ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN FLORÍSTICA Y BIOMASA SUBTERRÁNEA DE DOS BOFEDALES DEL VALLE DE SURURÍA EN EL PARQUE NACIONAL SAJAMA

Arely N. Palabral Aguilera

INTRODUCCIÓN

Los bofedales son praderas naturales que se desarrollan en áreas constantemente saturadas con agua. Su importancia ecológica y para el humano, radica en las diversas funciones y servicios ecosistémicos que brindan, siendo ecosistemas importantes para la cría de ganado por el forraje de buena calidad que proveen a lo largo del año (Spehn *et al* 2006); constituyéndose en el hábitat de numerosas especies de plantas y animales silvestres, como la vicuña, wallata, variedad de aves pequeñas y anfibios; y finalmente, cumpliendo importantes funciones asociadas al ciclo hidrológico local y regional, como ser: (1) control y regulación de la corriente acuífera, (2) control de la erosión, (3) asimilación de agua, y (4) provisión de fuentes sumidero de sedimentos (Earle *et al* 2003).

Los bofedales, según el nivel de agua que poseen, se clasifican en dos tipos:

1. Bofedales permanentemente húmedos o hidromórficos, ubicados en los fondos de los valles, cerca de ríos y arroyos o en laderas con vertientes u ojos de agua. Este tipo de bofedal se encuentra especialmente en las planicies de inundación de llanuras y poseen una irrigación continua a lo largo de todo el año (Pacheco 1996, Beck *et al*. 2010).
2. Bofedales temporalmente húmedos o mésicos, que pierden agua durante la época seca, produciendo la descomposición de los cojines y la acumulación de sales en el suelo. Usualmente esta formación está asociada con los collpares (Beck *et al*. 2010).

Como su permanencia se encuentra fuertemente asociada al continuo aporte de agua, ya sea por precipitación, alimentación por aguas subterráneas o cuerpos de agua cercanos (como lagunas o ríos) y/o deshiele de los glaciares (Zavala & Cepeda 2006) son ecosistemas altamente sensibles al cambio climático, particularmente a alteraciones en el patrón de lluvias y a la pérdida de glaciares (Squeo *et al* 2006). Asimismo, cambios drásticos en el régimen hídrico que alimenta a los bofedales puede asociarse con la desviación de los cursos de agua por actividades humanas (como la agricultura, minería, etc.), o a actividades insostenibles como el sobrepastoreo; que

pueden producir el rápido desecamiento y degradación de estos ecosistemas y/o cambios en la diversidad de especies que los componen (Spehn *et al* 2006).

La regulación y control de la corriente en el bofedal está relacionada con su capacidad de absorber agua como esponja y regular su gradual eliminación. Esto se debe a la naturaleza porosa y al crecimiento dominante y compacto de especies de Juncáceas como *Oxychloe andina* y *Distichia muscoides*, las cuales permiten retener grandes volúmenes de agua proveniente de los riachuelos y constituyen zonas de "ahorro" de descarga, reduciendo la velocidad de la corriente.

Agua Sustentable realiza el monitoreo de dos bofedales en la microcuenca del río Sururía en el PN Sajama, el de Aychuta y Lagunas. Los primeros resultados muestran un patrón casi invariable a lo largo del año en la columna de agua en el bofedal de Aychuta, que se encuentra a mayor altitud, y un leve descenso en el nivel de agua en los meses de época seca en el bofedal de Lagunas (Lorini 2012). En base a estos resultados se plantea la hipótesis de que la biomasa subterránea o el sistema radicular de las plantas dominantes en cada bofedal afectarían la capacidad de retención hídrica de los mismos y por tanto influiría en la dinámica hidrológica de estos ecosistemas.

OBJETIVOS

A. Describir la composición de especies vegetales en los bofedales de Aychuta y Lagunas del valle glacial de Sururía en el Parque Nacional Sajama.
B. Relacionar las características morfológicas del sistema radicular y de la biomasa subterránea de las especies dominantes de los bofedales de Aychuta y Lagunas con los datos hidrológicos de los piezómetros y otras variables ambientales que puedan considerarse de relevancia.

