



FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES

2019

CARLOS ERNESTO VALBUENA PULGARIN

Director: **JUAN CARLOS BENAVIDES DUQUE**

APROXIMACIÓN AL PROCESO DE DESARROLLO DE LOS COJINES DE *Distichia muscoides* EN UNA TURBERA DEL PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY

Titulo:

Entender el proceso histórico de desarrollo de la vegetación en una turbera dominada por *Distichia muscoides* en el Parque Nacional Natural el Cocuy.

Objetivo general

Entender el proceso de desarrollo de los cojines de *Distichia muscoides* en una turbera del Parque Nacional Natural el Cocuy.

Objetivos específicos

1. Caracterizar la vegetación superficial de los cojines de *Distichia muscoides*
2. Caracterizar los restos microfósiles a lo largo del perfil de turba
3. Caracterizar los sedimentos a lo largo del perfil de turba
4. Identificar la relación entre la vegetación superficial y los restos microfósiles

CONTENIDO

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
MÉTODOS.....	7
Área de estudio.....	7
Obtención y análisis de información	8
RESULTADOS	10
Vegetación superficial y propiedades de la turba.....	10
Descripción estratigráfica y distribución de macrofósiles	11
<i>CN-1</i>	12
<i>CN-2</i>	14
<i>CN-3</i>	16
DISCUSIÓN.....	18
CONCLUSIONES	20
AGRADECIMIENTOS	20
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
ANEXOS.....	25
ANEXO 1.....	25
ANEXO 2.....	27
MARCO TEÓRICO	27
Marco conceptual	27
Antecedentes	30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
ANEXO 3	34
MÉTODOS.....	34
Área de estudio.....	34
Muestreo de vegetación	35
Colecta y análisis de núcleos de turba	35
Identificación de macrofósiles.....	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

APROXIMACIÓN AL PROCESO DE DESARROLLO DE LOS COJINES DE *Distichia muscoides* EN UNA TURBERA DEL PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY

C.E. Valbuena

Departamento de Ecología y Territorio, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

RESUMEN

Los ecosistemas tropicales de alta montaña se encuentran entre los ambientes más sensibles a cambios en las condiciones climáticas a nivel global. Se ha evidenciado que los aumentos en la temperatura han llevado a procesos de retroceso glaciar y a la desaparición de algunos cuerpos de agua en altas elevaciones. La reducción de las fuentes de agua implica profundas alteraciones en la hidrología de ecosistemas como los humedales; cuya composición, estructura y función dependen principalmente de este factor. Las turberas dominadas por *Distichia muscoides* son particularmente importantes por su capacidad de acumular carbono, encontrarse únicamente en la región tropical de alta montaña y tener una estrecha relación con la hidrología glaciar. El presente artículo expone la reconstrucción histórica de la vegetación de una turbera en la zona suroccidental de la Sierra Nevada del Cocuy, mediante el reconocimiento de la vegetación superficial, los restos macrofósiles y los sedimentos registrados en tres núcleos de diferentes partes del humedal. Los resultados muestran que la vegetación superficial actualmente es dominada por pastos, arbustos, algunas herbáceas, musgos y unos pocos cojines de *Distichia*. El análisis estratigráfico y macrofósil expone un proceso reciente de desarrollo cuya trayectoria inicia con la formación de un lago poco profundo, que posteriormente permite la colonización de vegetación herbácea y algunos musgos para finalmente dar paso a un aumento en la producción vegetal y dominancia de *D. muscoides*. La trayectoria de evolución en la turbera se encuentra ligada con procesos de retroceso glaciar, cambios hidrológicos en el inicio de la formación y una posterior estabilización hidrológica durante el crecimiento de *Distichia*. En cuanto a la vegetación encontrada en superficie, su composición y abundancia está ligada con el balance hídrico positivo generado por el aumento global de la temperatura en los últimos tiempos, lo que ha traído como resultado la abundancia de otras plantas vasculares diferentes a *Distichia* en la turbera.

PALABRAS CLAVE

Andes, desarrollo de turberas, *Distichia muscoides*, estratigrafía, macrofósiles

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas tropicales de alta montaña se encuentran entre los ambientes más sensibles a cambios en las condiciones climáticas a nivel global (Ruiz et al., 2008). Se ha evidenciado que los aumentos en la temperatura han llevado a procesos de retroceso glaciar y a la desaparición de algunos cuerpos de agua en altas elevaciones (Bradley et al., 2006). La reducción de las fuentes de agua implica profundas alteraciones en la hidrología de ecosistemas como los humedales; cuya composición, estructura y función dependen principalmente de este factor (Holden, 2005).

Las turberas son ecosistemas de humedal que se caracterizan por poseer una producción primaria neta mayor a las tasas de descomposición de la materia orgánica, lo que les permite formar grandes depósitos de carbono en el suelo (Clymo, 1984). En estos depósitos, las turberas almacenan por milenios remanentes muertos de plantas como musgos, juncos y pastos, permitiendo observar un registro histórico del cambio en la vegetación local (Birks, 2016). El proceso de desarrollo en las turberas se encuentra direccionado por factores autogénicos y alogénicos. Los factores autogénicos son todos aquellos factores internos como la acumulación de materia orgánica, la interacción entre plantas animales y el suelo. Los factores alogénicos son aquellos factores externos al sistema como los fuegos, la erosión, actividades antrópicas, el clima (Foster et al., 1988).

En este sentido, la trayectoria sucesional que pueda tomar el humedal dependerá de la fuerza con la que actúen los factores nombrados anteriormente, para turberas boreales se han descrito trayectorias en las cuales el humedal inicia como un sistema rico en nutrientes, en el cual el principal suministro de agua es subterráneo y posteriormente, por la acreción de materia orgánica en el suelo, la vegetación superficial se aleja del agua subterránea y empieza a depender del agua lluvia y por flujo laminar, pasando a ser un sistema pobre en nutrientes (Kuhry et al., 1993; Swinehart & Parker, 2000; Kokfelt et al., 2010).

En la región tropical de alta montaña las turberas han sido estudiadas a partir de los grupos florísticos y fisionómicos que las componen; lo que ha permitido distinguir dos tipos de grupos, unos dominados por *Sphagnum* y otros dominados por plantas formadoras de cojines, tales como *Plantago rigida*, *Oreobolus obtusangulus*, y *Distichia muscoides* (Cleef, 1981; Bosman et al., 1994). Estas plantas son consideradas ingenieras del ecosistema

ya que; además de tener una alta abundancia poseen la capacidad de modificar las características del sistema tales como el pH, las propiedades del sustrato y la disponibilidad de nutrientes, permitiéndoles permanecer y dominar en el sistema durante miles de años (Cleef, 1981; Kuhry et al., 1993; Bosman et al., 1994, Cooper et al., 2010).

Distichia muscoides es una planta vascular que forma densos y rígidos cojines junto a los cuales crecen algunos musgos y plantas herbáceas, para su crecimiento y desarrollo *Distichia* requiere de muy bajas temperaturas, un suministro constante de agua y alta radiación, esta planta se caracteriza por tener una estrecha relación con la hidrología glaciaria y poseer estructuras resistentes a la descomposición, lo que posibilita su permanencia en el suelo durante largos periodos de tiempo (Chimner & Karberg, 2008; Cooper et al., 2010; Benavides et al., 2013; Cooper et al., 2015).

Uno de los complejos glaciares más extensos de los andes colombianos es la Sierra Nevada del Cocuy, estudios recientes han demostrado una fuerte actividad del complejo glaciar relacionada con eventos como el último máximo glacial, la pequeña edad de hielo y variaciones en las condiciones climáticas de los últimos 12000 años (Herrera y Ruiz 2009; Poveda & Pineda, 2009). En la Sierra Nevada del Cocuy se han realizado estudios paleoambientales que han hecho una aproximación al cambio histórico de la vegetación y han logrado describir el proceso de retroceso glaciar en relación a fechas estimadas de formación de algunas estructuras geomorfológicas como las morrenas a lo largo del paisaje (Gonzalez et al., 1965 ;Van Der Hammen et al., 1981).

Observaciones recientes han indicado cambios en la vegetación superficial de algunas turberas dominadas por cojines asociadas al complejo glaciar del Cocuy, particularmente la investigación se centra en una turbera donde se observan cojines de *Distichia muscoides* muertos y sobre los cuales están creciendo pastos y otras plantas diferentes a *Distichia*. De acuerdo con esto, este estudio busca entender si la vegetación observada en la superficie de este sitio está relacionada con eventos de sucesión en el pasado y hace parte del proceso de desarrollo histórico del humedal o por el contrario es un hecho reciente ligado al cambio en las condiciones ambientales. Para esto se buscó entender la relación entre la vegetación superficial y las propiedades físico-químicas del agua, y conocer la estratigrafía y composición microfósil en la turbera. En este sentido, se espera que los resultados del análisis estratigráfico y microfósil muestren un trayecto evolutivo orientado a la formación de un lago, que posteriormente sería colonizado por plantas acuáticas y otras herbáceas para dar paso finalmente al crecimiento de plantas

formadoras de turba como *D. muscoides*, de igual modo, se espera que la vegetación superficial de la turbera se encuentre relacionada con procesos de sucesión y eventos de colonización en el pasado.

MÉTODOS

Área de estudio

El Parque Nacional Natural (PNN) el Cocuy es un área protegida ubicada al norte de la cordillera oriental de los Andes colombianos, en el límite entre los departamentos de Boyacá y Arauca. El parque abarca alrededor de 300.000 ha, dentro de las cuales se encuentra La Sierra Nevada del Cocuy y ecosistemas de páramo, bosque alto andino y bosque montano. El clima de la región presenta dos periodos húmedos y dos secos y su temperatura media es de 6.4 °C (UAESPNN, 2005).

