



Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales

Bogotá
Noviembre, 2019

Autora: Anamaría Rozo Pérez

Director: Juan Carlos Benavides Duque

Presencia de *Sphagnum* sp. en turberas de altas elevaciones dominadas por *Disticha muscoides* y *Plantago rígida* en el Parque Nacional Natural Los Nevados.

Título:

Presencia de *Sphagnum* sp. en turberas de altas elevaciones dominadas por *Distichia muscoides* y *Plantago rígida* en el Parque Nacional Natural Los Nevados.

Objetivo General:

- Explicar la presencia de *Sphagnum* sp históricamente y en la actualidad en turberas de alta elevación dominadas por *Distichia muscoides* y *Plantago rígida* en el Parque Nacional Natural Los Nevados.

Objetivos específicos

- Reconstruir la vegetación en el perfil sedimentario en piscinas dominadas por *Sphagnum* sp. y cojines dominados por *Distichia muscoides* y *Plantago rígida*
- Comparar la variación del pH y la conductividad eléctrica del agua entre turberas con *Sphagnum* y cojines de *Distichia muscoides* y *Plantago rígida*

Contenido

Resumen	5
Introducción	6
Materiales y Métodos	8
Área de estudio	8
Química del agua	9
Extracción de núcleos	11
Análisis paleoecológico	12
Análisis estadísticos	12
Resultados	13
Distribución de macrofósiles	13
Química del agua	18
Discusión	20
Conclusiones	23
Agradecimientos	24
Bibliografía	24
Anexos:.....	29
Anexo 1 Lineamientos de publicación para los autores de la revista <i>Mires and Peat</i>	29
Anexo 2 <i>MARCO TEORICO</i>	31
Anexo 3 Metodología extendida.....	37
Anexo 4 Graficas estratigráficas con todos los restos macrofósiles identificados	43

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de los puntos de muestreo. NEV 1, NEV 2, NEV 3 son turberas identificadas con la presencia de *Sphagnum*. NEV 4, NEV 5 Y NEV 6 turberas dominadas por cojines de *Distichia muscoides* y *Plantago rigida*, las cuales fueron seleccionadas para los análisis de pH y conductividad. 11

Figura 2. Distribución, en porcentaje, de los restos macrofósiles de plantas y contenido mineral identificados a lo largo del perfil de turba en una piscina (A) y un Cojín (B) del lugar NEV 1 “Laguna Verde” el cual se encuentra a 4400 m s.n.m. 14

Figura 3. Distribución, en porcentaje, de los restos microfósiles de plantas y contenido mineral identificados a lo largo del perfil de turba en una piscina (A) y un Cojín (B) del lugar NEV 2 “El Cisne” el cual se encuentra a 4200 m s.n.m.....	15
Figura 4. Distribución, en porcentaje, de los restos microfósiles de plantas y contenido mineral identificados a lo largo del perfil de turba en una piscina (A) y un Cojín (B) del lugar NEV 3 “Laguna del Otún” el cual se encuentra a 4200 m s.n.m.	15
Figura 5. Distribución de Ceniza volcánica en los núcleos cojines Asociado a la aparición de <i>Sphagnum</i> . De derecha a izquierda “Laguna Verde” (NEV 1), “El Cisne” (NEV2), “Laguna del Otún” (NEV 3)....	18
Figura 6. Valores de pH y conductividad eléctrica del agua para 6 turberas en altas elevaciones de los andes comparando turberas dominadas por cojines con presencia de <i>Sphagnum</i> y sin presencia de <i>Sphagnum</i>	19
Figura 7: Mapa de los puntos de muestreo. NEV 1, NEV 2, NEV 3 son turberas identificadas con la presencia de <i>Sphagnum</i> . NEV 4, NEV 5 Y NEV 6 turberas dominadas por cojines de <i>Distichia muscoides</i> y <i>Plantago rigida</i> , estas turberas fueron seleccionadas para los análisis de pH y conductividad.....	38

Índice de tablas

Tabla 1: Vegetación y características de la química del agua para cada sitio del estudio.....	9
---	---

Presencia de *Sphagnum* sp. en turberas de altas elevaciones dominadas por *Distichia muscoides* y *Plantago rígida* en el Parque Nacional Natural Los Nevados.

A. Rozo-Pérez¹

¹Ecología, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C, Colombia

Resumen

Las turberas son ecosistemas estables que se mantienen por miles de años dominados por musgos del género *Sphagnum* o por plantas vasculares como *Distichia muscoides* y *Plantago rígida* formadoras de densas y rígidas estructuras llamadas cojines. Cada una de estas plantas tienen requerimientos diferenciales para su crecimiento y desarrollo. Estos ecosistemas dominados por los dos tipos de vegetación mencionadas son importantes por su capacidad de acumular carbono y su relación con la hidrología glaciar. Esta investigación describe los cambios en la composición de especies en turberas dominadas por *Distichia muscoides* y *Plantago rígida* hacia turberas dominadas por *Sphagnum* sp. asociado a cambios en la hidrología y el clima en elevaciones por encima de los 4000 m s.n.m en 6 turberas del Parque Nacional Natural Los Nevados. Los resultados muestran que la presencia de *Sphagnum* sp. se ha encontrado hace más de 200 años debido a factores abióticos como la hidrología particular de cada turbera y de la capacidad de *Sphagnum* para acidificar el medio en el que se encuentra, además de factores bióticos como la relación con otras especies de musgos. Los resultados de esta investigación muestran que procesos autógenos de estos ecosistemas son de gran importancia a tener en cuenta en el análisis de la composición vegetal de las turberas y que procesos como el cambio climático tienen un efecto indirecto a través de la afectación de la hidrología local dominada por fuentes glaciares.

Palabras clave: Cambio climático, glaciares, paleoecología, química del agua, *Sphagnum* sp., turberas.

Introducción

Las turberas tropicales de alta montaña son ecosistemas de humedal que se caracterizan por almacenar grandes cantidades de carbono en el suelo, alrededor de 600 Gt (Yu et al., 2010); al estar inundadas la mayor parte del año, la materia orgánica de las turberas entra en un proceso de descomposición anaeróbico lento, permitiendo que la producción primaria en el ecosistema supere las tasas de descomposición (Vitt et al., 2009). Las turberas poseen una vegetación asociada muy específica, adaptada a condiciones de inundación, bajas temperaturas y poca disponibilidad de oxígeno. En este contexto, restos de plantas logran acumularse y preservarse por miles de años, formando archivos históricos de eventos climáticos y químicos del pasado (Kuhry et al., 1993; Turetsky et al., 2004).

En este sentido, las deposiciones en las turberas pueden ser usadas para datar sucesos particulares, como en la datación con capas de ceniza volcánica o tefracronologías. Esta técnica es empleada para identificar eventos ambientales pasados registrados en la turba (Swindles et al., 2010) y correlacionar las capas de tefra con los registros históricos de erupciones volcánicas (Turetsky et al., 2004).

El funcionamiento de las turberas y la distribución de su vegetación están influenciados por cambios en la hidrología, química del agua, elevación, aridez, perturbación humana y cambio climático (Cooper et al., 2010; Benavides et al., 2013, Benavides et al., 2014; Fritz, 2012). El factor más importante que condiciona el desarrollo de la vegetación en las turberas es la química del agua (Sjörs, 1950; Vitt & Chee, 1990), características como el pH, la conductividad eléctrica y la disponibilidad de nutrientes están estrechamente relacionadas con el crecimiento de plantas formadoras de turba como *Sphagnum*, *Distichia muscoides* y *Plantago rígida* (Fritz, 2012).

Sphagnum es el principal musgo formador de turba en los humedales boreales, su crecimiento en forma de tapetes y sus estructuras adaptadas a retener el agua la hacen una de las especies claves en el funcionamiento de las turberas (Rydin & Jeglum, 2006). Debido a su alta abundancia estas

plantas son capaces de cambiar las condiciones químicas del agua, modificando el pH a niveles más ácidos (Breemen, 1995). En turberas tropicales de alta montaña se han reportado distribuciones de *Sphagnum* hasta una elevación de 3900 m s.n.m. Por otro lado, plantas vasculares como *D. muscoides* y *P. rigida* registran una distribución por encima de los 4000 m s.n.m y su desarrollo requiere de un pH básico (Cleef, 1981; Benavides, 2014). Estas plantas vasculares son capaces de cambiar las condiciones físicas del sustrato sobre el que se encuentran otras especies; su crecimiento en forma de densos y rígidos cojines, junto con sus estructuras resistentes a la descomposición, las hacen dominantes en turberas de altas elevaciones, que forman un paisaje con pequeñas depresiones en las que se almacena el agua (piscinas) (Pouliot et al., 2011).

El desarrollo de estos cojines y piscinas está influenciado por la interacción entre las especies de plantas y la profundidad del nivel freático (Malmer et al., 2014). La presencia y abundancia de plantas vasculares, puede ser importante en la formación y posterior evolución de estas microestructuras (Pouliot et al., 2011), adicionalmente, los cojines y las piscinas están conectados por la hidrología del lugar, de ahí que, lo que se pueda observar en el cojín puede explicar lo que esté ocurriendo en las piscinas (Shi et al., 2015).

Observaciones realizadas en turberas ubicadas en el Parque Nacional Natural Los Nevados, Andes centrales colombianos, en elevaciones por encima de los 4000 m s.n.m, evidenciaron la presencia de musgos del género *Sphagnum* sp. en las partes más húmedas de las turberas (piscinas), junto a plantas vasculares como *Distichia muscoides* y *Plantago rígida*, pero según algunos modelos de distribución de especies formadoras de turba, *Sphagnum* tiene un rango de distribución estrecho, en general suelen estar presentes a elevaciones alrededor de los 3600 m s.n.m y en cuerpos de agua con un pH menor a 5,5 (Benavides & Vitt, 2014), por lo tanto, resulta fundamental entender la presencia de *Sphagnum* sp. en altitudes superiores a las habitualmente registradas. Es importante y relevante entender la presencia de este musgo en estos ambientes ya que las turberas de altas elevaciones son ecosistemas que han permanecido estables durante miles de años dominadas por la

misma vegetación formadora de cojines, pero que actualmente se ha visto interrumpida por un aumento en las tasas de descomposición y baja acumulación de turba y por ende una variación en las tasas de acumulación de carbono, además del cambio y distribución de las especies que conforman estos ecosistemas relacionado al cambio climático (Benavides et al., 2013; Colwell et al., 2008). El cambio climático es una amenaza evidente para los ecosistemas de alta elevación en los Andes y el PNN Los Nevados no sería la excepción. Por lo tanto, entender la razón y los factores asociados que expliquen la presencia de *Sphagnum* en las turberas del PNN Los Nevados, permite dilucidar si esta presencia se correlaciona con los cambios de distribución de especies causados por el cambio climático.

Hasta el momento se desconocen los factores que están favoreciendo la presencia de *Sphagnum* a estas altitudes y tampoco existen reportes paleoecológicos que describan y permitan entender la distribución de *Sphagnum* en ambientes formados por plantas de cojines (Fritz, 2012). Los nutrientes y la química del agua son en principio factores que nos ayudan a entender la diversidad, distribución y composición de las especies vegetales formadoras de turba, y pueden ser también condiciones que faciliten la comprensión de la ocurrencia de *Sphagnum* por fuera de sus límites ambientales. Por lo tanto se espera responder: ¿Qué determina la presencia de *Sphagnum* sp. en turberas de altas elevaciones dominados por *Distichia muscoides* y *Plantago rígida* históricamente y en la actualidad en el Parque Nacional Natural Los Nevados?, y específicamente, ¿Cómo ha cambiado la vegetación en el perfil sedimentario de turberas formadas por *Sphagnum*, *Distichia*, *Plantago*? y ¿Cómo varía el pH y la conductividad eléctrica del agua entre turberas con *Sphagnum* y cojines de *Distichia muscoides* y *Plantago rígida*?

Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en el Parque Nacional Natural Los Nevados en la parte central de los Andes Colombianos en un ambiente dominado por una cadena de picos volcánicos orientados de sur a norte. Las turberas incluidas en el presente estudio están situadas en la cara noroccidental y occidental de la cadena montañosa. Específicamente en el sendero de Laguna Verde ubicado entre el Volcán Nevado del Ruiz y El Nevado Santa Isabel y el sendero hacia la Laguna del Otún en la cara occidental del parque.

Se seleccionaron 6 turberas formadas por cojines de *Distichia muscoides* y *Plantago rigida*, 3 de ellas con presencia del musgo *Sphagnum*, las cuales se encuentran en elevaciones diferentes. El humedal “Laguna Verde” (NEV 1) se encuentra a una elevación de 4400 m s.n.m; mientras que los humedales “El Cisne” (NEV 2) y “Laguna del Otún” (NEV 3) se encuentran a una elevación de 4200 m s.n.m. Adicionalmente, se eligieron 3 turberas sin evidencia de presencia de *Sphagnum*, NEV 4 y NEV 5 se encontraban a una altura de 4300 m s.n.m y 4500 m s.n.m respectivamente. Por otra parte, hacia la cara occidental, cerca del sitio NEV 3 se eligió una turbera sin presencia de *Sphagnum* a una altura de 4100 m s.n.m (NEV 6) (Tabla 1) (Figura 1). En todas las turberas se tomaron mediciones de pH y conductividad eléctrica y se distinguió el origen a través de un análisis de su geomorfología.

Química del agua

Los datos de pH y conductividad eléctrica se realizaron en piscinas y cojines en donde se tomaron entre 7 a 12 puntos por sitio, dependiendo del área de la turbera. Para registrar los valores en los cojines se abrieron huecos en su superficie a 5 centímetros de profundidad, hasta que emergiera el agua y poder registrar los valores. El pH y la conductividad se midieron con un pH-metro multiparamétrico de marca PCS Testr 35 (Sjörs, 1950). Estas repeticiones se realizaron por medio de transectos lineales registrando los datos a intervalos de un metro de distancia. La cantidad de transectos dependió de la extensión de las turberas, entre 4 y 5 por humedal.

