


<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v73i1.58505>

Flora de las turberas tropicales de alta montaña: amenazas y medidas de manejo. Cordillera de Talamanca, Costa Rica

Frank González-Brenes¹;  <https://orcid.org/0000-0002-6651-7681>

Yazmin León-Alfaro²;  <https://orcid.org/0000-0002-6859-6176>

Nieves López-Estébanez³;  <https://orcid.org/0000-0002-4556-0314>

1. Laboratorio de Ecología Urbana, Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica; fgonzalezb@uned.ac.cr (*Correspondencia).
2. Centro de Investigaciones sobre Diversidad Cultural y Estudios Regionales, Universidad de Costa Rica, Alajuela, Costa Rica; yazmin.leonalfaro@ucr.ac.cr
3. Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España; nieves.lopez@uam.es

Recibido 25-I-2024. Corregido 04-X-2024. Aceptado 28-I-2025.

ABSTRACT

Flora of high mountain tropical peatlands: threats and management measures. Talamanca Range, Costa Rica

Introduction: Tropical peatlands are highly fragile vegetal formations, especially vulnerable to anthropogenic impacts and changes in climatic conditions.

Objective: To characterize the flora of the Talamanca peatlands, as well as identify their dynamics, threats, and impacts.

Methods: The flora was analyzed in five peat bogs located in the Buenavista Massif, along the Inter-American Highway, at altitudes of 2 400 - 3 100 m, through field sampling. Subsequently, a Floristic Value Index (IVF) was designed to assess the state of conservation.

Results: The floristic richness was determined in the peat bogs studied. A lower biological diversity was found in the three peatlands outside the state-protected natural spaces, suggesting the influence of the edge effect and agro-productive activities or their proximity to the Highway. In contrast, the Salsipuedes and Cerro Paramillo peatlands exhibited greater diversity, highlighting genera such as *Blechnum*, *Puya*, *Chusquea*, *Myrsine* and *Vaccinium*, in association with the bryophyte genus *Sphagnum*. A different floral composition was observed along the strip near the Inter-American Highway, characterized by species with lower water demand, especially genera such as *Rubus* and *Pteridium*, among others.

Conclusion: From the identified floristic composition, the importance of peatlands as part of the mesoamerican *hotspot* ecosystems was determined, not only as repositories of biodiversity but also as sensitive indicators of human influence and environmental threats in the region associated with anthropic impact and climate change.

Key words: high-altitude peatlands; biodiversity; anthropogenic impact; tropical paramo; Mesoamerican hotspot.

RESUMEN

Introducción: Las turberas tropicales son formaciones vegetales muy frágiles, especialmente debido a los impactos antrópicos y a los cambios en las condiciones climáticas.

Objetivo: Caracterizar la flora de las turberas de Talamanca, así como identificar sus dinámicas, amenazas e impactos.



Métodos: Se analizó la flora de cinco turberas ubicadas en el Macizo Buenavista, a lo largo de la Carretera Interamericana, a una altitud entre 2 400 - 3 100 m, a través de muestreos en campo. Posteriormente se diseñó un Índice de Valor Florístico (IVF) para valorar el estado de conservación.

Resultados: Se determinó la riqueza florística en las turberas estudiadas. Se constató una menor diversidad biológica en las tres turberas ubicadas fuera de los espacios naturales protegidos estatales, lo que sugiere la influencia del efecto de borde y de las actividades agroproductivas o su proximidad a la Carretera Interamericana. En contraste, las turberas Salsipuedes y Cerro Paramillo exhibieron una mayor diversidad, destacándose géneros como *Blechnum*, *Puya*, *Chusquea*, *Myrsine* y *Vaccinium*, en asociación con el género de briófitas *Sphagnum*. Se observó una composición floral distinta a lo largo de la franja cercana a la Interamericana, caracterizada por la presencia de especies con menor demanda hídrica, especialmente géneros como *Rubus* y *Pteridium*, entre otros.

Conclusión: A partir de la composición florística identificada se determinó la importancia de las turberas como parte de los ecosistemas del *Hotspot* mesoamericano, no solo como depósitos de biodiversidad sino también como indicadores sensibles de la influencia humana y las amenazas ambientales en la región asociadas con impacto antrópico y cambio climático.

Palabras clave: turberas de altura; biodiversidad; impacto antrópico; páramo tropical, *hotspot* Mesoamericano.