ÁREA DE ESTUDIO

El Parque Nacional Sajama (PNS) se encuentra ubicado al noroeste de la Coordillera Andina de Bolivia, a los 18˚09'S y 69˚00'O, en la provincia Sajama del departamento de Oruro. La vegetación es denominada puna desértica, ubicada dentro de la puna sureña, una de las áreas más áridas y desérticas de Bolivia (Ibisch *et al* 2003). Esta se caracteriza por una escasa cobertura

vegetal, debido a las reducidas precipitaciones estacionales y bajas temperaturas (Beck *et al* 2010). Los bofedales cubren el 10% del Área Protegida y se constituyen en la unidad de vegetación de mayor importancia socioambiental (Ribera & Liberman 2006).

MÉTODOS

Diseño de muestreo y análisis de datos

Con la finalidad de describir la composición de especies vegetales en los bofedales de Aychuta y Lagunas del valle glacial de Sururía en el PNS, se utilizó el sistema de Braun-Blanquet (Matteucci & Colma 1982) para determinar su composición y estimar una cobertura de las especies presentes en un área de 1 m^2, ubicado a inmediaciones de los piezómetros monitoreados por "Agua Sustentable". Este método permitió describir las comunidades vegetales según la flora y se identificaron principalmente las especies dominantes en valores porcentuales.

Figura 1. Bofedal de Lagunas indicando la presencia de un piezómetro de monitoreo de Agua Sustentable. *Fotografía de Arely Palabral.*

Se determinó la riqueza y dominancia de las especies vegetales en cada bofedal y se construyeron "curvas de Whittaker" para comparar la frecuencia relativa de las especies en los bofedales estudiados tomando como unidad de muestreo el cuadrante de 1 m^2 y la

presencia/ausencia de las especies en el mismo. Se cuantificó la similitud en la composición de especies entre los dos bofedales empleando la Similitud Proporcional (SP) (Feinsinger 2003).

$$SP = \sum \min(p_{i1} p_{i2})$$

Donde p_i es la proporción de individuos en cada comunidad, que pertenece a la especie *i* y se calcula:

$$p_i = n_i/N$$

Donde n_i es el número de individuos de la especie *i* y N es el número total de especies.

Para cada especie *i* que está presente en una o ambas muestras, se anota el menor de los valores de p_i, es decir, p_{i1} o p_{i2}. Si una especie está ausente de una de las muestras, el menor valor es cero, y se suman los valores registrados.

Los valores de SP varían entre 0 (ninguna especie en común) y 1.0 (ambas muestras son idénticas en composición y proporción de especies), y pueden expresarse en porcentaje.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los bofedales de Aychuta y Lagunas en el PNS están compuestos, de forma predominante, por pequeñas hierbas siempre verdes pertenecientes a las familias Juncaceae (*Oxychloe andina* y *Distichia muscoides*) en el caso de Aychuta, y Poaceae (*Deyeuxia* spp.), Rosaceae (*Lachemilla* spp.) y Juncaceae (*Oxychloe andina*) en el caso de Lagunas (ver figuras 2 y 3).

Se contabilizaron en total 25 especies en el bofedal de Lagunas y 22 en el bofedal de Aychuta (ver tabla 1). Sin embargo, la cobertura de *Oxychloe andina* en Aychuta llega casi al 100% y las especies acompañantes no alcanzan una cobertura o biomasa representativa (ver figuras 2 y 3), por tanto su presencia sólo aumenta la riqueza de especies del lugar pero no tendrá significancia al momento de evaluar la biomasa subterránea.

Las figuras 2 y 3 detallan la composición y el porcentaje de las especies vegetales encontradas por sitio de muestreo en ambos bofedales, y en base a su similitud se describe físicamente cada área de muestreo.

