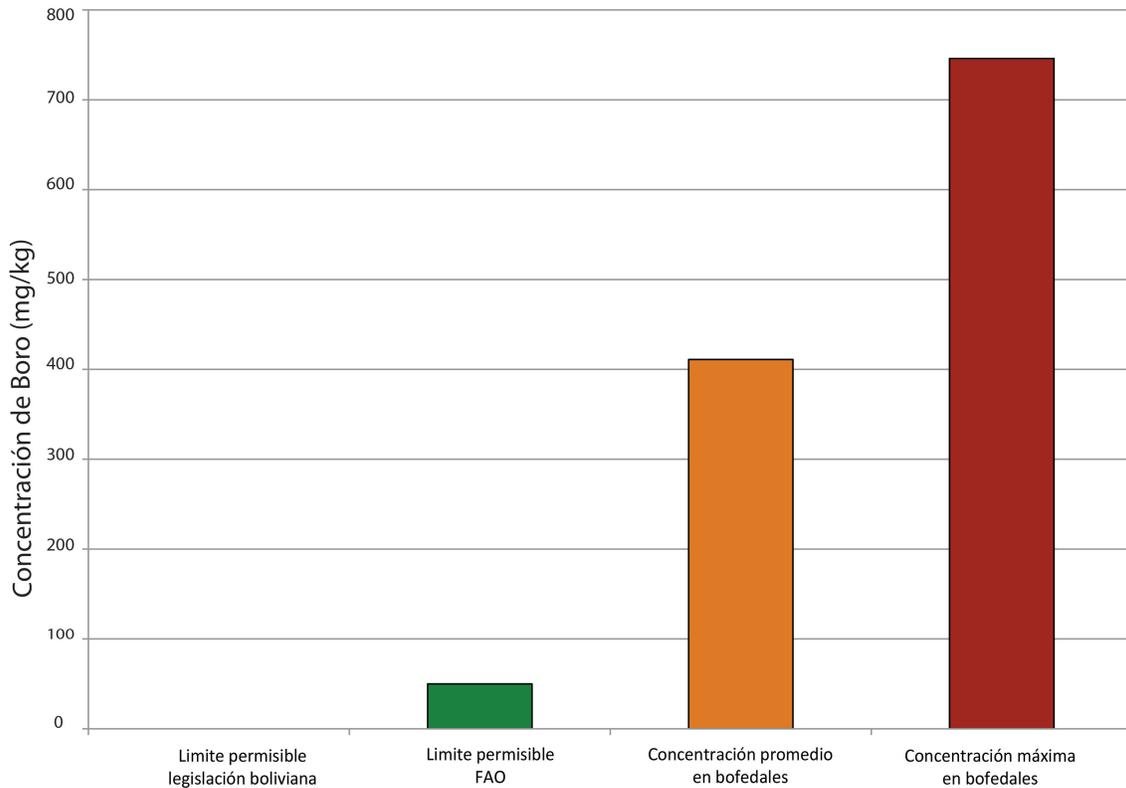


Figura 16. Concentración de boro en suelo de bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri, se presentan adicionalmente los límites permisibles como referencia. (Fuente: elaboración propia).

En el caso de las plantas, la concentración de boro considerada como tolerante para el crecimiento de plantas es de entre 2 y 10 mg/kg. Sin embargo, los resultados mostraron altas concentraciones de boro en los tejidos (Figura 17). En promedio las plantas poseen 580 mg/kg, es decir las concentraciones son 58 veces mayor a los límites de tolerancia. La concentración máxima de boro registrada en plantas fue de 1300 mg/kg, siendo 130 veces mayor al límite máximo de tolerancia de plantas (Domic 2014).



## ESTRATEGIA DE ADAPATACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE BOFEDALES ALTOANDINOS

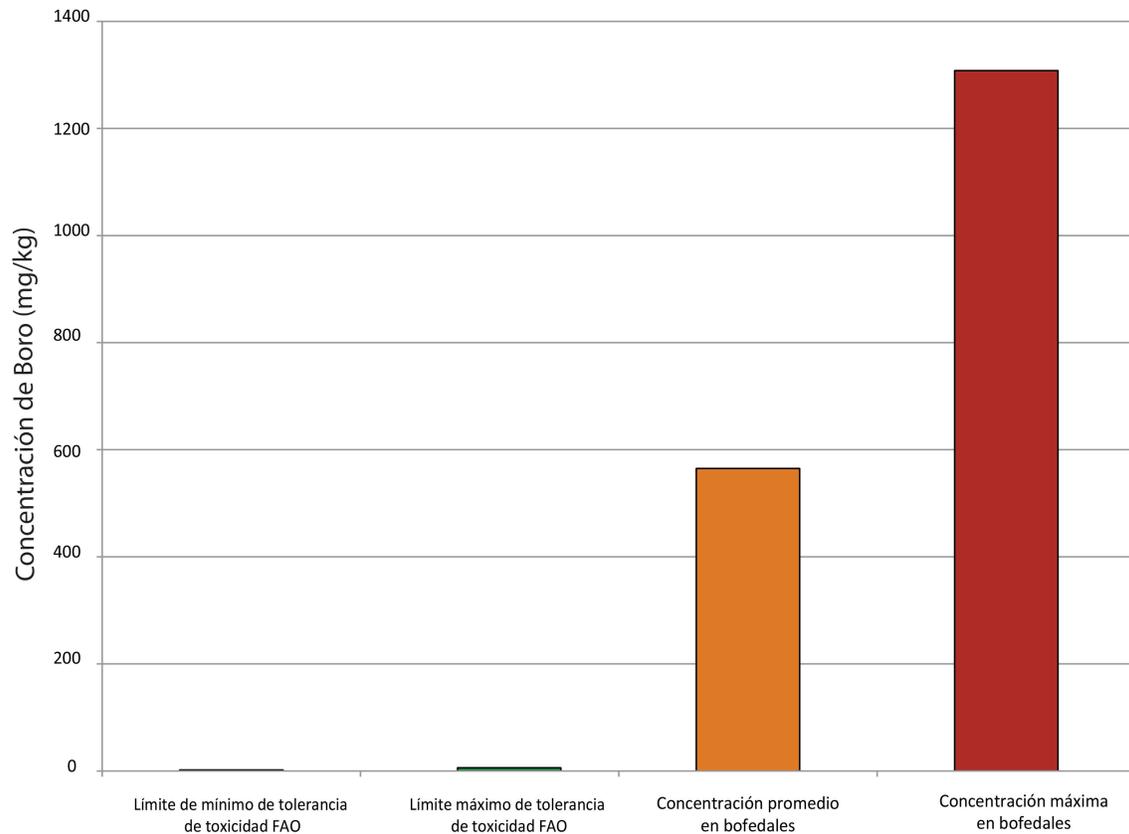


Figura 17. Concentración de boro en plantas de bofedales altoandinos de la cuenca del río Mauri, se presentan adicionalmente los límites permisibles como referencia. (Fuente: Domic 2014).

Comparaciones entre agua, suelo y plantas muestran que el boro es también retenido en los bofedales. Tanto los suelos como las plantas mostraron una mayor concentración de boro que el agua. En particular, las plantas de los bofedales son capaces de absorber el boro a través de las raíces y acumularlo en sus tejidos (Domic 2014).

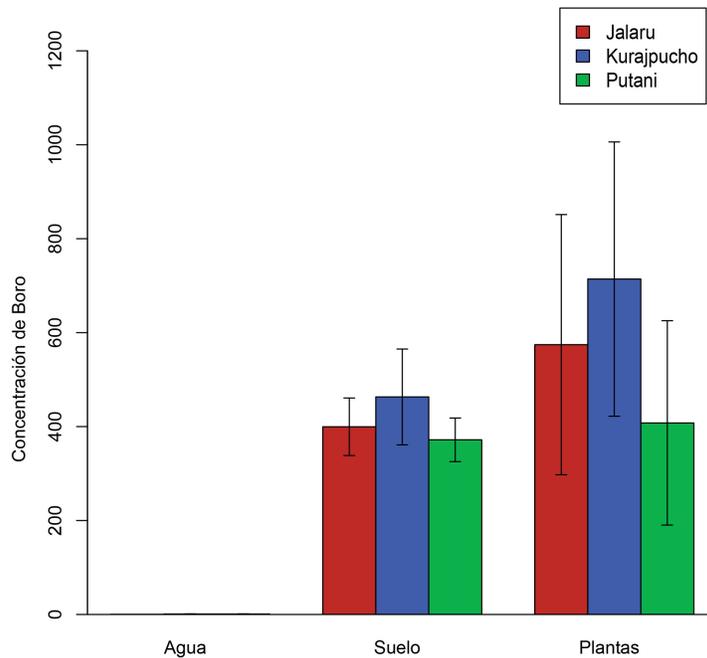


Figura 18. Comparación de concentración de boro en agua, suelo y plantas de tres bofedales altoandinos en la cuenca del río Mauri (Fuente: Domic 2014).