INTRODUCCIÓN

Las turberas tropicales tienen su área de distribución en Asia oriental continental, Asia sudoriental, el Caribe y América Central, América del Sur y África meridional. En el caso de Sudamérica y América Central se trata de ecosistemas muy sensibles que se desarrollan sobre espacios de montaña, con balance hídrico positivo en áreas poco extensas. La vegetación de los sistemas montañosos elevados se organiza en pisos altitudinales determinados por las condiciones climáticas (Herrera & Gómez, 1993; Kappelle, 1996). Este es el caso de la Cordillera de Talamanca en Costa Rica, donde se distinguen los bosques de tierras bajas (0-500 m), los bosques premontanos (500-1 200 m), los bosques montano-bajos (> 1 200-2 100 m), los bosques montano-altos (2 100-3 100 m), los bosques y matorrales de altura (3 100-3 300 m) y los matorrales y herbazales alpinos (3 300-3 819 m). Estos dos últimos pisos corresponden a las formaciones vegetales de altura en Centroamérica, situadas dentro de la zona neotropical. Estos ambientes se caracterizan por adaptaciones a las condiciones de alta montaña (Kappelle & Horn, 2005).

El páramo presenta su distribución más remota y occidental en las montañas de Talamanca; este sufrió durante el Pleistoceno importantes glaciaciones, lo que ha favorecido la presencia de géneros de zonas templadas y

neotropicales (Islebe & Hooghiemstra, 1997). Además, su vegetación está expuesta a variaciones de temperatura, niebla, irradiación solar, etc., lo que ha propiciado diversas estrategias adaptativas vegetales (Cleef & Chaverri, 1992; Luteyn, 2005). Al respecto, Myers et al. (2000) señala que la flora del bioma del páramo en América Central y Sudamérica (de Costa Rica a Bolivia) presenta una notable diversidad. Sin embargo, la afirmación de que este bioma se encuentra entre los hotspots del mundo, con un 60 % de flora vascular endémica, requiere una revisión crítica.

Dentro de esta secuencia altitudinal de vegetación se localizan las turberas, consideradas como formaciones vegetales azonales, pues su presencia no obedece al clima, sino a las condiciones edáficas, geomorfológicas y topográficas, particularmente (Brak et al., 2005).

Estos humedales se encuentran en depresiones topográficas y en terrenos mal drenados con inundación periódica, especialmente en algunos bosques tropicales de altura y laderas de páramos. Sin embargo, es importante destacar que ambientes similares de humedales y turberas también se encuentran en otras regiones, como el Pacífico de Colombia (Chocó biogeográfico) y la Amazonía, donde la composición florística y el paisaje pueden variar considerablemente (Gastezzi-Arias et al., 2023; Kappelle & Horn, 2016). Las turberas no se encuentran asociadas a un dominio específico

como el de los *Quercus* de origen Holártico (pisos montano-bajo y montano-alto), sino que presentan características florísticas y estructurales que son más similares a las de los páramos (Brak et al., 2005; Gómez, 1986). En la región de la montaña media, estas turberas se desarrollan de manera particular, sin estar vinculadas a un dominio biogeográfico específico. Algunas de ellas se caracterizan por presentar formaciones boscosas, mientras otras alojan importantes cantidades y variedades de musgos de *Sphagnum*, estimándose que este briófito es el aporte fundamental en la formación de la turba de estos humedales (Finlayson et al., 2019).

Estas formaciones vegetales han sido estudiadas desde diferentes disciplinas con objetivos diversos, entre los que cabe destacar su interés como sumideros de metano (Chai et al., 2020) o estudios palinológicos y de evolución del paisaje vegetal (Wu et al., 2019). Pese a que su extensión en Costa Rica, en relación con el resto de páramos andinos, es muy reducida (2 %) (Hofstede et al., 2003), el interés de su conservación es muy alto, ya que se trata de formaciones vegetales extremadamente frágiles que tienen entre sus impactos más frecuentes la recurrencia de incendios (Horn & Kappelle, 2009; Kern et al., 2018), la erosión del suelo, el pastoreo excesivo o el impacto del cambio climático que puede hacerlos desaparecer (Chuncho & Chuncho, 2019; Corrales, 2018; Correa et al., 2020).