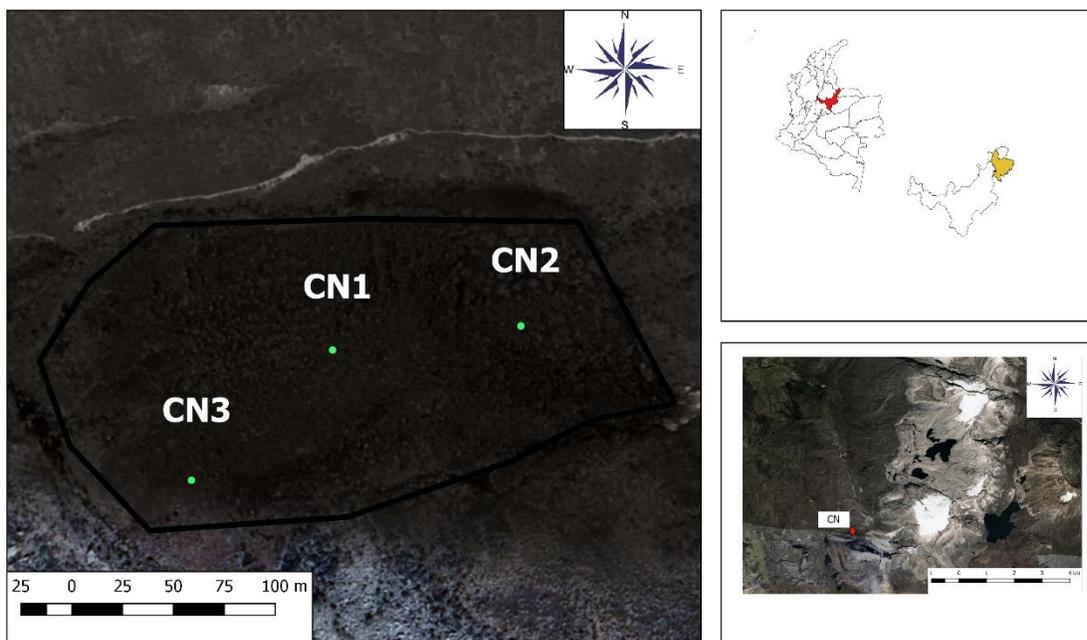


Figura 1. Mapa área de estudio

Aspectos biofísicos

El humedal estudiado se ubica en la parte suroccidental del área protegida (Figura 1), con un área aproximada de 3,0 ha. Esta turbera se encuentra dominada por *Calamagrostis effusa*, y posee en menor proporción plantas herbáceas como *Werneria sp* y musgos como *Breutelia*. En este sitio se evidencia una gran mayoría de cojines de *Distichia muscoides* muertos que han sido cubiertos por pastos y otras plantas (Figura 2). Esta turbera se encuentra

ubicada entre dos morrenas laterales en un valle glaciar producto de la geomorfología moldeada por el retroceso glaciar del nevado del Cocuy, su suministro de agua proviene de lagunas cercanas alimentadas directamente por agua del glaciar (Van Der Hammen et al., 1981).

En el área de estudio se realizaron tres transectos lineales en los cuales se midió la profundidad de la turba con un sensor de profundidad manual, las variables de pH y conductividad eléctrica fueron medidas con el instrumento PHTESTR 30 cada 20 m en una grilla.

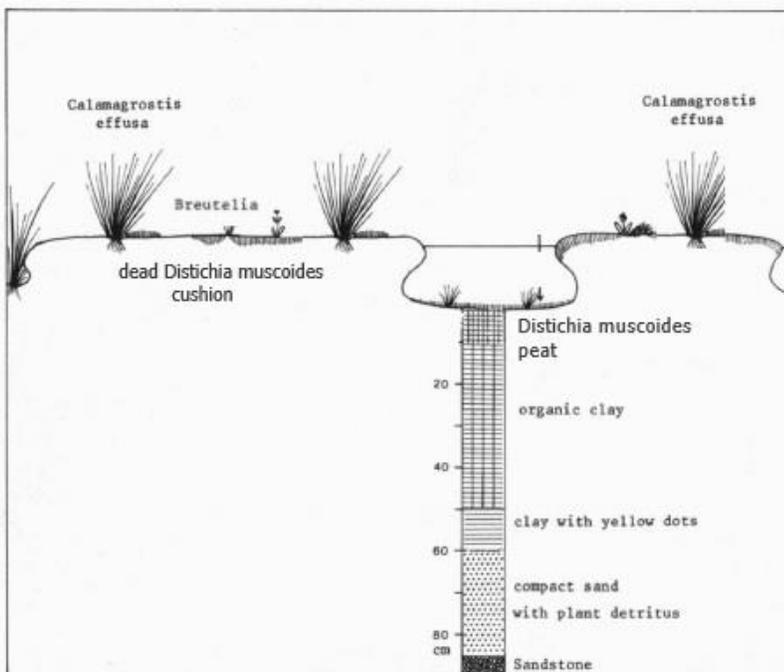


Figura 2. Esquema de la vegetación superficial y perfil topográfico. Turbera Campanillas Negro, Parque Nacional Natural El Cocuy. (Adaptado de: Cleef, 1981)

Muestreo de vegetación

La vegetación fue muestreada en 18 parcelas de 1x1 m ubicadas de manera aleatoria en el humedal. Se estimó el porcentaje de cobertura de las diferentes especies de acuerdo con el espacio ocupado dentro de cada cuadrante que se encontraba dividido en pequeños cuadros de 20 x 20 cm (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974).

Colecta y análisis de núcleos de turba

Se colectaron 3 núcleos de turba con una longitud promedio de 150 cm, por medio de un perforador ruso de 1,5 pulgadas de diámetro en el punto más profundo de cada transecto. Una vez extraída cada sección de los núcleos

se procedió a hacer su descripción basada en la escala visual de humificación de la turba, así como la presencia de gyttja, arcilla, arenisca y grava a lo largo del perfil. Las secciones se almacenaron en tubos de pvc (Policloruro de vinilo) de 50 cm de largo y se embalaron en vinipel (papel plástico de embalaje) para transportarlos.

Los núcleos fueron seccionados en incrementos de 1 cm, para un total de 450 muestras. Cada incremento se empaco y etiqueto con un código correspondiente al incremento del perfil y el número del núcleo. Cada muestra se dividió en dos en forma vertical, una parte para análisis de carbono y densidad y la otra para identificación de restos microfósiles. Cada muestra se depositó en recipientes de aluminio previamente pesados, y luego fueron secadas en horno a 75°C durante 48 horas. Una vez hecho esto se registró el peso seco y se calculó la densidad aparente teniendo en cuenta su volumen, según el diámetro del perforador y la altura del incremento (Chambers et al., 2011). Una vez secas las muestras se estimó el contenido de materia orgánica usando el método de pérdida por ignición LOI (Loss On Ignition), siguiendo el protocolo descrito por Chambers (2011). Los datos de porcentaje de carbono y densidad aparente fueron analizados y graficados en el software R (R Core Team 2013).

Identificación de microfósiles

Los microfósiles fueron identificados usando un Estereoscopio Zeiss DV4 con un zoom continuo de 8x a 32x, para examinar cada segmento de turba en porciones de aproximadamente 1 cm de alto por 2 cm de ancho. En cada muestra se separó y midió el porcentaje de raíces, musgos, restos de *D. muscoides* (Juncaceae), juncos (como especímenes de la familia Poaceae y Cyperaceae) y restos no identificables. El material fue ubicado en una caja de Petri y examinado bajo el estereoscopio. Los restos encontrados fueron expresados como porcentaje de volumen basado en la estimación de la cobertura ocupada por el material en la caja de Petri (Kuhry et al., 1993).

La identificación fue hecha con referencia a especímenes de muestras vivas, en donde las partes de la cutícula y otras células específicas fueron usadas para diferenciar entre especímenes de plantas (Birks, 2016). Aquellos tejidos pobremente definidos de plantas no fueron incluidos en el análisis. Los datos fueron analizados y graficados en el software Tilia y Tilia.Graph (Grimm, 1992).

RESULTADOS

Vegetación superficial y propiedades de la turba

Se encontró que el 60% de la vegetación superficial fue cobertura muerta correspondiente a cojines de *Distichia muscoides* y tan solo el 40% de la vegetación se encontró viva (Figura 3), de este 40% el 20% correspondió a pastos y el resto a herbáceas, musgos, arbustos y algunos cojines de *Distichia* (Figura 4). En cuanto a las propiedades de la turbera (Tabla 1) se hallaron valores entre 5.1 y 6.6 y una Conductividad Eléctrica (CE) entre 21.8 y 39.4 $\mu\text{S/m}$, la profundidad máxima encontrada fue de 3.40 m.

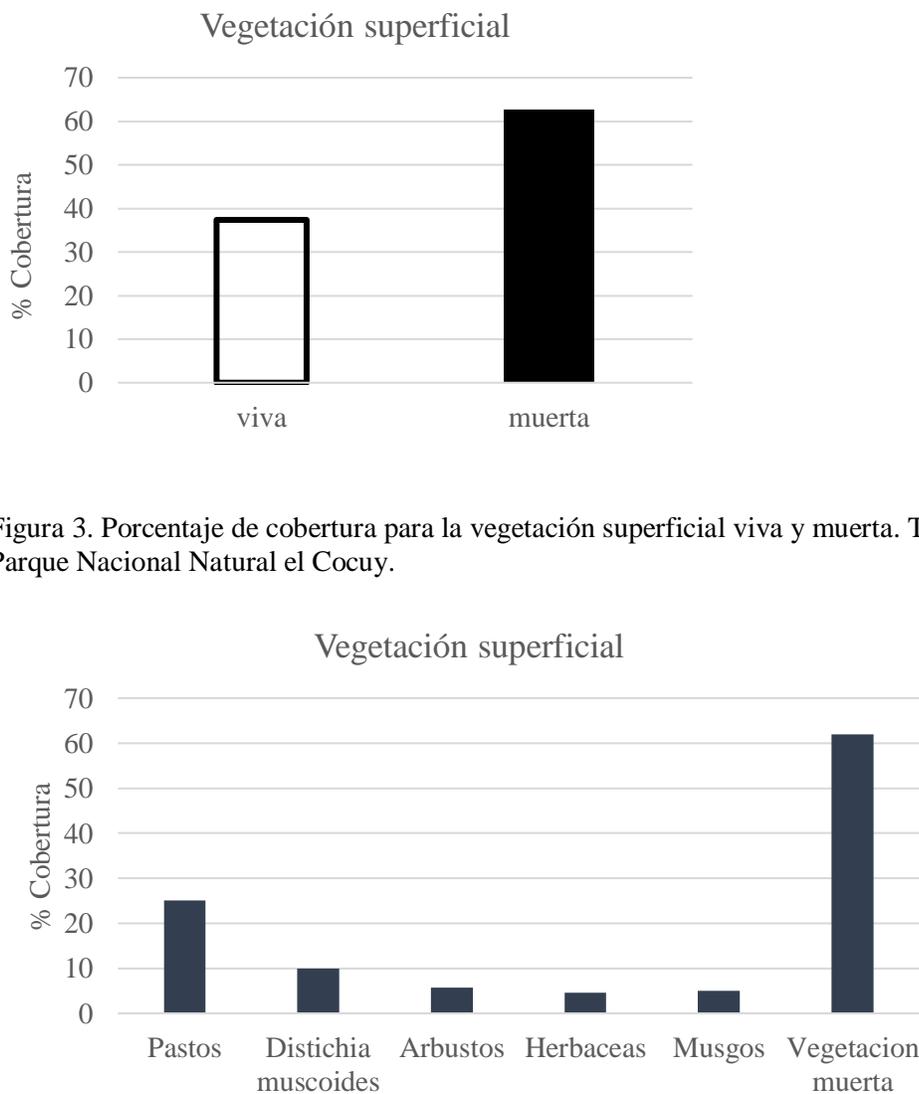


Figura 3. Porcentaje de cobertura para la vegetación superficial viva y muerta. Turbera Campanillas Negro, Parque Nacional Natural el Cocuy.

Figura 4. Porcentaje de cobertura de la vegetación superficial según grupos de plantas. Turbera Campanillas Negro, Parque Nacional Natural el Cocuy.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del agua en la turbera Campanillas Negro, Parque Nacional Natural el Cocuy.