## 5.8 Cambio climático

### 5.8.1 Análisis patrones climáticos

En la región del Altiplano boliviano que incluye el sistema TDPS (Lago Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salares) se ha observado un incremento de la temperatura media anual a partir de la década del 70 (Figura 19) (Hernández & Molina 2014). Entre 1939 y 1998, la temperatura promedio se incremento en  $0.11^{\circ}\text{C}/\text{década}$  (Vuille & Bradley 2000). Sin embargo, el incremento fue mucho mayor entre 1974 y 1998, cuando se registró temperaturas de  $0.32$  y  $0.34^{\circ}\text{C}/\text{década}$  por encima de la temperatura promedio anual a nivel mundial (Vuille & Bradley 2000). El incremento de la temperatura es variable en el altiplano, La Paz y Oruro son las que han sufrido el mayor incremento de temperaturas,  $0.4^{\circ}\text{C}/\text{década}$  respecto a la media mundial. Asimismo, el análisis de patrones climáticos muestra que las temperaturas máximas se han incrementado más que las mínimas, incrementándose así la amplitud térmica diaria.

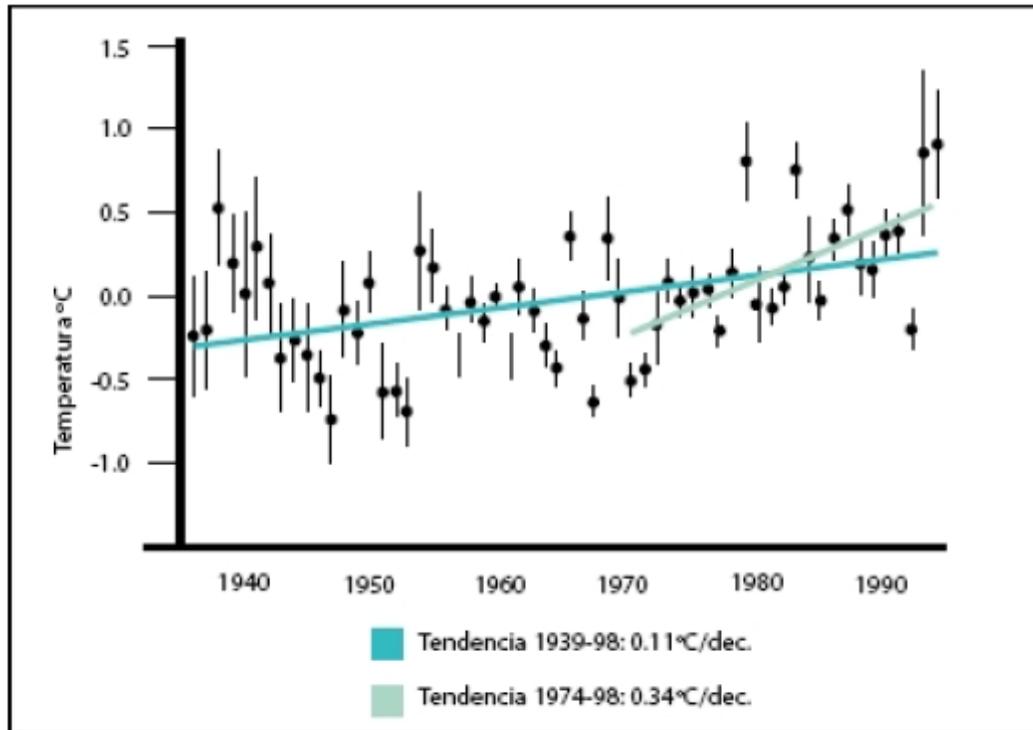


Figura 19. Cambio en la temperatura promedio anual en el altiplano boliviano entre 1939 y 1998 (Fuente: Hernández & Molina 2014).

En relación a los patrones de precipitación no se han observado cambios significativos durante las últimas décadas. Los cambios en la cantidad de lluvia y en la duración de la época húmeda no son significativamente diferentes a lo largo del tiempo (Hernández & Molina 2014). Sin embargo, si se observó un incremento significativo en la cantidad de lluvia precipitada durante la época seca, especialmente entre junio y julio, y una disminución a finales de la época seca (septiembre) (Hernández & Molina 2014).

En el caso de Charaña, la temperatura se ha incrementado en 0.007 °C/década entre 1949 y 2011 (Figura 20a). Si bien el incremento es menor que en Sajama, los datos muestran una tendencia clara. En el caso de la precipitación no se observaron cambios significativos, si bien la tendencia muestra un decrecimiento a lo largo del tiempo esta no es estadísticamente significativa (Figura xb).

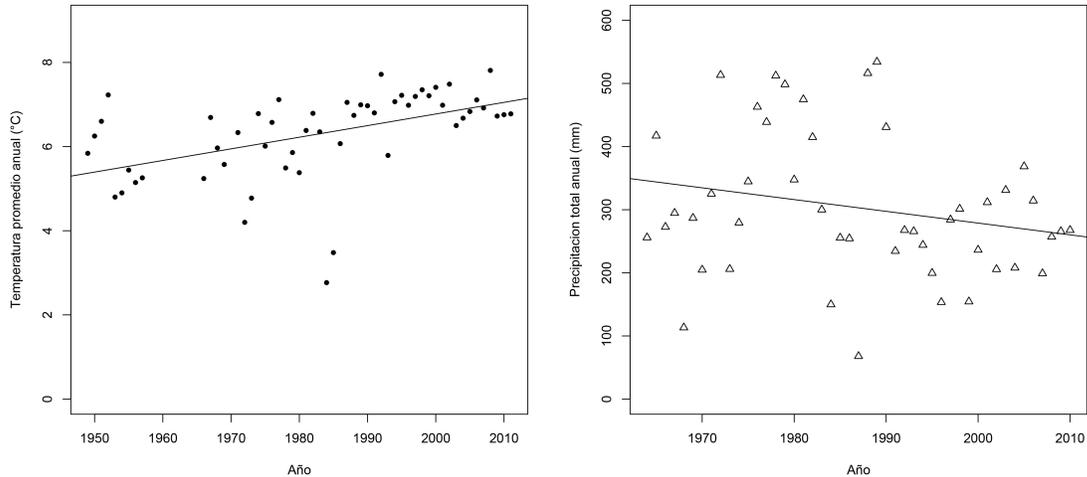


Figura 20. Cambio en la temperatura promedio anual (1949 - 2011) y precipitación total anual en Charaña (1964-2010), Bolivia. La línea de tendencia es estadísticamente significativa para la temperatura pero no para la precipitación (Fuente: elaboración propia).

Los cambios en el clima de la región también son observados en la zona del Sajama y Chungara en Chile. En el Sajama, la temperatura mínima se ha incrementado en  $0.046^{\circ}\text{C}$  durante los últimos 40 años (1977 y 2011). En el Sajama, se observa un incremento en la temperatura mínima durante la época húmeda (noviembre - febrero) de  $0.02^{\circ}\text{C}$  entre 2004 y 2001 (García 2013). En el caso de Chungará, la temperatura mínima también se incrementó en los últimos 25 años (1986-2011). Durante la época húmeda (noviembre – enero), la temperatura mínima incremento en  $0.046^{\circ}\text{C/año}$ , mientras que durante la época seca esta aumentó en  $0.02^{\circ}\text{C/año}$  (García 2012).

La temperatura máxima también a aumentado en las últimas décadas (2004 - 2011) en Sajama. Los mayores incrementos se observan durante los meses de transición entre la época seca y húmeda (octubre y noviembre) y viceversa (marzo y abril) (García 2012). En el caso de Chungará, la variación de la temperatura máxima a lo largo del tiempo no es significativa, observándose leves fluctuaciones. Sin embargo, la diferencia de temperatura mínima y máxima durante el día está declinando gradualmente con el tiempo, por lo que se espera que la amplitud térmica diaria disminuya gradualmente (García 2012).

En Calacoto y Patacamaya se registraron días y noches más calientes durante las dos últimas décadas (1990 – 2011). En el caso de Calacoto, el incremento de la temperatura



está atribuido con un incremento del número de días más calientes y una disminución del número de días fríos (Agua Sustentable 2013).

En la región del Sajama, la precipitación no muestra cambios significativos en el tiempo (García 2012). A excepción de la ocurrencia de eventos extremos como El Niño (ENSO) entre 1997 y 1998 que produjo una sequía en la región del altiplano boliviano (Agua Sustentable 2013).

Los modelos climáticos que proyectan cambios en la temperatura en el altiplano boliviano son numerosos y coinciden con un incremento en el futuro. El Modelo MIROC 32 predice que la temperatura máxima anual aumentará entre 1.5 y 3°C, la temperatura mínima entre 0.5 y 1.5°C y que la precipitación aumente entre 15 y 20 veces más respecto a la precipitación actual para el 2030 (Molina 2014). El modelo climático ECHAM 5 también proyecta que en el futuro, el altiplano se volverá más caliente. En el caso de Charaña, se espera que la temperatura mínima aumente entre 2 y 4 °C para 2050 (Molina 2014).

### **5.8.2 Percepción local del clima**

Los pobladores locales de la región del Sajama perciben cambios en el clima durante los últimos años. Una gran mayoría de la gente considera que la época de lluvias ha cambiado durante los últimos diez años. Los cambios en los patrones de la lluvia afectan la vida de los comunarios puesto que alteran la dinámica de pastoreo, asociado con un desecamiento de los bofedales, incremento de enfermedades en el ganado y pérdida de peso de las llamas y alpacas. Las personas reportaron que ahora las lluvias comienzan más tarde (diciembre) a diferencia del pasado cuando empezaba a llover en noviembre pero se han extendido un mes más, hasta mayo (Agua Sustentable 2013).