Sitio	Estructura	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Profundidad total de la turba (m)	Vegetación dominante en la superficie	Elevación (m s.n.m)
NEV 1	Piscina	5,4	22,8	3,5	<i>Distichia muscoides</i> (60%), <i>Sphagnum sp.</i> (40%)	4400
	Cojín	5,3	40,0			
NEV 2	Piscina	5,5	34,0	5,0	<i>Plantago rigida</i> (70%), <i>Wereneria pygmaea</i> (10%), <i>Sphagnum sp.</i> (20%)	4200
	Cojín	5,5	38,2			
NEV 3	Piscina	5,6	20,0	4,5	<i>Plantago rigida</i> (70%), <i>Sphagnum sp.</i> (30%)	4200
	Cojín	5,2	58,4			
NEV 4	Piscina	6,1	15,2	4	<i>Distichia muscoides</i> (80%), <i>Plantago rigida</i> (20%)	4300
	Cojín	5,6	38,8			
NEV 5	Piscina	6,4	13,2	3,5	<i>Distichia muscoides</i> (100%)	4500
	Cojín	6,0	31,9			
NEV 6	Piscina	6,7	48,2	5,0	<i>Distichia muscoides</i> (100%)	4100
	Cojín	6,2	48,3			

Tabla 1. Vegetación y características de la química del agua para cada sitio del estudio.

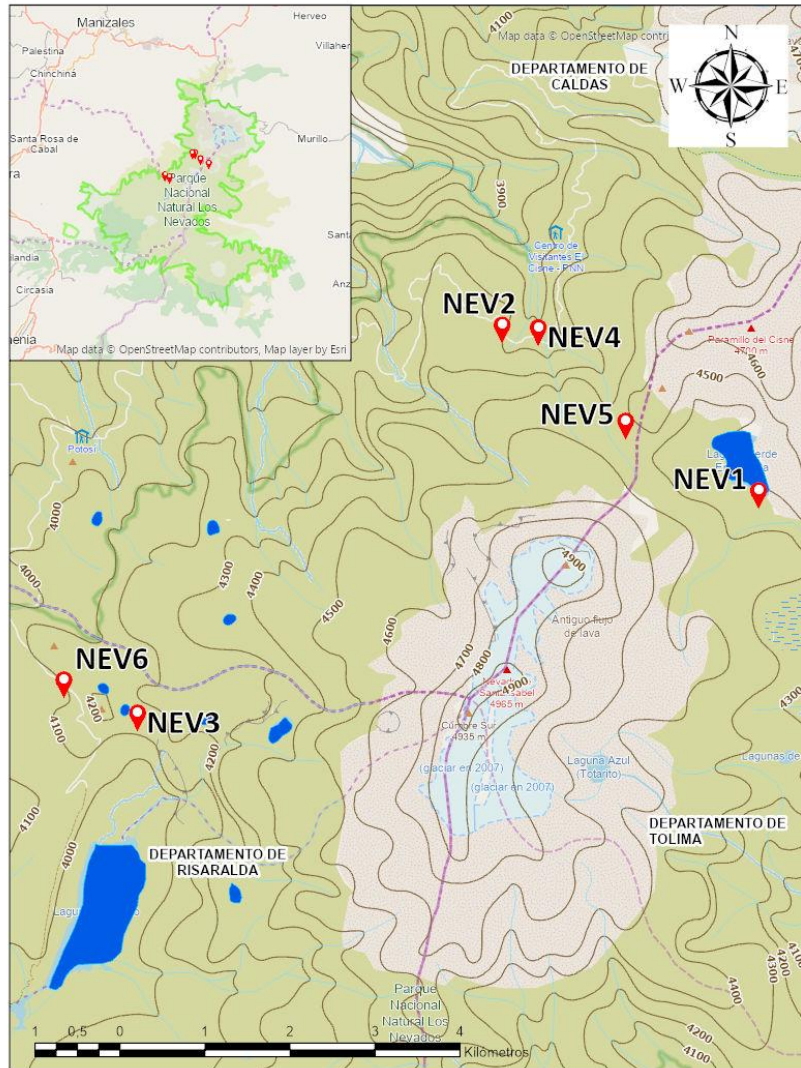


Figura 1: Mapa de los puntos de muestreo. NEV 1, NEV 2, NEV 3 son turberas identificadas con la presencia de *Sphagnum*. NEV 4, NEV 5 Y NEV 6 turberas dominadas por cojines de *Distichia muscoides* y *Plantago rigida*, las cuales fueron seleccionadas para los análisis de pH y conductividad.

Extracción de núcleos

Para la reconstrucción de la vegetación se extrajeron núcleos de sedimento en los 3 humedales con aparición de *Sphagnum*. Esto se realizó en las partes más húmedas de las turberas (piscinas) y en los cojines formados por *Distichia muscoides* y *Plantago rigida*.

En la extracción de los núcleos, primero, se midió la profundidad con un sensor barreno sin recolección en la Piscina. Para el humedal “Laguna del Otún” (NEV 3) y “Laguna Verde” (NEV1) la

profundidad obtenida fue de 2 metros y en el humedal “El Cisne” (NEV 2) fue de 2 metros 50 centímetros. Se usó un barreno ruso de 50 centímetros de altura y de diámetro para obtener las muestras (Rydin & Jeglum, 2006; Kuhry et al., 1993). En total se obtuvieron 8 núcleos para NEV 1 y NEV 2 (4 de piscina y 4 de cojín) y 6 núcleos para NEV 3 (3 de piscina y 3 de cojín). Finalmente, se dispusieron las muestras en tubos de PVC de 50 centímetros de largo, cubriéndolas en papel plástico de embalaje para luego ser congeladas y así evitar su compresión.

Análisis paleoecológico

La reconstrucción de la vegetación se realizó a partir del análisis de macrofósiles. Cada núcleo se partió verticalmente en dos mitades. Ambas secciones fueron divididas en segmentos de 1 cm de altura. Las secciones destinadas al análisis de macrofósiles fueron separadas y colocadas en un medio líquido para luego ser observadas por medio de un estereoscopio. La muestra se ubicó en un medio acuoso al interior de una caja de Petri donde se separaron las diferentes especies de plantas y otros residuos que se encontraban en la muestra (Mauquoy et al., 2010). Los restos macrofósiles fueron divididos de la siguiente manera: restos de especies que se pudieran identificar y los sedimentos como mineral y cenizas volcánicas. Mientras se identificaba, se separaba en la caja de Petri en cada una de las clasificaciones mencionadas y por inspección visual se le asignaba un porcentaje de abundancia. Con esta información se hicieron graficas estratigráficas con el Software Tilia (Grimm, 1992).

Análisis estadísticos

Los resultados de la química del agua se analizaron usando una ANOVA de dos vías la cual considera el efecto de dos factores sobre las unidades experimentales, cómo la estructura (piscina y cojín) y el sitio actúan sobre el pH y la conductividad. Posterior a eso, se hizo una prueba Tukey la cual permite corroborar las diferencias entre esos factores y poder observar que grupos son diferentes

de que grupos (Zar, 1996). Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software R versión

3.6.1. Se realizaron gráficos de barras

Resultados

Distribución de macrofósiles

En total se observaron 1000 muestras de suelo las cuales resultaron así: Para el núcleo NEV 1 en la piscina se encontró que las primeras señales de *Sphagnum* se empiezan a ver hacia los 170 centímetros de profundidad en un porcentaje menor al 20%. Luego en tiempos más recientes *Sphagnum* desaparece, y vuelve a ser observada desde los 100 centímetros de profundidad hasta los primeros centímetros del núcleo. Hacia el centímetro 95 y entre los 55 y 60 centímetros el porcentaje de abundancia fue mayor al 80%; fue dominante hacia esas profundidades al igual que en la superficie. La presencia de juncos en el núcleo son los que se observan en mayor porcentaje en los dos metros de turba recolectada. Cuando *Sphagnum* es más abundante, el porcentaje de juncos es menor. La disminución de juncos está relacionada de igual forma con un aumento del contenido mineral y con la aparición de musgos como *Campylopus sp.* y *Drepanocladus sp.* Se observaron hojas de *Distichia muscoides* desde el centímetro 145 y restos de muy bajo porcentaje de *Plantago rigida* (Figura 2A).

Los cojines del sitio NEV 1 son dominados por *Distichia muscoides* en la superficie (Tabla 1). En la distribución macrofósil del cojín se observó una señal de *Sphagnum* desde el centímetro 100, descrita a esa misma profundidad en la piscina; y hacia los 20 centímetros de profundidad. *Distichia muscoides* se identificó en un muy bajo porcentaje desde los 150 a 105 centímetros de profundidad para luego empezar a ser dominante desde los 50 centímetros. Se puede observar que la formación de cojines se ve interrumpida por un aumento en la cantidad de juncos, como se ve de los 45 a 40 centímetros y de los 30 a los 20 centímetros. En el centímetro 15 se observó una disminución de *D. muscoides* acompañada con un aumento de juncos y aparición de *Sphagnum*. Las disminuciones de juncos y *Carex sp.* al igual que en las piscinas estuvo acompañada de un aumento del contenido mineral y de musgos como *Campylopus sp* y *Drepanocladus sp* (Figura 2B).

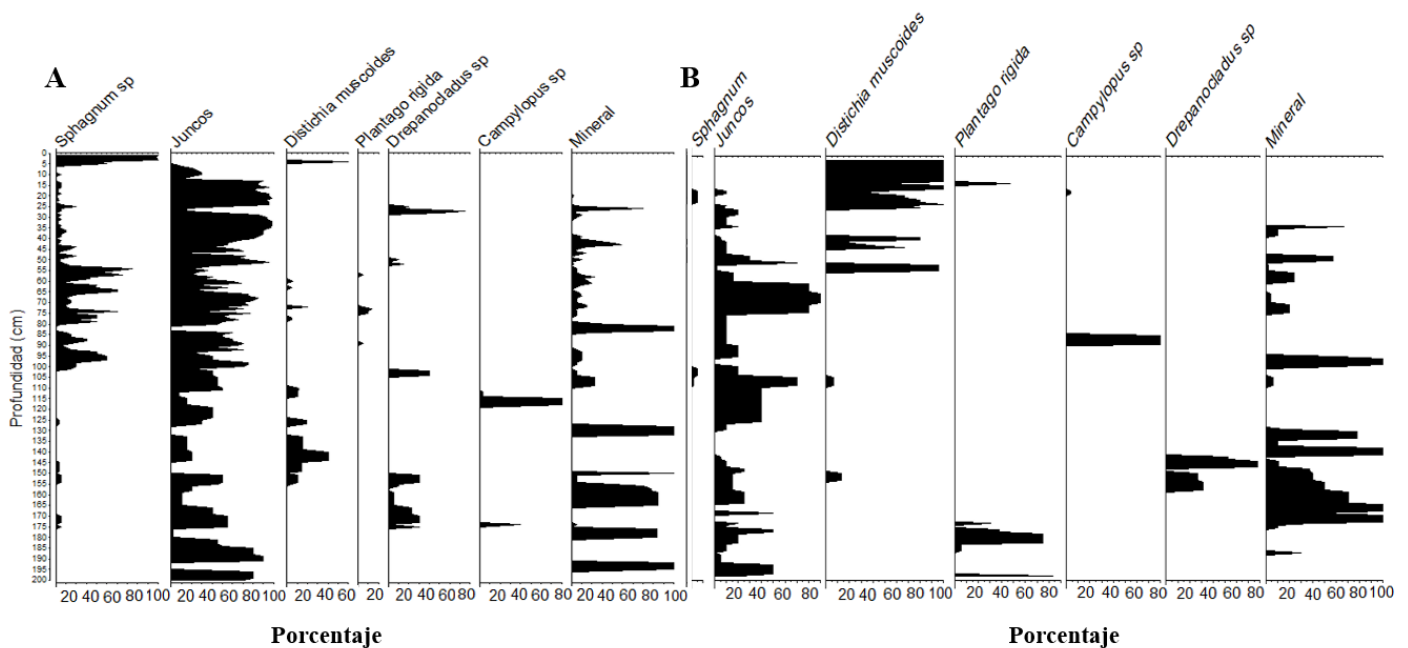


Figura 2. Distribución, en porcentaje, de los restos macrofósiles de plantas y contenido mineral identificados a lo largo del perfil de turba en una piscina (A) y un Cojín (B) del lugar NEV 1 “Laguna Verde” el cual se encuentra a 4400 m s.n.m.

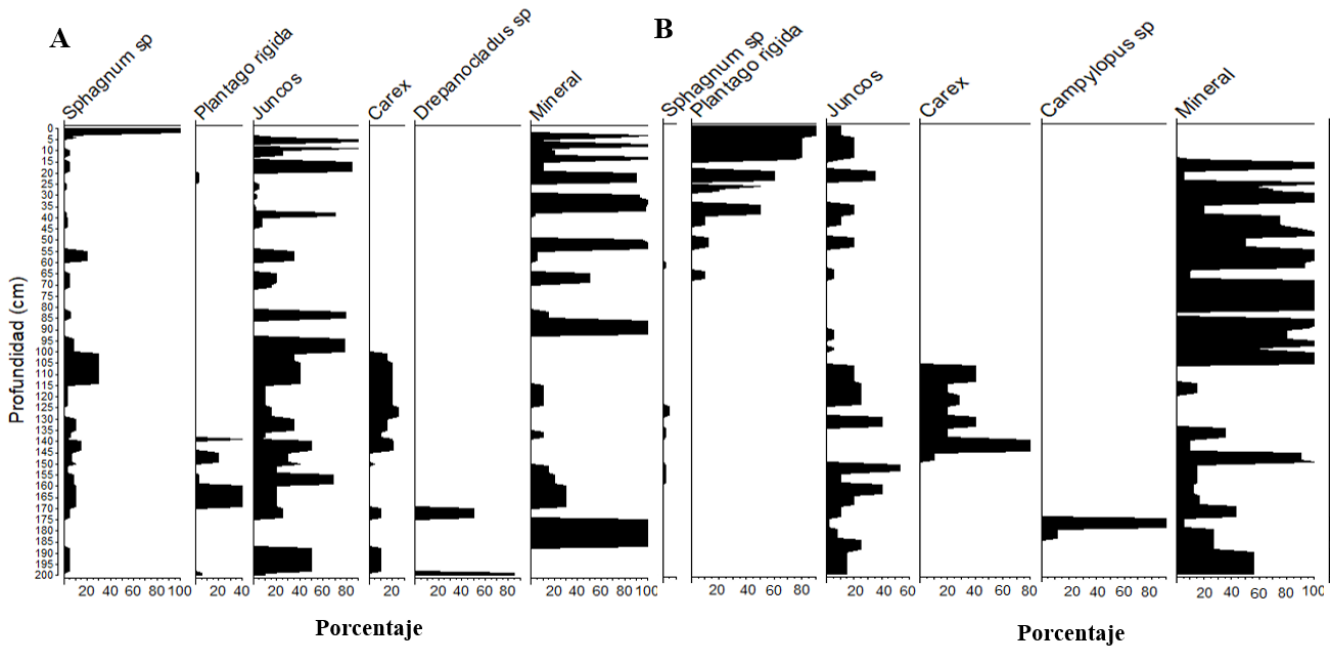


Figura 3. Distribución, en porcentaje, de los restos macrofósiles de plantas y contenido mineral identificados a lo largo del perfil de turba en una piscina (A) y un Cojín (B) del lugar NEV 2 “El Cisne” el cual se encuentra a 4200 m s.n.m.