Las modificaciones en las condiciones climáticas están siendo especialmente impactantes en las turberas tropicales (Benavides et al., 2013; Chimner & Karberg, 2008; Corrales, 2018; Moomaw et al., 2018) y en las ecuatoriales (Correa et al., 2020; Page et al., 2004). La hidrología de estos espacios está cambiando en las últimas décadas hacia regímenes hídricos locales más húmedos o secos (Mallakpour & Villarini, 2015). Esta situación es preocupante, dado que estos humedales interceptan los flujos de escorrentía superficial y sub-superficial, regulando el ciclo hidrológico (Benavides et al., 2013; Kappelle, 1996). En este sentido, los fuegos recientes de origen antropogénico que han afectado los ecosistemas de roble y páramo

también ponen en riesgo los humedales, alterando su dinámica hidrológica y la capacidad del suelo para retener agua (Horn, 2005).

Ante estos escenarios las recomendaciones coinciden en que es imprescindible identificar las amenazas directas e indirectas para las turberas en relación con los impactos del cambio climático, localizar y caracterizar estos biotopos a escala de cuenca hidrográfica por parte de las entidades locales e identificar las especies de flora y fauna más sensibles en respuesta al cambio climático, que resulta de intervenciones antropogénicas y a cambios hidrológicos, que pueden ser causados por factores naturales (Pitchford et al., 2012). Aunque la actividad humana, como el drenaje de las turberas, también puede influir en estos cambios (Pitchford et al., 2012; Veas-Ayala et al., 2018). Por otra parte, los planes de restauración y manejo deben contemplar las diversas presiones antropogénicas sobre los humedales y que estos estén protegidos mediante políticas que incluyan el monitoreo, así como los incentivos económicos para la conservación en propiedades privadas (Harrison, 2013; Pitchford et al., 2012; Shen et al., 2019).

Diversos acuerdos internacionales, como el Convenio de Ramsar, han desempeñado un papel crucial al promover la conservación y el uso sostenible de la vegetación de turberas, reconociendo su importancia en la mitigación del cambio climático y la preservación de la biodiversidad (Food and Agriculture Organization [FAO], 2020; FAO, 2023; United Nations Environment Programme [UNEP], 2022). En Centroamérica y Suramérica, varios países han adoptado medidas para salvaguardar las turberas, implementando regulaciones en naciones como Brasil, Perú y Guatemala (Biancalani & Avagyan, 2014; UNEP, 2022). Costa Rica, en particular, ha demostrado un compromiso sólido con la preservación de sus turberas, estableciendo áreas protegidas y fomentando prácticas sostenibles en coherencia con su enfoque en la conservación ambiental (González et al., 2021; Ministerio Nacional de Ambiente y Energía [MINAE], 2017). Aunque se ha evidenciado que las Áreas Silvestres Protegidas (ASP)



otorgan un nivel de protección favorable a las turberas de alta montaña del sector ístmico costarricense, ello no parece ser suficiente para el manejo integral de estas, encontrando un estado de conservación muy desigual dependiendo del tipo de propiedad en las que se encuentran o de la cercanía a las infraestructuras viarias (González et al., 2021).

Las políticas y legislaciones en torno a las turberas a nivel mundial han promovido un aumento en la conciencia ambiental en las últimas décadas. No obstante, persisten desafíos significativos en la efectiva implementación de estas políticas, sobre todo en Latinoamérica, lo que resalta la necesidad de un esfuerzo continuo para asegurar la protección de estas valiosas formaciones vegetales (Veas-Ayala et al., 2018).

En este contexto, esta investigación busca caracterizar la flora de las turberas de la Cordillera de Talamanca, profundizar en la enorme diversidad florística y biogeográfica de este *hotspot* mundial, identificando la procedencia de la flora más singular, con especial énfasis en la detección de especies de gran interés biogeográfico, susceptibles de protección y con posibilidades de una efectiva conservación; así como conocer las dinámicas, las amenazas y los impactos actuales que soportan estas turberas. Por último, se analiza el marco normativo que a diferentes escalas territoriales y sectoriales sustenta la conservación y el futuro de estas frágiles, remotas y reducidas formaciones vegetales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: La Cordillera de Talamanca, de origen vulcano-plutónico, es el cordal montañoso más elevado de Costa Rica, culminando en el Cerro Chirripó con 3 821 m de altitud (Bergoeing, 2007). El levantamiento de este eje montañoso constituyó la formación definitiva del puente entre América del Norte y América del Sur, a partir del vulcanismo ocurrido hasta el Mioceno, y posterior a éste la formación intrusiva de Talamanca (Alfaro et al., 2018). El sistema montañoso presenta una alineación nornoroeste-sursuroeste, que

corresponde a la orientación general del país (Bergoeing, 2007).

