

Las Turberas de Altura del Parque Nacional Tapantí en Costa Rica: Caracterización e Importancia del Suelo Turboso The High Peatbogs of Tapantí National Park in Costa Rica: Characterization and Importance of the Peaty Soil

Paola Gastezzi-Arias^{1,2*}, Virginia Alvarado-García² y Jorge Pérez-Quezada³

¹ Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo Costa Rica (DOCINADE), Universidad Nacional, Universidad Estatal a Distancia. ² Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Estatal a Distancia-Laboratorio de Vida Silvestre y Salud. Carretera a Sabanilla 2050. 11502 Mercedes de Montes de Oca, San José, Costa Rica; (P.G.A.), (V.A.G.).

* Autora para correspondencia: pgastezzi@uned.ac.cr

³ Universidad de Chile, Laboratorio de Ecología de Ecosistemas del Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Renovables. Avenida Santa Rosa 11315. 8820808 La Pintana, Santiago, Chile; (J.P.Q.).

RESUMEN

En las tierras altas de Costa Rica existen formaciones ecológicas que han sido poco estudiadas como el páramo y las turberas. Las turberas en Costa Rica se ubican mayormente en el Parque Nacional Tapantí-Macizo de la Muerte en la Cordillera de Talamanca. El objetivo de esta investigación fue caracterizar la vegetación y el suelo de las turberas de altura con el fin de aportar información científica sobre estos ecosistemas para futuras investigaciones. Se tomaron muestras de suelo en cuatro turberas (T1, T2, T3 y T4) a diferentes profundidades (20, 30 y 60 cm), en un gradiente que van desde los 2400 a 3100 m de altitud. Se realizaron análisis físicos y químicos del suelo en el laboratorio del CIA-UCR y se describió la vegetación de las turberas. Los suelos en las turberas corresponden al orden histosol con una textura franco-arenosa, que predominan en zonas frías y pantanosas. El porcentaje de carbono y materia orgánica fue alto en la T3 con 32.90 y 47.05% respectivamente, mientras que la relación C/N fue mayor en T1 con una relación de 22.3%. Los sitios con mayor similitud fueron T2 y T4 en un 99%. La caracterización de la vegetación estuvo representada por plantas vasculares, briófitos en especial del género *Sphagnum* y líquenes que contribuyen a la formación del suelo turboso. Las turberas son eficientes en acumular carbono en el suelo debido a la materia orgánica que se acumula. La falta de estudios dificulta la comparación de los resultados de este estudio. Se espera que esta investigación sea un aporte valioso para la ciencia, y para consolidar la conservación de la poca extensión de turberas de altura con las que cuenta el país.

Palabras clave: carbono, humedales de altura, materia orgánica, *Sphagnum*.

SUMMARY

In the highlands of Costa Rica, poorly studied ecological formations such as the paramo and peatbogs are present. Peatbogs in Costa Rica are located in the Tapantí-Macizo de la Muerte National Park in the Cordillera de Talamanca. The aim of our study was to characterize the soil of high peatbogs with the purpose of providing scientific information of these ecosystems as framework for future research. Vegetation description and soil samples were collected from four peatbogs (T1, T2, T3 and T4) at different depths (20, 30 and 60 cm) in an altitudinal gradient ranging from 2400 to 3100 m. Physical and chemical analyses of the soil were carried out in the laboratory of the CIA-UCR, and the vegetation of the peatbogs was described. The soils in the peatlands correspond to the histosol order with a sandy loam texture, which predominate in cold and swampy areas. The percentage of carbon and



Cita recomendada:

Gastezzi-Arias, P., Alvarado-García, V., & Pérez-Quezada, J. (2023). Las Turberas de Altura del Parque Nacional Tapantí en Costa Rica: Caracterización e Importancia del Suelo Turboso. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-12. e1758. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1758>

Recibido: 15 de junio de 2023.
Aceptado: 22 de agosto de 2023.
Artículo. Volumen 41.
Noviembre de 2023.

Editor de Sección:
Dr. Fabián Fernández Luqueño

Editor Técnico:
Dr. David Cristóbal Acevedo



Copyright: © 2023 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

organic matter was high in T3, with 32.90 and 47.05%, respectively, while the C/N ratio was higher in T1, with a ratio of 22.3%. The sites with the highest similarity were T2 and T4 by 99%. The vegetation characterization was represented by vascular plants, bryophytes, especially of the genus *Sphagnum*, and lichens that contribute to the formation of the peaty soil. Peatlands are efficient in accumulating carbon in the soil due to the accumulated organic matter. The lack of previous studies prevented us from comparing the results obtained here. As this is an unprecedented study, our research is a valuable scientific contribution that can be used to consolidate the conservation of the small extension of high peatbogs in the country.

Index words: carbon, high altitude wetlands, organic matter, *Sphagnum*.

INTRODUCCIÓN

El suelo constituye un sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo; desarrollado a partir de cambios físicos, químicos y biológicos de la roca madre. Está compuesto por materia orgánica, minerales y nutrientes, los cuales permiten el crecimiento de los organismos y los microorganismos (García, Ramírez y Sánchez, 2012; Mendoza y Espinoza, 2017). Así mismo, el suelo es considerado uno de los hábitats con mayor riqueza de especies, debido a que alberga más de una cuarta parte de toda la biodiversidad mundial (Lazarova, Elshishka, Peneva y Biserkov, 2011¹), y posee una enorme abundancia de microorganismos, los cuales son fundamentales para los ecosistemas (Flores y Alcalá, 2010; Laban, Metternicht y Davies, 2018; Pérez-Carreta, Mora, Mora, Munguía y Cáliz, 2021), debido principalmente a su rol como descomponedores de la materia orgánica (Flores y Alcalá, 2010; Laban *et al.*, 2018).