ID	Depth (m)	pH	CE ($\mu\text{S/m}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)
CN1-1	2.51	6.6	25.7	11.6
CN1-2	2.68			
CN1-3	2.5	5.8	39.4	13.8
CN1-4	3.4			
CN2-1	1.85	5.37	23.9	11.8
CN2-2	1.5			
CN2-3	3.19	6.28	21.8	11.4
CN2-4	2.87			
CN2-5	3.02	5.65	29.2	10.1
CN3-1	1.73	5.54	24.5	
CN3-2	2.73	5.35	26.5	11.3
CN3-3	2.64	5.14	35.3	11.3
CN3-4	1.24	5.4	26.5	11
Prom	2.45	5.68	28.09	
Min	1.24	5.14	21.8	
Max	3.4	6.6	39.4	

Descripción estratigráfica y distribución de macrofósiles

Las curvas de porcentaje de carbono muestran una alta cantidad de carbono en los primeros 50 cm de cada núcleo y luego presenta un marcado descenso en la cantidad de materia orgánica (> 75 cm), asociado con las observaciones del análisis estratigráfico que muestran el sedimento de limo y arena mesclado con turba de *Distichia muscoides* y otros restos.

La distribución de los macrofósiles en los tres núcleos estuvo dominada por *Distichia muscoides*. La disminución en la dominancia de *D. muscoides* estuvo acompañada de un aumento en la materia orgánica en diferentes estados de descomposición sin una afinidad taxonómica particular (restos no identificables) o por un incremento en la abundancia de Juncos y musgos diferentes a *Sphagnum*. Entre los musgos diferentes a *Sphagnum* se encontraron en orden descendente de abundancia los siguientes especímenes: *Bryum*, *Campylopus*, y *Straminergon*. Los restos vegetales no identificados (“debris”) fueron abundantes en la mayor parte de los núcleos, estos restos son remanentes *in situ* de plantas descompuestas diferentes a *D. muscoides*.

CN-1

El núcleo CN-1 tomado en el centro de la turbera posee una profundidad de 155 cm de turba y 319 cm en total (turba y sedimento). En los primeros 40 cm del núcleo se observó una secuencia de turba compuesta por *Distichia muscoides* principalmente, luego se encontró una mezcla de turba con sedimento arcilloso de color gris oscuro y una franja de aproximadamente 5 cm de sedimento únicamente. Posterior a esto se halló una secuencia de turba débilmente fibrosa de color café oscuro de 50 cm, y nuevamente una mezcla de sedimento con turba que finalizó los 20 cm del núcleo con la dominancia de un sedimento limoso con pocos restos de vegetación visible.

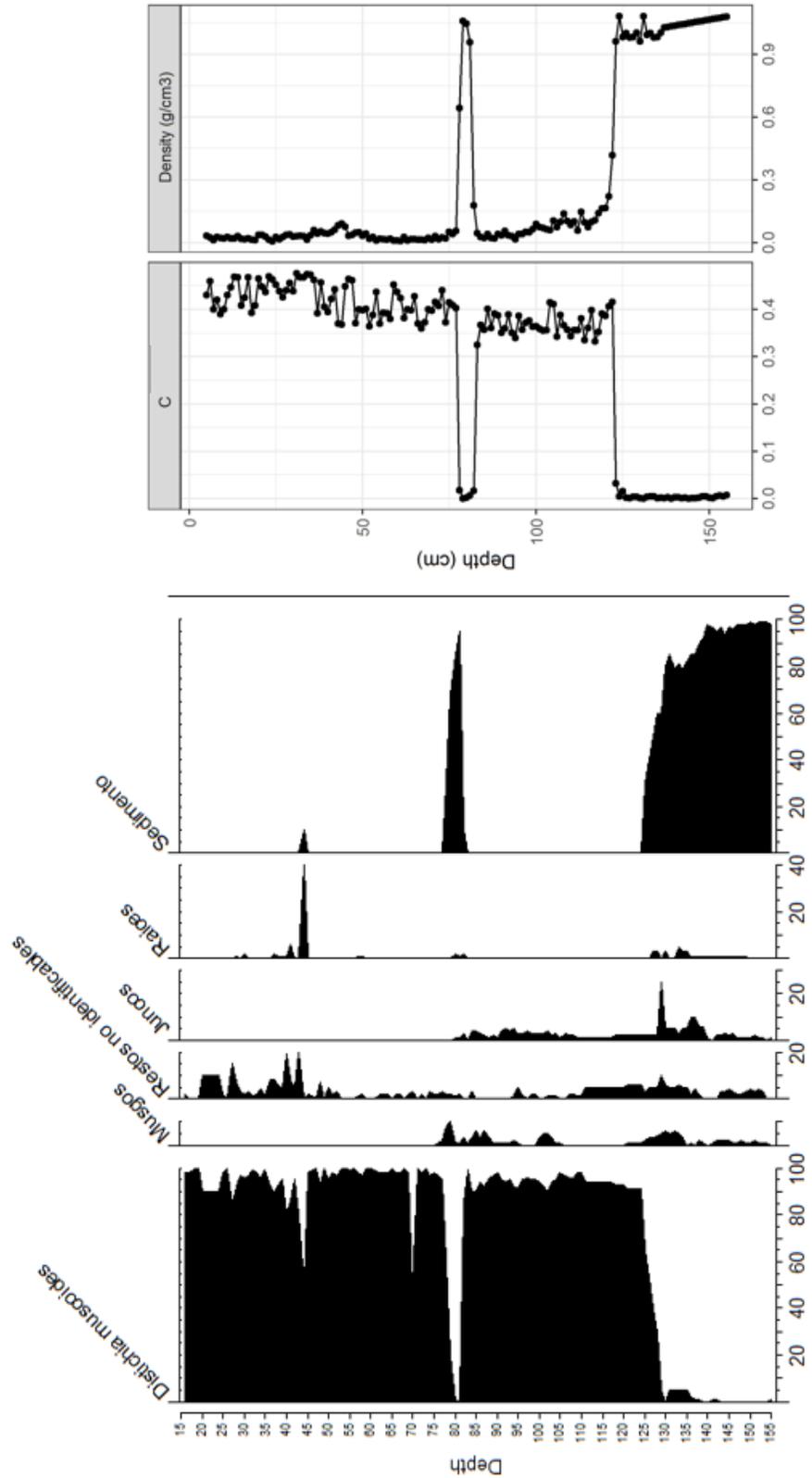


Figura 3. Distribución (en porcentaje) de los principales restos macrofósiles de plantas identificados a lo largo del perfil de turba. Variación en la proporción de carbono y la densidad aparente (g/cm^3) a lo largo del perfil de turba en el Núcleo CNI.

La sección estratigráfica 155 – 130 cm (Figura 2) mostró la dominancia de sedimento lacustre poco profundo combinado con algunos juncos, raíces, restos no identificables y unos pocos musgos, en la sección 130 – 85 cm apareció *Distichia muscoides* ocupando el mayor porcentaje de cobertura, esta dominancia se vio interrumpida en la sección 85 – 78 cm al evidenciar un incremento en la cantidad de sedimento mezclado con unos pocos restos de juncos y raíces que disminuyeron totalmente la cantidad de *D. muscoides*, finalmente en la sección 78 – 5 cm se identificó un incremento en la cantidad de musgos en los primeros 3 cm (78 -75) que precedió el crecimiento de *D. muscoides* junto con algunos restos no identificables y raíces.

CN-2

El núcleo CN-2 extraído en la parte superior de la turbera cuenta con una profundidad de 155 cm de turba y 340 cm en total (turba y sedimento). En los primeros 80 cm del núcleo se observó una secuencia de turba compuesta por *Distichia muscoides* principalmente, la primera mitad débilmente fibrosa de color café oscuro, y la segunda mitad de color café claro y aspecto compacto. Luego de esto, se encontró una franja de sedimento limoso de aproximadamente 20 cm que fue seguida por una mezcla de sedimento con turba y finalizó con la dominancia de sedimento arenoso con pocos restos de vegetación visible.

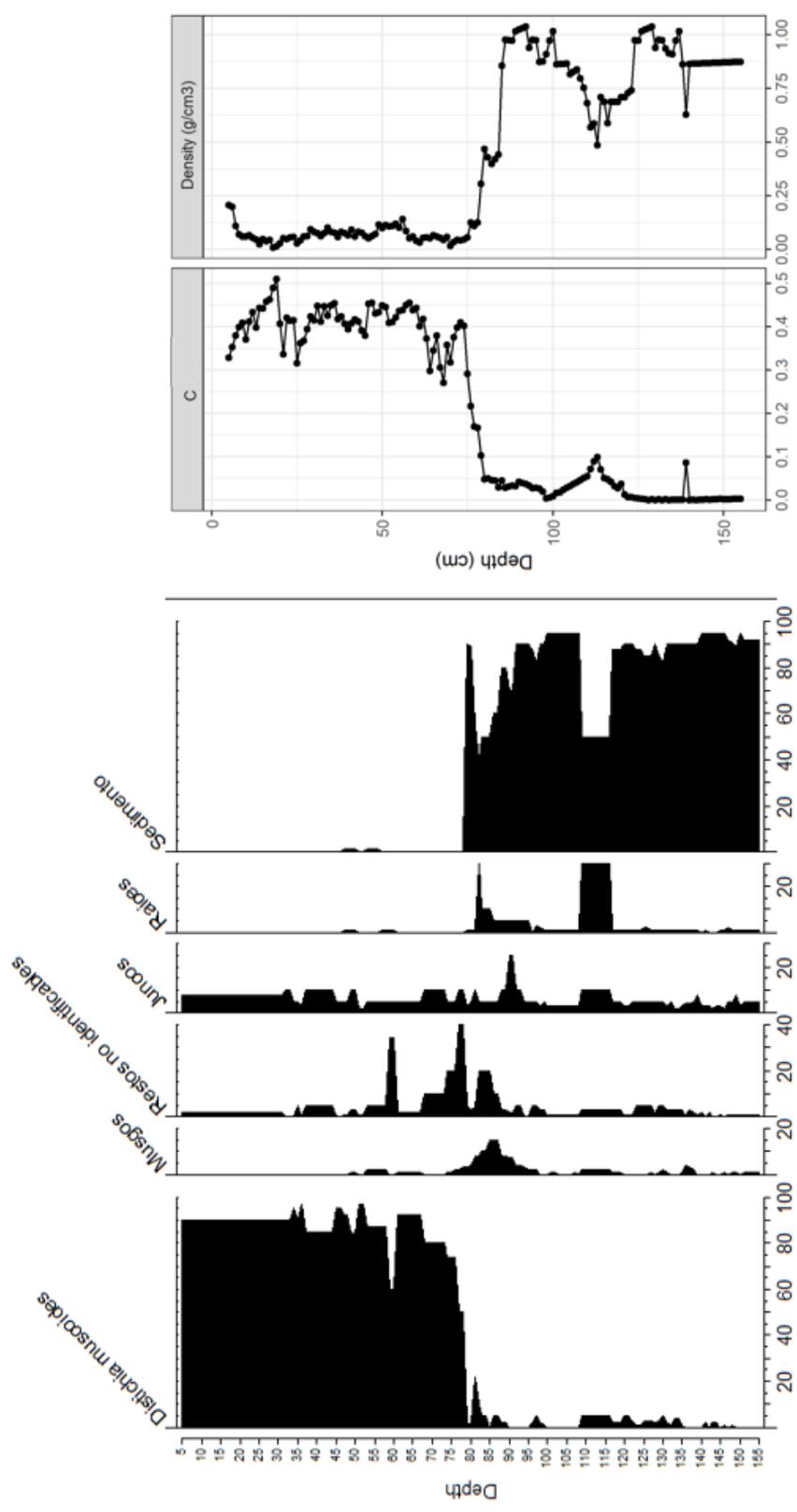


Figura 3. Distribución (en porcentaje) de los principales restos microfósiles de plantas identificados a lo largo del perfil de turba. Variación en la proporción de carbono y la densidad aparente (g/cm³) a lo largo del perfil de turba en el Núcleo CN2.