### **5.9 Implicancias de la investigación**

Los resultados del diagnóstico proveen importante información para establecer una línea base que permite definir los lineamientos estratégicos para la estrategia de conservación y adaptación al cambio climático de los bofedales altoandinos en la cuenca del río Mauri. Primeramente, los resultados muestran que los bofedales cumplen importantes servicios ecosistémicos, incluyendo retención de agua por los suelos, retención de contaminantes (arsénico y boro) y constituyen importantes áreas de pastoreo.

Los resultados muestran adicionalmente que los bofedales son dependientes de un flujo constante de agua y por ende son sensibles a la desecación. La disminución de la cantidad de agua que alimenta a los mismos, incluyendo el caudal de los ríos y las fuentes de agua subterránea, puede inducir la degradación de los bofedales. La reducción de agua afecta a los bofedales porque reduce el área irrigada y facilita la sedimentación de sales en la superficie que normalmente son lavadas por el agua. La



acumulación de sales en la superficie induce a la muerte de las especies típicas de los bofedales, poco tolerantes a la sal, y promueve la colonización de especies halófitas.

El desecamiento del bofedal produce el reemplazo de especies típicas de los bofedales por especies generalistas y típicas de pastizales, incluyendo mayormente gramíneas. La pérdida de especies de bofedales tiene efectos a su vez en las funciones ecológicas que los bofedales cumplen, puesto que las zonas secas tienen una menor capacidad de retención de agua y un menor contenido de materia orgánica.

La paulatina degradación de los bofedales también afecta a la vida de los pastores locales. En la región de la cuenca del Mauri, la economía está basada principalmente en la cría de camélidos, cuya carne y lana es comercializada en los mercados locales y ciudades. Los bofedales son utilizados como importantes áreas para el pastoreo de camélidos y constituyen una fuente importante de forraje y agua. La extinción local de las especies típicas de los bofedales produce la pérdida de especies forrajeras, que son la base alimenticia de las llamas y alpacas. Los comunarios consideran que en el Mauri, los bofedales han sufrido importantes cambios durante las últimas décadas. Entre las principales cambios se encuentran la reducción en área y el desecamiento de los mismos.

El análisis de patrones climáticos también muestran que durante las últimas décadas se ha producido un incremento de la temperatura. En el altiplano, la temperatura promedio anual se ha incrementado en 0.34°C/década y a nivel local, los registros climáticos muestran también un incremento tanto en Sajama como Charaña. Sin embargo, no se han registrado cambios importantes en la cantidad de lluvia que recibe la región. Adicionalmente los modelos climáticos sugieren que en el futuro, las temperaturas seguirán incrementándose y que es posible que la cantidad de lluvia precipitada también aumente.

Para poder establecer programas de conservación exitosos es necesario establecer parámetros que permitan definir cuando un bofedal se encuentra en buen estado de conservación y cuando se encuentra degradado. Sin embargo existen varias limitantes para poder definir parámetros, principalmente asociados con la escasez de estudios científicos publicados sobre cambios en las estructura física (p. ej., ciclo hidrológico, composición de nutrientes en los suelos, concentración de contaminantes) y biodiversidad debido a las diferentes actividades antrópicas a las que se encuentran sometidos los bofedales.

En este documento se presenta datos comparativos sobre la diversidad y concentración de contaminantes de los bofedales de la cuenca del Mauri, Sajama y del noroeste de La Paz. En el caso de la diversidad de plantas, las evaluaciones muestran que en promedio



## ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE BOFEDALES ALTOANDINOS

los bofedales poseen alrededor de 20 especies, a excepción de la zona del Tuni-Condoriri donde en promedio los bofedales poseen 90 especies y se han registrado hasta 160 especies. Es muy posible que la diversidad de especies, independiente del sistema de uso al que se encuentren, este asociado a la humedad de la región puesto que los bofedales del Mauri y Sajama poseen niveles similares de diversidad y ambos se encuentran en la región semiárida de Bolivia.

Tabla 3. Comparación de patrones de diversidad florística de bofedales.

Parámetro	Bolivia			Ecuador		Perú
	Mauri	Sajama	Tuni-Condoriri	Oña, Nabón, Saraguro		
Riqueza promedio de especies	26	23	17	90	9	20
Riqueza máxima	43	30	21	160	18	---
Diversidad de especies (Índice Shannon-Wiever)	2.8	---	5.9	3.5	4.3	2.9
Fuente	Domic (2014)	Palabral (2013)	Sandoval (2012)	Meneses (2012)	Gortaire (2010)	EISA (s/a)

A pesar de que los bofedales son considerados como ecosistemas que potencialmente podrían cumplir una importante función en la purificación de aguas contaminadas, existen escasos estudios que hayan cuantificado los niveles de metales pesados. Se presenta comparaciones de metales pesados entre bofedales altoandinos. En la cuenca del Río Mauri, el arsénico y boro registraron concentraciones mayores a las permisibles tanto en el 2007 como el 2014. En el caso de los bofedales de la cuenca Tuni-Condoriri, se encontraron altos niveles de hierro y plomo, asociados con actividades mineras. En estos bofedales, los niveles de arsénico se encontraron por debajo de niveles de detección.



Tabla 4. Concentración de metales pesados en bofedales altoandinos, numerosos en rojos indican concentraciones por encima de los límites permisibles.

<b>Metal Pesado</b>	<b>Cuenca Río Mauri</b>	<b>Cuenca Río Mauri (Río Kañu)</b>	<b>Cuenca Tuni-Condoriri</b>
Arsénico	0.05	2.263	0.00
Boro	0.07	9.203	---
Hierro	---	---	0.25
Plomo	---	---	16.8
Fuente	Domic (2014)	Orság et al. 2007	Meneses (2012)



## 6

**PLAN DE ACCIÓN****6.1 Visión estratégica de la conservación de los bofedales altoandinos en el Mauri**

Los bofedales altoandinos proveen importantes funciones ecosistémicas en la cuenca del río Mauri, incluyendo áreas de pastoreo de camélidos domésticos (llamas y alpacas), hábitat para vida silvestre, regulación hídrica, reducción de inundación y recarga de acuíferos. Durante los últimos años se han perdido bofedales debido a la degradación ambiental y el cambio climático.

Esta estrategia fue desarrollada para proveer una perspectiva y una visión sobre la conservación de los bofedales altoandinos. Para poder cumplir con los objetivos propuestos es necesario la coordinación de esfuerzos entre las agencias estatales, gobiernos locales y organizaciones no gubernamentales.

La visión a largo plazo es:

*“La cuenca del río Mauri se beneficiará de la mejora de la calidad del hábitat, calidad del agua y regulación del ciclo hídrico que están asociados con el buen estado de conservación de los bofedales altoandinos”*

**6.2. Lineamientos estratégicos**

La conservación de los bofedales debe ser una tarea integral que articule múltiples componentes. El manejo sustentable debe estar enfocado en desarrollar estrategias que permitan el manejo integral del ecosistema, considerando la dimensión humana, así como la dinámica cíclica que provocan cambios en el régimen hídrico entre la época húmeda y la seca. De este modo, se debe tomar en cuenta el estado de conservación, las características de los bofedales, realidad social y política. Las experiencias de manejo sostenible en humedales se han enfocado mayormente en el manejo de los ecosistemas para mantener ciertas condiciones del hábitat y el desarrollo de determinadas actividades económicas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los humedales son complejos y poseen una dinámica particular.

La gestión social de bofedales que implementan las comunidades andinas podría denominarse “gestión integral” si partimos del punto de vista de la “integralidad” de elementos que hacen a la gestión social:

- No consideran el bofedal como un ecosistema aislado, sino que lo integran con el resto de los ecosistemas a través de una gestión desde un enfoque de “territorio”.



- El manejo del ganado se plasma en una dinámica de pastoreo que logra aprovechar la diversidad de oferta forrajera en el tiempo (ritmos anuales) y el espacio (praderas de los diferentes pisos ecológicos).
- Al ser los bofedales uno de los principales recursos para asegurar su subsistencia, los pobladores deben además integrar la variable económica en la toma de decisiones de la gestión del bofedal.

La presente estrategia para la conservación y adaptación al cambio climático de los bofedales altoandinos se encuentra basada en siete pilares centrales (Figura 21), los cuales son desarrollados a continuación.



Figura 21. Lineamientos estratégicos para la conservación de bofedales altoandinos.

Los elementos claves para la priorización de la conservación de los bofedales altoandinos son:



#### ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE BOFEDALES ALTOANDINOS

- Priorizar la conservación en base a los productos deseados, por ejemplo, mejora de la calidad del agua, mejora de la calidad del hábitat, reducción de inundaciones.
- Mejorar la coordinación de esfuerzos para la conservación de los bofedales.
- Desarrollar y producir programas de conservación integrales viables en el tiempo y que produzcan beneficios a largo plazo.

### **6.3 Importancia de priorizar**

Priorizar es importante para la estrategia porque los recursos económicos son limitados y deben ser utilizados de manera que se obtenga la mayor ganancia. La conservación de los bofedales requiere implementar los programas en tierras públicas y privadas y su implementación depende de muchos factores que varían según la localidad y condiciones del lugar. Asimismo, muchas veces el financiamiento y los recursos técnicos no son muchas veces coordinados, como consecuencia el potencial de conservación disminuye.

La priorización implica la identificación de que tipo de acciones deben prevalecer para la conservación de los bofedales altoandinos, dependiendo de los objetivos de la conservación. Esto ayudará a que los tomadores de decisiones canalicen el financiamiento de manera más efectiva y se logren los mayores beneficios.