En las tierras altas de Costa Rica, existen formaciones ecológicas que han sido poco estudiadas, tal es el caso del páramo y los humedales de altura conocidos como turberas. Los suelos de las tierras altas se caracterizan por tener patrones y factores edáficos extremos, similares a los páramos andinos (Kappelle y Van Uffelen, 2005). En un estudio edafológico realizado por Van Uffelen (1991²) sobre la taxonomía de los suelos paramunos en Costa Rica, se pudo determinar la presencia de Histosoles, Entisoles, Inceptisoles y Andisoles. Además, este estudio menciona que existen procesos fundamentales como la andolización y el hidromorfismo, que intervienen en la formación del suelo en las tierras altas (Van Uffelen, 1991²). La andolización hace referencia a la formación de un suelo oscuro como resultado de la transformación mineral, mientras que el hidromorfismo se da en suelos formados bajo condiciones de saturación de agua y se relacionan con mal drenaje (Kappelle y Van Uffelen, 2005).

Los páramos se caracterizan por presentar suelos mayormente de origen volcánico, paisajes bioclimáticos desarbolados, fríos y se localizan entre los 3200 y 3300 m de altitud (Castañeda-Martín y Montes-Pulido, 2017), mientras que las turberas de altura presentan suelos compuestos de materia orgánica, están saturados de agua permanente o semipermanente, dominados por cojines de musgo *Sphagnum* spp., y otras briófitas, juncos, líquenes y arbustos (Díaz, Silva y León, 2015).

A nivel mundial las turberas son ecosistemas de gran valor ecológico debido a la gran cantidad de biodiversidad que albergan y en algunos casos mantienen un alto grado de especies endémicas. Asimismo, cumplen un rol fundamental en el ciclo hidrológico, debido a su gran capacidad de retención de agua; y en el del carbono, por su eficiencia en la captura y almacenaje de éste, y su función para mitigar la variabilidad climática (Hernández, 2010; FAO, 2017; Coral-Paredes, 2021³; Monsalve, Muñoz, Bahamonde y Vidal, 2021). En general, el suelo turboso participa en el almacenamiento del carbono gracias a la acumulación de las capas de turba; donde el dióxido de carbono (CO₂) es fijado en el suelo a través de las plantas desde la atmósfera, para convertirlo en carbono orgánico. Pese a que en los suelos de humedales el promedio de descomposición de la materia orgánica es bajo debido a las condiciones anaeróbicas, el potencial para almacenar carbono es alto (IDEAM, 1999; Pontevedra-Pombal, Martínez y Buurman, 2004; Hernández, 2010; Coral-Paredes, 2021³).

¹ Lazarova, S., Elshishka, M., Peneva, V., & Biserkov, V. (2011). Soil biodiversity in a changing environment. In *Conference: International Conference 100 Years Bulgarian Soil Science* (pp. 746-749). Sofia, Bulgaria: Institute of Biodiversity and Ecosystem Research-Bulgarian Academy of Sciences.

² Van Uffelen, J. G. (1991). *A geological, geomorphological and soil transect study of the Chirripó massif and adjacent area, Cordillera de Talamanca, Costa Rica*. Tesis para obtener el grado de Maestría. Wageningen, The Netherlands: Wageningen University.

³ Coral-Paredes, E. M. (2021). *Almacenamiento de carbono orgánico en suelos del humedal Ramsar Laguna de la Cocha*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Medio Ambiente y Desarrollo. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81882>

Los suelos turbosos están compuestos por sustancias orgánicas, a partir de la descomposición de restos vegetales que se han acumulado sobre terrenos anegados y mal drenados, formando así ecosistemas con alto contenido de materia orgánica que desempeñan funciones ambientales importantes (Inisheva, 2006; León-Alfaro y Reyes, 2018).

Las turberas en Costa Rica se ubican mayormente en el Parque Nacional Tapantí-Macizo de la Muerte en la Cordillera de Talamanca, en un gradiente altitudinal que va desde los 2400 hasta los 3400 m de altitud aproximadamente (Chaverri y Cleef, 1996). Se caracterizan por ser de tipo ombrotónicas debido a que su principal aporte de agua proviene de las precipitaciones. Presentan suelos saturados de agua y ricos en materia orgánica, debido a la descomposición del material vegetal que forma el suelo turboso; además, son sitios de gran endemismo de flora y fauna de tierras altas (Chaverri y Cleef, 1996; Gastezzi-Arias, Martínez y Jones, 2021).

Estos ecosistemas mantienen los procesos hidrológicos, ecológicos y biológicos de las tierras altas y contienen biodiversidad adaptada a vivir en condiciones de saturación permanente de agua, con reducido contenido de oxígeno y pocos nutrientes, lo que hace especial su estudio y conservación (Roig y Roig, 2004; León-Alfaro y Reyes, 2018; Gastezzi-Arias et al., 2021).

En términos generales, el suelo realiza funciones clave como el reciclaje de nutrientes, la absorción de desechos orgánicos, el mantenimiento de su estructura, el intercambio de gases, entre otros (Laban et al., 2018; Mendoza y Espinoza, 2017). Por otro lado, los suelos turbosos son especialmente eficientes en almacenar carbono por largos periodos de tiempo, ya que están saturados de agua y la turba posee baja concentración de oxígeno, pH, nutrientes y temperatura, lo cual limita la descomposición por hongos y microorganismos (Flores y Alcalá, 2010; Loisel, 2015; Laban et al., 2018).