En la sección estratigráfica 155 – 80 cm (Figura 3) se evidenció un depósito de sedimento lacustre poco profundo con una alta cantidad de arena en la parte más profunda (155 – 110 cm), combinado con algunos restos no identificables, juncos, raíces y musgos, en la sección 80 – 5 cm se identificó en un principio (80 – 70 cm) el crecimiento de *Distichia muscoides*, junto con algunas raíces, juncos y otros restos de plantas no identificables, luego se observó un aumento en la dominancia de *D. muscoides* hasta las partes más recientes del núcleo.

CN-3

El núcleo CN-3 tomado de la parte baja de la turbera tiene 150 cm de turba y una profundidad total (turba y sedimento) de 273 cm. Se encontró una secuencia de turba compuesta principalmente por *Distichia muscoides* en los primeros 100 cm del núcleo; esta secuencia poseía en los primeros 15 cm turba de color café claro, seguida por 10 cm de turba débilmente fibrosa de color café oscuro, los restantes 75 cm fueron de color café claro con apariencia compacta. Finalmente se observó una secuencia de sedimento mezclado con turba y dominancia de sedimento limoso con pocos restos de vegetación visible.

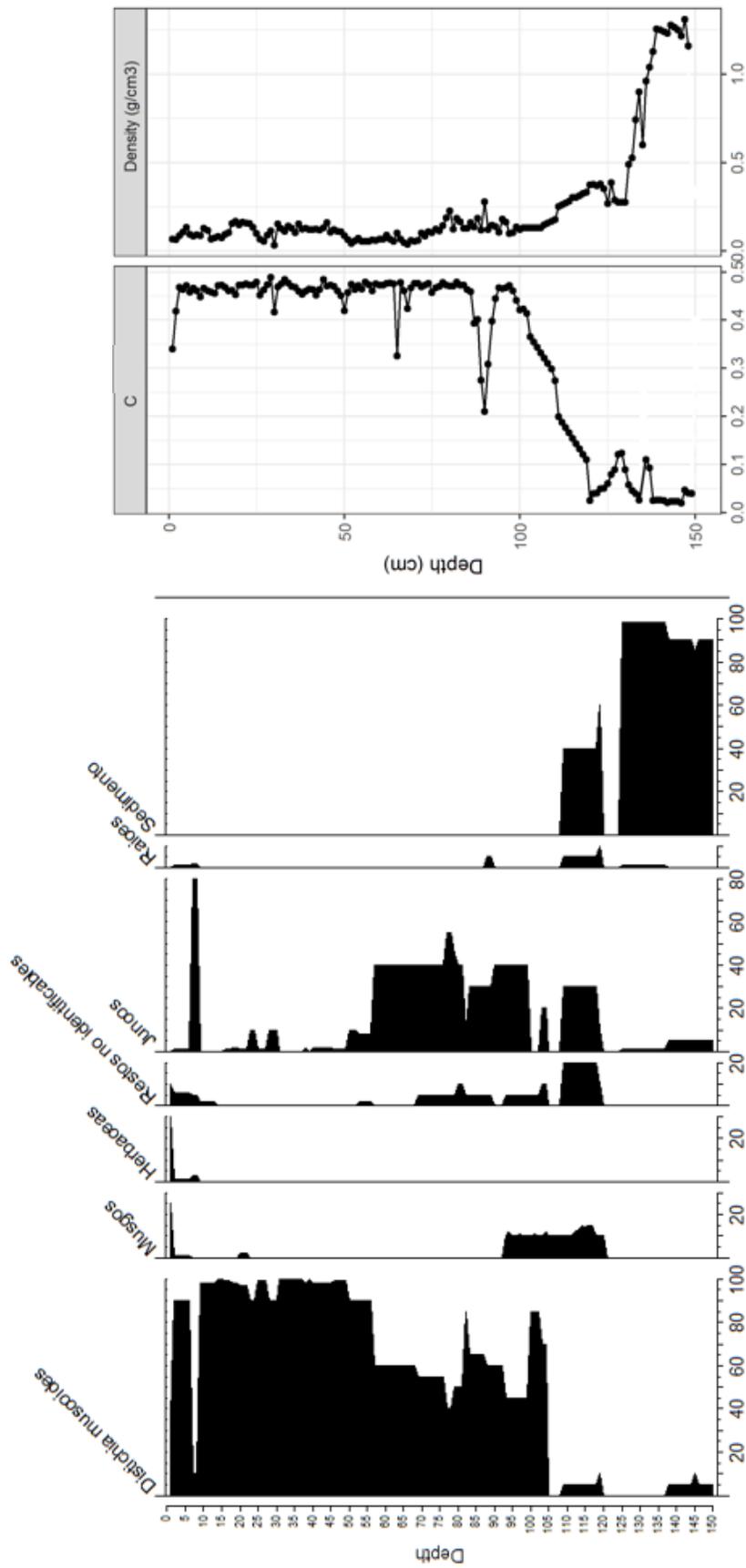


Figura 4. Distribución (en porcentaje) de los principales restos macrofósiles de plantas identificados a lo largo del perfil de turba. Variación en la proporción de carbono y la densidad aparente (g/cm^3) a lo largo del perfil de turba en el Núcleo CN3.

La sección estratigráfica 150 – 115 cm (Figura 4) mostró una dominancia de sedimento lacustre poco profundo, que fue sucedido por algunos musgos, acompañados de restos no identificables en la sección 115 – 110 cm, seguido a esto se evidenció el crecimiento de *Distichia muscoides* acompañado de juncos (110 – 60 cm), los siguientes 45 cm fueron dominados por *D. muscoides* hasta la sección 10 – 12 cm aproximadamente; en la cual reaparecen los juncos y otra vegetación en la parte superior del núcleo tales como *Pernettya postrata*, *Campylopus*, *Cladonia*.

DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados es posible afirmar que la turbera estudiada se encuentra en un proceso reciente de desarrollo; el cual inicia con la formación de un lago poco profundo asociado con el sedimento encontrado en el análisis estratigráfico, luego es probable que el borde del cuerpo de agua haya sido colonizado por musgos y otras plantas formadoras de turba para dar paso finalmente al crecimiento de *Distichia muscoides*. El comportamiento de la secuencia estratigráfica y macrofósil se explica como consecuencia del retroceso glacial (Kuhry et al., 1993) que produjo fluctuaciones hídricas determinantes para la primera colonización de plantas cuyos restos son de difícil identificación. Aquellos restos identificados en las partes más profundas muy posiblemente están asociados a un sistema lacustre con presencia de plantas menos resistentes a la descomposición (Swinehart & Parker, 2000). A diferencia de *Distichia muscoides* que es una planta vascular resistente a la descomposición, la cual después de largos periodos de tiempo logra preservar algunas de sus estructuras (Cooper et al., 2015).

Según las características fisicoquímicas, hidrológicas y de vegetación esta turbera puede ser categorizada como una turbera minerotrófica húmeda dominada por pastos; es decir, un sistema rico en nutrientes con un pH levemente ácido (5.68) y una Conductividad eléctrica baja (28.09 $\mu\text{S}/\text{m}$), en donde el suministro de agua proviene de fuentes subterráneas o por flujo superficial laminar. La vegetación en el lugar es dominada por pastos, arbustos y otras plantas herbáceas, no obstante, se observa el crecimiento de algunos musgos (*Campylopus sp.*) y unos pocos cojines de *D. muscoides*. La ligera acidez (Tabla 2) de las turberas dominadas por *D. muscoides* indica la fuerte influencia de la roca de origen sedimentario y de los materiales del suelo que son arrastrados por la lluvia y la escorrentía superficial que llevan a un aumento en la alcalinidad de estos humedales normalmente ácidos (Gonzalez et al., 1965; Benavides et al., 2013; Cooper et al., 2015).

El estadio de turbera minerotrófica húmeda dominada por juncos y pastos es una fase que han hallado otros estudios en las zonas templadas; tales como Kuhry en 1993 y Peteet en 1998, así como Kokfelt (2010) y Swinehart & Parker (2000) en investigaciones posteriores. Durante la sucesión observada en el registro estratigráfico y de reconstrucción macrofósil se evidencia la presencia de juncos y pastos junto con algunos musgos en la formación primaria de turba, lo que podría indicar que la presencia actual de pastos y otras herbáceas esté ligado con un proceso sucesional en el cual debido al aumento en el flujo laminar de agua proveniente del derretimiento glacial las condiciones hidrológicas estén cambiando (Poveda & Pineda, 2009); favoreciendo nuevamente la presencia de juncos y otras plantas en la turbera.

El trayecto sucesional de la vegetación en las turberas está ligado con procesos autógenos y alógenos que moldean las diferentes etapas que pueden evidenciarse en registros macrofósiles y estratigráficos, en este sentido, es posible que el evento encontrado en el núcleo CN1 en la sección 85 – 78 cm (Figura 2), esté relacionado con un colapso de uno de los cojines compuesto por *D. muscoides* y en el cual se halla formado una depresión (hollow) o piscina, ya que se observa un incremento en la cantidad de sedimento que no deja rastro de ningún resto macrofósil por aproximadamente 2 cm, luego se puede observar nuevamente el crecimiento de *Distichia* hasta hoy día. Sin embargo, también es posible interpretar esta fase como un evento pasado de fuertes vientos que aportaron arena de las riberas del río cercano o incluso estar relacionado con alguna inundación que facilito el transporte de arena hacia la turbera. No obstante, el tamaño de grano en el sedimento sugiere que el evento de colapso de la vegetación y posterior formación de la depresión puede ser el más probable.

Según los análisis estratigráficos y macrofósiles de los tres núcleos es posible afirmar que el proceso de formación de la turbera inicia en la parte baja y lateral (núcleo CN3) cuya profundidad promedio fue 2.5 m, posteriormente fue ocupada la parte media (CN1) con una profundidad promedio de 2.3 m y luego la parte alta (CN2) y menos profunda (1.24 m) del humedal. Esto puede estar asociado con el proceso de retroceso glacial del nevado, en el que se da forma a la topografía de la turbera, direccionando así su proceso de evolución. Según las investigaciones de Gonzalez y colaboradores (1965) y posteriormente robustecidas por Van Der Hammen en 1981 han documentado que los glaciares de la Sierra Nevada del Cocuy eran relativamente extensos y constituían seis masas principales con evidente actividad en la década de 1960 – 1970, y con un proceso importante de retroceso desde

el fin de la pequeña edad de hielo en el medioevo. De forma reciente la extensión de las seis masas glaciares se ha reducido y actualmente ninguna muestra evidencia de avance o acumulación neta, solo de retroceso (Poveda & Pineda, 2009; Rabatel et al., 2018) lo que podría estar posibilitando no solo la desconexión hidrológica de turberas más lejanas sino la aparición de nuevos ecosistemas en zonas más altas.