### **6.4 Políticas de conservación**

Las políticas públicas constituyen un instrumento importante para la conservación de los bofedales. Estas son efectivas y eficientes si contienen leyes y marcos normativos claros, si planifican y asignan recursos públicos, si cuentan con capacidad institucional y de gestión y si son capaces de concertar y contar con la participación de las organizaciones de la sociedad civil.

La promulgación de la Ley de Medio Ambiente de 1992, y reglamentos asociados, marca uno de los hitos más importantes en la conservación y manejo sustentable de la biodiversidad en Bolivia. Uno de los avances más importantes en esta Ley es el establecimiento de competencias para los distintos niveles del sector público, de esta manera se cuenta con niveles de decisión nacional, departamental y municipal, a los que se suman las autoridades sectoriales. Posteriormente, la Ley de Municipalidades y Nueva Constitución Política del Estado, junto a la Ley de Autonomías, marcan otros hitos sumamente importantes, ya que en diferentes medidas logran el empoderamiento de las regiones sobre los recursos naturales locales. La Tabla 2 incluye un resumen de las leyes y decretos relevantes a la conservación de humedales en el país.



Tabla 5. Leyes y decretos referentes al uso, conservación y manejo de humedales en Bolivia.

Ley/Decreto	Fecha	Consideraciones generales
Ley de aguas	28 de noviembre de 1906	Provee el marco general y tiene el objetivo de regular el uso y acceso al agua.
Ley No 12301, Ley de Vida Silvestre, Parques Nacionales, Caza y Pesca	14 de marzo de 1975	Establece el deber del Estado para conservar la biodiversidad, ambientes naturales y recursos naturales. Adicionalmente reconoce la obligación del Estado para educar, investigar, legislar, crear y conservar Áreas Protegidas y proteger especies en peligro de extinción.
Ley de Medio Ambiente, No 1333	27 de abril de 1992	Provee el marco general y tiene como objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.
Ley No. 1580	27 de julio de 1994	Aprueba y ratifica el Convenio de la Diversidad Biológica suscrito por Bolivia el 10 de junio de 1992 en la Conferencia de Río de Janeiro. Los objetivos del convenio son la "conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa de los beneficios resultantes de la utilización de los recursos genéticos".
Ley No. 1576	25 de julio de 1994	Aprueba y ratifica la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Reconoce que los ecosistemas montañosos son frágiles y particularmente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático. Se compromete a promover la gestión sostenible y apoyar con su cooperación a la conservación y el reforzamiento de los sumideros y depósitos de gases de efecto invernadero; cooperar en la adaptación al cambio climático; promover y apoyar la cooperación científica, tecnológica y técnica para entender las causas y efectos del cambio climático.
Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley de Medio Ambiente	8 de diciembre de 1995	El objetivo es regular la prevención de la contaminación y control de la calidad de los recursos hídricos. Define el sistema de control de la contaminación hídrica y los límites permisibles de los potenciales elementos contaminantes, así como de las condiciones físico químicas que debe cumplir un efluente para ser vertido en uno de los cuatro tipos de cuerpos receptores.
Decreto Supremo No. 24781, Reglamento General de Áreas Protegidas	31 de julio de 1997	Reconoce el deber del Estado de proteger el patrimonio natural del país, conservar y regular el uso sostenible de los recursos de la diversidad biológica. Bajo el marco de la Ley 1333 del Medio Ambiente establece los mecanismos para la administración, zonificación y reglamentación de las Áreas Protegidas.



## ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE BOFEDALES ALTOANDINOS

Ley No. 1777, Código de Minería	17 de marzo de 1997	El artículo 36 establece que los concesionarios mineros pueden usar y aprovechar aguas de dominio público para sus actividades pero poseen la obligación de protegerlas, restituirlas a su cauce natural, cumpliendo con lo establecido en el código minero, Ley de Aguas y Ley de Medio Ambiente.
Ley No. 2357	7 de mayo de 2002	La ley aprueba la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente con Hábitat de Aves Acuáticas (RAMSAR 1971) suscrita por Bolivia el 27 de junio de 1990. Su principal objetivo es "la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo".
Ley No. 3358	21 de febrero de 2006	La ley declara la necesidad y utilidad así como la recuperación, preservación, conservación y aprovechamiento sostenible de las praderas nativas ubicadas en el altiplano orureño, para mejorar y recuperar la disponibilidad de forrajes nativos. Si bien los humedales no se encuentran explícitamente citados se declara la importancia de realizar inventarios en microcuencas para realizar proyectos de cosecha de agua, para obtener principios fundamentales para la conservación y manejo de recursos naturales. Asimismo, resalta la importancia de la participación municipal para incorporar las demandas campesinas sobre el uso productivo de recursos naturales, en particular riego y uso del agua.
Nueva Constitución Política del Estado	25 de Enero de 2009	Establece lineamientos generales sobre los derechos y obligaciones en materia ambiental de los ciudadanos y de autoridades u organizaciones, así como la propiedad de los recursos naturales (del pueblo boliviano). También define criterios básicos relacionados a los recursos hídricos, entre ellos que es un derecho fundamental para la vida y no puede ser privatizado, que es posible su aprovechamiento sujeto a licencia, con protagonismo del Estado (Art. 373). El uso y manejo se basará en el aprovechamiento sustentable de las cuencas hidrográficas (Art. 375).
Ley No 300, Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien	15 de octubre de 2012	Ley marco que establece la visión y los fundamentos del desarrollo integral en armonía y equilibrio con la Madre Tierra para Vivir Bien, garantizando la continuidad de la capacidad de regeneración de los componentes y sistemas de vida de la Madre Tierra. Establece garantizar la conservación, protección, preservación, restauración, uso sustentable y gestión integral de los humedales, priorizando el uso del agua para la vida.
Ley No 404, "Ley de Recuperación, Conservación y Manejo Sostenible de los Bofedales"	18 de septiembre de 2013	La ley declara como prioridad la recuperación, conservación, uso sustentable de los bofedales. Establece el marco para investigar, restaurar, conservar y promover el manejo sostenible de los bofedales.

A pesar de los avances logrados en políticas de conservación, aún quedan vacíos normativos, en especial cuando se trata de humedales y dentro de estos los bofedales.



En este sentido, es obligación de la sociedad, poder hacer propuestas e innovaciones que permitan orientar mejor estas políticas públicas.

Al respecto, otro ámbito que es necesario desarrollar y profundizar es el relacionado a la sensibilización y concientización sobre la importancia de los servicios que dan los bofedales en los ecosistemas andinos y más aún en el contexto de cambio climático, donde puedan constituirse en un factor estratégico de resiliencia y adaptación.

### 6.5 Investigación científica

La investigación de los bofedales debe incluir varios aspectos asociados a la caracterización de estos ecosistemas. Estos incluyen aspectos genéricos y específicos a cuatro niveles: (1) *características*, caracterización de la composición biológica y físico-químicas; (2) *estructura*, caracterización de redes biológicas (e.j., cadenas tróficas) y su interacción con los componentes abióticos y (3) *procesos*, asociados con ciclos de nutrientes y procesos evolutivos; (4) *funciones ecosistémicas*, producto de las interacciones entre características, estructura y procesos (e.j., retención de nutrientes en el suelo, mantenimiento de redes alimenticias y regulación del ciclo hídrico local) y (5) *actividades productivas y desarrollo de la sociedades humanas*, tomando en cuenta que las actividades de la sociedad humana son la que producen la mayor perturbación en ecosistemas frágiles como los bofedales, es necesario profundizar en estudios sobre las actividades productivas (e.j., explotación de turberas, sistemas de pastoreo, pérdida de cobertura vegetal en áreas aledañas y actividad minera). Por otra parte, los estudios que ayuden a comprender la lógica de manejo tradicional de los sistemas productivos, ayudarían a entender las interacciones y complementariedad entre el bofedal y manejo del espacio y territorio.

Debido a la importancia social y económica de los bofedales es necesario expandir la investigación para identificar los beneficios que estos ecosistemas proveen a diferentes escalas (local, regional y nacional). La evaluación de los beneficios debe incluir aquellos directos que incluyen el uso de los bofedales para obtener agua, zonas de cría de ganado y la extracción de productos (por ejemplo, turberas, peces y plantas) así como los indirectos que incluyen funciones ambientales, como la retención de agua, recarga de acuíferos y fijación de nutrientes en el suelo, entre otros.