La investigación llevada a cabo se localiza en el Macizo Buenavista o Cerro de la Muerte, el sector más noroccidental de la Cordillera de Talamanca, en un tramo altitudinal entre los 2 400 m de altitud, en las cercanías de El Empalme y los 3 291 m en la cumbre del Cerro Buenavista. La topografía del área culminante es una cresta más o menos diseccionada hacia la cuenca del Pacífico por profundos barrancos y quebradas que inciden en esta superficie culminante y que producen desprendimientos, deslizamientos y erosión remontante en las cabeceras fluviales. Mientras, las vertientes hacia el Caribe presentan unas pendientes más moderadas que las del Pacífico, siendo inferiores a 45 grados. Por encima de los 3 000 m de elevación existen superficies llanas con pendientes suaves, asociadas a los cambios de clima experimentados durante el Cuaternario, cuando masas de hielo permanente se establecieron en el sector de los páramos, ocasionado relieves periglaciares en las cumbres más altas (Lachniet et al., 2005).

Al considerar la variación de la vegetación en el área estudiada se identifican zonas de vida entre los 2 400 y los 3 440 m: el ecosistema andino intertropical del Páramo, que en Centroamérica se conoce como páramos ístmicos (Vargas & Sánchez, 2005) y que se desarrollan en Costa Rica y el sector norte de Panamá (por encima de los 3 100 m); el bosque tropical Montano Nuboso de *Quercus* cargados de epífitas (Kappelle, 1996); y los humedales de altura en forma de turberas, localizados dentro de los robledales de altura y los páramos ístmicos.

Por encima de los 3 000 m de altitud se producen cambios bruscos en la temperatura, nubosidad, humedad relativa e insolación. El clima, aunque húmedo, no presenta precipitaciones abundantes, sin embargo, en algunas localidades se dan condiciones de mayor pluviosidad, lo que ofrece como resultado una mayor disponibilidad de agua en el suelo, especialmente debido a la baja evapotranspiración provocada por la menor radiación y temperatura en esta altitud (Herrera, 2005).

La precipitación media anual suele oscilar entre 2 000 y 4 000 mm, pero puede ser mayor en algunas laderas expuestas al Caribe y localmente hasta 4 500 mm (Herrera & Gómez, 1993). La humedad atmosférica relativa es superior al 70 %, con nieblas bajas muy habituales que permanecen durante la estación seca. La vegetación de transición al páramo y la propiamente de páramo quedan, durante la estación seca, por encima del cinturón de condensación, lo que favorece la muerte de la parte aérea de hierbas perennes y otras formas biológicas (Horn, 1989). Durante la estación lluviosa el clima es frío por causa de la nubosidad, contrario a la estación seca cuando las temperaturas descienden por debajo de 0 °C debido a los fuertes vientos alisios del norte y noreste, que generan un efecto desecante en las reservas de agua del suelo (Herrera, 2005).

Las turberas de la Cordillera de Talamanca fueron declaradas sitio Ramsar en el año 2003 (Sitio Ramsar: 1 286) cubriendo una superficie de 192 520 ha (Gastezzi-Arias et al, 2021; Ramsar, 2018). Dentro del área se han incluido varios espacios protegidos que constituyen un inmenso corredor biológico, en el que se

encuentra la masa boscosa más extensa del país (Ramsar, 2018). No obstante, el área es atravesada por la Carretera Interamericana Sur, construida entre 1942 y 1945, cuya apertura causó un gran impacto sobre los bosques de *Quercus* de altura, los cuales se vieron amenazados por la tala, la producción de carbón y la apertura de pastos para el ganado (Horn, 1989). Esta carretera atraviesa sectores de notable altitud (más de 3 000 m en algunos tramos del sector investigado en Talamanca), con fuertes impactos sobre la vegetación de páramo y sobre las turberas que comprende este estudio (Fig. 1). Los páramos de altura centroamericanos pueden ser un área disyunta de los páramos andinos siendo Costa Rica el límite de distribución de muchas especies de origen suramericano, ya que su adaptación a los hábitats de alta montaña les impide emigrar más al norte del continente (Rangel-Churio, 2018; Vargas & Sánchez, 2005).

Se seleccionaron cinco turberas en el macizo Buenavista, a lo largo de la divisoria continental de aguas y distribuidas entre los 2 400 m y los 3 107 m de altitud, que fueron inventariadas entre julio del 2019 y julio del 2022.