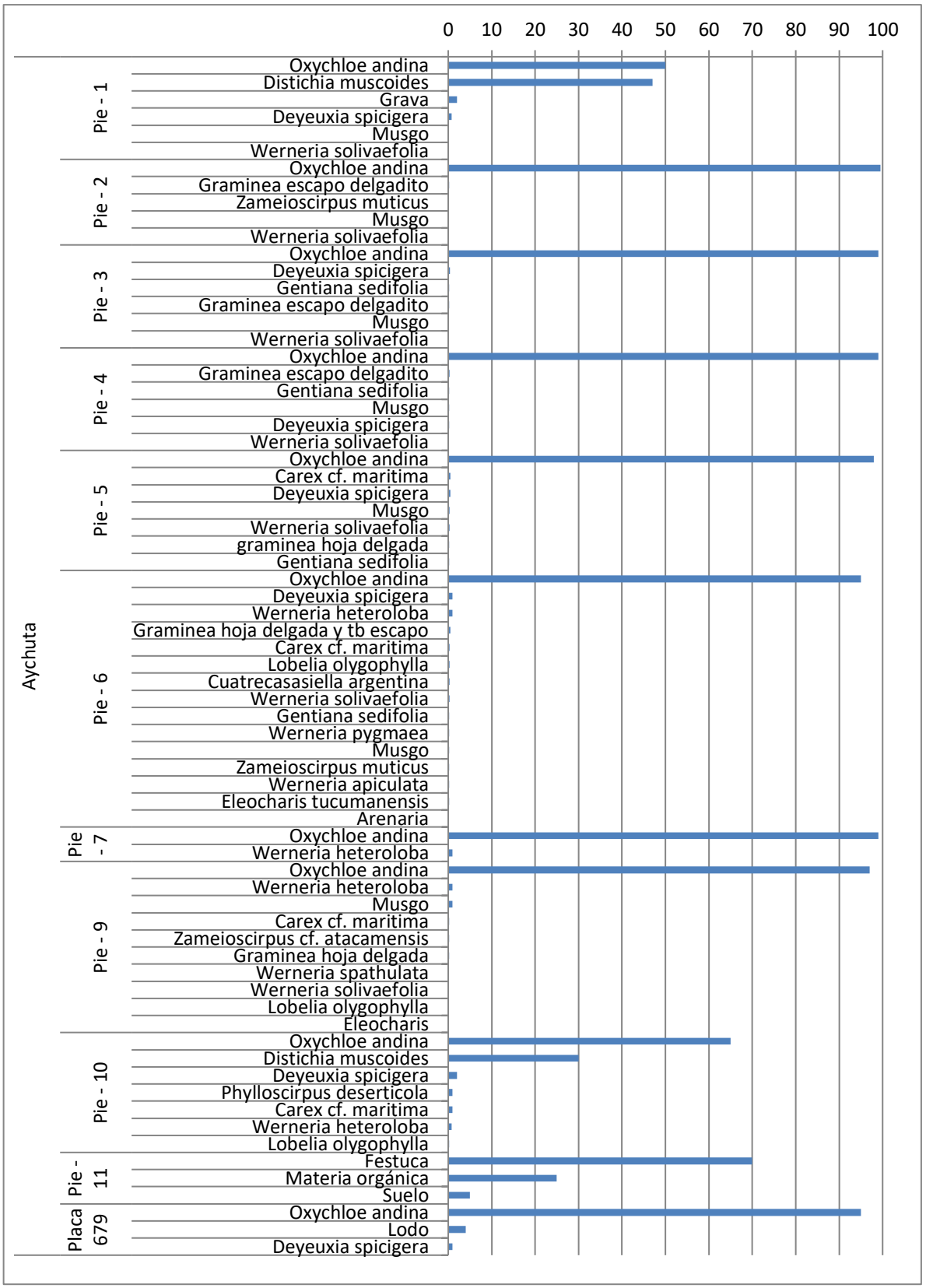

Figura 2. Eje X= porcentaje de cobertura vegetal, eje Y = especie o característica abiótica, en inmediaciones a los piezómetros (Pie-1 al 11 y Placa 679) del bofedal de Aychuta.

Figura 3. Eje X= porcentaje de cobertura vegetal, eje Y = especie o característica abiótica, en inmediaciones a los piezómetros (L-1 al L-9) en el bofedal de Lagunas.