- ✓ **Programa de investigación.** El objetivo del programa es promover la realización de proyectos de investigación que ayuden a establecer la línea base del inventario de biodiversidad de los bofedales altoandinos. Asimismo, desarrollar investigación que cuantifique los servicios ecosistémicos que ofrecen y los efectos de la degradación ambiental producto de actividades antrópicas y

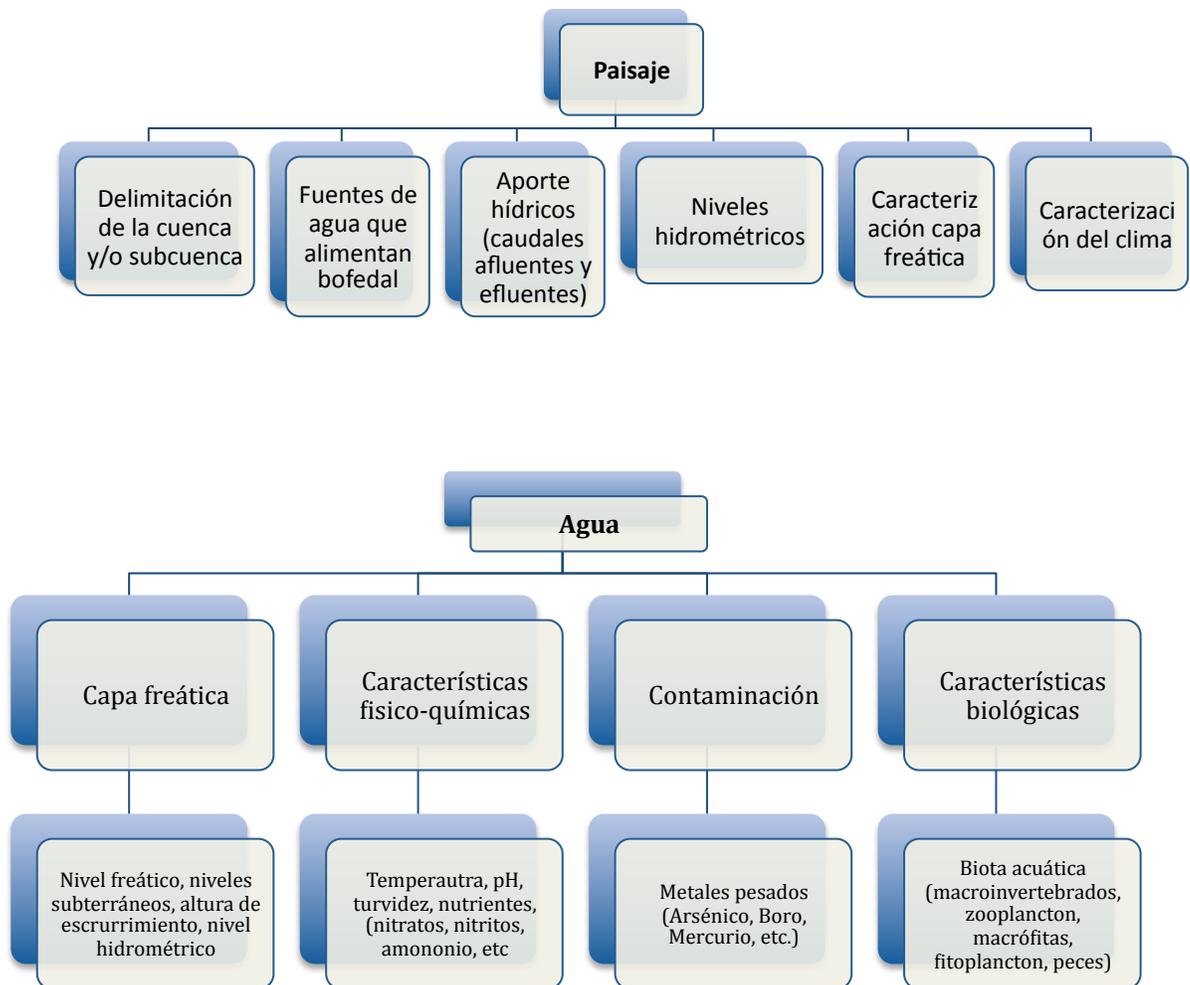


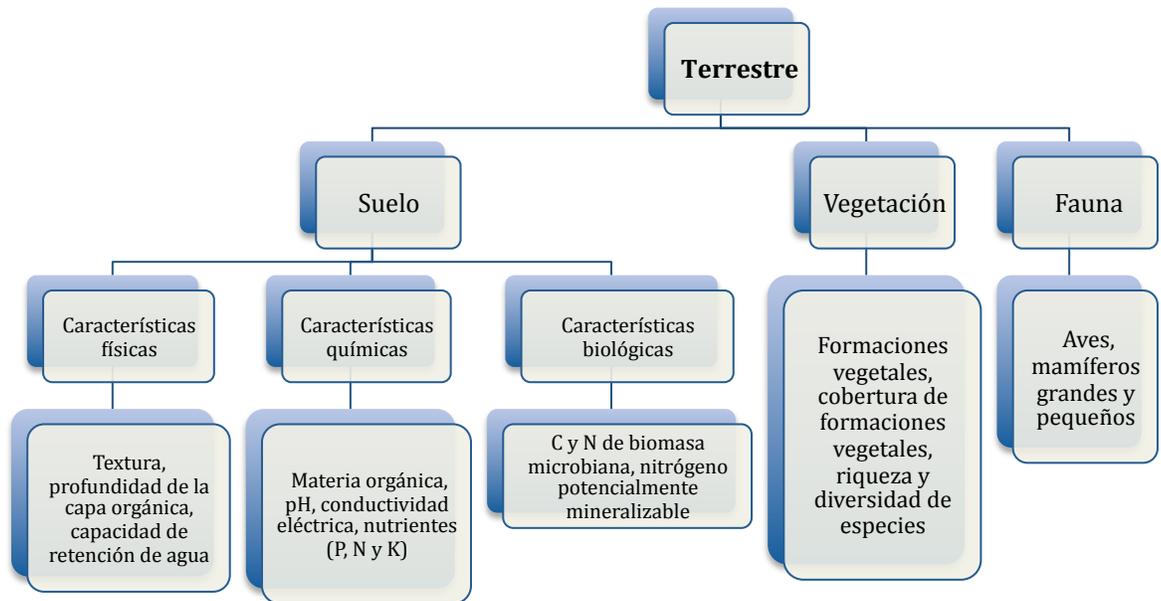
ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE BOFEDALES ALTOANDINOS  
cambio climático. La investigación se realizará dentro del marco de conservación de los bofedales y adaptación al cambio climático.

El programa de investigación debe incluir:

Establecimiento de una línea base: La línea base requiere de la caracterización de los bofedales altoandinos a dos escalas, una escala a nivel de paisaje la cual permitirá delimitar las características de la cuenca y otra a escala local que permitirá describir las características físicas (hidrología y suelos) y biota de los humedales (Figura 22).

Figura 22. Elementos para el establecimiento de la línea base de los bofedales altoandinos.





## 6.6 Sistema de monitoreo

El establecimiento de un sistema de monitoreo de bofedales constituye un aspecto de particular importancia para su conservación, especialmente considerando los efectos del cambio climático.

- ✓ **Programa de monitoreo.** El programa de monitoreo buscará determinar cambios temporales en los bofedales a diferentes escalas. Para establecer un sistema de monitoreo es necesario desarrollar un sistema que incluya: (1) inventario de la diversidad biológica, (2) mapeo de la distribución de los bofedales e (3) identificación de amenazas. Los sistemas de monitoreo incluirán diferentes escalas espaciales, los cuales permitan determinar cambios temporales y espaciales. A nivel de paisaje se realizará el seguimiento de los bofedales utilizando imágenes satelitales y sistemas de información geográfica (SIG) para determinar cambios en la distribución y cobertura de los bofedales a lo largo del tiempo. Mientras que a nivel local, se instalarán parcelas de monitoreo para evaluar cambios en la composición de especies de fauna y flora y su relación con las actividades humanas. Este programa proveerá con información crítica para desarrollar programas de conservación.

El **programa de monitoreo a escala de paisaje** consistirá en evaluar imágenes satelitales entre años y entre épocas (húmeda vs. seca) de un mismo año para



determinar cambios en el área total de los bofedales y cambios en la proporción de áreas permanentemente y temporalmente inundadas.

El **programa de monitoreo a escala local** se realizará considerando las características físico-químicas y característica bióticas de los bofedales. El monitoreo de las características físico-químicas se realizará en base a la instalación de **estaciones fijas de monitoreo** ubicadas en diferentes lugares dentro de los bofedales. Los parámetros físico-químicos a ser evaluados se detallan en la Tabla 6 y los parámetros biológicos a ser evaluados son detallados en la Tabla 7.

Tabla 6. Parámetros físico-químicos de monitoreo de los bofedales altoandinos.

Componente		Parámetros	Frecuencia evaluación
Características generales		Límite de la cuenca, identificación fuentes de aporte de agua	Una vez
Agua	Características físicas	Temperatura, turbidez, conductividad, profundidad de capa freática, caudal	Mensualmente
	Características químicas	pH, dureza, acidez mineral sólidos disueltos, sólidos en suspensión, oxígeno disuelto	Mensualmente
	Características biológicas	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbón Orgánico Total, Clorofila a	Mensualmente
	Contaminación	Bacterias (coliformes)	Mensualmente
		Metales pesados (Arsénico, Boro, Mercurio, Boro, etc.)	Periódicamente (semestral o anual)
Suelo	Características físicas	Textura, profundidad de la capa orgánica, capacidad de retención de agua,	Periódicamente (semestral o anual)
	Características químicas	Materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, nutrientes (P, N y K)	Periódicamente (semestral o anual)
	Características biológicas	C y N de biomasa microbiana, nitrógeno potencialmente mineralizable	Periódicamente (semestral o anual)



Tabla 7. Parámetros bióticos de monitoreo en bofedales altoandinos.