Este estudio deja la imperiosa necesidad por entender qué factores están dirigiendo actualmente el cambio en la vegetación superficial, partiendo de la clara variación hidrológica relacionada con el derretimiento del complejo glaciar, es necesario cuestionarse ¿cuál es la frecuencia y duración de las inundaciones en el sistema?, y comprender de forma más clara si el cambio en la composición de plantas se encuentra relacionado con variaciones significativas en procesos como la acumulación y descomposición de materia orgánica en el sistema.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados microfósiles la turbera estudiada ha sido un ecosistema resiliente a eventos climáticos en el pasado tales como la pequeña edad de hielo, el dominio histórico por parte de *Distichia muscoides* demuestra la capacidad de esta planta para actuar como ingeniera en el ecosistema, modificando durante miles de años las condiciones físico-químicas de la turbera para permanecer y dominar allí. En este sentido, observar una vegetación superficial totalmente diferente a la registrada históricamente deja abierta la posibilidad de que sea el cambio en las condiciones climáticas de tiempos recientes lo que este dirigiendo profundas alteraciones en la comunidad vegetal de esta turbera, relacionadas probablemente con la variación en la hidrología glaciar y la temperatura.

AGRADECIMIENTOS

Muchas personas han contribuido con su tiempo, energía y disposición para hacer este trabajo posible, y agradezco a todos por su ayuda. Primero y más importante agradecer a mis padres y mi familia por su apoyo incondicional. Su respaldo fue fundamental en este proceso. Gracias siempre.

A mi director Juan Carlos Benavides por su confianza, enseñanzas y paciencia; por patrocinar mis ideas y acompañar la realización de este trabajo.

A mis amigos por acompañar este proceso, por su calma, y alimentar este trabajo con sus conocimientos. A todos aquellos quienes comentaron e hicieron aportes sobre el documento.

A la comunidad de Güicán y el Cocuy, los funcionarios del PNN el Cocuy, y los guías Marcos Correa y Carlos Ruiz por su acompañamiento y disposición en el proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badano, E. I., Cavieres, L. A., Gomez-Gonzalez, S., Molina-Montenegro, M. A., & Sierra-Almeida, A. (2005). Positive interactions between alpine plant species and the nurse cushion plant *Laretia acaulis* do not increase with elevation in the Andes of central Chile. *New Phytologist*, *169*(1), 59–69.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01573.x>
- Benavides, J. C. (2014). The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes. *Mires and Peat*, *15*(Setiembre), 1–15.
- 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>
- Birks, H. H. (2016). Plant Macrofossil Introduction. *Encyclopedia of Quaternary Science: Second Edition*, (November 2016), 593–612. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53643-3.00203-X>
- Bosman, A. F., Hooghiemstra, H., & Cleef, A. M. (1994). Holocene mire development and climatic change from a high Andean *Plantago rigida* cushion mire. *Holocene*, *4*(3), 233–243.
<https://doi.org/10.1177/095968369400400302>
- Bradley, R. S., Diaz, H. F., Vergara, W., & Vuille, M. (2006). Threats to water supplies in the tropical andes. *Science*, *312*(5781), 1755–1756. <https://doi.org/10.1126/science.1128087>
- Breeuwer, A., Robroek, B., Limpens, J., Schouten, M., & Berendse, F. (2009). Decreased summer water table

depth affects peatland vegetation. *Basic and Applied Ecology*, 10, 330–339.

- Chambers, F. M., Beilman, D. W., & Yu, Z. (2011). Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mires and Peat*, 7 (7). pp. 1-10. ISSN 1819-754X
- Chimner, R. A., & Karberg, J. M. (2008). Long-term carbon accumulation in two tropical mountain peatlands, Andes Mountains, Ecuador. *Mires and Peat*, 3, 1–10. 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>
- 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>
- Cooper, D. J., Kaczynski, K., Slayback, D., & Yager, K. (2015). Growth and Organic Carbon Production in Peatlands Dominated by *Distichia muscoides*, Bolivia, South America. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 47(3), 505–510. <https://doi.org/10.1657/AAAR0014-060>
- 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>
- Gonzalez, E., Van der Hammen, T. F., & Flint, R. (1965). Late quaternary glacial and vegetational sequence in Valle de Lagunillas, Sierra Nevada del Cocuy, Colombia. *Leidse Geologische Mededelingen*, 32(1).
- 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>
- Hribljan, J., Cooper, D., Sueltenfuss, J., Wolf, E., Heckman, K., Lilleskov, E., & Chimner, R. (2015). Carbon storage and long-term rate of accumulation in high-altitude Andean peatlands of Bolivia. *Mires and Peat*,

15, 1–14.

- Kokfelt, U., Reuss, N., Struyf, E., Sonesson, M., Rundgren, M., Skog, G., & Hammarlund, D. (2010). Wetland development, permafrost history and nutrient cycling inferred from late Holocene peat and lake sediment records in subarctic Sweden. *Journal of Paleolimnology*, *44*(1), 327–342. <https://doi.org/10.1007/s10933-010-9406-8>
- 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>
- Mueller-Dombois, D., & Ellenberg, H. (1974). *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. The Blackburn Press. <https://doi.org/10.2307/213332>
- Page, S., Banks, C. J., & Rieley, J. (2007). Tropical peatlands : Distribution , extent and carbon storage-uncertainties and knowledge gaps.
- Peteet, D., Andreev, A., Bardeen, W., & Mistretta, F. (1998). Long term Arctic peatland dynamics, vegetation and climate history of the Pur-Taz region, western Siberia. *Boreas*.
- Poveda, G., & Pineda, K. (2009). Reassessment of Colombia’s tropical glaciers retreat rates: Are they bound to disappear during the 2010-2020 decade? *Advances in Geosciences*, *22*(2008), 107–116. <https://doi.org/10.5194/adgeo-22-107-2009>
- Rabatel, A., Ceballos, J. L., Micheletti, N., Jordan, E., Braitmeier, M., González, J., ... Zemp, M. (2018). Toward an imminent extinction of Colombian glaciers? *Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography*, *100*(1), 75–95. <https://doi.org/10.1080/04353676.2017.1383015>
- Ruiz, D., Moreno, H. A., Gutiérrez, M. E., & Zapata, P. A. (2008). Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. *Science of the Total Environment*, *398*(1–3), 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.02.038>
- Swinehart, A. L., & Parker, G. R. (2000). Palaeoecology and Development of Peatlands in Indiana. *The*

American Midland Naturalist, 143(2), 267–297.

UAESPNN, U. A. E. del S. de P. N. N. (2005). Documento técnico: Plan de Manejo 2005-2009 Parque Nacional Natural El Cocuy. Retrieved from <https://goo.gl/zGR0yF>

Van Der Hammen, T., Barelds, J., De Jong, H., & De Veer, A. A. (1981). Glacial sequence and environmental history in the Sierra Nevada del Cocuy (Columbia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 32(3–4), 247–340. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(80\)90043-7](https://doi.org/10.1016/0031-0182(80)90043-7)

ANEXOS

ANEXO 1

Lineamientos de publicación exigidos por la revista *Mires and Peat*

Mires and Peat

Instructions to 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.

Tables and Figures

In the initial submission, Tables and Figures (other illustrations should be treated as Figures) should be provided in two separate Word files on page size A4 (21 x 29.7 cm), with margins of 2 cm all round (top, bottom and both sides of page). For Figures, make a Table with one column, insert Figure 1 in the first cell and copy its caption into the cell below, insert Figure 2 in the third cell and copy its caption into the cell below, etc. In the separate Word file containing the Tables (each on a separate page), please also include the Figure captions (but not the Figures themselves) collected together at the end. Tables and Figures are referred to in the text as (Table 1), (Figure 1), and their legends should be complete and understandable in their own right.

ANEXO 2

MARCO TEÓRICO

Marco conceptual

El sustento conceptual de la investigación se compone de cinco elementos que se exponen a continuación y se relacionan en la figura 2.

Desarrollo y evolución de turberas

Los humedales son sistemas con inundación permanente o temporal, cuyo sustrato se encuentra pobremente aireado y su comunidad de plantas está adaptada a largos periodos de inundación y baja disponibilidad de oxígeno, pueden encontrarse en la zona costera o interior y en altas o bajas elevaciones (Ramsar, 1987; Jaramillo et al., 2016).

Las turberas tropicales de alta montaña son sistemas de humedal formados principalmente en unidades geomorfológicas asociadas a la glaciación, tales como depresiones causadas por erosión y que son represadas por morrenas (Slaymaker & Owens, 2009). Estas formaciones permiten la acumulación de agua, cuyo suministro puede ser de manera superficial (lluvia y escorrentía) o a través de la descarga subterránea de montañas o morrenas aledañas (Barsch & Caine, 1984).

Las condiciones de inundación y saturación del suelo son claves en el proceso de formación de las turberas, así como la vegetación presente que permite que la producción primaria sea mayor a la descomposición y se acumule materia orgánica. Ambientes con inundación estable tales como lagos o estanques tienden a desarrollar turba sobre el material sedimentario existente en las márgenes del cuerpo de agua, este proceso se conoce como “terrestrialización”. En ambientes donde el suelo mineral se encuentra saturado y con condiciones de inundación poco profunda, el terreno suele ser colonizado por vegetación formadora de turba principalmente, y al no existir depósitos sedimentarios previos este proceso se denomina “formación de turba primaria”. Finalmente se encuentra la “paludificación” en la cual la colonización de las plantas y el posterior desarrollo de la turba se genera en suelos minerales poco húmedos donde no hay inundación ni saturación (Rydin & Jeglum, 2006).

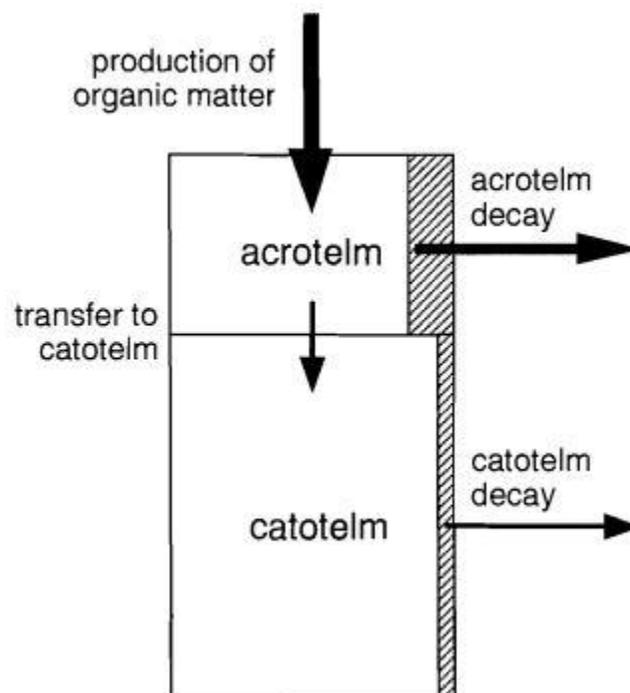
Los procesos nombrados anteriormente, así como todo el trayecto evolutivo de las turberas, se encuentran influenciados por factores “alogénicos” y “autogénicos”. Factores alogénicos son todos aquellos externos al sitio, tales como fuegos, el clima, el viento, depósitos de erosión, perturbaciones humanas. Factores autogénicos se consideran a los procesos internos influenciados por las interacciones entre plantas, animales y sedimentos (Foster et al., 1988).