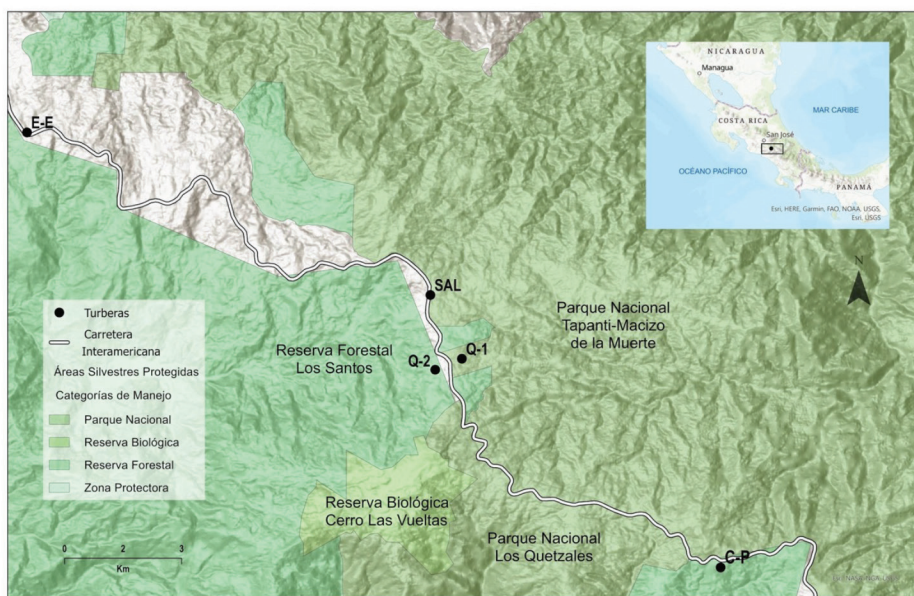


Fig. 1. Localización de las turberas a lo largo de la Carretera Interamericana Sur. / **Fig. 1.** Location of the peat bogs along the South Inter-American Highway.



El conjunto seleccionado, debido a sus características y a las diferencias en su estado de conservación, permitió realizar una caracterización más amplia de la situación de este tipo de vegetación. Las cinco turberas analizadas (Fig. 1) son de tipo Fen o cóncava: EE (El Empalme: 2 420 m de altitud, 1.9 ha, 9°41'59.86" N & 83°56'34.64" W); SAL (Salsipuedes: 2 680 m de altitud, 1.5 ha, 9°39'47.29" N & 83°51'0.35" W); Q1 (Quetzales-1: 2 766 de altitud, 0.3 ha, 9°38'52.35" N & 83°50'43.30" W); Q2 (Quetzales-2: 2 770 de altitud, 0.4 ha, 9°38'51.75" N & 83°50'45.31" W) y CP (Cerro Paramillo: 3 076 m de altitud, 0.8 ha, 9°36'6.62" N & 83°47'1.04" W). La primera de ellas, sin figura de protección ambiental, está ubicada dentro de una finca privada, antiguamente ganadera, mientras que las otras cuatro están incluidas dentro del perímetro del Parque Nacional Tapantí-Macizo de la Muerte y de la Reserva Forestal Los Santos (Fig. 1).

El Empalme, Salsipuedes y Quetzales-2 presentan una lámina de agua discontinua en la mayor parte de la sección sur, resultado de la alta saturación freática del suelo, que genera charcas muy someras en cubetas y áreas más deprimidas.

Metodología de campo: Se realizaron 11 campañas de trabajo de campo para la recolección de datos biogeográficos, siguiendo la metodología de González et al. (2021) para la caracterización de turberas en la Cordillera de Talamanca. Se llevaron a cabo 32 inventarios a lo largo de cinco transectos: 5 en El Empalme, 12 en Salsipuedes, 5 en Quetzales 1, 4 en Quetzales 2 y 6 en Cerro Paramillo. La longitud de cada transecto correspondió a la distancia máxima entre los extremos norte y sur de cada uno. Para cada transecto, se estableció una superficie de 4 m² mediante una cuadrícula de 2 x 2 m. En estas superficies, se realizó un muestreo estratificado de especies, reconociendo cinco estratos: arbóreo (altura típica de hasta 4-5 m), arbustivo (hasta 3.5 m), herbáceo, costra líquénica y epífito; en los que se incluyeron plantas vasculares, musgos, hepáticas y líquenes; para cada uno de los

estratos se identificaron las especies presentes, y se estimó su cobertura calculada como la porción de superficie cubierta con relación al área muestreada. La selección de los puntos de inventariado se estableció a partir de un transecto establecido sobre la longitud máxima de cada turbera y con intervalos marcados por la diferencia en el tipo de vegetación y las condiciones del sustrato. Junto con los datos de flora se recogieron otros datos como la altitud, geolocalización, presencia de agua superficial, presencia de materia orgánica acumulada y estado general de conservación, entre otros.