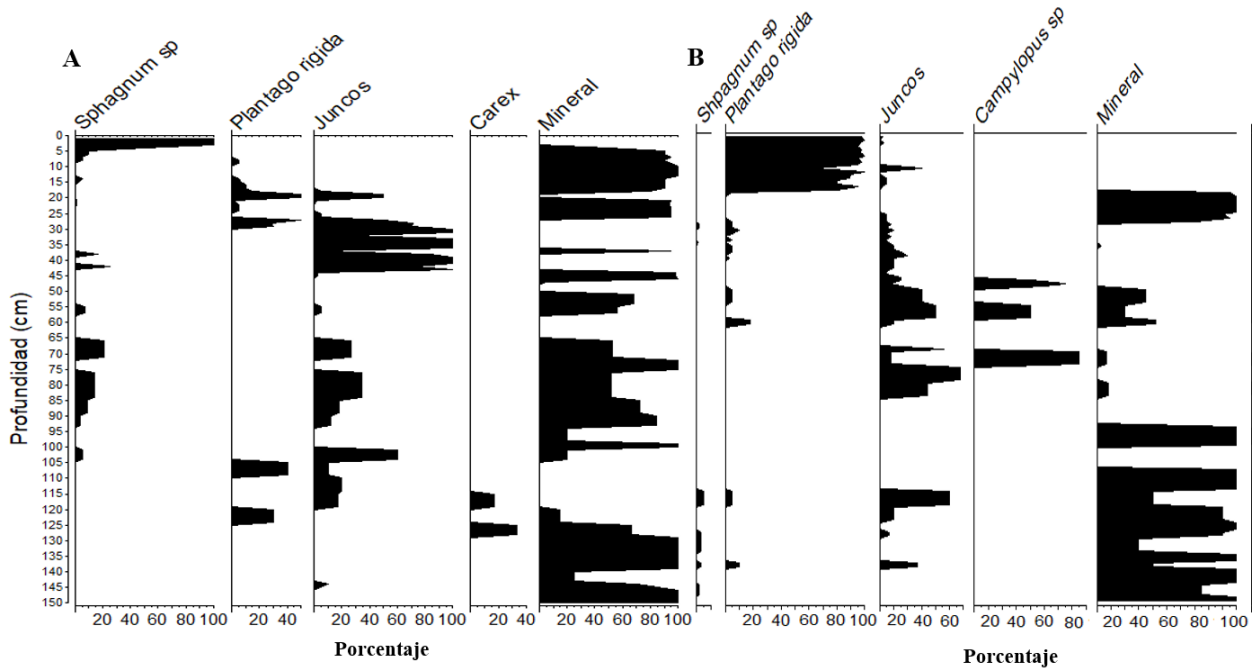


Figura 4. Distribución, en porcentaje, de los restos macrofósiles de plantas y contenido mineral identificados a lo largo del perfil de turba en una piscina (A) y un Cojín (B) del lugar NEV 3 “Laguna del Otún” el cual se encuentra a 4200 m s.n.m.

En el sitio NEV 2 en la piscina la señal de *Sphagnum* se encontró desde los 2 metros de turba analizada hasta la superficie. Sin embargo, la aparición de *Sphagnum* fue menor al 30%. Desde el centímetro 115 hasta el 100 el porcentaje fue mayor al 20 % y del 100% en los primeros 5 centímetros de núcleo. Al igual que el núcleo del sitio NEV1 los juncos tienen un alto porcentaje de abundancia y su disminución está relacionada con el aumento de material mineral o la aparición del musgo *Drepanocladus sp.* el cual se vio en un porcentaje mayor al 80% de abundancia.

Se hallaron restos de *Carex sp.* de la familia de las ciperáceas durante 40 centímetros de turba (140 a 100 centímetros). Se observaron de *P. rigida* hacia los 170 centímetros de profundidad. Este núcleo contiene un alto porcentaje mineral el cual en algunas profundidades fue del 100% (Figura 3A).

En el sitio NEV 2 los cojines de este sitio son dominados por *Plantago rigida* (Tabla 1). La presencia de *Sphagnum* se encontró a un muy bajo porcentaje, menor al 20% de abundancia. *Plantago rigida* apareció desde el centímetro 65 hasta la superficie. Se pudo evidenciar que hay disminuciones de *Plantago* relacionadas al aumento de juncos y contenido mineral. Los juncos se distribuyeron desde los 2 metros de profundidad hasta los primeros centímetros del núcleo y su disminución está relacionada de igual forma que en el caso de *P. rigida* al contenido mineral que logra alcanzar el 100% desde los 100 a 10 centímetros de profundidad. Al igual que en la piscina, se observó una aparición de *Carex sp.* cercana al 80% de abundancia hacia los 140 centímetros de profundidad. A diferencia del núcleo extraído en la piscina, en el cojín se observó una aparición del musgo *Campylopus sp.* en un porcentaje mayor al 80% de abundancia (Figura 3 B).

En el sitio NEV 3 en la piscina la distribución macrofósil mostró que las señales de aparición de *Sphagnum* fueron desde los 100 centímetros hasta los 64 centímetros a un porcentaje menor al 20%. Esta señal desapareció y se volvió a observar en los primeros centímetros de profundidad. Comparado con los otros 2 sitios este núcleo tiene una menor evidencia de aparición de *Sphagnum* en todos los 150 centímetros de profundidad. Los juncos no fueron abundantes a lo largo del perfil

sedimentario de la piscina comparado con los otros dos sitios; únicamente se encontró en un 100% de abundancia desde los 40 a 25 centímetros de profundidad. *Carex sp.* fue cercano al 40% de abundancia en los 126 centímetros de profundidad. El contenido mineral observado en esta piscina es muy alto comparado con las piscinas de los otros dos sitios, en varias profundidades la cantidad de mineral observado fue del 100% y las disminuciones del contenido mineral fueron acompañadas con una aparición de juncos. *Plantago rigida* fue cercana al 40% de abundancia (Figura 4A)

En el sitio NEV 3 el cojín es dominado por *Plantago rigida* (Tabla1) y se encontraron restos de *Sphagnum* con un porcentaje menor al 20% en una profundidad de 150 centímetros. Los restos de *Plantago rigida* empezaron a aparecer desde los 135 centímetros de profundidad, pero con un muy bajo porcentaje. Luego se hace muy abundante desde los 15 centímetros hasta lo que se puede observar en la superficie actualmente. Se evidenció una disminución en la abundancia de los restos de *P. rigida* relacionado a un aumento de juncos. Los juncos se observan desde los 135 centímetros de profundidad. El aumento o disminución de estas plantas está relacionado a un aumento del contenido mineral y una aparición del musgo *Campylopus sp.* El contenido mineral llegó a ser del 100% en varios centímetros del perfil, hay una mayor evidencia desde los 150 a 90 centímetros de profundidad (Figura 4 B).

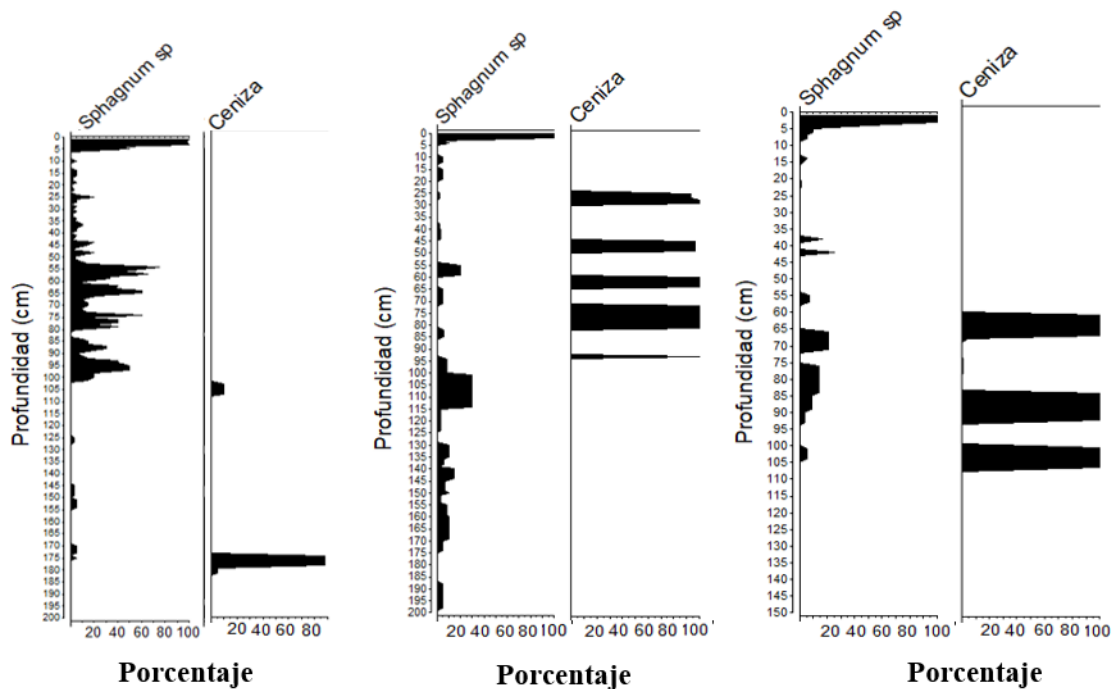


Figura 5. Distribución de Ceniza volcánica en los núcleos cojines Asociado a la aparición de *Sphagnum*. De derecha a izquierda “Laguna Verde” (NEV 1), “El Cisne” (NEV2), “Laguna del Otún” (NEV 3).

En general se evidencia un alto contenido de ceniza volcánica en el sitio NEV 2 y NEV 3. En el sitio “Laguna del Otún” (NEV 3) hay dos señales de ceniza volcánica a una profundidad de 85 y 60 centímetros, lo que podría asociarse a las primeras erupciones del Volcán Nevado del Ruiz reportadas en 1595 y 1808 respectivamente, hace alrededor de 400 y 200 años. Estas señales de ceniza volcánica se observan a una profundidad similar de aparición de *Sphagnum* (figura5).

Química del agua

Se encontraron diferencias significativas en la variable estructura (Piscina y Cojín) ($F_{1,92}$, p-valor = $5,8 \times 10^{-07}$); el pH es diferente tanto en cojines como en piscinas, la variable sitio las diferencias también fueron significativas ($F_{5,92}$, p-valor = $< 2 \times 10^{-16}$), por lo cual el pH es diferente en cada uno de los sitios, además la interacción entre la estructura y el sitio fue significativamente diferente, la diferencia entre la piscina y el cojín dependen del sitio ($F_{5,92}$, p-valor = 0.00715). Los sitios NEV 4, 5 y 6 se diferencian de los sitios NEV 1 y 2 tanto en piscinas como cojines. El pH de los sitios NEV 1

y NEV 2 y NEV 3, en los cuales hay la presencia de *Sphagnum*, tienen valores de pH más ácidos que los sitios que no tienen la presencia de *Sphagnum*, además de esto, cuando hay presencia de *Sphagnum* los cojines y piscinas tienen un pH más ácido que los lugares en donde no está la presencia de este musgo.

Para la conductividad, se encontraron diferencias significativas en la estructura (piscina y cojín) ($F_{1,87}$, $p\text{-valor}=5,47 \times 10^{-2}$), la variable sitio fue significativa también ($F_{5,87}$, $p\text{-valor}=3,11 \times 10^{-10}$), adicional su interacción fue significativa también ($F_{5,87}$, $p\text{-valor}=0,000375$). A diferencia de la gráfica de pH, la conductividad no muestra una diferenciación entre los sitios en los que existe la presencia de *Sphagnum* y los que no, se observa que existe una diferencia entre la conductividad de los cojines relacionada a las piscinas, en la estructura de cojín formados por *D. muscoides* y *P. rigida*, la conductividad es mayor que en las piscinas en todos los sitios menos en el sitio NEV 3. Se puede observar una amplia variación entre los sitios tanto en el pH como para la conductividad (figura 6).