Las turberas como ecosistemas cumplen diversas funciones y ofrecen una gran gama de servicios ecosistémicos; sin embargo, han sido escasamente estudiadas en Costa Rica, quedando rezagadas de los esfuerzos de conservación en tierras altas. Por ello, el objetivo de este estudio fue caracterizar el suelo de las turberas de altura del Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, con el fin de aportar información científica sobre estos ecosistemas para futuras investigaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Se seleccionaron cuatro turberas, tres (T1, T2 y T3) situadas dentro del Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte (9.55478° N, 83.75962° O) y una más (T4) en la Reserva Biológica Cerro Vueltas (9.62169° N, 83.85669° O), Costa Rica (Figura 1). Los sitios fueron seleccionados a partir de un gradiente altitudinal entre los 2400 hasta los 3100 m de altitud, y fueron elegidos a conveniencia, tomando en cuenta la seguridad y fácil acceso de los investigadores. Las turberas en estudio son estacionales, caracterizadas por ser ambientes heterogéneos con terrenos mayormente irregulares y con mal drenaje, lo que permite que el agua se acumule. En época lluviosa, se forman estanques de diferente tamaño debido al escurrimiento natural del agua de lluvia; sin embargo, en época seca, estos espejos de agua desaparecen, mas no se pierde la humedad del suelo, ya que la presencia de briófitos y líquenes, mantienen su humedad. Presentan un suelo del orden Histosol, suborden Sphagnofibrists, constituidos principalmente por musgos del género *Sphagnum* (USDA, 2014). En cada sitio se realizó una descripción general de la vegetación y un muestreo del suelo en el mes de julio del 2021, durante la época lluviosa en Costa Rica.

Muestreo

Vegetación. La caracterización florística trata de delimitar unidades de vegetación según las especies representativas o diferenciales que son indicadoras de las condiciones ecológicas de un determinado ecosistema (Rangel y Velázquez, 1997). Para ello, se establecieron parcelas circulares de 2 m de radio en cada turbera para la identificación *in situ* de las especies más abundantes de plantas vasculares y no vasculares ubicadas en el suelo. Además, se realizó una descripción general de las características biofísicas de cada turbera, y observaciones generales en el bosque adyacente a cada turbera (Brak, Vroklage, Kapelle y Cleef, 2005; Rangel y Velázquez, 1997; Chaverri y Cleef, 1996).

Suelo. Utilizando un barreno telescópico de suelo marca AMS de 2-3/4", se recolectó una muestra compuesta de 1 kg de suelo en cada sitio (Figura 2). Cada muestra compuesta estuvo conformada por seis muestras simples o submuestras a 20, 40 y 60 cm de profundidad (dos extracciones de cada una), las cuales fueron homogenizadas en un recipiente para obtener una muestra final por sitio. Cada muestra compuesta fue rotulada y empacada en

bolsas plásticas tipo ziploc para su traslado al laboratorio y su procesamiento físico (textura) y químico completo (KCl-OLSEN+CN) para determinar pH, acidez, Capacidad de intercambio catiónico (CICE), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K), Fósforo (P), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Carbono (C), Nitrógeno (N), relación C/N y Materia orgánica (MO). Previo a la toma de muestras, se removió la capa superficial de vegetación y hojarasca, aproximadamente en un diámetro de 30 cm (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015).

Por otro lado, en cada sitio se utilizaron cilindros metálicos de 4 cm de altura, 5 cm de diámetro interno aproximadamente, 6 cm de diámetro externo y 4 mm de grosor de la pared (Figura 3), para el análisis de densidad aparente, densidad de partículas, porosidad y conductividad hidráulica.

Las muestras fueron recolectadas siguiendo las recomendaciones de USDA (1999). La densidad aparente se obtuvo por medio del método del cilindro, el cual consiste en clavar el cilindro con un mazo y un bloque de madera hasta el ras del suelo; posteriormente y con la ayuda de una pala pequeña se retira el cilindro de manera cuidadosa y se envuelve en papel aluminio y se resguarda en una bolsa plástica, para evitar pérdidas de muestra y contaminación por mal manejo.

Todas las muestras de suelo para realizar su respectivo análisis físico y químico fueron llevadas al Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (CIA-UCR). El método utilizado para la determinación granulométrica o textura del suelo fue el tradicional método de Bouyoucos con tiempo de lectura de dos horas. En este análisis se utilizó una solución dispersante (37.5 g de Hexametáfosfato de sodio y 7.14 g de carbonato de sodio en 1 L), y alcohol amílico (Henríquez y Cabalceta, 2012; Forsythe, 1985). Para conocer la densidad de partículas se utilizó el método del agua, midiendo el volumen desplazado de líquido por una masa conocida de suelo en un frasco volumétrico de volumen conocido. La porosidad se determinó a partir de la densidad aparente y la densidad de partículas. Por otro lado, para el análisis de conductividad hidráulica se la obtuvo mediante la teoría del movimiento del agua en un suelo saturado, basado en el modelo de la Ley de Darcy, cuya unidad de medida es en centímetros por hora (cm h^{-2}) (Henríquez y Cabalceta, 2012).

Análisis Estadístico

Dada la importancia del C, N, MO y la relación C/N en las turberas, únicamente éstos fueron anualizados; para ello, se aplicó la prueba de diferencia entre dos proporciones independientes por medio del software estadístico VassarStats.net (Lowry, 2015), para comparar diferencias significativas en cuanto a la proporción química de las turberas. Además, se realizó un análisis de similitud de Morisita entre los sitios de estudio y los componentes antes mencionados, mediante el programa PAST 4.10 (Hammer, Harper y Ryan, 2001).