Grupo taxonómico		Unidad de muestreo	Parámetros	Frecuencia evaluación	Observaciones
Plantas acuáticas, semiacuáticas y terrestres		Parcelas permanentes	Riqueza (número de especies)	Periódico (semestral, anual)	Énfasis en especies en peligro, invasoras, indicadoras de degradación
			Abundancia (cobertura de cada especie)		
Aves (semiacuáticas, acuáticas y terrestres)		Estaciones fijas de muestreo	Riqueza (número de especies)	Semestral/ anual	Énfasis en especies en peligro
			Abundancia (número de individuos de cada especie)		
Anfibios		Estaciones fijas de muestreo	Riqueza (número de especies)	Anual	Énfasis en especies en peligro
			Abundancia (número de individuos de cada especie)		
Limnología	Macrófitas	Estaciones fijas de muestreo	Riqueza de especies, diversidad, biomasa	Periódico (semestral, anual)	Énfasis en especies indicadoras de calidad del agua y contaminación
	Macroinvertebrados				

- ✓ **Programa de monitoreo de sobrepastoreo.** Considerando en la región uno de las principales causas de la degradación de los bofedales altoandinos es el sobrepastoreo, se incluye un sistema de monitoreo específico. El programa busca evaluar el impacto del sobrepastoreo en la estructura y productividad de la vegetación, determinar fluctuación en el uso de los bofedales y determinar la capacidad de carga de los bofedales.

El programa de monitoreo requiere la instalación de parcelas permanentes de exclusión del ganado dentro de los bofedales, los cuales permitirán determinar cambios en la tasa de erosión y composición, diversidad y productividad de la vegetación. Las parcelas de exclusión consisten en jaulas forradas con malla milimétrica que evita que el ganado ingrese. Estas pueden ser de diferente



tamaño dependiendo el área del bofedal y los recursos. Se recomienda parcelas de 1 x 1 m<sup>2</sup> con una altura de 40 cm de alto. Las parcelas pueden ser evaluadas periódicamente, ya sea cada 6 meses o anualmente.

Tabla 8. Parámetros abióticos y bióticos del programa de monitoreo del efecto de sobrepastoreo.

Grupo	Unidad de muestreo	Parámetro	Indicadores	
Suelo	Estaciones permanentes de muestreo	Erosión	Porcentaje de suelo desnudo, porcentaje compactación del suelo	
Plantas	Parcelas permanentes con y sin exclusión de ganado	Estructura de la vegetación	Abundancia de especies forrajeras y palatables	
			Abundancia de especies sensibles al disturbio y/o en peligro	
			Abundancia de especies indicadoras de sobrepastoreo	
		Productividad	Biomasa (peso seco) por especie o grupo funcional, por ejemplo forrajera vs. no forrajera	
Animales domésticos	Transectos lineales de observación	Tipo de animal doméstico	Presión de pastoreo	Número de animales domésticos/días
		Número de animales /especie	Calendario de pastoreo	Número de animales/temporada
		Estructura etárea (crías, juveniles y adultos)	Capacidad de carga	
		Proporción de sexos		

### 6.7 Manejo sustentable de ganado

El manejo sustentable constituye una prioridad para la conservación de los bofedales, puesto que muchas comunidades indígenas dependen de estos para la ganadería tradicional. El manejo sustentable debe integrar el conocimiento multidisciplinario que permita determinar la capacidad de carga de los bofedales, tomando en cuenta la composición botánica y la dominancia de especies palatables para el ganado así como la estructura y composición de los pastizales aledaños.

- ✓ **Programa de manejo sustentable de ganado.** Los programas de manejo deben considerar la dinámica del pastoreo y estrategias de manejo de los rebaños, considerando ciclos naturales de corto y largo plazo. Para alcanzar el manejo



efectivo se incluirá el conocimiento tradicional sobre el manejo de los rebaños de camélidos domésticos, incluyendo la división de sexos y edades. Adicionalmente, considerando los efectos negativos del cambio climático y sus potenciales impactos en los bofedales, los programas considerarán diferentes escenarios asociados con la variabilidad climática y eventos adversos (por ejemplo, heladas, sequías y tormentas). Los programas adicionalmente implementarán prácticas para evitar el sobrepastoreo, por ejemplo ajuste de la capacidad de carga animal, manejo y mejoramiento de pastizales y conservación de forrajes. Los programas buscarán adaptar los sistemas actuales de uso de los bofedales y la dinámica social y económica.

- ✓ **Programa de pastoreo rotativo.** El programa es complementario al programa de restauración de bofedales y pastizales nativos puesto que ambos deben promover la mejora de la oferta alimenticia para el ganado. El programa integra el uso de los diferentes tipos de vegetación, incluyendo bofedales, pastizales y tholares. El ganado será movido de forma rotativa utilizando un calendario. Los intervalos de rotación serán determinados en base a la capacidad de regeneración del ecosistema y la capacidad de carga.

El programa consiste en mover a los animales de forma gradual entre parcelas dentro de los bofedales y otros tipos de vegetación de forma cíclica durante un periodo regular (Figura 23). Para la rotación, se tendrán parcelas bajo pastoreo y parcelas en descanso las cuales deben ser excluidas, utilizando mallas u otro tipo de materiales para evitar que el ganado ingrese a las mismas. Se sugiere utilizar rotar al ganado en un ciclo de aproximadamente 30 días, sin embargo este debe ser ajustado según las características de la vegetación así como la capacidad de recuperación de la misma. En el ejemplo la rotación se realiza en cuatro parcelas, donde los animales pasan 30 días en cada parcela y se cumple un ciclo de rotación a los 120 días



## ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE BOFEDALES ALTOANDINOS

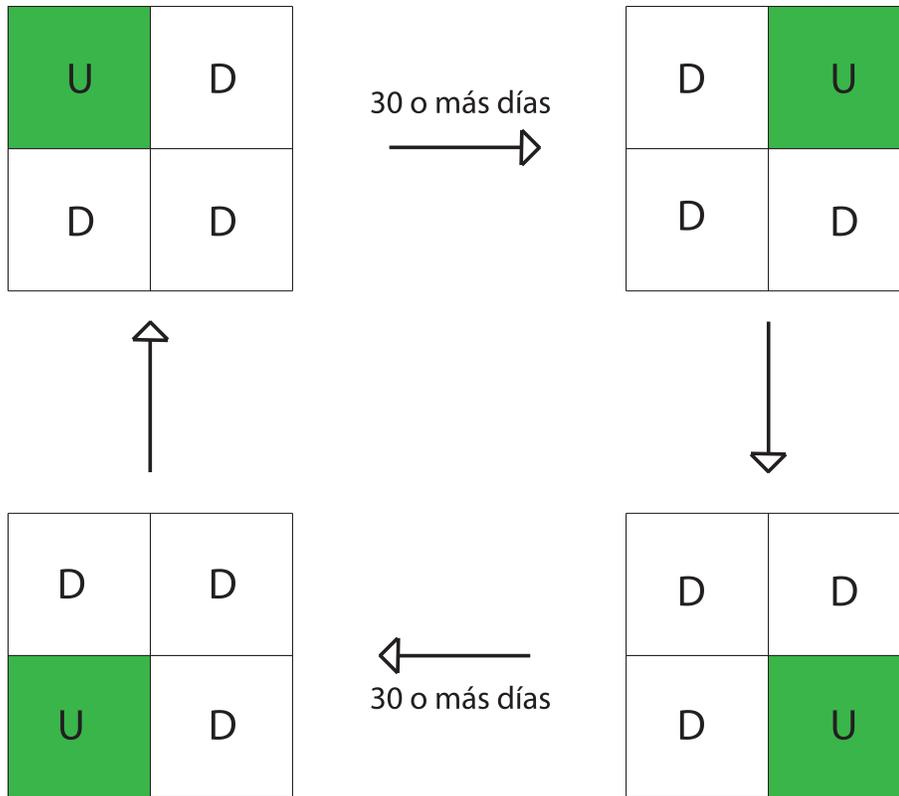


Figura 23. Programa de rotación de ganado en bofedales altoandinos. El área es dividida en subparcelas que evitan que el ganado se mueva entre ellas. Las parcelas con U son aquellas que son utilizadas por el ganado y D son parcelas en descanso.

- ✓ **Programa de mejoramiento ganadero.** El programa integra acciones de mejoramiento genético del ganado camélido, control de salud del ganado y sanidad animal para disminuir enfermedades e infecciones parasitarias. Adicionalmente el programa incluirá la construcción de infraestructura como dormideros y abrevaderos que permitan disminuir la mortalidad del ganado por el clima adverso y proveer fuentes de agua permanentes.
- ✓ **Programa de establecimiento y mejoramiento de pastos nativos.** Las llamas se alimentan de plantas que crecen en los bofedales y, adicionalmente, de pastos nativos. En la región se ha observado el sobrepastoreo de pastizales y su reemplazo por especies poco palatables y con bajo valor nutritivo. El programa promoverá la regeneración de pastos nativos a través de la exclusión rotativa de áreas de pastizales, transplante de patos nativos, fertilización de pastizales e instalación de ahijaderos, destinados para el pastoreo durante el estiaje. Como alimento complementario se analizará la posibilidad de cultivar especies forrajeras (por ejemplo, avena forrajera) que puedan ser suministradas tanto a alpacas como llamas.



El manejo y recuperación de pastizales implica una serie de técnicas que permitan recuperar y mejorar la calidad de los pastos nativos (Vega & Torres 2013). La práctica incluye:

1) *Instalación de cercos de manejo de pasturas*. Las áreas de pastizales protegidas evitan que ingrese el ganado y otros mamífero grandes con el objetivo de recuperar pastizales, facilitar la rotación de las áreas de pastoreo, excluir áreas con baja productividad o presencia de especies tóxicas, conservar pastos de reserva y controlar sobrepastoreo y erosión de suelos.

2) *Abonamiento*. La adición de materia orgánica a pasturas favorece la recuperación al incrementar los nutrientes y propiedades estructurales del suelo.