La trayectoria evolutiva de las turberas puede ser entendida a través de procesos de sucesión; en los cuales las condiciones biofísicas cambian. Puede ser progresivo (crecimiento de los cojines, aislamiento del suministro de agua subterránea, disminución del pH) cuya clasificación se denomina “Bog”, o regresivo (incremento del nivel de agua por encima de la vegetación, pH básico). Según la literatura la dirección de la sucesión de las turberas es generalmente hacia una vegetación más cerrada, con condiciones menos húmedas, y un aumento de la materia orgánica acumulada en el suelo. Sin embargo, la etapa o estado de sucesión dependerá de la situación hidrológica local, y de la influencia del clima en el balance hídrico y en la acumulación neta de turba (Clymo, 1984), según estudios el proceso general de desarrollo de las turberas consiste en el trayecto *Fen* minerotrófico, rico en nutrientes – *Fen* minerotrófico pobre en nutrientes – *Bog* ombrotrofico (Foster et al., 1988; Kuhry et al., 1993; Swinehart & Parker, 2000).

Acumulación de turba

Los sistemas formadores de turba acumulan materia orgánica debido a condiciones propias que impiden la descomposición de restos de plantas producidas por su vegetación superficial. Estos sistemas se caracterizan por presentar dos capas diferentes en el suelo: La primera superficial, con 10 a 50 cm de profundidad, condiciones aeróbicas, alta conductividad eléctrica, llamada “acrotelmo”; en el cual la tasa de descomposición es relativamente alta. La segunda, más densa, usualmente anaeróbica, llamada “catotelmo”, con baja conductividad y una menor tasa de descomposición (Clymo, 1984).

El balance entre la producción y la descomposición (entradas y salidas) del catotelmo y el acrotelmo (Figura 1) controla la acumulación de turba, no obstante, la interacción con el clima, las fuentes de agua, factores internos y externos determinan la velocidad y eficiencia de estos procesos en el ecosistema. En las turberas dominadas por *Distichia muscoides* el proceso de acumulación de turba depende de una retención de agua con poca o baja sedimentación, suelos saturados sin inundación permanente y bajas temperaturas.



(Kleinebecker et al., 2010; Ruthsatz, 2013).

Figura 1. Esquema de la ubicación del acrotelmo y el catotelmo en el suelo de la turbera. (Tomado de: Belyea & Warner, 1996).

Vegetación

En la región tropical de alta montaña se distinguen dos grandes grupos florísticos y fisionómicos que diferencian las turberas; aquellas dominadas por musgos como *Sphagnum* y aquellas dominadas por plantas formadoras de cojines, como *Plantago rigida* (Plantaginaceae), *Oreobolus obtusangulus* (Cyperaceae), y *Distichia muscoides* (Juncaceae) (Cleef, 1981; Bosman et al., 1994). En los cojines de *Distichia muscoides* es posible encontrar otras especies de plantas herbáceas tales como: *Lachemilla sp.*, *Calamagrostis effusa*, *Werneria sp.*, *Plantago rigida*, *Gentiana sp.*, *Gentianella sp.*, *Nertera sp.*, *Carex sp.*, *Agrostis sp.*, y briofitas como: *Campylopus sp.*, *Breutelia sp.*, *Scorpidium sp.*, *Calliergon sp.*, *Bryum sp.*

Drepanocladus sp, *Straminergon sp*, *Polytrichum sp* (Cleef, 1981; Bosman et al., 1994; Coombes & Ramsay, 2001; Ruthsatz, 2013; Herrea, et al., 2015).

Distichia forma duros cojines con alrededor de 2 m de diámetro, su forma de crecimiento sirve como protección a las bajas temperaturas y a la abrasión del viento para otras plantas (Badano et al., 2005). Estos cojines se encuentran rodeados por depresiones (hollows) que se encuentran inundadas y se asemejan a pequeñas piscinas (Cleef, 1981). Estas piscinas pueden ser poco profundas y contener materia orgánica y restos de plantas o pueden ser muy profundas y poseer capas minerales en el fondo. Aquellas que son muy profundas suelen tener capas minerales hasta 3 m debajo de la superficie de los cojines (Cooper et al., 2010, 2015).

Suelos orgánicos y minerales

El suelo de las turberas está conformado por restos de plantas que en algún momento se encontraron en la superficie (turba), no obstante, es posible encontrar capas de material mineral que pudieron ser depositadas por inundaciones, flujos de agua con alta sedimentación, y/o procesos de erosión eólica (Futyma & Miller, 1986).

La turba puede ser diferenciada por su grado de humificación o de descomposición en el que se encuentra la materia orgánica (Kaila, 1995). En sistemas dominados por *Sphagnum* la turba de color negro se asocia con un alto grado de humificación, la gris se considera intermedia y la blanca como aquella con poco o nulo cambio luego de la muerte de las plantas (Payne & Blackford, 2008). De igual manera la textura describe estados de la materia orgánica; puede ser fibrosa (pobremente descompuesta) o débilmente fibrosa, donde fácilmente se pueden separar en pequeñas partes (altamente descompuesta) (Huat et al., 2011).

En cuanto a los depósitos minerales, el tipo de material que se puede encontrar depende de la roca madre de la cual está conformada la cuenca, así como de los posibles depósitos y materiales adyacentes que pudieron o pueden influenciar la composición del material acumulado; tales como grandes rocas, pequeños granitos, etc., en las turberas los suelos se pueden diferenciar por la cantidad de materia orgánica y mineral que contienen, permitiendo diferenciarlas entre suelos minerales u orgánicos y dentro de estos en categorías más específicas (Futyma & Miller, 1986; Chambers et al., 2011).

Clima y registros fósiles

Los restos de plantas que se encuentran enterrados en las turberas y su composición química funcionan como archivos que indican las condiciones históricas del humedal y sus respuestas a cambios ambientales tales como el clima. Estos registros se pueden evidenciar en perfiles de turba que describen los cambios en los constituyentes botánicos dominantes y de los cuales es posible inferir cambios en la humedad y el pH (Birks, 2016).

La mayoría de los estudios relacionados con el clima se han enfocado en entender los eventos desarrollados durante el Holoceno, aproximaciones a partir de registros fósiles, polen y dataciones, ha permitido modelar trayectorias de sucesión en los humedales y posibles cambios en las funciones ecosistémicas (Bosman et al., 1994; Swinehart & Parker, 2000; Kokfelt et al., 2010).

En las turberas dominadas por *Distichia muscoides* son pocos los estudios relacionados con la variabilidad ambiental y los registros fósiles (Valderrama et al., 2017), sin embargo estas pocas aproximaciones han permitido entender eventos climáticos puntuales que han generado cambios en el proceso de desarrollo de la vegetación a través del tiempo.

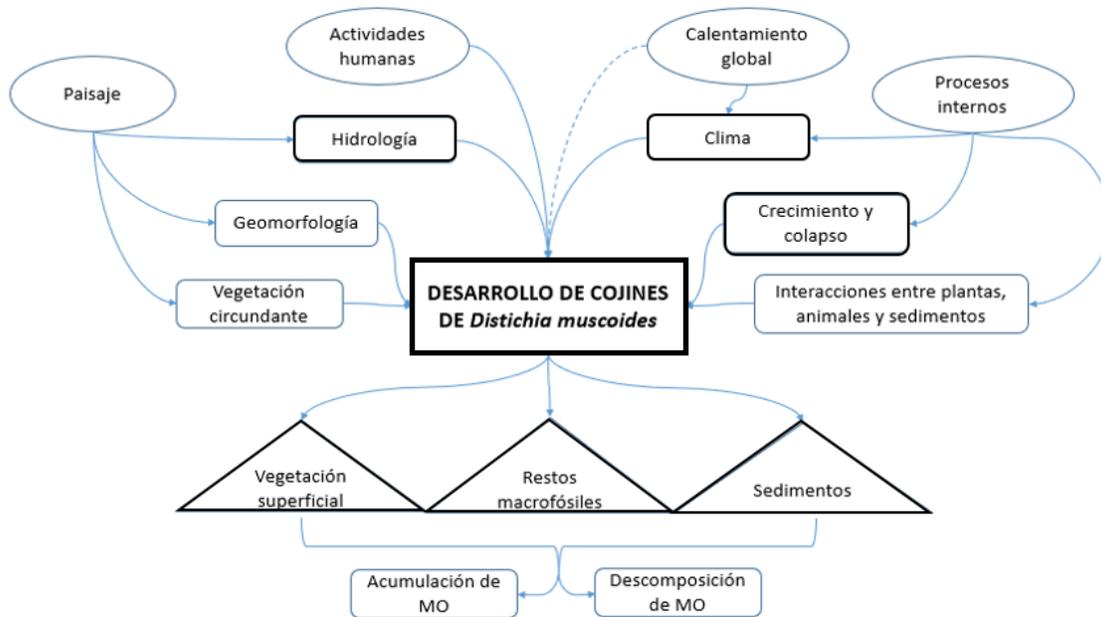


Figura 2. Diagrama conceptual de relaciones entre conceptos.

Antecedentes

En los antecedentes de esta investigación es necesario diferenciar los antecedentes temáticos de los antecedentes de contexto. Los primeros incluyen investigaciones académicas que han desarrollado objetos de estudio similares en escenarios de observación distintos. Y los segundos corresponden a trabajos que se han desarrollado en el Parque Nacional Natural (PNN) el Cocuy.

Temáticos

El proceso de desarrollo de las turberas ha sido estudiado principalmente en la zona boreal del hemisferio norte; en donde diferentes investigadores han tomado enfoques particulares de estudio tales como la formación inicial de la turbera (Futyma & Miller, 1986), los estados sucesionales durante el proceso de desarrollo de la turbera (Kuhry et al., 1993; Swinehart & Parker, 2000), descripciones históricas de la vegetación local y circundante (Newnham, de Lange, & Lowe, 1995). De manera más reciente las investigaciones se han centrado en entender los procesos de acumulación de carbono, ciclaje de nutrientes y trayectorias sucesionales de la vegetación en las turberas (Kokfelt et al., 2010; Kumaran et al., 2016; Kelly et al., 2016).