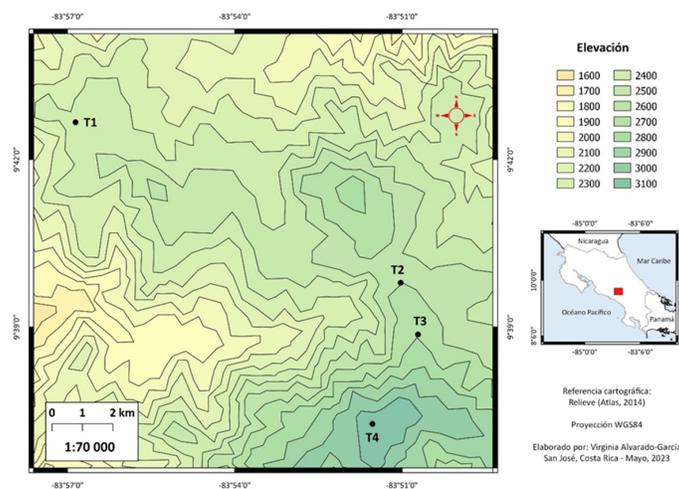


Figura 1. Ubicación de las turberas de altura, Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, Costa Rica. T1-4 (Turbera 1-4).
Figure 1. Location of the high peatbogs, Tapantí Macizo de la Muerte National Park, Costa Rica. T1-4 (High peatbogs 1-4).



Figura 2. Registro fotográfico de la recolección de muestras compuestas de suelo en turberas de altura, A: Muestra de suelo a 20 cm; B: Uso de barreno; C: Muestra compuesta de varias submuestras; D: Muestras para su análisis. Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, Costa Rica (Fotos: P. Gastezzi-Arias).

Figure 2. Photographic record of the collection of composite soil samples in high peatbogs, A : Soil sample at 20 cm; B: Use of auger; C: Composite sample of several subsamples; D: Samples for analysis. Tapantí Macizo de la Muerte National Park, Costa Rica. (Photos by: P. Gastezzi-Arias).



Figura 3. Registro fotográfico de la recolección de muestras de suelo con cilindros en turberas de altura, Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, Costa Rica (Fotos: P. Gastezzi-Arias).

Figure 3. Photographic record of soil sample collection with cylinders in high peatbogs, Tapantí Macizo de la Muerte National Park, Costa Rica (Photos by: P. Gastezzi-Arias).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los páramos y las turberas de altura coexiste una importante relación entre las características del suelo y la vegetación que lo cubre, debido a que ésta es la principal fuente de entrada de materia orgánica al suelo, la cual se descompone lentamente, debido a las bajas temperaturas y elevada humedad en estos sitios (Llambí *et al.*, 2012).

La composición química y la estructura física del suelo de los páramos y turberas de altura están determinados por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, la topografía y por los cambios producto de las actividades humanas a través del tiempo. Sin embargo, ambos poseen características comunes desde el punto de vista físico, debido a que contienen gran cantidad de materia orgánica y carbono en el suelo (Castañeda-Martín y Montes-Pulido, 2017; Orellana *et al.*, 2016).

La caracterización de la vegetación en todas las turberas estuvo relacionada con el bosque premontano. Las briófitas y los líquenes fueron los grupos más abundantes, debido a que éstos contribuyen en la formación del suelo turboso, gracias a la materia orgánica en descomposición; en tanto que, las plantas vasculares fueron escasas. La vegetación briófitas y líquénicas se encontró principalmente sobre el suelo y sustratos en descomposición como troncos y ramas, y estuvo representada principalmente por musgos del género *Sphagnum*, *Caribaeohypnum* y *Breutelia* (Cuadro 1).

Las turberas de altura de Costa Rica son ecosistemas que mantienen una flora y fauna específica, que contribuye a la biodiversidad de las tierras altas. Acero-Rodríguez y León-Vargas (2016) y Diaz, Larraín, Zegers y Tapia (2008) mencionan que la vegetación de las turberas es dominada por plantas que crecen a ras de suelo, formando densas poblaciones del musgo del género *Sphagnum* y plantas vasculares de la familia de las ciperáceas y juncáceas, principalmente, y además la vegetación juega un rol importante por el aporte de materia orgánica en la formación de turba. Esto coincide con lo encontrado en este estudio, al identificar vegetación común y presencia de musgos *Sphagnum* spp en todas las turberas estudiadas. Igualmente, se podría mencionar que el perfil de la vegetación en el ecotono de cada una de las turberas no es homogéneo, esto debido a que se encontraron diferentes comunidades de plantas vasculares, briófitas y líquenes a diferentes altitudes.

Por otro lado, los suelos de las turberas de altura han sido escasamente estudiados; sin embargo, se han realizado investigaciones descriptivas de los suelos del páramo de Costa Rica (Van Uffelen, 1991²; Kapelle y Van Uffelen, 2005), entre los 2000 y 3400 m de altitud, donde se han descrito siete suelos principales distribuidos en cuatro órdenes, Histosoles, Entisoles, Inceptisoles y Andosoles. Además, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) ha contribuido en la realización de estudios edafológicos en los humedales de Costa Rica; pero no se ha profundizado más allá de una clasificación de los suelos de acuerdo con las valoraciones taxonómicas y la capacidad de uso de las tierras (SINAC, 2017).

En este estudio, respecto a la caracterización física, se evidenció que todas las turberas estuvieron compuestas mayoritariamente por arena y en menor cantidad, por arcilla. La T1 registró proporciones de arena y limo similares; mientras que la T2, T3 y T4 presentaron valores de arena por encima del 70%, y limo y arcilla por debajo del 20%. La T1 presentó una textura franca; mientras que, el resto de las turberas presentó una textura franco-arenosa (Cuadro 2).