Análisis de datos: La caracterización de las especies se realizó in situ, de visu, estimando su clasificación taxonómica. Para determinar los ámbitos de distribución de las especies y los tipos de hábitats, así como para clasificar las especies no identificadas, se llevó a cabo un trabajo de gabinete y laboratorio basado en el "Manual de Plantas de Costa Rica". (Hammel et al., 2003a; Hammel et al., 2003b; Hammel et al., 2004; Hammel et al., 2007), Flora Costaricensis (Burger, 1971a; Burger, 1971b; Burger, 1971c; Burger, 1977b; Burger, 1977c; Burger, 1977d; Burger, 1977e; Burger, 1977f; Burger, 1977g; Burger, 1977h; Burger, 1983a; Burger, 1983b; Burger, 1983c; Burger, 1983d; Burger, 1983e; Burger, 1983f; Burger, 1983g; Burger, 1983h; Burger, 1983i; Burger, 1986a; Burger, 1986b; Burger, 1990; Burger, 1991a; Burger, 1991b; Burger, 1991c; Burger, 1995; Burger & Barringer, 2000; Burger & Gentry, 2000; Burger & Huft, 1995; Burger & Taylor, 1993; Burger & Van der Werff, 1990; Burger & Zamora, 1991; Gómez & Burger, 2000; Luteyn & Wilbur 2005; Pohl, 1980). Además, se consultaron bases de datos *on-line* como: Trópicos (Missouri Botanical Garden, 2024), del Jardín Botánico de Missouri; International Plants Names Index (IPNI) (The Royal Botanic Gardens et al., s.f.); Flora of North America (Missouri Botanical Garden et al., s.f.). The UICN Red List of threatened species (International Union for Conservation of Nature, s.f) y la Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF) (Global Biodiversity Information Facility, s.f.).

Adicionalmente, el trabajo de gabinete incluyó el análisis del hábitat y del rango altitudinal de distribución al que pertenecía cada especie con base en Manual de Plantas de Costa Rica (Hammel et al., 2003a; Hammel et al., 2003b; Hammel et al., 2004; Hammel et al., 2007). Así mismo para la elaboración del índice de diversidad florística se utilizó el trabajo de regionalización biogeográfica de Morrone (2006). Cabe destacar que no se preparó material herborizado para depositar en herbarios, ya que el permiso de investigación que ampara este estudio no contemplaba la recolección de flora.

En el análisis de las turberas se identificaron seis tipos de hábitats en los que se encuentran las especies de flora. Aunque estas especies están localizadas principalmente dentro de las turberas, la literatura consultada indica que también pueden estar presentes en otros hábitats. Los hábitats identificados se agruparon en seis tipos: 1) especies de bosque muy húmedo pluvial de roble y páramo; 2) especies de bosque de roble y páramo; 3) especies de bosque de roble y páramos, pastizales y turberas; 4) especies de áreas abiertas; 5) especies de áreas abiertas, de bosques de páramo y turberas y 6) especies de turberas. Los rangos altitudinales de distribución de cada especie fueron definidos por los límites superior e inferior en que se encuentran las plantas en su distribución conocida para Costa Rica.

Todos los datos recogidos en campo y en el laboratorio se incorporaron a una plantilla de datos en formato *Excel* (Microsoft Corporation, 2018), que fue analizada para obtener los resultados de la investigación. Dicha plantilla de datos se organizó a partir de los siguientes parámetros: Taxón, Familia, Tipo Biológico, Reino Biogeográfico, Subregión, Dominio, Provincia, Tipo de Hábitat, Rango Altitudinal, Estado de Conservación, Carácter de Endemismo y Especie Clave.