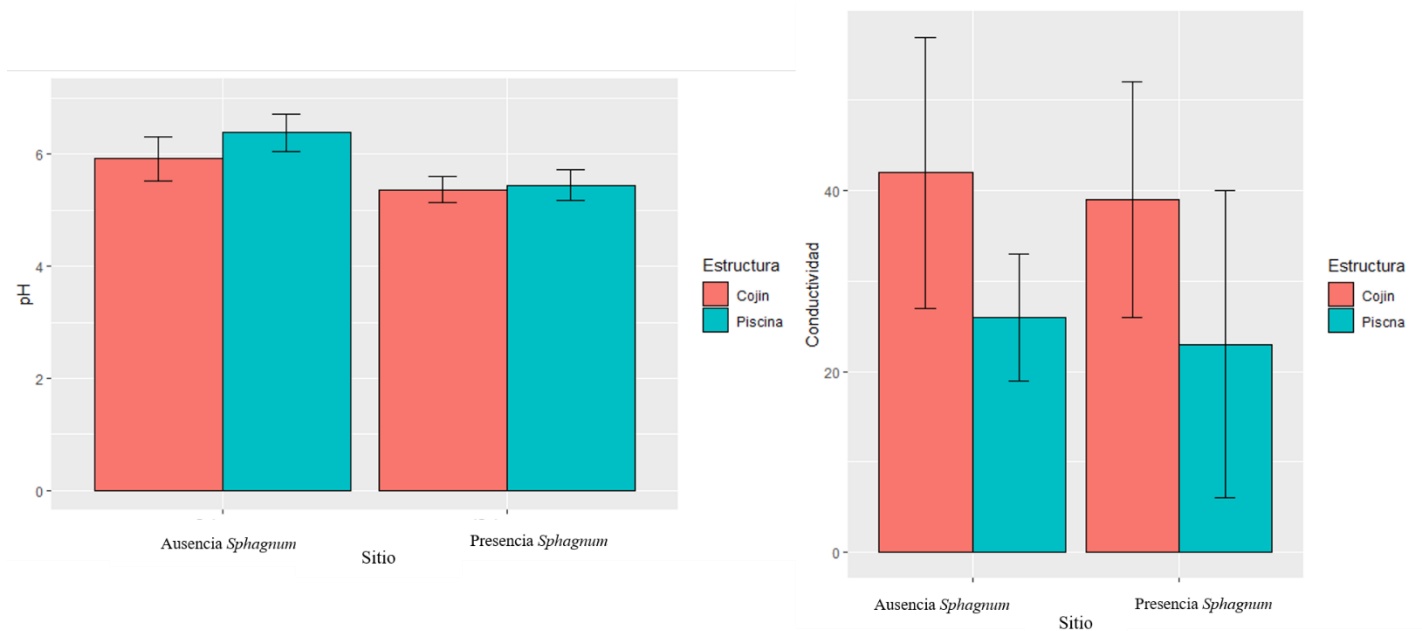


Figura 6. Valores de pH(derecha) y conductividad eléctrica (izquierda) del agua para 6 turberas en altas elevaciones de los andes comparando turberas dominadas por cojines con presencia de *Sphagnum* y sin presencia de *Sphagnum*.

Discusión

Debido a que la acumulación de turba puede verse representada en años, 40 centímetros de acumulación representarían casi 200 años de formación de turberas tropicales (Benavides et al., 2013). Turberas dominadas por *Sphagnum* en zonas boreales, 40 centímetros de turba son entre 150 y 200 años (Vitt et al., 2009). Además, las capas de tefra en los núcleos relacionadas a las erupciones volcánicas del Volcán Nevado del Ruiz, muestran que la señal de *Sphagnum* sp. se evidencia hace 400 años. Según esto, estos resultados muestran que las señales de *Sphagnum* que se observaron son de hace más de 200 años en las piscinas. Además, el número y el tamaño de parches de *Sphagnum* sp. en las piscinas (Tabla 1-Sitio NEV 1) que se evidenciaron en estos humedales, muestra que esta presencia no es reciente, a diferencia del estudio realizado por Fritz (2012) en el que la invasión de plantas vasculares en turberas dominados por *Sphagnum magellanicum* es más reciente relacionado al pequeño y reducido tamaño de parches colonizado por plantas vasculares.

En los 3 sitios se evidencia un alto porcentaje de aparición de Juncos tanto en piscinas como en cojines unido a un bajo porcentaje de presencia y dominancia de *Distichia muscoides* y *Plantago rigida*. Plantas como los juncos y *Carex* sp. se ven beneficiadas por el aumento en el flujo laminar relacionado con inundaciones (Poveda & Pineda, 2009). Un evento como el observado en el sitio NEV 1 en el centímetro 15 puede estar asociado con el crecimiento y colapso de un cojín formado por *Distichia muscoides*, permitiendo así el crecimiento de juncos y al igual que un leve aumento de *Sphagnum*; estas inundaciones forman depresiones o piscinas, lo que finalmente favorece la presencia y dominancia en algunos centímetros de *Sphagnum* en las piscinas de estas turberas. Los cojines formados por plantas vasculares pueden estar colapsando (Cleef, 1981) ya que las inundaciones no favorecen a las plantas formadoras de cojines debido al estrés causado por la frecuente inundación a la que se ven sometidas las hojas y en consecuencia el menor transporte de oxígeno (Gebser, 2008; Neuner & Pramsöhler, 2006), dando espacio a la presencia de *Sphagnum* el cual tiene preferencias por ambientes más húmedos (Clymo, 1973; Rydin & Jeglum, 2006; Breemen, 1995). Las piscinas y cojines se encuentran conectados a través de la hidrología (Shi et al., 2015), por esa razón el colapso

de los cojines por un aumento de la lámina de agua se ve reflejado en la aparición de musgos como *Sphagnum* en las piscinas.

El aumento de los flujos hidrológicos podría ser ocasionada muy probablemente por derretimiento glaciar del Nevado Santa Isabel causado por el aumento de la temperatura y de manera secundaria por un aumento en las precipitaciones (Poveda & Pineda, 2009; Ceballos et al., 2006). El alto porcentaje mineral que se encuentra en los 3 sitios tanto en piscinas como en cojines es una evidencia de la deposición arrastrada proveniente de la erosión del lecho rocoso dada por el derretimiento glaciar (Kaiser et al., 2012). En el sitio NEV 1 se evidencia una dominancia de *Sphagnum* sp. en dos partes del núcleo a diferencia de los otros dos sitios en los que solo es dominante en los primeros centímetros. Esto puede deberse eventos de precipitación elevada y a su ubicación con respecto al glaciar la cual es más cercana que los otros dos sitios. La descarga de agua que llega a esta turbera puede ser mayor por su cercanía con el Nevado Santa Isabel. La señal de *Sphagnum* vista en estas turberas puede ser relacionada a factores autógenos del humedal, localmente la presencia de aguas provenientes de los glaciares restringen el hábitat a unas pocas especies adaptadas, lo cual forma ambientes heterogéneos (Quenta et al., 2016).

Turberas formadas por especies del género *Sphagnum* prefieren ambientes con una baja cantidad de nutrientes para su desarrollo a diferencia de las plantas vasculares formadoras de cojines las cuales requieren de una cantidad de nutrientes mayor (Clymo, 1973). En ambientes donde los nutrientes son limitantes, las plantas vasculares poseen raíces que facilitan la captación de Nitrógeno y Fósforo y por tal razón les da una ventaja competitiva sobre el crecimiento de musgos como *Sphagnum* (Fritz, 2012). Pero este estudio revela que a pesar de esa ventaja que poseen las plantas vasculares, en el sitio NEV 1, *Sphagnum* parece ser mejor competidora que *Distichia muscoides* y quizá esté relacionado a la constante inundación y colapso de esos cojines en un ambiente pobre en nutrientes que se dio en varios momentos históricos de formación de esta turbera.

Los restos del musgo *Drepanocladus sp.* observados en los núcleos de los sitios NEV 1 y NEV 2 son de un alto porcentaje de abundancia, podría estar relacionado con un hábitat de suelos y valles glaciares mal drenados y con un pH alrededor de 5,5 y 6,4 (Cleef, 1981). La aparición de *Sphagnum* podría estar relacionada con la presencia de *Drepanocladus sp.* ya que estos musgos a través de la acumulación de materia orgánica de sus restos parcialmente descompuestos alteran la acidez y lo hace atractivo para la formación de turberas de *Sphagnum* (Pendall et al., 2001). En el núcleo de la piscina NEV 2 se observa un porcentaje de abundancia mayor al 80% y quizá por sus características propició la presencia de *Sphagnum* en todos los dos metros de muestra analizada.

Turberas dominadas por plantas vasculares prefieren ambientes más alcalinos para su desarrollo (Fritz, 2012) e igualmente se ha evidenciado que turberas dominadas por musgos del género *Sphagnum* prefieren ambientes con un pH más ácido tanto en turberas boreales, australes como tropicales (Vitt & Chee, 1990; Benavides & Vitt, 2014; Fritz, 2012). Los resultados de la química del agua muestran que la presencia de *Sphagnum* en las piscinas de ambientes dominados por *Distichia muscoides* y *Plantago rigida* el pH es significativamente más ácido comparado con turberas sin la presencia de *Sphagnum*. Normalmente, el rango del pH en las turberas puede variar dependiendo de la precipitación y de la secreción de ácidos orgánicos provenientes de *Sphagnum* (Clymo, 1964). Por tal razón la acidez observada en piscinas y cojines con presencia de *Sphagnum* es causada por la excreción de ácidos y la actividad de intercambio catiónico de briofitos como *Sphagnum* (Bragazza & Gerdol, 2002; Gorham et al., 1985).

Sphagnum es una ingeniera del ecosistema ya que puede crear un hábitat en el que pocas plantas pueden crecer (Breemen, 1995). Debido a esto *Sphagnum* es abundante en la actualidad, está modificando su ambiente y por esa razón se puede observar dominante en las piscinas de estos humedales. Los resultados de la distribución microfósil muestra que los restos de *Sphagnum* es una señal que no es muy fuerte, pero debido a esa capacidad y al estar adaptada a ambientes más húmedos (Breemen, 1995) ha podido seguir presente en estas turberas.

En aguas muy ácidas de bajo contenido de sal, la mayor parte de la conductividad proviene de iones de hidrógeno. Los valores de conductividad son altos en los cojines ya que el pH para los cojines en algunos sitios supera valores de 5,0 (Sjörs, 1950). Los valores de conductividad eléctrica están relacionados al arrastre de sedimentos que terminaron depositándose en estas turberas. El contenido mineral alto para cada uno de los sitios puede tener un efecto en la conductividad eléctrica, la cual mostraron valores altos.

La presencia de *Sphagnum* en estas 3 turberas del Parque Nacional Natural los Nevados es debida a factores autógenos de cada humedal, un estudio paleoecológico realizado en este mismo lugar en diferentes turberas, la reconstrucción de la vegetación muestra una baja a nula presencia *Sphagnum*, lo que quiere decir que es una presencia controlada por factores que actúan a escala local en las 3 turberas analizadas. Al igual que en las turberas del hemisferio norte, las cuales afrontan cambios abruptos en la vegetación son asociados a un conjunto limitado de factores que actúan a escala local; a menor escala, la distribución de las especies es controlada por la profundidad de la capa freática y sus fluctuaciones estacionales (Vitt et al., 1995; Bragazza & Gerdol 1999).

Conclusiones

La presencia de *Sphagnum* se observó posiblemente hace más de 200 años en el desarrollo y evolución de estas turberas a elevaciones mayores a los 3900 m s.n.m, lo cual refleja que se encontraban presentes en un nicho el cual no era el predicho para estas especies de musgos formadores de turba. Factores abióticos como el pH, las respuestas de la vegetación a procesos hidrológicos ocurridos dentro de las turberas y factores bióticos como la relación de *Sphagnum* con *Drepanocladus* sp. podrían explicar la presencia de especies del género *Sphagnum* a estas elevaciones en el superáramo, casi cercanas al glaciar. Las especies de *Sphagnum* son especies altamente competitivas y dado a los factores autógenos de cada humedal, son mayormente favorecidas que la vegetación formadora de cojines. La capacidad de estos musgos de modificar su ambiente acidificándolo, les ha favorecido

altamente para poder encontrarse en la actualidad en un ecosistema sensible a los cambios abruptos de la temperatura y la precipitación. Si esta presencia continua en aumento por ejemplo en un lugar como “laguna Verde” (NEV 1) podríamos cuestionarnos acerca del futuro de estas turberas con dependencia hidrológica hacia el glaciar el cual está en vía a la extinción predicha para menos de 50 años. Las preguntas respondidas a través del uso de métodos históricos son pertinentes para entender desde una escala de tiempo mayor, procesos a escalas espaciales más locales. Los análisis históricos permiten una descripción de nicho quizá un poco más detallada y poder ser incluida en los modelos de distribución de especies.

Agradecimientos

Primero y el más importante agradezco a mi familia en especial a Laura Bibiana Ospina Rozo por su apoyo en la parte estadística y apoyo emocional y profesional.

Al profesor Juan Carlos Benavides por ser mi guía en todos estos 3 años de trabajo y aprendizaje, por alentar y patrocinar mis ideas y en el apoyo en mi desarrollo profesional y personal.

A mis amigas con las que me encontré y estuve estos 5 años de carrera, a mis compañeros del laboratorio por la ayuda, en especial a Carlos Ernesto Valbuena por la ayuda en campo, por sentarnos tardes a pensar la respuesta a esta pregunta y nuestro gusto por las turberas. A Daniel Avella y Violeta Martínez por la valiosa compañía en este proceso, a Sebastián Montero, Nicolás Skillings, Andrés Becerra y Sebastián Cortés. A Jorge Luis Ceballos, Alejandro, Duaney Izquierdo y Fabián Blanco por la ayuda en mi primera fase de recolección de muestras. A Andrés Martínez y Harold Peña por su valiosa y oportuna ayuda en mi segunda fase de campo. Un agradecimiento muy especial a Estefanía Ramírez por su apoyo y ser la luz en todas mis fases de campo y en la fase de laboratorio, la cual fue la más larga y compleja. A parques nacionales, al PNN Los Nevados y a la Pontificia Universidad Javeriana.

Bibliografía

Basilier, K., Granhall, U., & Stenstrom, T.-A. (1978). *Nitrogen Fixation in Wet Minerotrophic*

Moss Communities of a Subarctic Mire Author (s): Karl Basilier , Ulf Granhall and Thor-Axel Stenström Published by : Wiley on behalf of Nordic Society Oikos Stable URL : [http://www.jstor.org/st. 31\(2\), 236–246.](http://www.jstor.org/st.31(2),236-246)

Benavides, J. C., & Vitt, D. H. (2014). Response curves and the environmental limits for peat-forming species in the northern Andes. *Plant Ecology*, 215(9), 937–952.
<https://doi.org/10.1007/s11258-014-0346-7>

Benavides, J. C., Vitt, D. H., & Wieder, R. K. (2013). The influence of climate change on recent peat accumulation patterns of *Distichia muscoides* cushion bogs in the high-elevation tropical Andes of Colombia. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 118(4), 1627–1635.
<https://doi.org/10.1002/2013JG002419>

Bragazza, L., & Gerdol, R. (1999). Hydrology, groundwater chemistry and peat chemistry in relation to habitat conditions in a mire on the South–eastern Alps of Italy. *Plant Ecology*, 144(2), 243–256.