Por otro lado, la T3 reportó la mayor densidad aparente y la menor porosidad; sin embargo, en la mayoría de los sitios, la densidad de partículas y la conductividad hidráulica, se mantuvo en un rango similar. Los valores reportados en el análisis de la T3 con alta densidad aparente y baja porosidad, podrían deberse a que el suelo de esta turbera presenta signos de compactación, lo que supone una alteración antropogénica (remoción del suelo, desvío de drenajes naturales) debido a la cercanía con la carretera interamericana que conecta el valle central con la zona sur de Costa Rica. Así mismo, el alto contenido de MO también podría ser explicado por causas antropogénicas, ya que los desvíos en el flujo natural de la escorrentía podrían favorecer a que el material vegetal se acumule y se descomponga, aumentando el porcentaje de MO en el sitio.

Por otro lado, el suelo de los bosques premontanos (por debajo de las zonas de páramo), donde se encuentran ubicadas las turberas de altura, están caracterizados por presentar suelos del orden Histosoles, con alto contenido de materia orgánica y que son predominantes en zonas frías y pantanosas con poco drenaje (Van Uffelen, 1991²; Kapelle y Van Uffelen, 2005).

Esto coincide con lo mencionado por el Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 1999) y Llambí *et al.* (2012) en estudios realizados en suelos del páramo colombiano, donde se demuestra que a altitudes superior a los 2000 m de altitud, predominan suelos franco arenosos con alto porcentaje de porosidad (60 al 90%), valores bajos de la densidad aparente (0.4 a 0.8 g cm⁻³) y densidad de partículas, y alta conductividad hidráulica. Estas características permiten que los suelos sean permeables, con mejor aireación y drenaje natural, facilitando el desarrollo de raíces. Estos aspectos físicos del suelo son similares a los descritos en este estudio, lo que indica que el suelo de las turberas tiene semejanza con los suelos del páramo; además, posee un alto porcentaje de materia orgánica, que se relaciona con la cobertura vegetal mayormente briofita y líquénica, que es la principal fuente de materia orgánica de los suelos turbosos.

Cuadro 1. Descripción de la vegetación relacionada con el suelo en las turberas de altura del Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, Costa Rica.
Table 1. Description of soil-related vegetation in the high peatbogs of Tapantí Macizo de la Muerte National Park, Costa Rica.

Sitio de estudio	Altitud (m)	Descripción
Turbera 1 (T1)	2400	<p>Está cubierta de vegetación herbácea, en su mayoría de ciperáceas, juncos y en el suelo, por musgos (<i>Sphagnum</i> spp). En los alrededores de estas turberas existen parches de bosque secundario y arbustos dispersos. En la época seca, el agua escurre totalmente y el suelo queda húmedo por la presencia de musgos.</p> 
Turbera 2 (T2)	2600	<p>Alrededor de esta turbera, predominan árboles aislados y vegetación arbustiva como helechos (<i>Blechnum</i> spp), puya (<i>Puya dasyliroides</i>), ericáceas y herbáceas. El suelo está mayormente cubierto de musgos (<i>Sphagnum</i> spp, <i>Caribaeohypnum</i> spp., y <i>Breutelia</i> spp.) y líquenes. En la época seca, el agua disminuye su nivel y el suelo en su totalidad se mantiene húmedo y lodoso durante todo el año. Esta turbera presenta pequeños drenajes naturales con agua que desaguan de acuerdo con la irregularidad del terreno.</p> 
Turbera 3 (T3)	2800	<p>Esta turbera posee suelos lodosos y con materia orgánica en descomposición visible. Está rodeada por vegetación herbácea, arbustos, helechos (<i>Blechnum</i> spp), puya (<i>Puya dasyliroides</i>), ericáceas, y el suelo está mayormente cubierto de musgo (<i>Shagnum</i> spp y <i>Caribaeohypnum</i> spp). En la época seca, el agua escurre bajando el nivel de agua sin desaparecer.</p> 
Turbera 4 (T4)	3100	<p>Esta turbera es estacional; la vegetación está representada por bosque secundario subalpino y herbazal de páramo, con presencia de helechos arborescentes (<i>Blechnum</i> spp), puya (<i>Puya dasyliroides</i>) y chusquea (<i>Chusquea subtessellata</i>). En la época lluviosa se hace visible grandes cuerpos de agua; en tanto que, en la época seca se deseca completamente y el suelo queda descubierto en su totalidad sin perder humedad en sus alrededores por la presencia del musgo (<i>Shagnum</i> spp) y líquenes.</p> 

Cuadro 2. Análisis físico del suelo en turberas de altura, Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, Costa Rica.
Table 2. Soil physical analysis in high peatbogs, Tapantí Macizo de la Muerte National Park, Costa Rica.

Sitios	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural	Densidad aparente	Densidad de partículas	Porosidad	Conductividad hidráulica
	----- % -----				----- g cm ⁻³ -----		%	cm h ⁻²
T 1	45	43	12	F	0.4	1.1	64	570
T 2	76	15	9	FA	0.2	1.8	89	646.8
T 3	73	17	10	FA	1.6	1.8	11	575.1
T 4	75	20	5	FA	0.3	1.7	82	663.5

F: franco, FA: franco arenoso.
 F: loam, FA: sandy loam.

Con respecto al análisis químico, los micro y macroelementos, el pH, la acidez y el CICE, fluctuaron en cada una de las turberas (Cuadro 3). Los iones de Ca, Mg y K fueron bajos con respecto a los otros elementos como el P, Cu, Fe, Zn y Mn; sin embargo, en términos generales y según un estudio en Andisoles de Costa Rica, los valores de Ca, Mg, K, P y el Zn son deficientes; mientras que el Mn es suficiente y el Cu es alto (Cabalceta y Molina, 2006). Los valores obtenidos a partir de los análisis del suelo podrían obedecer a lo esperado para turberas de altura *per se*. Sin embargo, la falta de estudios del suelo turboso no permite comparar estos resultados.