Índices de análisis de los datos: A partir de las bases de datos creadas se elaboró un Índice de Valor Florístico (IVF), basado en el sumatorio de tres parámetros (Tabla 1). El primer parámetro considerado fue el Valor

corológico (VC), para el que se utilizó la clasificación de Morrone (2006) y que se estableció en tres umbrales: las especies que tenían una distribución corológica a lo largo del eje montañoso entre México y Bolivia (VC = 1); las especies cuya distribución en el área de estudio coincidían con su límite septentrional o meridional (VC = 2), es decir, las especies que alcanzan el límite norte o sur de su distribución geográfica dentro del área de estudio; las especies que mostraban una distribución corológica ístmica (VC = 3) y, por último, las especies endémicas (VC = 4). De esta forma, las especies cuya distribución corológica (VC) es más restringida, presentan el máximo valor asignado (4). El segundo parámetro utilizado fue el Valor Ecológico (VE), para cuya asignación se utilizó la base de datos de la *Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN*, y que en su última actualización considera tres niveles: Preocupación menor (VE = 1); Vulnerable (VE = 2); y En Peligro (VE = 3). Por lo tanto, al igual que en el caso anterior, el valor más alto coincide con las especies que se encuentran en peligro. El tercer parámetro fue el Valor de Especie Clave (EC), y para su codificación se utilizaron las investigaciones de Monro et al. (2017) sobre la flora vascular de una región de la Cordillera de Talamanca (Costa Rica - Panamá). En dichas investigaciones, se asignó este valor a determinadas especies que, con base en criterios expertos, se consideraron como cumpliendo un rol ecológico particular, de forma que se asignó VE = 0, para las especies sin efecto desde el punto de vista ecológico; y VE = 1, a las especies con efecto desde el punto de vista ecológico.

Tras asignar los valores a cada especie, se calculó el IVF de la siguiente manera:

$$IVF = \sum (VC + VE + EC)$$

Donde: \sum indica la suma de los valores para todas las especies en su conjunto de datos o área de estudio; VC es el Valor Corológico; VE el Valor Ecológico y EC el Valor de Especie Clave. El índice IVF se estimó entre su valor mínimo (0) y su valor máximo (8). Para finalizar, se halló el IVF acumulado para cada turbera. Este

**Tabla 1**Parámetros para la estimación del Valor Florístico. / **Table 1.** / Parameters for estimating Floristic Value.

Parámetros	Umbrales
Valor Corológico (VC) ¹	Especies con distribución a lo largo del eje montañoso México-Bolivia Especies con límite septentrional/meridional de su distribución en el área de estudio Especies de distribución ístmica Endemismos costarricenses
Valor Ecológico (VE) ²	Preocupación menor Vulnerable En peligro
Valor de Especie Clave (EC) ³	Sin efecto desde el punto de vista ecológico Con efecto desde el punto de vista ecológico

Fuentes: Elaboración propia a partir de ¹Morrone (2006); ² Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN] (2023); ³Monro et al. (2017). / Sources: Own elaboration from ¹Morrone (2006); ² Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN] (2023); ³Monro et al. (2017).

cálculo se realizó solamente para las especies que tienen valores concretos en, al menos, una de las categorías VC, VE o EV dentro de los inventarios realizados.

Sistema de Información Geográfica: Se elaboró un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el objetivo de integrar y gestionar toda la información georreferenciada del área de estudio, constituyendo una Base de Datos Geoespacial (Spatial Geographic Database) sobre la que se llevó a cabo un Análisis Geoespacial. Este análisis permitió una comprensión detallada de la distribución espacial de la vegetación en las turberas, facilitando la identificación de patrones y asociaciones clave entre las especies vegetales y las características topográficas, como la altitud, la inclinación del terreno y la proximidad a cuerpos de agua. Al usar el programa ArcGIS Pro (Versión 2.8) (Environmental Systems Research Institute [Esri], 2021), se generaron mapas de alta precisión que sirvieron para visualizar la diversidad florística y su relación con los factores ambientales, lo cual es fundamental para la conservación y el manejo adecuado de la vegetación en este tipo de ecosistemas sensibles.

Toma de datos e imágenes con dron: Entre agosto y noviembre del 2022 se llevaron

a cabo un total de cinco campañas de trabajo de campo destinadas a la captura de imágenes mediante el empleo de drones. Para esta tarea, se utilizó un dron de la marca DJI, específicamente el modelo Phantom 4 RTK V2. Además, se complementó este equipo con una estación móvil de medición en tierra DJI, identificada como el modelo D-RTK2. Dicha estación móvil ofrece una precisión horizontal de 1 cm + 1 ppm (RMS) y una precisión vertical de 2 cm + 1 ppm (RMS). Durante los vuelos de adquisición de datos se mantuvo una altitud constante de 130 m, a una velocidad de desplazamiento de 7 m/s. Las imágenes capturadas en estas condiciones fueron posteriormente procesadas mediante el software Pix4D (Pix4D S.A, 2019), para su análisis y generación de resultados (Fig. 2).