Breemen, N. B. van. (1995). How Sphagnum bogs down other plants. *Trends in Ecology & Evolution*, 10(7), 270–275. Retrieved from http://ac.els-cdn.com/0169534795900071/1-s2.0-0169534795900071-main.pdf?_tid=dc883232-185d-11e2-a6ac-00000aab0f6b&acdnat=1350480398_5ad9567127c834e8e9576e22f2cbdcfe

Bridgham, S. D., Pastor, J., Janssens, J. A., Chapin, C., & Malterer, T. J. (1996). Multiple limiting gradients in peatlands: A call for a new paradigm. *Wetlands*, 16(1), 45–65.
<https://doi.org/10.1007/BF03160645>

Ceballos, J. L., Euscátegui, C., Ramírez, J., Cañon, M., Huggel, C., Haeberli, W., & Machguth, H. (2006). Fast shrinkage of tropical glaciers in Colombia. *Annals of Glaciology*, 43, 194–201.
<https://doi.org/10.3189/172756406781812429>

Cooper, D. J., Wolf, E. C., Colson, C., Vering, W., Granda, A., & Meyer, M. (2010). Alpine Peatlands of the Andes, Cajamarca, Peru. *ARCTIC ANTARCTIC AND ALPINE RESEARCH*,

42(1), 19–33. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-42.1.19>

Colwell, R. K., G. Brehm, C. L. Cardelús, A. C. Gilman, and J. T. Longino (2008), Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics, *Science*, **322**(5899), 258–261.

Cleef, A. M. (1981). *The Vegetation of the Páramos of the Colombian Cordillera Oriental*. *Mededelingen van het Botanisch Museum en Herbarium van de Rijksuniversiteit te Utrecht* (Vol. 481). Retrieved from <http://www.narcis.nl/publication/RecordID/oai%3Anaturalis.nl%3A534752>

Clymo, R. S. (1964). The Origin of Acidity in Sphagnum Bogs Author (s): R . S . Clymo
Published by : American Bryological and Lichenological Society, *67*(4), 427–431.

Clymo, R. S. (1973). The Growth of Sphagnum: Some Effects of Environment. *The Journal of Ecology*, *61*(3), 849. <https://doi.org/10.2307/2258654>

Clymo, R. S. (1984). The limits to peat bog growth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, *303*(1117), 605–654.

El-daoushy, F., Tolonen, K., & Rosenberg, R. (1982). Lead 210 and moss-increment dating of two Finnish Sphagnum hummocks. *Nature*, *296*(5856), 429–431.
<https://doi.org/10.1038/296429a0>

Fritz, C. (2012). Limits of Sphagnum bog growth in the New World: biogeochemistry and ecohydrology of peatlands in South America and New Zealand. [Sl: sn]

Gebser, R. (2008). *Ecological studies on the vegetation distribution of the Moat cushion peatland in Tierra del Fuego, Argentina* (Doctoral dissertation, MSc Thesis, University of Greifswald).

Gorham, E., Eisenreich, S. J., Ford, J., & Santelmann, M. V. (1985). Chemistry of bog waters. In *Chemical processes in lakes* (pp. 339–362). John Wiley and Sons.

Halsey, L. A., Vitt, D. H., & Gignac, L. D. (2000). Sphagnum -dominated Peatlands in North

- America Since the Last Glacial Maximum: Their Occurrence and Extent . *The Bryologist*, 103(2), 334–352. [https://doi.org/10.1639/0007-2745\(2000\)103\[0334:sdpina\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1639/0007-2745(2000)103[0334:sdpina]2.0.co;2)
- Kaiser, K., Lorenz, S., Germer, S., Juschus, O., Küster, M., Libra, J., ... Hüttl, R. F. (2012). Late Quaternary evolution of rivers, lakes and peatlands in northeast Germany reflecting past climatic and human impact – an overview. *Quaternary Science Journal*, 61(2), 103–132. <https://doi.org/10.3285/eg.61.2.01>
- Kuhry, P., Nicholson, B. J., Gignac, L. D., Vitt, D. H., & Bayley, S. E. (1993). Development of Sphagnum-dominated peatlands in boreal continental Canada. *Canadian Journal of Botany*, 71(1), 10–22. <https://doi.org/10.1139/b93-002>
- Kuhry, P., & Vitt, D. H. (1996). Fossil carbon/nitrogen ratios as a measure of peat decomposition. *Ecology*, 77(1), 271–275. <https://doi.org/10.2307/2265676>
- Masarik, J., & Beer, J. (1999). Simulation of particle fluxes and cosmogenic nuclide production in the Earth's atmosphere. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 104(D10), 12099–12111. <https://doi.org/10.1029/1998JD200091>
- Mauquoy, D., Hughes, M., & Van Geel, B. (2010). A protocol for plant macrofossil analysis of peat deposits. *Mires and Peat*, 7(06), 1–5. Retrieved from <http://www.mires-and-peat.net/>,
- Malmer, N., Albinsson, C., Svensson, B. M., Wallén, B., Maimmer, N., & Wallen, B. (2014). *Interferences between Sphagnum and vascular plants : effects on plant community structure and peat formation* Published by : Wiley on behalf of Nordic Society Oikos All use subject to JSTOR Terms and Conditions *Interferences between Sp.* 100(March 2003), 469–482.
- Meyers, P. A., & Ishiwatari, R. (1993). Lacustrine organic geochemistry—an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organic geochemistry*, 20(7), 867-900
- Neuner, G., & Pramsöhler, M. (2006). Freezing and high temperature thresholds of photosystem 2

- compared to ice nucleation, frost and heat damage in evergreen subalpine plants. *Physiologia Plantarum*, 126(2), 196–204. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00605.x>
- Pendall, E., Markgraf, V., White, J. W., Dreier, M., & Kenny, R. (2001). Multiproxy record of late Pleistocene–Holocene climate and vegetation changes from a peat bog in Patagonia. *Quaternary Research*, 55(2), 168–178.
- Pouliot, R., Rochefort, L., & Karofeld, E. (2011). Initiation of microtopography in revegetated cutover peatlands. *Applied Vegetation Science*, 14(2), 158–171. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2010.01118.x>
- Quenta, E., Molina-Rodriguez, J., Gonzales, K., Rebaudo, F., Casas, J., Jacobsen, D., & Dangles, O. (2016). Direct and indirect effects of glaciers on aquatic biodiversity in high Andean peatlands. *Global Change Biology*, 22(9), 3196–3205. <https://doi.org/10.1111/gcb.1331>
- Rydin H, Jeglum JK. 2006. The biology of peatlands. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Shi, X., Thornton, P. E., Ricciuto, D. M., Hanson, P. J., Mao, J., Sebestyen, S. D., ... Bisht, G. (2015). Representing northern peatland microtopography and hydrology within the Community Land Model. *Biogeosciences*, 12(21), 6463–6477. <https://doi.org/10.5194/bg-12-6463-2015>
- Sjörs, H. (1950). On the relation between vegetation and electrolytes in north Swedish mire waters. *Oikos*, 2(2), 241–258.
- Swindles, G. T., Vleeschouwer, F. De, & Plunkett, G. (2010). Dating peat profiles using tephra: stratigraphy, geochemistry and chronology. *Mires and Peat*, 7(May 2014), 1–9. Retrieved from <http://www.doaj.org/doaj?func=fulltext&aId=896235%0>
- Turetsky, M. R., Manning, S. W., & Wieder, R. K. (2004). Dating recent peat deposits. *Wetlands*, 24(2), 324–356. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2004\)024\[0324:DRPD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2004)024[0324:DRPD]2.0.CO;2)
- Vitt, D. H., & Chee, W. L. (1990). The relationships of vegetation to surface water chemistry and

peat chemistry in fens of Alberta, Canada. *Vegetatio*, 89(2), 87–106.

<https://doi.org/10.1007/BF00032163>

Vitt, D. H., Li, Y., & Belland, R. J. (1995). Patterns of bryophyte diversity in peatlands of continental western Canada. *Bryologist*, 218-227.

Vitt, D. H., Wieder, R. K., Scott, K. D., & Faller, S. (2009). Decomposition and Peat Accumulation in Rich Fens of Boreal Alberta, Canada. *ECOSYSTEMS*, 12(3), 360–373.

<https://doi.org/10.1007/s10021-009-9228-6>

Zar, J. H. (1996). *Biostatistical analysis*. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.

Anexos:

Anexo 1 Lineamientos de publicación para los autores de la revista *Mires and Peat*
Mires and Peat
Instructions for the authors

Arrangement

Manuscripts should usually follow this sequence: Title; Authors(s); Authors' Affiliations; Summary; Key Words (up to 5); Introduction (ending with a concise statement of the purpose of the paper); Methods; Results; Discussion; Acknowledgements; References; Author for Correspondence (title, first name, last name, telephone number, e-mail address). If appropriate, a section entitled 'Study area' may be inserted between Introduction and Methods. However, when the work relates to one or a few specific study site(s), these should be described in the first sub-section of Methods. A Conclusions section may be inserted between the Discussion and Acknowledgements, but is not mandatory and should be included only if necessary to make the outcomes clear. We find that Conclusions are necessary only when describing unusually complex studies, and most articles work well without this section. In 'review-style' manuscripts the main headings 'Methods', 'Results' and 'Discussion' may be substituted with other headings relating to the substance of the review.

Technical Data

The manuscript should be provided as a Word file containing the text of the proposed article with Figure captions (only) appended. The text should be double-spaced in 11 pt Times New Roman characters on page size A4 (21 x 29.7 cm), with margins of 2 cm all round (top, bottom and both sides of page). The first line of each paragraph should be indented by 0.5 cm UNLESS it follows a section or sub-section heading, and there should be only one character space between each pair of sentences. Pages should be numbered consecutively, including those containing Acknowledgements, References and captions. Please do not use autoformatting or crossreferencing but do add line numbers. If you used reference management software whilst drafting, please remember to ‘convert to plain text’ before submission. The title should be followed by the initials, surnames and brief affiliations (including countries) of the author(s). One ‘corresponding author’ should be nominated, and his/her title (e.g. Professor, Dr), first and last names, full postal address, telephone number and e-mail address should be given at the end of the manuscript. Please see papers already published in Mires and Peat for detailed examples. The Summary must be less than 200 words, reporting concisely on the purpose and results of the work. Three headings may be used, all aligned to the left margin: PRINCIPAL HEADING (bold, all upper case), First subheading (bold, sentence case) and Second subheading (italics, sentence case). Please observe also the following points when drafting: • Units of measurement should comply with international standards (SI units) and should be distinct from the variable measured (e.g. dry density in g m^{-3} ; NOT density in g DM m^{-3}). • Please use standard abbreviations (mm, m, Ma, t, oC, NW-SE, Pb, etc.). • Use the word-ending ‘ise’ rather than ‘ize’ where both are available, e.g. ‘minimise’. • ‘Circa’ should be abbreviated to ‘ca.’ May be used to indicate approximate historical dates but NOT approximate quantities. • Use long hyphens [Ctrl+Fn+;(semicolon)] for ranges e.g. “pp. 237–261” and short hyphens to divide and connect words, e.g. “half-baked”. • Mires and Peat does not use the abbreviations “Fig.” and “Tab.” for Figures and Tables.

Citations

References in the text to other articles should merely indicate the name of the author (followed by an ampersand (&) and the name of the second author when there are two or by “et al.” in italics when there are more than two) and the publication date of the article in parentheses. If the submitted manuscript refers to two articles by the same (cited) authors from the same year, they should be distinguished by ‘a’, ‘b’ etc. appended to the date. For example: Robert & Kelly (1987a), Köppel (1983), Basto Neto et al. (1991) or (Robert & Kelly 1987a) etc. Where two or more citations are listed together, they should be presented in date order (earliest first) and separated by commas, e.g. (Köppel 1983, Robert & Kelly 1987a, Basto Neto et al. 1991). If reference is made to two or more different authors with the same surname, they should be distinguished by adding initial(s) to the citation(s) in the text (e.g. A. Smith 1963, B.J. Smith 2015).

List of References

The References should include all the citations quoted in the text and only those citations, listing the authors alphabetically and then chronologically when several references by the same author(s) are given. Quote journal names in full, NOT abbreviated form. References should be cited as “in press” only if already accepted for publication, in which case the journal name, volume number, year and/or doi must be stated. Book and journal titles should be in italics with upper case initial letters. For books, please give the publisher, place of publication and either the total number of pages or the page range for the material cited. Where a reference is published in a language other than English, a translation of the title should be given in parentheses and the language of publication indicated. For items that are available both on paper and via the internet, “Online at:” and a web address may be appended in the reference list. References that are exclusively available by internet, and whose authorship is not clear, should be listed under the name of the author or owner of the web site. Where the reference is in a language that is written in non-Roman characters, the ‘international standard’ Roman transliteration of the citation should be used.

Anexo 2 *MARCO TEORICO*

Ecología de turberas

Los ecosistemas de turbera tienen una gran distribución en el mundo, en el hemisferio norte ocupan extensas áreas dominadas por *Sphagnum*. Las cuales han cambiado desde el último máximo glacial (Halsey et al., 2000). En los Andes tropicales, las turberas forman un conjunto diverso de ecosistemas, con una combinación de especies de plantas que migraron desde las áreas australes y boreales y un conjunto de plantas evolucionadas localmente (Young et al., 2002). En los Andes, las turberas se distribuyen desde la parte baja de la línea de árboles a (2.500 m), hasta el límite superior de la vegetación en el superpáramo (4.800 m); y desde la puna, Perú y Chile hasta los páramos húmedos en el Norte de los Andes (Cleef, 1981).