Particularmente en las turberas de la región tropical de alta montaña son pocos los estudios relacionados con el proceso de desarrollo y evolución de las turberas, la mayor parte de las investigaciones se encuentran entorno a la vegetación (Cleef, 1981; Bosman et al., 1994; Coombes & Ramsay, 2001; Ruthsatz, 2013; Herrea et al., 2015) y los procesos de acumulación de carbono en estos ecosistemas (Chimner & Karberg, 2008; Cooper et al., 2010, 2015; Benavides, 2013; Hribljan et al., 2015).

De contexto

En el PNN el Cocuy se han realizado diversos estudios en relación con el complejo glaciar y la variabilidad climática que ha moldeado ese paisaje, Van Der Hammen y colaboradores en 1981 estudiaron las diferentes secuencias glaciares de la Sierra Nevada y la vegetación asociada a través de muestras de polen. De igual modo, Herrera y Ruiz (2009) examinaron el retroceso glaciar de la Sierra

Nevada del Cocuy, estimando una fecha aproximada de su desaparición en un escenario con tendencia lineal.

En cuanto al tema de vegetación se han llevado a cabo estudios con diferentes enfoques; Cuéllar (2013) relacionó el fenómeno de retroceso glaciar con el proceso de colonización de la vegetación en algunas zonas de la Sierra Nevada, evaluando su diversidad y composición. De manera más específica Valderrama y colaboradores (2017) evaluaron los cambios en la distribución de macrofósiles de *Distichia muscoides* Nees & Meyen en relación con las variaciones ambientales de los últimos 200 años en dos turberas del sector oriental de la Sierra Nevada del Cocuy.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Badano, E. I., Cavieres, L. A., Gomez-Gonzalez, S, Molina-Montenegro, M. A., & Sierra-Almeida, A. (2005). Positive interactions between alpine plant species and the nurse cushion plant *Laretia acaulis* do not increase with elevation in the Andes of central Chile. *New Phytologist*, 169(1), 59–69. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01573.x>

Belyea, L. R., & Warner, B. G. (1996). Temporal scale and the accumulation of peat in a *Sphagnum* bog. *Canadian Journal of Botany*, 74(3), 366–377. <https://doi.org/10.1139/b96-046>

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>

Birks, H. H. (2016). Plant Macrofossil Introduction. *Encyclopedia of Quaternary Science: Second Edition*, (November 2016), 593–612. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53643-3.00203-X>

Bosman, A. F., Hooghiemstra, H., & Cleef, A. M. (1994). Holocene mire development and climatic change from a high Andean *Plantago rigida* cushion mire. *Holocene*, 4(3), 233–243. <https://doi.org/10.1177/095968369400400302>

Chambers, F. M., Beilman, D. W., & Yu, Z. (2011). Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mires and Peat*, 7 (7). pp. 1-10. ISSN 1819-754X

Chimner, R. A., & Karberg, J. M. (2008). Long-term carbon accumulation in two tropical mountain peatlands, Andes Mountains, Ecuador. *Mires and Peat*, 3, 1–10. 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>

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>

Coombes, L., & Ramsay, P. M. (2001). Vegetation of a cushion mire at 3600 m on Volcán Chiles, Ecuador. In P. M. Ramsay (Ed.), *The Ecology of Volcan Chiles High-altitude ecosystems on the Ecuador-Colombia border* (pp. 47–54). *Plymouth: Pebble & Shell Publications*.

- Cooper, D. J., Kaczynski, K., Slayback, D., & Yager, K. (2015). Growth and Organic Carbon Production in Peatlands Dominated by *Distichia muscoides*, Bolivia, South America. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 47(3), 505–510. <https://doi.org/10.1657/AAAR0014-060>
- 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>
- Cuéllar, I. (2013). Relación entre la composición y estructura de la vegetación presente por encima de los 4.500 msnm y el fenómeno del retroceso glaciar en dos lugares de la parte sur de la sierra nevada de Güicán, Cocuy y Chita en Boyacá, Colombia.
- Foter, D., King, G., Thelaus, M., & Wright, H. (1988). Bog development and landform dynamics in central Sweden and South-eastern Labrador, Canada. *Journal of Ecology*, 76, 1164–1185.
- Futyma, R. P., & Miller, N. G. (1986). Stratigraphy and genesis of the Lake Sixteen peatland, northern Michigan. *Canadian Journal of Botany*, 64(12), 3008–3019. <https://doi.org/10.1139/b86-398>
- Herrea, S., Anthelme, F., & Meneses, R. (2015). Comunidades vegetales de los bofedales de la Cordillera Real (Bolivia) bajo el calentamiento global. *Ecología En Bolivia*, 50(1), 39–56. Retrieved from file:///scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282015000100004&lang=pt
- Herrera, G., & Ruiz, J. (2009). Retroceso glaciar en la Sierra Nevada del Cocuy, Boyacá - Colombia, 1986-2007. *Perspectiva Geográfica*, 1(13), 27–36. <https://doi.org/10.19053/01233769.1710>
- Hribljan, J., Cooper, D., Sueltenfuss, J., Wolf, E., Heckman, K., Lilleskov, E., & Chimner, R. (2015). Carbon storage and long-term rate of accumulation in high-altitude Andean peatlands of Bolivia. *Mires and Peat*, 15, 1–14.
- Huat, B. B. K., Kazemian, S., Prasad, A., & Barghchi, M. (2011). State of an art review of peat: General perspective. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(8), 1988–1996. <https://doi.org/10.5897/IJPS11.192>
- Kaila, A. (1995). Determination of the degree of humification in peat samples. *Agricultural and Food Science*, 28(1), 18–35. <https://doi.org/10.23986/afsci.71402>
- Kelly, T. J., Lawson, I. T., Roucoux, K. H., Baker, T. R., Jones, T. D., & Sanderson, N. K. (2016). The vegetation history of an Amazonian domed peatland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 468, 129–141. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.11.039>
- Kleinebecker, T., Hölzel, N., & Vogel, A. (2010). Patterns and gradients of diversity in South Patagonian ombrotrophic peat bogs. *Austral Ecology*, 35(1), 1–12. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2009.02003.x>
- Kokfelt, U., Reuss, N., Struyf, E., Sonesson, M., Rundgren, M., Skog, G., ... Hammarlund, D. (2010). Wetland development, permafrost history and nutrient cycling inferred from late Holocene peat and lake sediment records in subarctic Sweden. *Journal of Paleolimnology*, 44(1), 327–342. <https://doi.org/10.1007/s10933-010-9406-8>

- 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>
- Kumaran, N. K. P., Padmalal, D., Limaye, R. B., S., V. M., Jennerjahn, T., & Gamre, P. G. (2016). Tropical Peat and Peatland Development in the Floodplains of the Greater Pamba Basin, South-Western India during the Holocene. *Plos One*, 11(5), e0154297. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154297>
- Newnham, R. M., de Lange, P. J., & Lowe, D. J. (1995). Holocene vegetation, climate and history of a raised bog complex, northern New Zealand based on palynology, plant macrofossils and tephrochronology. *Holocene*, 5(3), 267–282. <https://doi.org/10.1177/095968369500500302>
- Payne, R. J., & Blackford, J. J. (2008). Peat humification and climate change : a multi-site comparison from mires in south-east Alaska, 1–11.
- Ruthsatz, B. (2013). Vegetation and ecology of the high Andean peatlands of Bolivia. *Phytocoenologia*, 42(3), 133–179. <https://doi.org/10.1127/0340-269x/2012/0042-0535>
- Rydin, H., & Jeglum, J. (2006). *The Biology of Peatlands*. New York: Oxford university press.
- Swinehart, A. L., & Parker, G. R. (2000). Palaeoecology and Development of Peatlands in Indiana. *The American Midland Naturalist*, 143(2), 267–297.
- Valderrama, M., Buitrago, D., Bedoya, 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, 39(1), 79–90.
- Van Der Hammen, T., Barelds, J., De Jong, H., & De Veer, A. A. (1981). Glacial sequence and environmental history in the Sierra Nevada del Cocuy (Columbia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 32(3–4), 247–340. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(80\)90043-7](https://doi.org/10.1016/0031-0182(80)90043-7)

ANEXO 3

MÉTODOS

Área de estudio

El Parque Nacional Natural (PNN) el Cocuy es un área protegida ubicada al norte de la cordillera oriental de los Andes colombianos, en el límite entre los departamentos de Boyacá y Arauca. El parque abarca alrededor de 300.000 ha, dentro de las cuales se encuentra La Sierra Nevada del Cocuy y ecosistemas de páramo, bosque alto andino y bosque montano. El clima de la región presenta dos periodos húmedos y dos secos y su temperatura media es de 6.4 °C (UAESPNN, 2005).

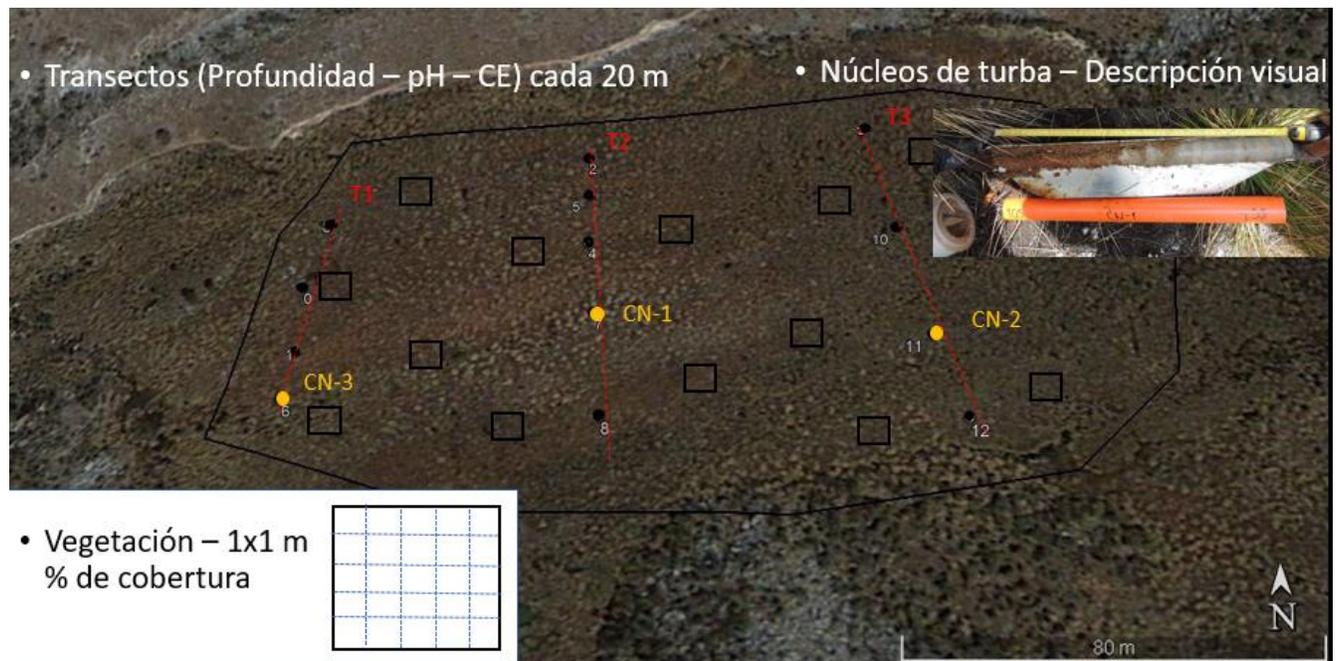


Figura 1. Mapa área de estudio

Aspectos biofísicos

El humedal estudiado se ubica en la parte suroccidental del área protegida (Figura 1), con un área aproximada de 3,0 ha. Esta turbera se encuentra dominada por *Calamagrostis effusa*, y posee en menor proporción plantas herbáceas como *Werneria sp* y musgos como *Breutelia*. En este sitio se evidencia una gran mayoría de cojines de *Distichia muscoides* muertos que han sido cubiertos por pastos y otras plantas. Esta turbera se encuentra ubicada entre dos morrenas laterales (Figura 2) en un valle glaciar producto de la geomorfología moldeada por el retroceso glaciar del nevado del Cocuy, su suministro de agua proviene de lagunas cercanas alimentadas directamente por agua del glaciar (Van Der Hammen et al., 1981).