Según Sánchez-Murillo *et al.*, (2022) las turberas de altura en Costa Rica contienen altas concentraciones de MO en el suelo y altos niveles de carbono orgánico disuelto. Esto explica que, la descomposición de la gran cantidad de MO y los taninos presentes en el agua favorecen al aumento de los valores de pH, acidez y Fe (O. Vargas, comunicación personal, 9 de agosto del 2023). Con respecto al C, N y MO, los valores más altos se reportaron en la T3; mientras que la relación C/N fue mayor en T1 (Cuadro 3). Los valores de nitrógeno fueron más bajos con relación al carbono, posiblemente por la fijación de bacterias acidofóbicas que permiten la descomposición de la MO. Esto concuerda con los altos valores de MO y la relación C/N.

Varios autores, mencionan que en los suelos del orden Histosoles predomina material orgánico acumulado en capas profundas, cuya producción supera su descomposición cuando las condiciones de equilibrio están presentes (Kapelle y Van Uffelen, 2005; Martínez-Cortizas y García, 2009; INTA, 2015). Los suelos de las turberas de altura están formados por la acumulación de materia orgánica que se denomina turba, que es un material que resulta de la descomposición de restos orgánicos de origen vegetal principalmente del musgo *Sphagnum*, que es mayormente común en el suelo de las turberas. El USDA (1999) y el INTA (2015), mencionan que los suelos del orden Histosoles, poseen como mínimo un 20% de materia orgánica, lo cual concuerda con este trabajo, donde los valores oscilaron entre 26.97 a 47.05%. Esto indica que es un suelo con alta producción de materia orgánica debido a la acumulación de restos vegetales y por la acción de los factores biofísicos del ecosistema.

De acuerdo con la proporción de C, N, MO y relación C/N en cada sitio, se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en el carbono y la materia orgánica (Cuadro 4). Si bien es cierto, no se encontraron diferencias significativas en los contrastes de las turberas para el nitrógeno y la relación C/N ($z=0.142$, $p=0.443$), en términos generales, hubo contenidos altos de carbono y nitrógeno (principalmente en la T3) y en la relación

Cuadro 3. Análisis químico de los componentes del suelo en turberas de altura, Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, Costa Rica.
Table 3. Chemical analysis of soil components in high peatbogs, Tapantí Macizo de la Muerte National Park, Costa Rica.

Sitios	pH	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	P	Zn	Cu	Fe	Mn	C	N	MO	C/N
			----- cmol (+) L ⁻¹ -----					----- Mg L ⁻¹ -----				----- % -----			
	5.5*	0.5*	4*	1*	0.2*	5*	10*	3*	1*	10*	5*				
T1	4.9	3.88	0.79	0.26	0.26	5.19	4	0.6	6	161	4	29.18	1.31	41.73	22.3
T2	4.4	9.78	1.75	0.42	0.13	12.08	4	1.2	6	320	4	19.48	1.04	27.86	18.7
T3	4.5	4.29	0.83	0.39	0.14	5.65	2	1.6	4	374	7	32.90	1.74	47.05	18.9
T4	4.9	3.86	0.51	0.30	0.23	4.90	6	0.5	7	332	3	18.86	1.42	26.97	13.3

*Valores críticos según el CIA.
 *Critical values according to the ICA.

Cuadro 4. Prueba de diferencia de proporciones entre los componentes MO, C y la relación C/N del suelo en turberas de altura, Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, Costa Rica.**Table 4. Test of difference of proportions between MO, C components and soil C/N ratio in high peatbogs, Tapantí Macizo de la Muerte National Park, Costa Rica.**

Sitios	C		MO	
	z	p	z	p
T1 y T2	1.66	0.098	2.06	0.038 *
T1 y T3	-0.61	0.540	-0.71	0.477
T1 y T4	1.66	0.098	2.23	0.026 *
T2 y T3	-2.26	0.024 *	-2.76	0.006 *
T2 y T4	0.18	0.429	0.16	0.875
T3 y T4	2.26	0.024 *	2.93	0.003 *

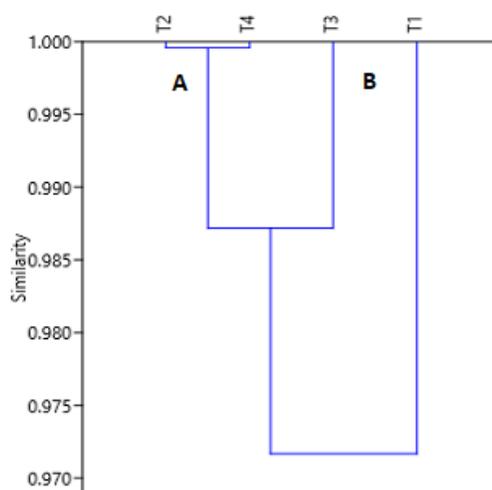
* Diferencias significativas al 5%.

* Significant differences at 5%.

C/N y materia orgánica (mayoritariamente en la T1), lo que permite inferir que las turberas son eficientes en acumular carbono en el suelo, gracias al proceso de descomposición y acumulación de materia orgánica.

Pontevedra-Pombal *et al.* (2004), Hernández (2010), Loisel (2015) y Laban *et al.* (2018), indican que un alto porcentaje de carbono y nitrógeno está relacionado a la anegación y humedad de los suelos la mayor parte del año, el poco oxígeno y nutrientes en el agua, la influencia de temperaturas bajas, y una alta radiación solar asociada con la vegetación; lo que podría indicar que existe una buena relación entre los microorganismos del suelo y los procesos de mineralización de la materia orgánica.