Las turberas se forman gracias a que la producción primaria neta excede las pérdidas por descomposición debido a que estos ecosistemas se encuentran en ambientes con bajas temperaturas y con suelos saturados por el agua. Esto resulta en un depósito de materia orgánica agrupada verticalmente que puede almacenar hasta 600 Gt de carbón en solo un 3% del área terrestre (Clymo, 1984; Yu et al., 2010). Se piensa que las turberas son sumideros del CO₂ atmosférico, además de ser fuentes de metano CH₄, gases de efecto invernadero— (Gorham, 1991; Yu et al., 2013; Wang et al., 2009). Además, las turberas son importantes en la regulación del agua, controlan las inundaciones y son fuentes de agua para muchos municipios. La hidrología tiene una relación estrecha con la acumulación de carbono ya que la descomposición de las plantas depositadas es más lenta por estar inmersas en el agua, lo que permite una gran acumulación de carbono (Holden, 2005).

La vegetación que conforman las turberas se encuentran determinadas por gradientes como el pH, la alcalinidad y los nutrientes, las especies tienen requerimientos diferentes para su desarrollo (Cleef, 1981). La hidrología y la temperatura a menudo limitan la producción y el

desarrollo de turberas dominadas por *Sphagnum sp* (Robroek et al., 2007), lo que sugiere que los cambios climáticos globales pueden tener impactos en estos ecosistemas.

Turberas como archivos del pasado

Las plantas que mueren en la superficie, quedan enterradas durante muchos años y se conservan porque la descomposición es muy lenta. Las plantas quedan enterradas en forma de microfósiles y dentro de estas, quedan registros de polen, carbono, partículas magnéticas, cenizas volcánicas, de condiciones hidrológicas y químicas pasadas (Barber, 1993). Por tal razón las turberas son consideradas como archivos de la deposición química y atmosférica, proporcionan registros de la vegetación del pasado y el clima, además de patrones espaciales y temporales de gran escala (Turetsky et al., 2004).

Estos análisis paleoecológicos y paleobotánicos pueden ser usados como evidencias del cambio climático al determinar la tasa y la naturaleza del secuestro del carbono, además que sirven para reconstruir contextos arqueológicos (Turetsky et al., 2004). Esto permite identificar qué comunidades de plantas existían en una determinada época y en qué momento del tiempo existieron; adicionalmente, cómo era el clima en ese momento y cómo este afectó el ecosistema del lugar (Briks & Briks 1980).

Debido a que la variabilidad espacial y temporal es grande y que los depósitos quedan registrados a largo plazo, se utilizan métodos como dataciones de isótopos estables e inestables como el isótopo ^{14}C (radiocarbono), los cuales tiene una aplicación de hasta 50 mil años (Trumbore, 2009). Estas dataciones generan cronologías de los perfiles de turba en las que se puede calcular las tasas de acumulación de materia orgánica a lo largo del tiempo. Además de esto, los sedimentos de las turberas que vienen por deposición atmosférica pueden ser datados a partir de $\text{Pb } 210$ (Turetsky et al., 2004).

El radiocarbono se produce en la estratosfera cuando los neutrones térmicos, producidos por los rayos cósmicos, reaccionan con el ^{14}N (isótopo de nitrógeno). El ^{14}C que resulta de esto, se oxida a $^{14}\text{CO}_2$ y se mezcla con la troposfera (atmósfera inferior) homogenizándose con el CO_2 que existe en la atmósfera. El radiocarbono, a partir de ahí puede ser fijado por las plantas a través de la fotosíntesis y así mismo pasa a la cadena alimenticia. Cuando las plantas y animales mueren dejan de absorber carbono 14 . Este empieza a sufrir una desintegración radiactiva y la cantidad de ^{14}C que hay en la materia orgánica empieza a disminuir permitiendo así hacer dataciones con Carbono 14 . El proceso de descomposición de la turba ha permitido datar edades con Carbono 14 y Plomo 210 (Turetsky, 2004; Masarik & Beer, 1999).

Ciclos biogeoquímicos en turberas

Ciclo del carbono

Las turberas cumplen un papel importante en el ciclo de carbono ya que pueden almacenar una gran cantidad de carbono orgánico en la superficie de la tierra debido al almacenamiento

de materia orgánica desarrollada por la acumulación de material vegetal en un ambiente saturado por el agua y sin oxígeno. Este comportamiento favorece la absorción de carbono sobre la pérdida de este (Clymo, 1984). Estudios han demostrado que, durante el Holoceno, las turberas han servido como sumideros de carbono, lo que contribuye a la retroalimentación negativa sobre el cambio climático en un futuro, causando enfriamiento en el planeta (Yu, 2011).

Las altas tasas de acumulación de carbono se han registrado en las épocas más cálidas y en las irradiaciones solares máximas en el verano, esto estimula la producción de las plantas, lo cual sugiere que en climas con temperaturas más altas pueden secuestrar grandes cantidades de carbono si se mantienen estables las condiciones de humedad y no hay una perturbación humana, en la que estos ecosistemas pase de ser un sumidero a una fuente de emisiones de CO₂ a la atmósfera (Yu, 2011; Gorham, 1991; Yu et al., 2010; (Frolking et al., 2013).

Ciclo del nitrógeno

Las principales entradas de nitrógeno en las turberas son por escorrentía y en una proporción más pequeña, atmosférica; cuando el nitrógeno entra al humedal, es fijado por cianobacterias, actinomicetos simbióticos, bacterias de vida libre (Dickinson 1983) y algas. Luego es transformado para ser asimilados por las plantas en forma de nitratos. Las turberas se consideran sumideros grandes de nitrógeno reteniendo el 65% de entradas de nitrógeno, casi 66 Kg anualmente (Urban & Eisenreich, 2011). La tasa de descomposición de las turberas está dada por la disponibilidad de nitrógeno que exista en el suelo, las altas disponibilidades de nitrógeno resultan en un incremento de la producción de biomasa (Malmer, 1990). Las tasas de acumulación de carbono están relacionadas con las tasas de acumulación de nitrógeno, una mayor disponibilidad de nitrógeno da como resultado una mayor producción de biomasa (Clymo, 1984; Kuhry & Vitt, 1996)

El nitrógeno es un limitante en el crecimiento de las plantas, la cantidad de Nitrógeno almacenado en la vegetación depende de la cobertura de la planta vascular y la forma de crecimiento dominante en los musgos. Un aumento en el suministro de N atmosférico puede resultar en un mayor crecimiento para musgos como *Sphagnum*, pero si existe un exceso de este resulta en una inhibición de su crecimiento a diferencia de las plantas vasculares (Fritz, 2012; Limpens et al., 2006).

La relación entre el carbono y el nitrógeno ha sido usada como un proxy en investigaciones paleoclimáticas y paleoecológicas. Las proporciones de carbono a nitrógeno son un indicador de la limitación de nitrógeno de las plantas y otros organismos y pueden identificar si las moléculas encontradas en el sedimento en estudio provienen de plantas terrestres o de algas. Si la descomposición del humedal es muy lenta quiere decir que el contenido de nitrógeno es bajo, por lo tanto, el carbono es alto y la relación carbono nitrógeno es alta. La relación C/N puede proporcionar información sobre la fuente de carbono, en términos del tipo de planta que sea predominante y de su hábitat (si es acuático o terrestre), el cambio en esa relación puede ser usada también para detectar cambios en el entorno (Leng & Lewis, 2017).

Química de las turberas

La química del agua y del sustrato es uno de los factores más importantes para determinar el tipo de vegetación que existe en las turberas (Cooper et al., 2010). En las turberas existe un gradiente de rico a pobre (Riqueza o escasas de nutrientes), que define la variación de la vegetación de turberas en todo el mundo (Sjors, 1950). A esto se le conoce como Fens pobres y Bogs, estos dos tipos de turberas dominan especies de musgo *Sphagnum* que debido a su capacidad de intercambio catiónico (capacidad del suelo de retener o liberar iones positivos, debido a su contenido de materia orgánica) acidifican el agua y el suelo. Las turberas que son dominadas por cojines de plantas vasculares necesitan de la disponibilidad de nutrientes como el Nitrógeno debido a que aumenta la cobertura y productividad. Tienen requisitos de nutrientes mucho más altos que los musgos.

La variación en la dominancia de las plantas vasculares está asociada con los niveles de nutrientes en el agua, mientras que los briofitos se ven más afectados por los cambios de acidez y los elementos minerales. En los humedales del norte parecen estar estructurados en gran medida por el pH del agua en la superficie, alcalinidad, el calcio, el magnesio y la conductividad (Bridgham et al. 1996; Sjors, 1963; Vitt & Slack, 1975; Vitt & Chee, 1990).

Cambio climático en turberas:

El cambio climático representa amenaza para los ecosistemas de altas elevaciones en los Andes, ya que se prevé que las temperaturas aumentarán en 5 ° C durante los próximos 90 años (Bradley et al., 2006). Los cambios en el clima tendrán efectos en ecosistemas de montaña y en particular en las comunidades de plantas que se limitan a las elevaciones más altas y pueden estar en mayor riesgo de extinción en la cima de la montaña.

El deshielo glaciar relacionado a las altas temperaturas puede afectar la extensión y distribución de ecosistemas de turba ya que hay un mayor suministro de agua que viene del glaciar (Colwell et al., 2008). Unido a esto, el cambio climático global puede afectar la composición química de las turberas, puede cambiar la eficiencia de retención de nitrógeno de las plantas, la disponibilidad de nitrógeno por lo cual puede estresar a la vegetación dominante (Bragazza, 2008).

Antecedentes

Temáticos

Un estudio similar en humedales de la Patagonia, Fritz (2012) explica los factores que han permitido la colonización y alta competitividad de las plantas vasculares en turberas dominadas por *Sphagnum*. Los nutrientes, la lámina de agua, el viento y la temperatura favorecen a las plantas vasculares en estos humedales. Los nutrientes son un importante gradiente de distribución de la vegetación en este caso, ya que las raíces de estas plantas perforan el suelo por lo que pueden absorber mayor cantidad de nutrientes, haciendo que haya una mayor fotosíntesis generando a su vez una mayor productividad primaria.

Estudios sobre la reconstrucción de la vegetación del pasado en cojines dominados por *Distichia muscoides* realizados en turberas en el parque el Cocuy. *Distichia* ha dominado en los últimos 20 años, *Sphagnum* fue poco abundante en toda la sucesión de la vegetación y musgos diferentes a *Sphagnum* tuvieron un aumento de su porcentaje entre 1980 y 2000 para luego desaparecer completamente. Además de esto, el cambio climático y la hidrología tuvieron un efecto en la composición y distribución de la vegetación de estas turberas (Valderrama *et al.*, 2017).

Estudios realizados en lagos de japon y estados unidos, muestran fluctuaciones irregulares entre la C/N. Estas relaciones se deben a cambio de dominancia algal a una dominancia de plantas vasculares. Estos resultados llevaron a conclusiones sobre el estado de lago en el pasado. Cuando estuvo dominado por algas el lago se encontraba con aguas profundas, mientras que el tiempo en el que estuvo dominado por plantas vasculares el lago era poco profundo y seco (Meyers *et al.*, 1993). Existe también un estudio realizado en turberas dominadas por *Sphagnum fuscum* en Estados Unidos muestran que no existe una relación entre el gradiente del pH subsuperficial del agua y existe una mayor relación C/N en la superficie y luego una disminución gradual debida al enriquecimiento de nitrógeno en el fondo de la turba (Kuhry & Vitt, 1996).

Bibliografía

- Barber, K. E. (1993). Peatlands as scientific archives of past biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 2(5), 474–489.
- Birks, H.J.B & Birks, H.H. (1980) Quaternary palaeoecology. Edward Arnold, London.
- Bradley, R. S., Vuille, M., Diaz, H. F., & Vergara, W. (2006). Threats to water supplies in the tropical andes. *Science*, 312(5781), 1755–1756.
- Bragazza, L. (2008). A climatic threshold triggers the die-off of peat mosses during an extreme heat wave. *Global Change Biology*, 14(11), 2688–2695.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01699.x>
- Colwell, R. K., Brehm, G., Cardelús, C. L., Gilman, A. C., & Longino, J. T. (2008). Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. *Science*, 322(5899), 258–261. <https://doi.org/10.1126/science.1162547>
- Cleef, A. M. (1981). *The Vegetation of the Páramos of the Colombian Cordillera Oriental. Mededelingen van het Botanisch Museum en Herbarium van de Rijksuniversiteit te Utrecht* (Vol. 481). Retrieved from
<http://www.narcis.nl/publication/RecordID/oai%3Anaturalis.nl%3A534752>
- Clymo, R. S. (1984). The Limits to Peat Bog Growth. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 303(1117), 605–654.
<https://doi.org/10.1098/rstb.1984.0002>
- Fritz, C. (2012). Limits of Sphagnum bog growth in the New World: biogeochemistry and ecohydrology of peatlands in South America and New Zealand. [SI: sn]
- Frolking, S., Roulet, N., & Lawrence, D. (2013). Issues Related to Incorporating Northern Peatlands into Global Climate Models. *Carbon Cycling in Northern Peatlands*, 19–35.