3) *Rotación de dormideros portátiles*. En algunos lugares el abonamiento de los suelos se lo realiza a través de los propios animales domésticos utilizando dormideros portátiles. Los dormideros son estructuras metálicas que son rotadas periódicamente que permite distribuir abono a diferentes áreas.

**Programa de diversificación económica.** El programa buscará la mejora la diversificación económica con el fin de reducir la presión en los bofedales e incrementar las ganancias per cápita. El programa determinará en primera instancia alternativas viables de producción y definirá proyectos de producción pecuaria en base a estudios de mercado y viabilidad de producción.

## 6.8 Restauración y repoblamiento

La restauración implica el reestablecimiento o rehabilitación de un bofedal degradado con el fin de restaurar las funciones naturales o históricas. La restauración puede incluir un amplio espectro de actividades que permitan reparar el daño ocasionado por disturbios humanos, promoviendo la recuperación de las comunidades biológicas y restablecimiento de los servicios ecosistémicos. Esta debe estar apoyada por investigaciones empíricas que realicen un seguimiento sobre el éxito de las actividades implementadas. Entre los vacíos de información que constituyen la base para la restauración de los bofedales se encuentran: 1) ecología de las especies vegetales dominantes, 2) resiliencia a disturbios y 3) patrones de sucesión vegetal.

Asimismo, esta actividad está sujeta a los objetivos propuestos, así como a las causas de degradación (Suding et al. 2005). La complejidad para implementar técnicas de restauración, puede variar marcadamente y depende de la complejidad local (Hodge & McNally 2000).



- ✓ **Programa de restauración de bofedales degradados.** En los bofedales degradados, incluyendo sobrepastoreo constituye la principal causa de pérdida y degradación, las actividades de restauración estarán enfocadas en reducir la presión por el ganado y promover la regeneración de las especies palatables y especies sensibles a disturbios. El programa considera la recuperación de las especies así como de los servicios ecosistémicos (p.ej., capacidad de absorción de agua de los suelos e incremento del contenido de materia orgánica en los suelos). El programa integra la investigación e implementación de infraestructura y medidas organizacionales para la recuperación de bofedales degradados.

Una de las técnicas para la restauración incluye la técnica de “transplante de bofedales”, la cual permite la recuperación de cubierta vegetal y composición florística. Esta técnica consiste en identificar bofedales cercanos que se encuentren en buen estado de conservación y donde la extracción de “tepes” no impacte de forma significativa. El programa consiste en cuatro fases: 1) preparación, 2) enriquecimiento de suelos, 3) diseño de sistema de riego, 4) transplante de tepes y 5) monitoreo (Coronel 2012). El programa debe ser participativo, incluyendo la participación de los municipios y habitantes locales, para ello se recomienda la elaboración de talleres y reuniones de capacitación e informativos que permitan mantener a los involucrados informados sobre el proceso de implementación del programa.





- ✓ **Programa de repoblamiento.** El programa implementará técnicas para repoblar especies típicas de los bofedales cuyas poblaciones se encuentren diezgadas producto de actividades antrópicas y cambio climático. El programa enfatizará especies sensibles a la degradación y típicas de los bofedales altoandinos, integrando investigación, técnicas de repoblamiento (p. ej., traslado de secciones de bofedal, introducción de especies nativas a través de semillas o esquejes, exclusión de áreas) y prácticas tradicionales de manejo de bofedales.

#### Evaluación

- Identificación de especies de interés para la conservación
- Determinación del estado poblacional de la especie de interés

#### Propagación

- Colección de semillas o esquejes
- Producción de plantas en viveros

#### Transplante de plantas

- Preparación del área de transplante
- Sembrado de plantas

#### Monitoreo

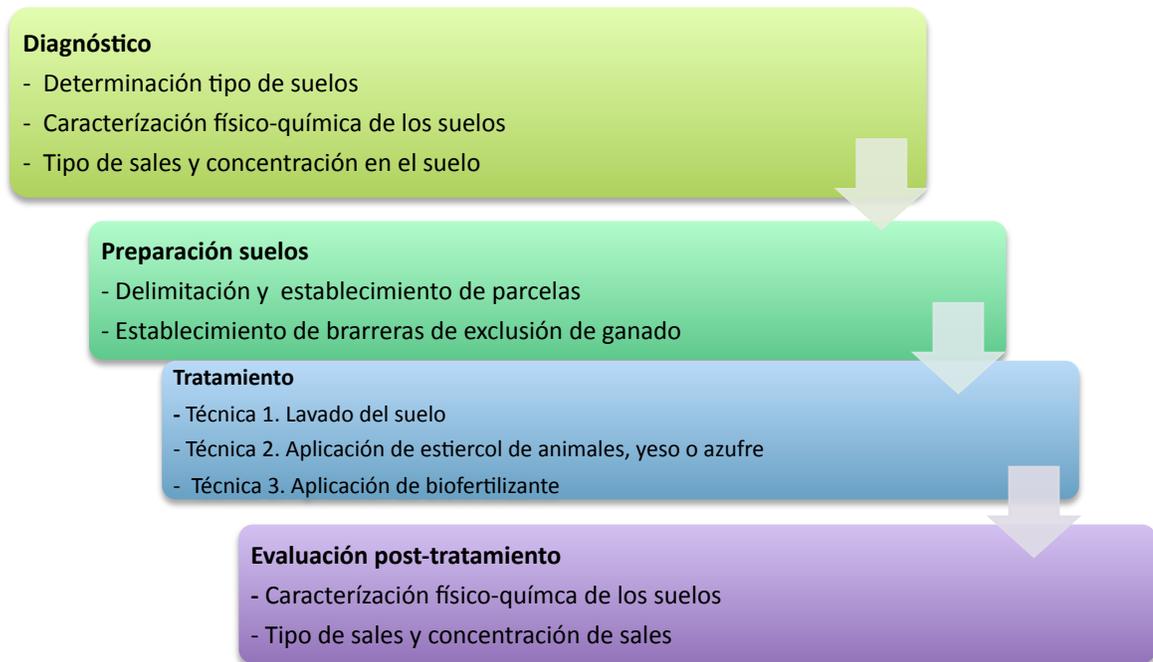
- Seguimiento de los individuos plantados
- Determinación de tasas de mortalidad y tasa de reclutamiento

- ✓ **Programa de riego.** Considerando que uno de los principales efectos del cambio climático será la reducción de los caudales y por ende la cantidad de agua que reciban los bofedales, el programa busca mantener y/o incrementar el área irrigada de los bofedales. El programa integra investigación e implementación de infraestructura y medidas organizacionales para la recuperación de bofedales degradados.
- ✓ **Programa de rehabilitación de bofedales salinizados.** Considerando que la degradación de los bofedales altoandinos está asociada a la salinización, el programa busca rehabilitar los suelos para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas. El programa de desalinización de suelos contempla principalmente cuatro etapas, la primera un diagnóstico del tipo de suelos y sales así como su concentración para determinar la técnica más óptima a ser empleada. Existe una variedad de técnicas que pueden ser utilizadas para



#### ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE BOFEDALES ALTOANDINOS

remover las sales almacenadas en los suelos, pero están sujetas al tipo de sales y su concentración. Las prácticas más simples incluyen el lavado de suelos y aplicación de estiércol de animales, mientras que existen otras que requieren un tratamiento más complejo como la aplicación de biofertilizantes, biopolímero y electromagnetismo (Zuñiga Escobar et al. 2011). Una vez aplicada la técnica para rehabilitar los suelos es importante evaluar la composición química del suelo, esto permitirá determinar si la técnica empleada fue exitosa o si es necesario aplicar otras técnicas.



### 6.9 Desarrollo de capacidades

Existe una necesidad de incrementar la sensibilización sobre la importancia de los bofedales y los servicios que proveen a la población. La sensibilización debe enfocarse los beneficios, biodiversidad y servicios ecosistémicos que proveen los bofedales.

Adicionalmente, existe una necesidad de reconocer a los bofedales como componentes importantes de los ecosistemas andinos y resaltar su sensibilidad a actividades antrópicas y el cambio climático. Es importante resaltar el rol que cumplen en el manejo de camélidos y los conocimientos tradicionales asociados con el manejo local.

- ✓ **Programa de educación ambiental.** El programa buscará incrementar la sensibilización de la población local sobre la importancia de los bofedales altoandinos (biodiversidad y servicios ecosistémicos), los efectos de las actividades humanas y cambio climático en la degradación de los bofedales y la



importancia de la gestión integral de los mismos para alcanzar un uso sustentable.