Todas las unidades de muestreo en Aychuta, a excepción de la Pie – 11 que es un área que se encuentra fuera del bofedal y se puede describir como un pastizal con predominancia de *Festuca orthophylla*, muestran una dominancia casi absoluta de *Oxychloe andina*. Solamente en Pie -1 y Pie-10, aumenta la presencia de *Distichia muscoides*. Esto puede deberse a que *Oxychloe andina* posee una ventaja competitiva sobre *Distichia muscoides*, ya que presenta hojas más largas, punteagudas y lignificadas que pueden llegar a penetrar o cubrir los cojines de *Distichia* (Ruthsatz 2012).

Las inmediaciones del piezómetro 8 (Pie-8) no fue muestreado debido a que se encontraba totalmente cubierto de lodo, siendo un terreno inestable y de difícil acceso, esa medida fue reemplazada por un punto de muestreo en inmediaciones a la Placa 679 que se encuentra a unos 15 metros de Pie-8.

El bofedal de Lagunas fue un poco más heterogéneo que el de Aychuta, y presentaba zonas con una dominancia de gramíneas (*Deyeuxia spicigera* y *D. vicunarum*.) en las áreas L-1 y L-3. Las zonas L-9, L-4 y L-5 mostraron una dominancia de *Oxychloe andina* y varias especies pequeñas creciendo en medio de estos cojines, aunque L-5 tuvo casi el 50% cubierto con *Plantago tubulosa* (Plantaginaceae), ambas especies son muy apetecidas por el ganado. L-2 presentó una dominancia de Juncaceae, principalmente *Distichia muscoides*, especie vulnerable al desecamiento y al sobrepastoreo, por ser palatable para el ganado. Hay que resaltar que el bofedal de Lagunas fue catalogado con una alta presión de pastoreo (Lorini 2012) . En el área L-7 *Lachemilla diplophylla* domina con más del 70% debido al riachuelo que cruza por esta zona lo que la favorece de forma positiva, y en el área de L-6 domina la Cyperaceae *Phylloscirpus desertícola*, que al igual que *Plantago tubulosa*, soporta condiciones menos favorables en humedad, y es común encontrarla en ambientes secos como son los bordes, más que en bofedales mismos. Por último, en la zona L-8 domina *Hypochaeris taraxacoides* (Asteraceae), especie que puede ser confundida con *Plantago tubulosa* cuando se encuentra en estado estéril, pero que se diferencia por la presencia de látex blanco.

El trabajo de Lorini (2012) en la microcuenca de Sururía muestra un nivel piezométrico más elevado en el bofedal de Aychuta (-23 ± DE 12,2 cm) que en el bofedal de Lagunas (-33,5 ± DE 18,9 cm) resultado que es atribuido al factor “lugar” como el principal agente de variación, aunque la estacionalidad también determinó ser una variación significativa en el nivel de agua.

Hay que resaltar que el factor lugar engloba en sí mismo varias características diferentes entre ambos bofedales, empezando con la composición y dominancia de especies presentes resultado apreciable en los relevamientos realizados; como en las condiciones climáticas (como temperaturas promedio y mínima, número de días con heladas, etc.), topográficas (Aychuta está en un valle glacial en U y Lagunas en una planicie) y nivel de uso (Aychuta casi no soporta presión de pastoreo a diferencia de Lagunas que soporta a una elevada carga animal).

En ese sentido, el mismo aporte de agua puede ser más elevado en Aychuta, que recibe agua del deshielo del Sajama por el río Sururía, que en Lagunas. Lamentablemente el monitoreo en Lagunas no cuenta con datos de un año calendario y no se sabe si el nivel de agua en el bofedal de Aychuta es siempre más elevado que el de Lagunas, o si Lagunas lo sobrepasa pero no es capaz de retener ese nivel de agua a lo largo del año, ya que los datos de junio a noviembre lo ubican todo el tiempo por debajo de Aychuta.

Si el monitoreo continúa, se contarán con datos que puedan dar una mejor idea del comportamiento de estos bofedales y varias de estas interrogantes podrían ser clarificadas.

En este estudio, todas las especies dominantes serán estudiadas a mayor detalle para caracterizar su sistema radicular así como su biomasa subterránea a fin de correlacionar los resultados con los datos hidrológicos y otras variables ambientales de relevancia.