<https://doi.org/10.1029/2008GM000809>

- Gorham, E. (1991). Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications*, 1(2), 182–195.
<https://doi.org/10.2307/1941811>
- Halsey, L. A., Vitt, D. H., & Gignac, L. D. (2000). Sphagnum -dominated Peatlands in North America Since the Last Glacial Maximum: Their Occurrence and Extent . *The Bryologist*, 103(2), 334–352. [https://doi.org/10.1639/0007-2745\(2000\)103\[0334:sdpina\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1639/0007-2745(2000)103[0334:sdpina]2.0.co;2)
- Holden, J. (2005). Peatland hydrology and carbon release: Why small-scale process matters. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 363(1837), 2891–2913.
<https://doi.org/10.1098/rsta.2005.1671>
- Leng, M. J., & Lewis, J. P. (2017). C/N ratios and Carbon Isotope Composition of Organic Matter in Estuarine Environments, 213–237. https://doi.org/10.1007/978-94-024-0990-1_9
- Limpens, J., Heijmans, M. M. P. D., & Berendse, F. (2006). The Nitrogen Cycle in Boreal Peatlands. *Boreal Peatland Ecosystems*, 188, 195–230. https://doi.org/10.1007/978-3-540-31913-9_10
- Malmer N (1990) Constant or increasing nitrogen concentrations in Sphagnum mosses on mires in Southern Sweden during the last few decades. *Aquilo Ser Bot* 28:57–65
- Masarik, J., & Beer, J. (1999). Simulation of particle fluxes and cosmogenic nuclide production in the Earth's atmosphere. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 104(D10), 12099–12111. <https://doi.org/10.1029/1998JD200091>
- Robroek, B. J. M., Limpens, J., Breeuwer, A., & Schouten, M. G. C. (2007). Effects of water level and temperature on performance of four Sphagnum mosses. *Plant Ecology*, 190(1), 97–107. <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9193-5>
- Sjörs, H. (1950). On the relation between vegetation and electrolytes in north Swedish mire waters. *Oikos*, 2(2), 241-258.
- Sjörs, H. (1963). Bogs and fens on Attawapiskat River, northern Ontario (pp. 45-133). Roger Duhanel, Queen's Printer.
- Trumbore, S. (2009). Radiocarbon and Soil Carbon Dynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 37(1), 47–66.
<https://doi.org/10.1146/annurev.earth.36.031207.124300>
- Turetsky, M. R., Manning, S. W., & Wieder, R. K. (2004). Dating recent peat deposits. *Wetlands*, 24(2), 324–356. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2004\)024\[0324:DRPD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2004)024[0324:DRPD]2.0.CO;2)
- Urban, N. R., & Eisenreich, S. J. (2011). Nitrogen cycling in a forested Minnesota bog. *Canadian Journal of Botany*, 66(3), 435–449. <https://doi.org/10.1139/b88-069>
- Valderrama, M. M., Buitrago, D., Bedoya, M. M., & Benavides, J. C. (2017). Variación en los restos de microfósiles y dinámica reciente en turberas de Cojines de Distichia Muscoides de la Sierra Nevada del Cocuy, Colombia. *Caldasia*, 39(1), 79.
<https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n1.64327>

- Vitt, D. H., & Slack, N. G. (1975). An analysis of the vegetation of Sphagnum -dominated kettle-hole bogs in relation to environmental gradients. *Canadian Journal of Botany*, 53(4), 332–359. <https://doi.org/10.1139/b75-042>
- Vitt, D. H., & Chee, W. L. (1990). The relationships of vegetation to surface water chemistry and peat chemistry in fens of Alberta, Canada. *Vegetatio*, 89(2), 87–106. <https://doi.org/10.1007/BF00032163>
- Wang, Y., Roulet, N. T., Frohling, S., & Mysak, L. A. (2009). The importance of Northern Peatlands in global carbon systems during the Holocene. *Climate of the Past*, 5(4), 683–693. <https://doi.org/10.5194/cp-5-683-2009>
- Young, K. R., Ulloa, C. U., Luteyn, J. L., & Knapp, S. (2002). Plant evolution and endemism in Andean South America: An introduction. *BOTANICAL REVIEW*, 68(1), 4–21. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2002\)068{\[\]0004:PEAEIA}2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2002)068{[]0004:PEAEIA}2.0.CO;2)
- Yu, Z., Loisel, J., Brosseau, D. P., Beilman, D. W., & Hunt, S. J. (2010). Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophysical Research Letters*, 37(13). <https://doi.org/10.1029/2010GL043584>
- Yu, Z. (2011). Holocene carbon flux histories of the world's peatlands: Global carbon-cycle implications. *Holocene*, 21(5), 761–774. <https://doi.org/10.1177/0959683610386982>
- Yu, Z., Loisel, J., Turetsky, M. R., Cai, S., Zhao, Y., Frohling, S., ... Bubier, J. L. (2013). Evidence for elevated emissions from high-latitude wetlands contributing to high atmospheric CH₄ concentration in the early Holocene. *Global Biogeochemical Cycles*, 27(1), 131–140. <https://doi.org/10.1002/gbc.20025>

Anexo 3 Metodología extendida

La investigación se realizó en el Parque Nacional Natural Los Nevados en la parte central de los Andes Colombianos en un ambiente dominado por una cadena de picos volcánicos orientados de sur a norte. Las turberas incluidas en el presente estudio están situadas en la cara noroccidental y occidental de la cadena montañosa. Específicamente en el sendero de Laguna Verde ubicado entre el Volcán Nevado del Ruiz y El Nevado Santa Isabel y el sendero hacia la Laguna del Otún en la cara occidental del parque.

Se seleccionaron 6 turberas formadas por cojines de *Distichia muscoides* y *Plantago rigida*, 3 de ellas con presencia del musgo *Sphagnum*, las cuales se encuentran en elevaciones diferentes. El humedal “Laguna Verde” (NEV 1) se encuentra a una elevación de 4400 m s.n.m; mientras que los humedales “El Cisne” (NEV 2) y “Laguna del Otún” (NEV 3) se encuentran a una elevación de 4200 m s.n.m. Adicionalmente, se eligieron 3 turberas sin evidencia de presencia de *Sphagnum*, NEV 4 y NEV 5 se encontraban a una altura de 4300 m s.n.m y 4500 m s.n.m respectivamente. Por otra parte, hacia la cara occidental, cerca del sitio NEV 3 se eligió una turbera sin presencia de *Sphagnum* a una altura de 4100 m s.n.m (NEV 6) (Tabla 1) (Figura 1, Imagen 1).

Química del agua

En todas las turberas se tomaron mediciones de pH y conductividad eléctrica y se distinguió el origen a través de un análisis de su geomorfología. El muestreo se realizó en piscinas y cojines en donde se tomaron entre 7 a 12 puntos por sitio, dependiendo del área de la turbera. Para registrar los

valores en los cojines se abrieron huecos a su superficie a 5 centímetros de profundidad, hasta que emergiera el agua y poder registrar los valores. El pH y la conductividad se midieron con un pHmetro multiparamétrico de marca PCS Testr 35 (Sjors, 1950). Estas repeticiones se realizaron por medio de transectos lineales: los datos se registraron a intervalos de un metro de distancia. La cantidad de transectos dependió de la extensión de las turberas, entre 4 y 5 por humedal (Figura 2).

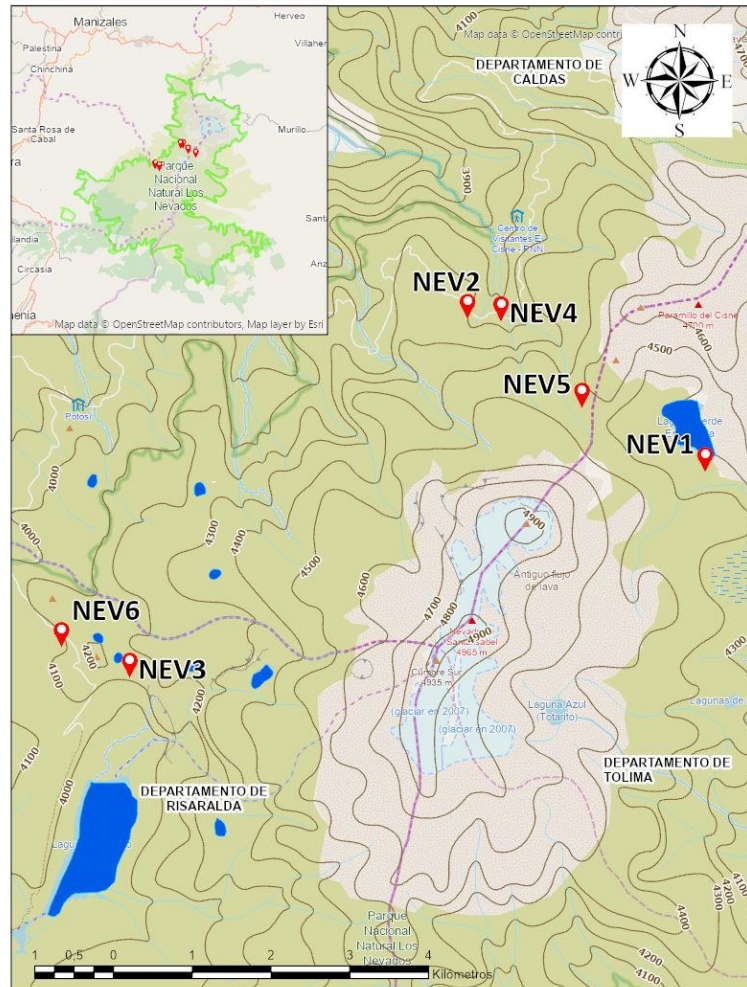


Figura 1: Mapa de los puntos de muestreo. NEV 1, NEV 2, NEV 3 son turberas identificadas con la presencia de *Sphagnum*. NEV 4, NEV 5 Y NEV 6 turberas dominadas por cojines de *Distichia muscoides* y *Plantago rigida*, estas turberas fueron seleccionadas para los análisis de pH y conductividad.

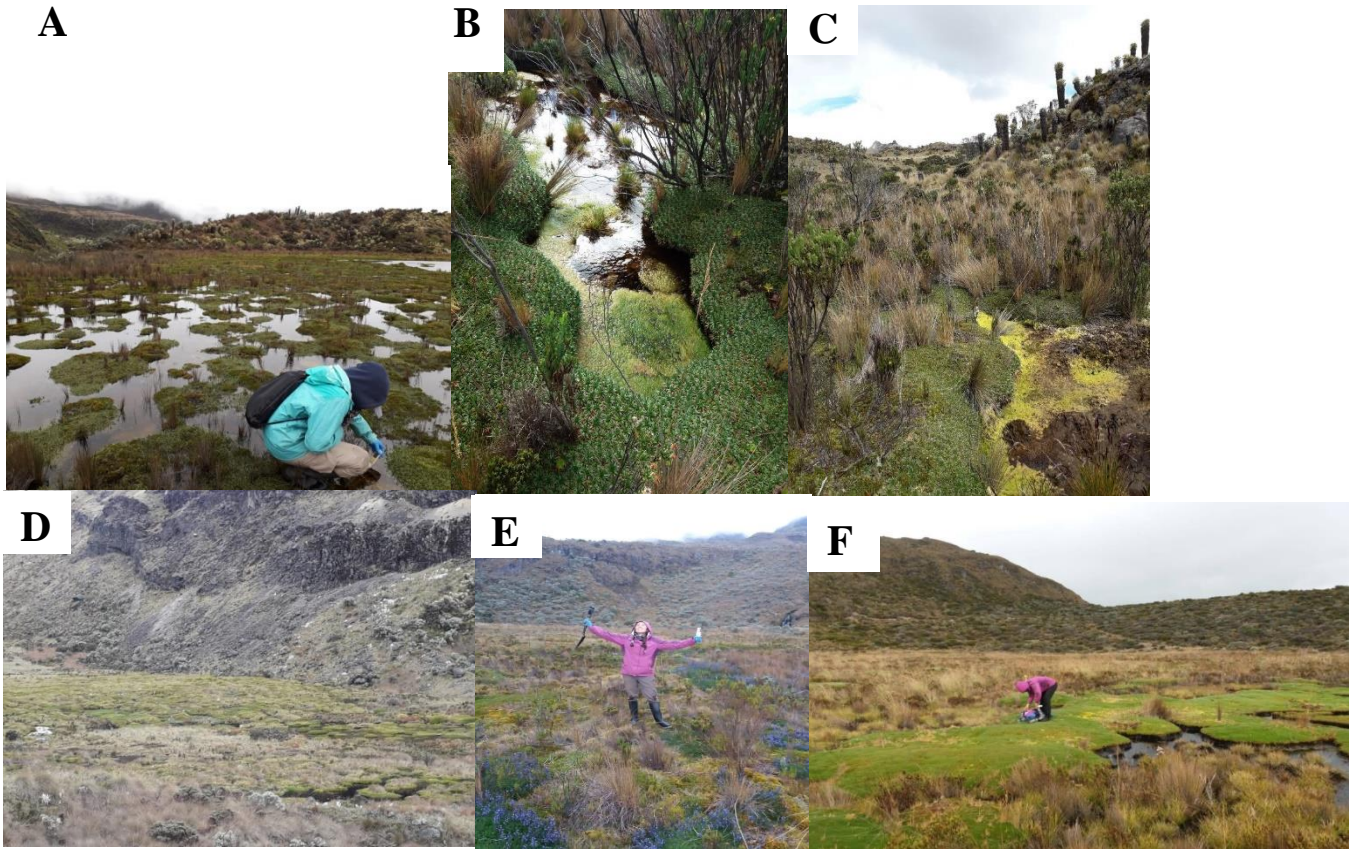


Imagen 1: Turbera “Laguna Verde” (NEV 1) (A), “El Cisne” (NEV 2) (B), “Laguna del Otún” (C), NEV 4(D), NEV 5 (E), NEV 6(F).

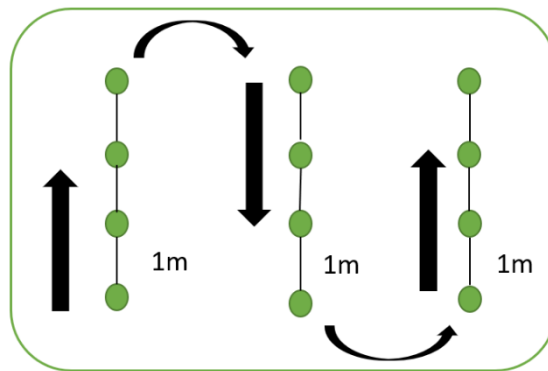


Figura 2: muestreo en transectos lineales para el registro de datos de pH y conductividad en cada turbera y muestreo de la vegetación de la superficie.

Extracción de núcleos

Para la reconstrucción de la vegetación se extrajeron núcleos de sedimento en los 3 humedales con aparición de *Sphagnum*. Esto se realizó en las partes más húmedas de las turberas (piscinas) y en los cojines formados por *Distichia muscoides* y *Plantago rigida*. (Imagen2)

En la extracción de los núcleos, primero, se midió la profundidad con un sensor barreno sin recolección en la Piscina. Para el humedal “Laguna del Otún” (NEV 3) y “Laguna Verde” (NEV1) la profundidad obtenida fue de 2 metros y en el humedal “El Cisne” (NEV 2) fue de 2 metros 50 centímetros. Se usó un barreno ruso de 50 centímetros de altura y de diámetro para obtener las muestras (Rydin & Jeglum, 2006; Kuhry et al., 1993). En total se obtuvieron 8 núcleos para NEV 1 y NEV 2 (4 de piscina y 4 de cojín) y 6 núcleos para NEV 3 (3 de piscina y 3 de cojín). Finalmente, se dispusieron las muestras en tubos de PVC de 50 centímetros de largo, cubriéndolas en papel plástico de embalaje para luego ser congeladas y así evitar su compresión (Imagen 4).