## 7.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Agua Sustentable. 2013. Plan de adaptación al cambio climático del Parque Nacional Sajama. Agua Sustentable, La Paz.
- Ahumada, M., F., Aguirre, M. Contreras & A., Figueroa. 2011. Guía para la conservación y seguimiento ambiental de humedales andinos. Gobierno de Chile, Chile.
- Alzérreca, H., Luna, C.D., Prieto, C.G., Cardozo, G.A., and Céspedes, E.J. 2001. Estudio de la capacidad de carga en bofedales para la cría de alpacas en el sistema TDPSBolivia. Informe final de consultoría, subcontrato 21.11. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD/GEF), Autoridad Binacional del Lago Titicaca (ALT), Gerencia de Biodiversidad, Asociación de Ganaderos de Camélidos (AIGACAA), La Paz.
- Anderson, E.P., J. Marengo J., Villalba, S. Halloy, B. Young, D. Cordero, F. Gast, E. Jaimes & D. Ruiz. 2011. Consecuencias del cambio climático para ecosistemas y servicios ecosistémicos in los Andes Tropicales. En: Herzog, S.K., Martínez, R., Jorgensen, P. M., Tiessen, H. 2011. Cambio climático y biodiversidad en los Andes Tropicales. Inter-american Institute for Global Change Research (IAI) & Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). [http://www.iai.int/files/communications/publications/scientific/Climate\\_Change\\_and\\_Biodiversity\\_in\\_the\\_Tropical\\_Andes\\_SP/libro\\_completo.pdf](http://www.iai.int/files/communications/publications/scientific/Climate_Change_and_Biodiversity_in_the_Tropical_Andes_SP/libro_completo.pdf)
- Beck, S., A.I. Domic, C. García, R.I. Meneses, K. Yager, S. Halloy. 2010. El Parque Nacional Sajama y sus plantas. Herbario Nacional de Bolivia, La Paz.
- Bradley, R.S., M. Vuille, H.F. Diaz & W. Vergara. 2006. Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science* 312: 1755-1756.
- Buytaert, W., R. Celleri, B. DeBievre, F. Cisneros, G. Wyseure, J. Deckers & R. Hofstede. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews* 29: 53-72.
- Chuvienco, E. 1995. Fundamentos de teledetección espacial. Rialp, S. A., Madrid.
- Coronel, J.S. 2009. Bofedales de la cuenca del río Mauri: vegetación y características físico-químicas. Informe. Agua Sustentable, Cochabamba.
- Coronel, J. 2012. Elaboración de una propuesta para la implementación de un área piloto - demostrativa de restauración paisajística en zonas de explotación aurífera en la cuenca del Río Suches (Apolobamba, Bolivia). Informe. Agua Sustentable, Cochabamba.
- Departamento Autónomo de La Paz (DALP). 2012. Plan de desarrollo del Departamento Autónomo de La Paz (PDDA - LP) al 2020. Departamento Autónomo de La Paz, La Paz.
- Domic, A. 2014. Rol de los bofedales en el ciclo hidrológico de la cuenca del desaguadero. Informe final, Agua Sustentable. La Paz.



- Estensoro, S. 1991. Los bofedales de la cuenca alta del valle de La Paz. En: Forno, E. & M. Baudoin. Historia Natural de un valle en Los Andes: La Paz. Instituto de Ecología, La Paz. Pp. 109-121.
- Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews* 55: 73-106.
- García, E. & S. Beck. 2006. Puna. En: M. Moraes R., B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev (Eds.). *Botánica Económica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2006: 51-76.
- García, M. 2012. Análisis agroclimático y del sistema productivo del Parque Nacional Sajama en base a información climática y de análisis de imágenes satelitales. Informe. Agua Sustentable, La Paz.
- Hernández Rodríguez, D. & J. Molina Carpio. 2014. Selección y análisis de Modelos Climáticos Globales futuros para escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC. Informe. Agua Sustentable, La Paz.
- Herzog, S.K., M., Rodney, P.M., Jørgensen & H. Tiessen (Eds.). 2012. *Cambio climático y biodiversidad en los Andes Tropicales*. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global, Paris.
- Instituto Nacional de Estadística. 2001. Charaña.  
<http://www.ine.gob.bo/pdf/AtlasMunicipal/020305.pdf>
- Panel Intergovernmental de Cambio Climático (IPCC). 2013. Working group I contribution to the IPCC fifth assessment report (AR5), *Climate change 2013: The physical science basis*. Estocolmo
- Jenks, G.F. 1967. The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography* 7: 186-190.
- León-Gordón, O.A. 2014. Valoración del almacenamiento de agua y carbono entre las zonas intervenidas y no intervenidas de los humedales del páramo de Sachauayco del cañón Mocha. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Lutz, D. A., Poweell, R. L. & M.R. Silman 2013. Four Decades of Andean timberline migration and implications for biodiversity loss with climate change. *Plos One* 8: 4496-4496.
- Marengo, J. A. 2007. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Ministerio do Meio Ambiente, Brasília.
- Marengo, J. A., R. Jones, L. Alves & M. Valverde. 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology* 29: 2241-2255.
- Marengo, J.A., Pabón, J.D., Díaz, A., Rosas, G., Ávalos, G., Montealegre, E., Villacis, M., Solman, S. & M. Rojas. 2011. Cambio climático: evidencia y escenarios futuros para la región Andina. En: Herzog, S.K., Martínez, R., Jørgensen, P. M., Tiessen, H. 2011. *Cambio climático y biodiversidad en los Andes Tropicales*. Inter-american Institute



- ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE BOFEDALES ALTOANDINOS  
for Global Change Research (IAI) & Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE).  
[http://www.iai.int/files/communications/publications/scientific/Climate\\_Change\\_and\\_Biodiversity\\_in\\_the\\_Tropical\\_Andes\\_SP/libro\\_completo.pdf](http://www.iai.int/files/communications/publications/scientific/Climate_Change_and_Biodiversity_in_the_Tropical_Andes_SP/libro_completo.pdf)
- Melo, R.R. 2014. Plan de restauración y manejo de los bofedales de Charaña. Trabajo dirigido. Departamento de Ingeniería, Universidad Católica Boliviana San Pablo. La Paz.
- Meneses, R. I. 2013. Estado del arte de de los bofedales en la Cordillera Real en el área que abarca la cuenca de Khara Kota hasta la cuenca del Choqueyapu. Informe. Herbario Nacional de Bolivia, La Paz.
- Myers, N., R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.A.B. da Fonseca & J. Kent. 2000. Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities. *Nature* 403: 853–8588.
- Orsóg Céspedes, V., J. Chungara Castro, P. Guispert & R. Cruz Flores. 2007. Estudio de calidad de aguas y evaluación ambiental en las cuencas de los ríos Mauri y bajo Desaguadero. Informe. Agua Sustentable & Instituto de Hidráulica e Hidrología, La Paz.
- Ostria, C. 1987. Phytoécologie et paléoécologie de la vallée alto-andine de Hichu Kkota (Cordillère orientale Bolivie). Tesis Universitaria, Paris.
- Palabral Aguilera, A.N. 2013. Relación de la composición florística y su biomasa subterránea con las variables hidrológicas en bofedales de Sajama. Informe. Agua Sustentable, La Paz.
- Prefectura del Departamento de La Paz (PDLP). 2003. Plan de desarrollo municipal de Charaña. Prefectura del Departamento de La Paz, La Paz.
- Palabral, A. 2011. Relación de la composición florística y su biomasa subterránea con las variables hidrológicas en bofedales de Sajama. Informe. Agua Sustentable, La Paz.
- Podwojewski, P., J. Poulenard, J., T. Zambrana & R. Hofstede, R. 2002. Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). *Soil Use and Management* 18: 45–55.
- Poulenard, J., Podwojewski, P. & Herbillon, A. J. (2003) Characteristics of non-allophanic andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos. *Geoderma*, 117, 267–281.
- Ruiz, D., H.A. Moreno, M.E. Gutierrez & P.A. Zapata. 2008. Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. *Science of the Total Environment* 398: 122-132.
- Seimon, T.A., A. Seimon, P. Daszak, S.R.P. Halloy, L.M. Schloegel, C.A. Aguilar, P. Sowell, A.D. Hyatt, B. Konecky, J.E. Simmons. 2007. Upward range extension of Andean anurans and chytridiomycosis to extreme elevations in response to tropical deglaciation. *Global Change Biology* 13: 288-299.
- Sokan et al. 2008
- Squeo, F.A., B.G. Warner, R. Aravena & D. Espinoza. 2006. Bofedales: High altitude peatlands of the Central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural* 79: 245–255.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R.B., Bernsten, T., Bindoff, N.L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J.M., Hegeri, G.C. et al. 2007 Technical summary. En:



- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. y Miller, H.L. (eds.) 2007. *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge y New York.
- Urrutia, R. & M. Vuille. 2009. Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. *Journal of Geophysical Research* 114: D02108.
- von May, R., A. Catenazzi, A. Angulo, J. L. Brown, J. Carrillo, G. Chavez, J. H. Cordova, A. Curo, A. Delgado, M. A. Enciso, R. Gutierrez, E. Lehr, J. L. Martinez, M. Medina-Mueller, A. Miranda, D. R. Neira, J. A. Ochoa, A. J. Quiroz, D. A. Rodriguez, L.O. Rodriguez, A.W. Salas, T. Seimon, A. Seimon, K. Siu-Ting, J. Suarez, C. Torres & E. Twomey. 2008. Current state of conservation knowledge on threatened amphibian species in Peru. *Tropical Conservation Science* 1: 376-396.
- Vives, P.T. (Ed.). 1996. *Monitoring Mediterranean wetlands: A methodological guide.* MedWet, Wetlands International, Slimbridge & Lisbon.
- Vuille, M. & R.S. Bradley. 2000. Mean annual temperature trends and their vertical structure in the Tropical Andes. *Geophysist Research Letter* 27: 3885–3888.
- Vuille, M., B. Francou, P. Wagnon, I. Juen, G. Kaser, B. G. Mark & R.S. Bradley. 2008. Climate change and tropical Andean glaciers: past, present and future. *Earth Science Reviews* 89: 79-96.
- Zuñiga Escobar, O., J.C. Osorio Saravia, R.C. Guependo & J.A. Peña Opsina. 2011. Evaluación de tecnologías para la recuperación de suelos degradados por salinidad. *Revista Facultad nacional Agraria Medellín* 64: 5769-5779.