Es claro que *Distichia*, *Oxychloe* y *Plantago* tienen características morfológicas diferentes, por ejemplo las raíces de *Plantago tubulosa* son menos profundas que las de *Distichia muscoides* y *Oxychloe andina*. Asimismo, *Distichia muscoides* puede crecer indefinidamente desde la parte terminal del tallo, mientras que las partes inferiores van muriéndose paulatinamente en forma similar a especies del musgo *Sphagnum* (Ruthsatz 2012, ver figura 4). Por eso se medirán atributos como: la longitud de las raíces, volumen de la biomasa subterránea, consistencia y grado de compactación del sustrato, y la capacidad de retención de agua en sus espacios porosos.

Figura 4. *Distichia muscoides* mostrando la biomasa subterránea que forma al crecer. *Fotografía de Karina Yager*.

Los bofedales son ecosistemas dinámicos, por ello Aychuta y Lagunas comparten apenas un 38% de sus especies (SP=0.38), y esta composición de especies puede estar afectada por el tipo y nivel de uso que tienen estos bofedales, la influencia de la vegetación circundante, su edad y sus diferentes estadios de desarrollo.

Así mismo, la composición vegetal en los bofedales puede estar condicionada por características topográficas y climáticas, como la profundidad del manto freático, la humedad atmosférica y/o las bajas temperaturas (Alzérreca *et al* 2001).

Para el caso de algunas gramíneas, varias determinaciones están a nivel de género o como morfoespecie, debido al estado estéril de las muestras y la necesidad de contar con órganos reproductivos para el seguimiento de las claves dicotómicas, que se realiza en base a las características morfológicas de las flores, espigas o semillas.

Tabla 1. Lista de especies encontradas en los bofedales de Aychuta y Lagunas.

Familia / Especie	**Aychuta**	**Lagunas**
Apiaceae		**1**
Lilaeopsis macloviana		x
Asteraceae	**6**	**6**
Cuatrecasasiella argentina	x	x
Hypochaeris taraxacoides		x
Oritrophium limnophilum		x
Werneria apiculata	x	x
Werneria heteroloba	x	
Werneria pygmaea	x	x
Werneria solivaefolia	x	
Werneria spathulata	x	x
Campanulaceae	**1**	**1**
Lobelia olygophylla	x	x
Caryophyllaceae	**1**	**1**
Arenaria sp.	x	x
Cyperaceae	**6**	**5**
Carex cf. *maritima*	x	x
Eleocharis sp.	x	x
Eleocharis tucumanensis	x	x
Phylloscirpus boliviensis		x
Phylloscirpus deserticola	x	x
Zameioscirpus cf. *atacamensis*	x	
Zameioscirpus muticus	x	
Gentianaceae	**1**	**1**
Gentiana sedifolia	x	x
Gramineae (Poaceae)	**5**	**4**
Deyeuxia spicigera	x	x
Deyeuxia vicunarum		x
Festuca	x	
Graminea escapo delgadito	x	
Graminea hoja delgada	x	
Graminea hoja delgada y tb escapo	x	
Graminea pequeña con ápice agudo blanco		x
Poa hoja dística		x
Juncaceae	**2**	**2**
Distichia muscoides	x	x
Oxychloe andina	x	x
Orchidaceae		**1**
Myrosmodes paludosa		x
Plantaginaceae		**1**
Plantago tubulosa		x
Rosaceae		**2**
Lachemilla diplophylla		x
Lachemilla pinnata		x
TOTAL	22	25

En total se realizaron 9 relevamientos en cuadrantes de $1m^2$ en el bofedal de Lagunas y 11 en el bofedal de Aychuta, todos en inmediaciones a los piezómetros instalados en cada bofedal. En base a la presencia/ausencia de las especies en cada cuadrante, se elaboró una "Curva de Whittaker" que describe, entre otros atributos, las especies presentes en ambos bofedales.