El índice de similitud de Morisita reportó un coeficiente de correlación de 0.731 y dos grupos bien definidos: A (T2 + T4) y B (T1 + T3). Los sitios con mayor similitud fueron T2 y T4 en un 99% (Figura 4); sin embargo, en la descripción de la vegetación (Cuadro 1), se evidenció que son ecosistemas heterogéneos y presentan características biofísicas diferentes entre sí, lo que podría deberse a que se encuentran a diferente elevación, al tipo de vegetación, a la humedad del suelo, la radiación solar, y la presencia de cuerpos de agua en cada una de ellas.

**Figura 4. Dendrograma para los sitios de muestreo y los componentes fisicoquímicos del suelo en turberas de altura, Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, Costa Rica.****Figure 5. Dendrogram for sampling sites and soil physicochemical components in high peatbogs, Tapantí Macizo de la Muerte National Park, Costa Rica.**

En un estudio realizado en los suelos del páramo colombiano, Llambí *et al.* (2012) reportaron valores altos de porosidad (> 60%) y mencionaron que la conductividad hidráulica de estos suelos está relacionada con el contenido de agua y la velocidad con la que ésta se mueve en el interior del suelo; por lo que, esta información permite inferir que, posiblemente el suelo de la T2 y T4 con valores altos en la porosidad (> 80%) y la conductividad hidráulica (> 645 cm h⁻¹, con respecto a T1 y T3, tengan las mismas características de un suelo del páramo y de ahí su similitud.

CONCLUSIONES

Se enfatiza la importancia de los suelos turbosos debido a la alta capacidad para almacenar carbono y actuar como reguladores del recurso hídrico. Además, se destaca la estrecha relación entre las características del suelo y la vegetación de las turberas de altura, caracterizada mayormente por líquenes y briófitos, especialmente musgos del género *Sphagnum*; la cual juega un papel fundamental en la formación y acumulación de la materia orgánica del suelo turboso. El alto contenido de materia orgánica, aunado a las propiedades físicas del suelo turboso facilitan el desarrollo de raíces, mientras que su perfil químico refleja adaptaciones a las condiciones de anegación y humedad. La similitud en las características físicas y químicas de los suelos en diferentes turberas podría indicar influencias similares de factores como la elevación, patrones de lluvias, radiación solar, entre otros. En conjunto, este estudio proporciona un mayor entendimiento de la interacción entre la vegetación y los suelos en las turberas de altura, así como de su importancia para la conservación de estos ecosistemas y la biodiversidad de las tierras altas.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

"La investigación tuvo el apoyo financiero de la Vicerrectoría de Investigación y el Laboratorio de Vida Silvestre y Salud de la Universidad Estatal a Distancia (UNED), Costa Rica".

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización e idea principal: P.G.A. Metodología, trabajo de campo y análisis de muestras: P.G.A. Escritura: preparación de borrador original: P.G.A. y J.P.Q. Escritura: revisión y edición final: V.A.G. y J.P.Q. Adquisición de fondos: P.G.A.

AGRADECIMIENTOS

A Ligia Bermúdez de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Estatal a Distancia (UNED) por su colaboración y contribución al manuscrito; a Oldemar Vargas Gutiérrez del CIA-UCR por su valiosa ayuda y aportes a este manuscrito, así como, por el préstamo de equipo para la toma de muestras de suelo. Se expresa un especial agradecimiento al Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte-SINAC, a Yarenis Chavarría y Daniel Martínez Araya por su colaboración en el trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