En el área de estudio se realizaron tres transectos lineales en los cuales se midió la profundidad de la turba con un sensor de profundidad manual, las variables de pH y conductividad eléctrica fueron medidas con el instrumento PHTESTR 30 cada 20 m en una grilla.

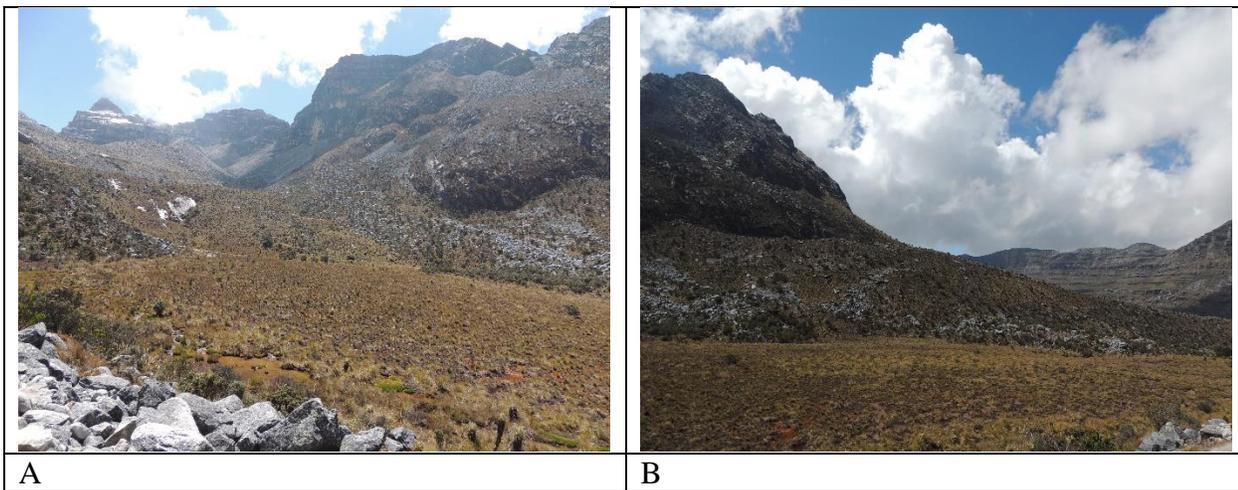


Figura 2. Turbera Campanillas Negro, Sierra Nevada del Cocuy. A. Parte alta, B. Parte baja del humedal

Muestreo de vegetación

La vegetación fue muestreada en 18 parcelas de 1x1 m ubicadas de manera aleatoria en el humedal. En las cuales se estimó el porcentaje de cobertura de las diferentes especies de acuerdo con el espacio ocupado dentro de cada cuadrante que se encontraba dividido en pequeños cuadros de 20 x 20 cm (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974).

Colecta y análisis de núcleos de turba

Se colectaron 3 núcleos de turba en las partes más profundas del humedal con un perforador ruso de 1,5 pulgadas de diámetro, los sitios de colecta se distribuyeron en 1) la mitad, 2) el borde y 3) la parte alta del humedal. Una vez extraída cada sección de los núcleos se procedió a hacer su descripción basada en la escala visual de humificación de la turba, así como la presencia de gyttja, arcilla, arenisca y grava a lo largo del perfil. Las secciones se almacenaron en tubos de pvc (Policloruro de vinilo) de 50 cm de largo y se embalaron en vinipel (papel plástico de embalaje) para transportarlos.



Núcleo CN-1 (55-105)

Figura 3. Sección 55-105 del núcleo CN-1 tomada con el perforador de turba. Turbera Campanillas Negro, Sierra Nevada del Cocuy.

Los núcleos fueron seccionados en incrementos de 1 cm. Cada incremento se empaco y etiqueto con un código correspondiente al incremento del perfil y el número del núcleo. Cada muestra se dividió en dos de forma vertical, una parte para análisis de carbono y densidad y la otra para identificación de restos microfósiles (Figura 4). Cada muestra se depositó en recipientes de aluminio previamente pesados, y luego fueron secadas en horno a 75°C durante 48 horas. Una vez hecho esto se registró el peso seco y se calculó la densidad aparente teniendo en cuenta su volumen, según el diámetro del perforador y la altura del incremento; es decir dividiendo la masa de suelo secado al horno por el volumen de muestra original determinado a partir del volumen de la muestra (Chambers et al., 2011). Una vez secas las muestras se estimó el contenido de materia orgánica usando el método de pérdida por ignición LOI (Loss On Ignition), siguiendo el protocolo descrito por Chambers (2011). Los datos de porcentaje de carbono y densidad aparente fueron analizados y graficados en el software R (R Core Team 2013).

Tabla 1. Fórmula para obtener la cantidad de materia orgánica en la turba

$MO (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1}$
contenido de materia orgánica (MO %): peso seco (W_1) menos peso después de secar a 550 ° C (W_2), dividido por peso seco (W_1)

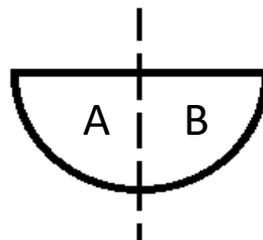


Figura 4. Ilustración del corte vertical realizado en cada muestra de turba. Sección (A) Análisis de microfósiles, sección (B) Análisis de carbono y densidad

Identificación de microfósiles

Los microfósiles fueron identificados usando un Estereoscopio Zeiss DV4 con un zoom continuo de 8x a 32x, para examinar cada segmento de turba en porciones de aproximadamente 1 cm de alto por 2 cm de ancho. En cada muestra se separó y midió el porcentaje de raíces, musgos, restos de *D. muscoides* (Juncaceae), juncos (como especímenes de la familia Poaceae y Cyperaceae) y restos no identificables (Figura 5). El material fue ubicado en una caja de Petri, disueltos con unas gotas de agua desionizada y examinado bajo el estereoscopio. Los restos encontrados fueron expresados como porcentaje de volumen basado en la estimación de la cobertura ocupada por el material en la caja de Petri (Kuhry et al., 1993).

La identificación fue hecha con referencia a especímenes de muestras vivas, en donde las partes de la cutícula y otras células específicas fueron usadas para diferenciar entre especímenes de plantas. Aquellos

tejidos pobremente definidos de plantas no fueron incluidos en el análisis. Los datos fueron analizados y graficados en el software Tilia y Tilia.Graph (Grimm, 1992).

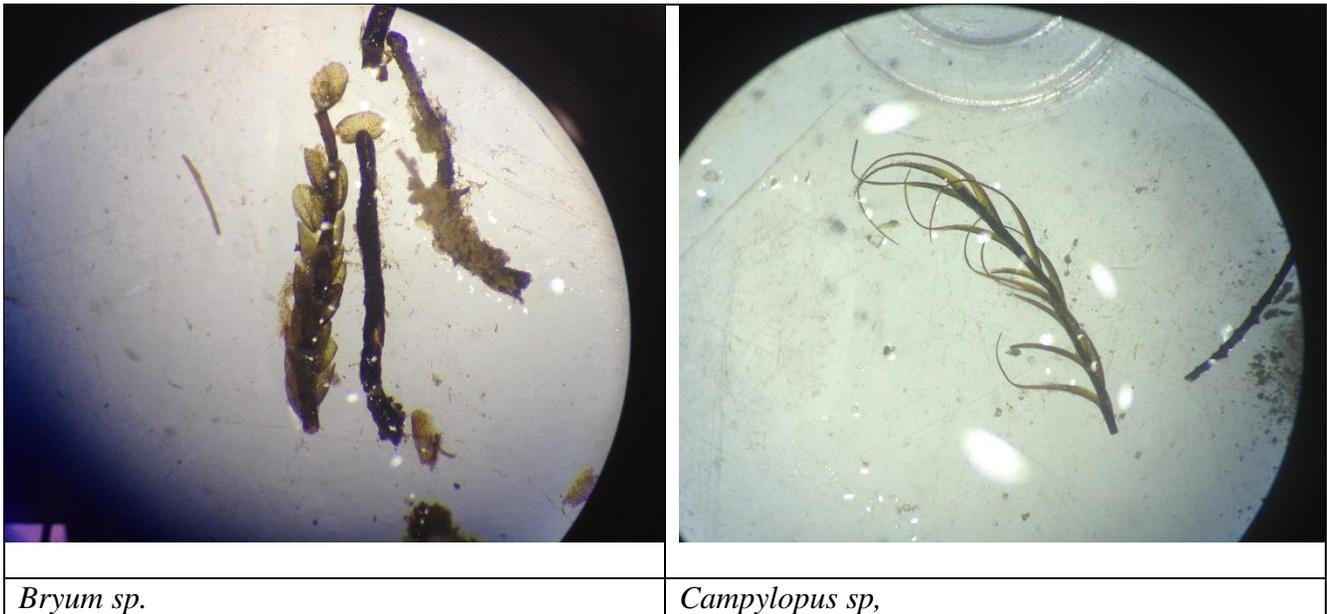


Figura 5. Imágenes de macrofósiles encontrados en los núcleos de turba a diferentes profundidades en la turbera Campanillas Negro, Sierra Nevada del Cocuy.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chambers, F. M., Beilman, D. W., & Yu, Z. (2011). Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mires and Peat*, 7 (7). pp. 1-10. ISSN 1819-754X

Grimm, E. C. 1992. Tilia? and Tilia@Graph? Computer Software. Illinois State Museum, *Spr*

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>

Mueller-Dombois, D., & Ellenberg, H. (1974). Aims and Methods of Vegetation Ecology. *The Blackburn Press*. <https://doi.org/10.2307/213332>

UAESPNN, U. A. E. del S. de P. N. N. (2005). Documento técnico: Plan de Manejo 2005-2009 Parque Nacional Natural El Cocuy. Retrieved from <https://goo.gl/zGR0yF>

Van Der Hammen, T., Barelids, J., De Jong, H., & De Veer, A. A. (1981). Glacial sequence and environmental history in the Sierra Nevada del Cocuy (Columbia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 32(3–4), 247–340. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(80\)90043-7](https://doi.org/10.1016/0031-0182(80)90043-7)