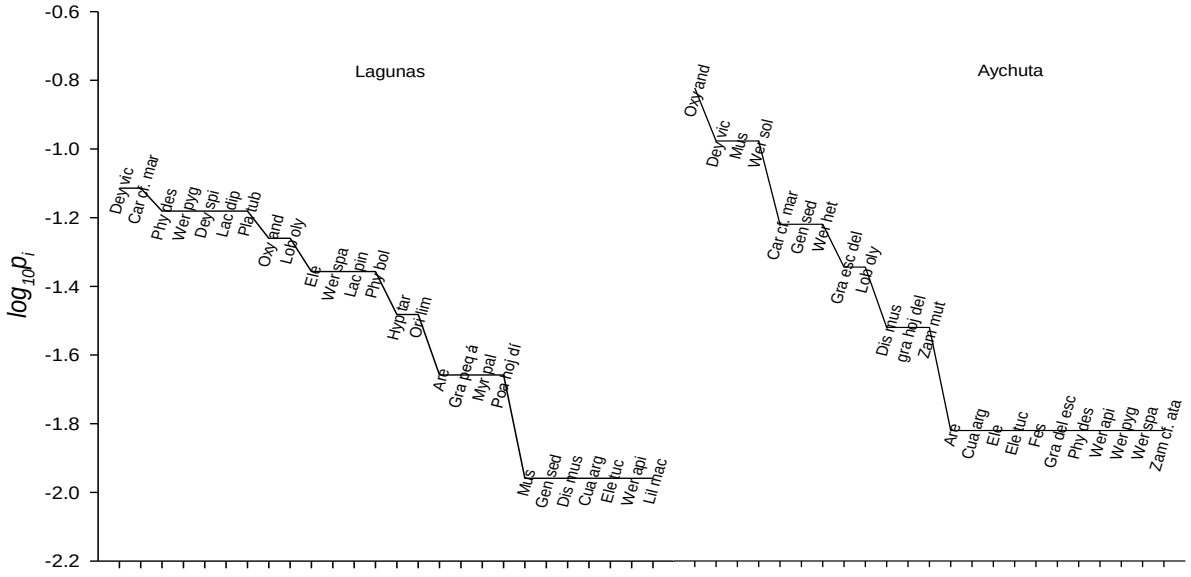

Figura 5. "Curvas de Whittaker" de los bofedales de Aychuta y Lagunas. Los nombres abreviados toman las 3 primeras letras de cada palabra, por ejemplo Oxychloe andina es Oxy and. El eje X muestra la composición de especies desde la más abundante hasta la menos abundante. El eje Y está en escala logarítmica.

También se aprecia que la pendiente en el gráfico de Lagunas (figura 5) es menor, lo que indica una mayor equitatividad entre especies, es decir, no hay una dominancia numérica pronunciada. Este patrón es evidente a pesar que haber utilizado simplemente los datos de presencia/ausencia de cada cuadrante, ya que no se tomaron datos de frecuencia sino solamente una estimación porcentual.

Por último, las especies de la cola resultan ser aquellas que sólo se encontraron en 1 o 2 cuadrantes y su presencia/ausencia puede atribuirse sólo a un azar del muestreo.

CONCLUSIONES

Los bofedales de Aychuta y Lagunas presentan juncáceas, rosáceas, gramíneas, asteráceas, plantagináceas y ciperáceas como los elementos de mayor dominancia.

Se espera que las juncáceas *Oxychloe andina* y *Distichia muscoides* tengan una correlación positiva con la capacidad de retención hídrica de los bofedales debido a su forma de crecimiento y a su marcada dominancia.

Varias especies herbáceas de menor porte se encuentran creciendo entre las juncáceas dominantes.

En algunas zonas la riqueza de especies aumenta por influencia del ecotono o las formaciones circundantes sin influencia marcada del agua de infiltración.

Queda un compromiso por completar el estudio sobre el sistema radicular y la biomasa subterránea de las especies dominantes de los bofedales de Aychuta y Lagunas para correlacionarlos con los datos hidrológicos de los piezómetros y otras variables ambientales que puedan considerarse de relevancia.