- Acero-Rodríguez, M., & León-Vargas, Y. (2016). Caracterización de una turbera de *Sphagnum* L., asociada al bosque montano en Mérida, Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, 39(2), 204-230.
- Aguilar-Garavito, M., & Ramírez, W. (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. ISBN: 978-958-8889-29-0
- Brak, B., Vroklage, M., Kapelle, M., & Cleef, A. (2005). Comunidades vegetales de la turbera de altura "La Chonta" en Costa Rica. En M. Kapelle, & S. P. Horn (Eds). *Páramos de Costa Rica* (pp. 608-627). Santo Domingo de Heredia, Costa Rica: Editorial INBio. ISBN: 9968-927-09-0
- Cabalseta, G., & Molina, E. (2006). Niveles críticos de nutrientes en suelos de Costa Rica utilizando la solución extractora Mehlich 3. *Agronomía Costarricense*, 30(2), 31-44.
- Castañeda-Martín, A. E., & Montes-Pulido, C. R. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado* 13(1), 210-221. <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25112>
- Chaverri-Polini, A., & Cleef, A. (1996). Las comunidades vegetacionales en los páramos de los macizos del Chirripó y Buenavista, Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana*, 5(17), 44-49.
- Díaz, M. F., Silva, W., & León, C. A. (2015). Características de los ecosistemas de turberas, factores que influyen en su formación y tipos. En E. Domínguez, & D. Vega (Eds.) *Funciones y servicios ecosistémicos de las turberas en Magallanes* (pp. 27-39). Punta Arenas, Chile: Colección Libros INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Díaz, M. F., Larraín, J., Zegers, G., & Tapia, C. (2008). Caracterización florística e hidrológica de las turberas de la Isla Grande de Chiloé, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 81(4), 455-468. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2008000400002>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Roma, Italia: FAO. ISBN: 978-92-5-309681-7
- Forsythe, W. (1985). *Física de suelos: manual de laboratorio*. San José, Costa Rica: Editorial IICA. ISBN: 92-9039-052-2
- Flores-Delgadillo, L., & Alcalá-Martínez, J. R. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos*. D. F., México: Departamento de Edafología, Universidad Nacional Autónoma de México Consultado el 20 de enero, 2022, desde <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>
- Gastezzi-Arias, P., Martínez-Araya, D., & Jones-Román, G. (2021). Distribución altitudinal de la riqueza y diversidad de aves en turberas de altura, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 13(2), 1-13. <https://doi.org/10.22458/urj.v13i2.3716><https://doi.org/10.22458/urj.v13i2.3716>
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.
- Hammer, Ø., D. A. T., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontología Electrónica*, 4(9), 1-9.
- Hernández, M. E. (2010). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoamericana*, 28(2), 139-147.
- Henríquez, C., & Cabalseta, G. (2012). *Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola* (2^{da} Ed.). San José, Costa Rica : Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- IDEAM (Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales de Bogotá). (1999). *El macizo colombiano y su área de influencia: Módulo hídrico*. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Ministerio del Ambiente de Colombia. Consultado el 7 de abril, 2023, desde: https://www.fundaciondelmacizo.org/doc/el_macizo_colombiano_y_su_area_de_influencia.pdf
- Inisheva, L. I. (2006). Peat Soils: Genesis and Classification. *Eurasian Soil Science*, 39, 699-704. <https://doi.org/10.1134/S1064229306070027>
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). (2015). *Suelos de Costa Rica: orden Histosol*. Boletín técnico. San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Consultado el 31 de marzo, 2023, desde <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1824.PDF>
- Kapelle, M., & Van Uffelen, J. G. (2005). Los suelos de los páramos de Costa Rica. En M. Kapelle, & S. P. Horn (Eds). *Páramos de Costa Rica* (pp. 147-159). Santo Domingo, Heredia, Costa Rica: Editorial INBio. ISBN: 9968-927-09-0
- Laban, P., Metternicht, G., & Davies, J. (2018). *Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas*. Gland, Suiza: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.03.es>
- León-Alfaro, Y., & Reyes-Chaves, J. (2018). Delimitación y descripción biofísica de dos turberas y una laguna endorreica en Salsipuedes-Cerro Asunción, Tapantí - Parque Nacional Macizo de la Muerte, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 10(1), 221-226. <https://doi.org/10.22458/urj.v10i1.2030>
- Loisel, J. (2015). Las turberas como sumideros de carbono. En E. Domínguez, & D. Vega (Eds.). *Funciones y servicios ecosistémicos de las turberas en Magallanes* (pp. 295-313). Punta Arenas, Chile: INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias
- Lowry, R. (2015). *VassarStats Software for Statistical Computation*. Poughkeepsie, NY, USA: Vassar College.
- Llambí, L. D., Soto, A., Célleri, R., DeBievre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). *Páramos Andinos: Ecología hidrología y suelos de paramos*. Cuenca, Ecuador: Editorial Monsalve Moreno.
- Martínez-Cortizas, A., & García-Rodeja Gayoso, E. (2009). Grupo 7. Turberas, turberas bajas y áreas pantanosas. En VV.AA. (Eds). *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España* (pp. 1-9). Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Mendoza, R., & Espinoza, A. (2017). *Guía técnica para muestreo de suelos*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria-Programa de Agricultura, Suelo y Agua-Fundación Haward Buffett y Catholic Relief Services.
- Monsalve, E., Muñoz-Arriagada, R., Bahamonde, N., & Vidal, O. J. (2021). Caracterización ecológica de una turbera ombrogénica en Magallanes: hacia una propuesta de bioindicadores de monitoreo ambiental. *Gayana Botánica*, 78(1), 38-55. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432021000100038>
- Orellana-Mendoza, E., Choque-Bonifacio, F., Zúñiga-López, D., Páucar-Carrión, J., Piñatelli-Bracamonte, M., & Baltazar-Zúñiga, D. (2016). Propiedades físicas y químicas del suelo con *Sphagnum magellanicum* Brid, Junín-Perú. *El Ceprosimad*, 4(2), 17-25.
- Pérez-Carreta, A., Mora-Ortiz, R. S., Mora-Ortiz, T., Munguía-Balvanera, E., & Cáliz-Madrigal, V. I. (2021). Preparación de muestras de suelo y su influencia en la determinación del límite líquido en diferentes tipos de suelos. *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability*, 5(1), 99-110. <https://doi.org/10.19136/jeeos.a5n1.4551>

-
- Pontevedra-Pombal, A., Martínez-Cortizas, A., & Buurman, A. P. (2004). Las turberas de montaña de Galicia como sumideros de carbono. *Edafología*, 11(3), 295-307.
- Rangel-Ch, J. O., & Velázquez, A. (1997). Métodos de estudio de la vegetación. En J. O. Rangel-Ch, P. Lowy-C, & M. Aguilar-P. (Eds.), *Diversidad Biótica II. Tipos de Vegetación en Colombia* (pp. 59-88). Colombia: Editorial Guadalupe Ltda.
- Roig, C., & Roig, F. A. (2004). Consideraciones generales. En D. E. Blanco, & V. M. De la Balze (Eds.), *Los Turbales de la Patagonia: Bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad* (pp. 5-21). Buenos Aires, Argentina: Wetlands International. ISBN: 90 5882 019X
- Sánchez-Murillo, R., Gastezzi-Arias, P., Sánchez-Gutiérrez, R., Esquivel-Hernández, G., Pérez-Salazar, R., & Poca, M. (2022). Exploring dissolved organic carbon variations in a high elevation tropical peatland ecosystem: Cerro de la Muerte, Costa Rica. *Frontiers in Water*, 3, 1-12. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.742780>
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). (2017). *Guía para la caracterización y delimitación de suelos hidromórficos asociados a los ecosistemas de humedal*. San José, Costa Rica: MINAE-INTA-Proyecto Humedales-GEEF- PNUD. ISBN: 978-9977-50-144-4
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Washington D.C., USA: USDA.
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). (2014). *Claves para la taxonomía de suelos*. Washington D.C., USA: USDA-NRCS.