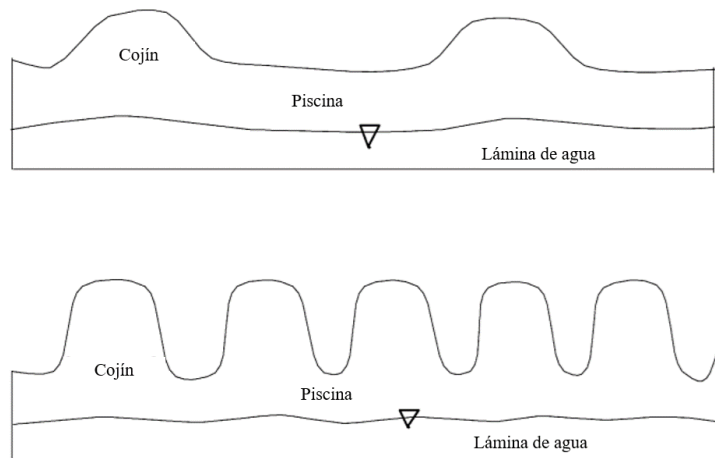


Imagen 2: A la derecha cojines de *Plantago rigida* y piscinas dominadas por *Sphagnum sp.* en el sitio “Laguna Verde”, a la izquierda gráfico representativo de la microtopografía de las turberas, tomado y editado de (Nungesser, 2003)

Análisis paleoecológicos

La reconstrucción de la vegetación se realizó a partir del análisis de microfósiles. Cada núcleo se partió verticalmente en dos mitades. Ambas secciones fueron divididas en segmentos de 1 cm de altura. Las secciones destinadas al análisis de microfósiles fueron separadas y colocadas en un medio líquido para luego ser observadas por medio de un estereoscopio. La muestra se ubico en un medio acuoso al interior de una caja de Petri donde se separaron las diferentes especies de plantas y otros residuos que se encontraban en la muestra (Mauquoy et al., 2010). Los restos microfósiles fueron divididos de la siguiente manera: restos de especies que se pudieran identificar y los sedimentos como mineral y cenizas volcánicas. Mientras se identificaba, se separaba en la caja de Petri en cada una de

las clasificaciones mencionadas y por inspección visual se le asignaba un porcentaje de abundancia. Con esta información se hicieron graficas estratigráficas con el Software Tilia (Grimm, 1992) (Imagen 3).

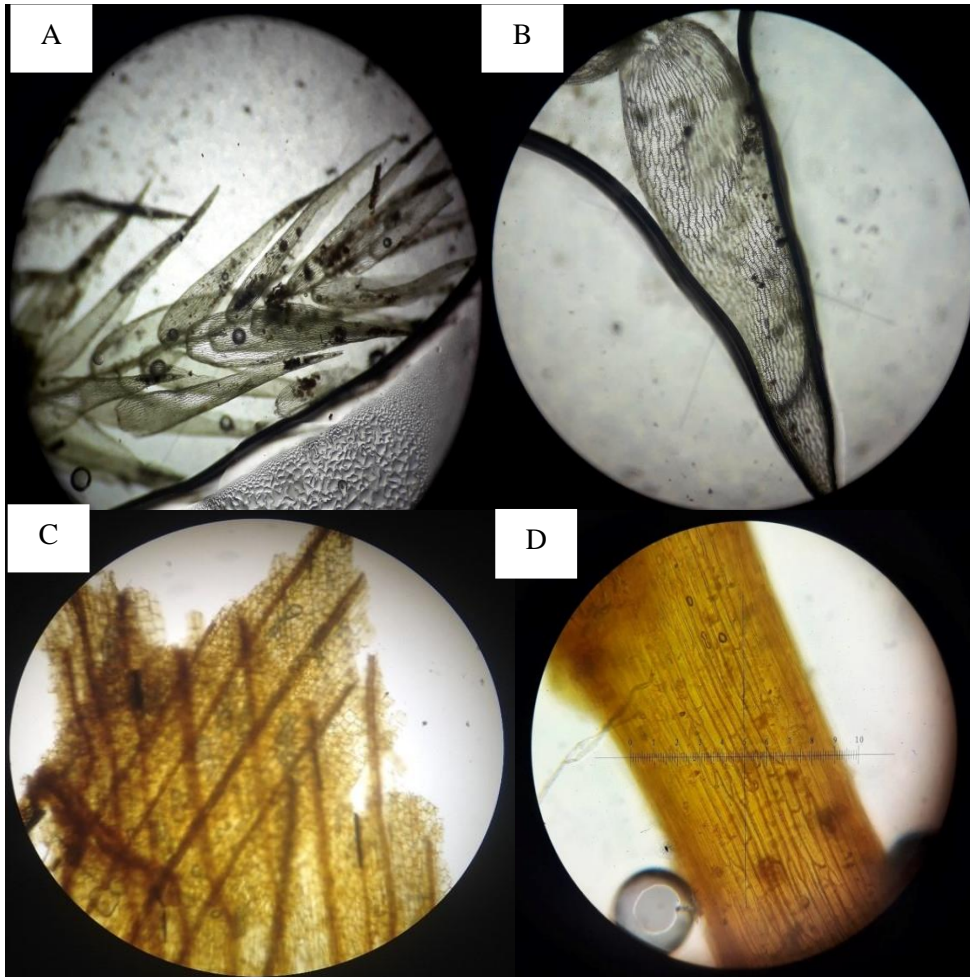


Imagen 3: Macrofósiles identificados en los núcleos de turba. *Sphagnum*(A). hoja de *Sphagnum* más detallada, *Distichia muscoides*(C), Junco(D)



Imagen 4: muestras sedimentarias luego de ser extraídas con el barreno

Análisis estadísticos

Los resultados de la química del agua se analizaron usando una ANOVA de dos vías la cual considera el efecto de dos factores sobre las unidades experimentales, cómo la estructura (piscina y cojín) y el sitio actúan sobre el pH y la conductividad. Posterior a eso, se hizo una prueba Tukey la cual permite corroborar las diferencias entre esos factores y poder observar que grupos son diferentes de que grupos (Zar, 1996). Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software R versión 3.6.1. Se realizaron gráficos de interacción los cuales muestran la relación entre un factor categórico (estructura) y una respuesta continua (valores de pH y conductividad) dependen del valor del segundo factor categórico (sitios).

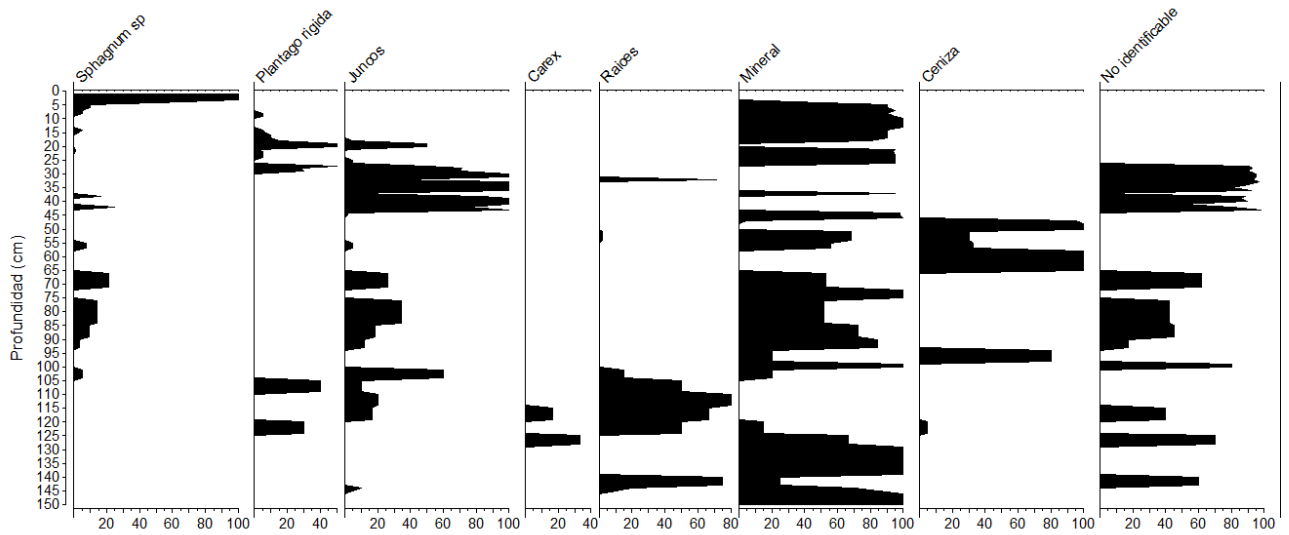
Bibliografía

- Fritz, C. (2012). *Limits of Sphagnum bog growth in the New World: biogeochemistry and ecohydrology of peatlands in South America and New Zealand*. [SI: sn].
- Frolking, S., Roulet, N., & Lawrence, D. (2013). Issues Related to Incorporating Northern Peatlands into Global Climate Models. *Carbon Cycling in Northern Peatlands*, 19–35. <https://doi.org/10.1029/2008GM000809> [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(95\)00004-2](https://doi.org/10.1016/0034-6667(95)00004-2)
- Holden, J. (2005). Peatland hydrology and carbon release: Why small-scale process matters. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 363(1837), 2891–2913. <https://doi.org/10.1098/rsta.2005.1671>
- Jeglum, J. K. (1971). Plant indicators of pH and water level in peatlands at Candle Lake, Saskatchewan. *Canadian Journal of Botany*, 49(9), 1661-1676.

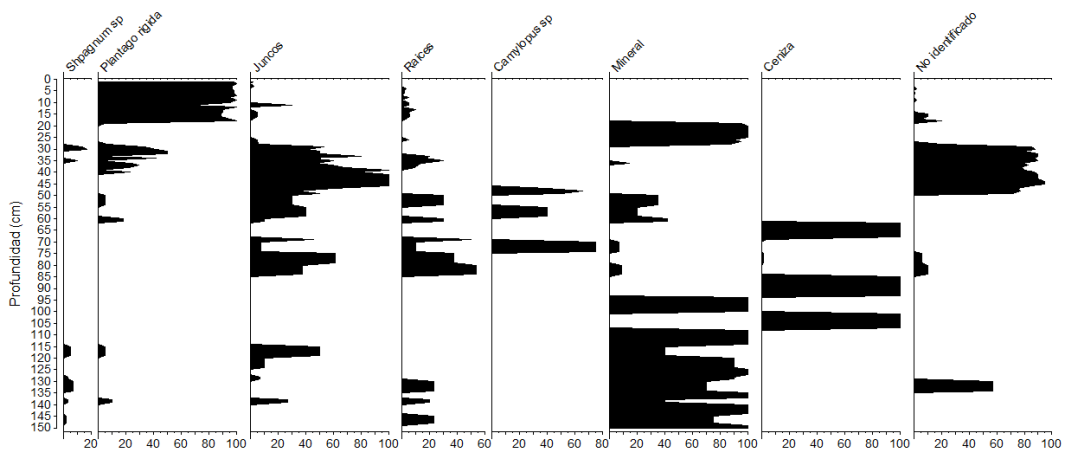
- Kuhry, P., Nicholson, B. J., Gignac, L. D., Vitt, D. H., & Bayley, S. E. (1993). Development of Sphagnum-dominated peatlands in boreal continental Canada. *Canadian Journal of Botany*, 71(1), 10-22.
- Mauquoy, D., Hughes, M., & Van Geel, B. (2010). A protocol for plant macrofossil analysis of peat deposits. *Mires and Peat*, 7(06), 1–5. Retrieved from <http://www.mires-and-peat.net/>, Cleef, A. M. (1981). *The Vegetation of the Páramos of the Colombian Cordillera Oriental*. *Mededelingen van het Botanisch Museum en Herbarium van de Rijksuniversiteit te Utrecht* (Vol. 481). Retrieved from <http://www.narcis.nl/publication/RecordID/oai%3Anaturalis.nl%3A534752>
- Sjörs, H. (1950). On the relation between vegetation and electrolytes in north Swedish mire waters. *Oikos*, 2(2), 241-258.

Anexo 4 Graficas estratigráficas con todos los restos macrofósiles identificados

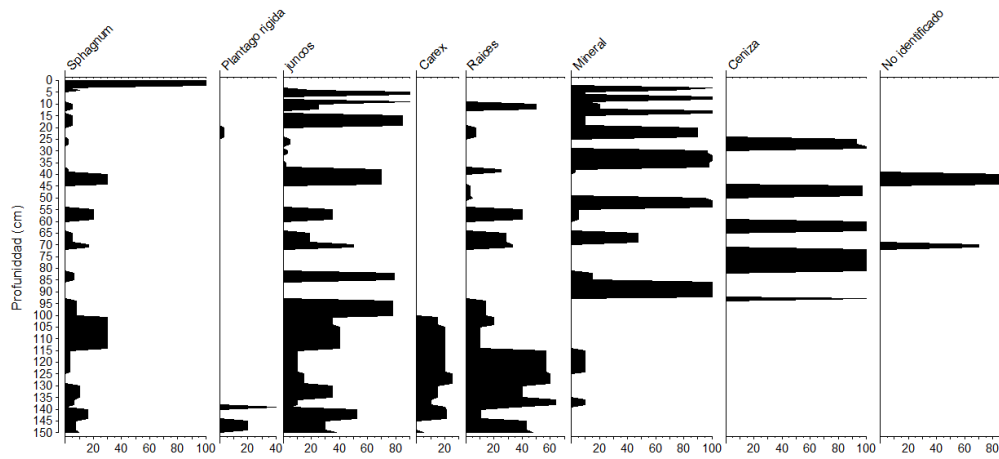
Laguna del Otún Piscina



Laguna Otún Cojín



El Cisne piscina



El Cisne cojín