ACTIVIDADES PENDIENTES

En lugares donde la composición y abundancia de la vegetación es similar, se extraerá una muestra de suelo a fin de observar las siguientes características:

- Consistencia del sustrato, catalogándose en porcentaje de materia orgánica, arcilla, limo, arenisca o piedra grande.
- Grado de compactación del suelo o biomasa subterránea, con ayuda de un penetrómetro.
- Longitud, amplitud, volumen y forma de las raíces o biomasa subterránea de las especies dominantes.

Para relacionar la capacidad de retención de agua del bofedal con los valores de los piezómetros se tomará una muestra de volumen definido del bofedal y se medirá el peso seco/peso fresco para ver si existe una correlación con los valores de los piezómetros.

En laboratorio se analizarán muestras extraídas con barreno para estimar la biomasa de la raíz de las especies dominantes, para ello se pesará toda la planta y luego por separado las hojas y la raíz, obteniendo al mismo tiempo una mejor idea de la morfología subterránea (largo, ancho,

volumen, etc.), cada una de estas variables se relacionarán con los valores piezométricos para determinar si existe una relación lineal entre la mayor retención de agua medida por los piezómetros y la morfología de la raíz o la biomasa subterránea.

El número de muestras obtenidas será equivalente al número de piezómetros de cada bofedal y se tendrá el cuidado de extraerlas a un radio mínimo de 5 m de distancia, para evitar alguna influencia en los datos de los piezómetros (Fredy Soria, hidrólogo, com. pers.).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alzérreca, H., Luna, C.D., Prieto, C.G., Cardozo, G.A., & E.J. Céspedes. 2001. Estudio de la capacidad de carga en bofedales para la cría de alpacas en el sistema TDPS Bolivia. Informe final de consultaría, 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.

Beck, S., Domic, A. I., García, C., Meneses, R. I., Yager K. & S. Halloy. 2010. El Parque Nacional Sajama y sus plantas. Fundación PUMA & Conservación Internacional, La Paz.

Earle, L. R., Warner B. G. & R. Aravena. 2003. Rapid development of an unusual peat-accumulating ecosystem in the Chilean Altiplano. Quaternary Research 59: 2-11.

Feinsinger, P. 2003. El diseño de estudios de campo para la conservación de la biodiversidad. Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Ibisch, P.L., Beck, S.G., Gerkmann, B. & A. Carretero. 2003. Ecoregiones y ecosistemas. En: Ibisch, P.L. & G. Mérida (eds.) Biodiversidad: la riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación. FAN, Santa Cruz. Pp 47-88.

Lorini, H. 2012. Cambio climático y relaciones hídricas en bofedales y pajonales de un valle glacial del Parque Nacional Sajama. Informe Final de Consultoría para Agua Sustentable, dentro del proyecto “Adaptación al cambio climático en comunidades andinas bolivianas que dependen de glaciares tropicales”. Pp. 41.

Matteucci, S.D. & A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington DC. pp. 168.

Pacheco, M. A. 1998. Aprovechamiento de áreas hidromórficas en el altiplano peruano-boliviano. Manejo de bofedales. Cría de alpacas. Cooperación Andina de Fomento y Autoridad Bi-nacional del Lago Titicaca, La Paz.

Ribera, M.O. & M. Liberman. 2006. El uso de la tierra y los recursos de la biodiversidad en las áreas protegidas de Bolivia. Un análisis crítico con propuestas para su conservación y manejo sostenible. SERNAP – GEF II. La Paz – Bolivia. Pp. 520.

Ruthsatz, B. 2012. Vegetación y ecología de los bofedales altoanidnos de Bolivia. Phytocoenologia, 42 (3-4), 133-179.

Spehn, E., Liberman, M. & Ch. Körner (eds.). 2006. Land use change and mountain biodiversity. Taylor & Francis Group, Boca Ratón.

Squeo, F., Warner, B., Aravena R. & D. Espinoza. 2006. Bofedales: high altitude peat lands of the central Andes. Revista Chilena de Historia Natural 79: 245-255.

Zavala, H. & J. Cepeda. 2006. Caudales ecológicos en vegas altoandinas: un estudio de caso. En: Geo-ecología de los Andes desérticos. La Alta Montaña del Valle del Elqui. La Serena. Pp: 525-551.