Recopilación de documentación de interés: La compilación de la documentación de interés incluyó un trabajo de gabinete que fue realizado de forma previa y durante el desarrollo de esta investigación. Para ello se preparó una colección de literatura relacionada con las características geológicas y de paisaje del área de estudio; ecología y biodiversidad de los ecosistemas boscosos de alta montaña; taxonomía botánica de la flora local y regional; así como de políticas y normativa relacionada con la



Fig. 2. Imágenes de las cinco turberas analizadas. Fotografías tomadas desde tierra y mediante dron, en las que se puede apreciar el área correspondiente a cada turbera. **A.** El Empalme; **B.** Salsipuedes; **C.** Quetzales-1; **D.** Quetzales-2; **E.** Cerro Paramillo. / **Fig. 2.** Images of the five analyzed peatlands. Photographs taken from the ground and by drone, showing the area corresponding to each peatland. **A.** El Empalme; **B.** Salsipuedes; **C.** Quetzales-1; **D.** Quetzales-2; **E.** Cerro Paramillo.



gestión y la conservación de las formaciones vegetales de turbera a escala global y nacional para Costa Rica.

RESULTADOS

Diversidad florística y caracterización general de la flora de las turberas: En el total de los 32 inventarios realizados en las cinco turberas se identificaron 67 especies diferentes, pertenecientes a 38 familias y 55 géneros (MST 1). En la distribución por turberas resalta Cerro Paramillo con 29 familias y 37 géneros diferentes, seguida de Salsipuedes con 25 familias y 33 géneros. El Empalme presenta un número mayor de familias y géneros (17 y 19 respectivamente) que Quetzales-1 (14 y 20, respectivamente) y Quetzales-2 (13 y 18, respectivamente).

Los resultados de riqueza específica por turbera muestran que la turbera de Cerro Paramillo presenta la mayor riqueza específica (66.1 %; 36 especies), seguida por Salsipuedes (62.5 %; 35 especies); mientras que El Empalme y Quetzales-1 presentan una diversidad más baja (35.7 %; 20 especies cada una); quedando en último lugar Quetzales-2 (28 %, 19 especies). Respecto a la distribución de especies por turbera, de las 67 especies muestreadas cinco de ellas están presentes en las cinco turberas: *Heterodermia vulgaris*, *Juncus effusus*, *Rhynchospora schaffneri*, *Sphagnum recurvum* y *Vaccinium floribundum*. Presentan una mayor densidad relativa *Sphagnum recurvum* y *Blechnum buchtienii* en las turberas Salsipuedes (33 y 21 % respectivamente) y Cerro Paramillo (40 y 30 % respectivamente), sobre todo en el

sector central de las mismas, mostrando una característica y estrecha asociación entre ellas (Tabla 2). El resto de las especies tiene una presencia más especializada, con 18 de ellas presentes únicamente en la turbera Salsipuedes y 6 únicamente en la turbera Cerro Paramillo (MST 1). Por otro lado, las 20 especies registradas en la turbera El Empalme están también presentes en la turbera de Cerro Paramillo y únicamente cinco de ellas están en Salsipuedes (Tabla 2, MST 1).

De las 67 especies encontradas en los muestreos realizados solamente 19 especies cumplían con alguno de los 3 parámetros seleccionados para analizar el valor florístico: tener un valor corológico, ecológico o de especie clave (Tabla 3).

Desde el punto de vista del Valor Corológico (VC) se identificaron tres especies endémicas: *Pentacalia firmipes*, presente en Salsipuedes y Quetzales-1; *Xyris nigrescens*, en El Empalme y Cerro Paramillo; y *Puya dasylirioides*, en Salsipuedes, Quetzales-1 y Quetzales-2 (Tabla 3 y Fig. 3). Es decir, el 4.5 % de las especies inventariadas son endemismos. Además, ocho especies (11.9 % del total) presentan un alto valor corológico (3) al presentar una distribución ístmica (*Agrostis tolucensis*, *Castilleja talamancensis*, *Hypericum irazuense*, *Quercus costarricensis*, *Jessea multivenia*, *Greigia sylvicola*, *Isoetes storkii* y *Vaccinium consanguineum*). Con un Valor Corológico más bajo, se encuentran los taxones (7.5 % sobre el total) que tienen una distribución a lo largo de todo el eje montañoso entre México y Bolivia (*Lachemilla pectinata*, *Blechnum buchtienii*, *Cardamine ovata*, *Cavendishia bracteata* y *Jamesonia alstonii*). Por último, las

Tabla 2

Riqueza y densidad de especies compartidas en las turberas. / **Table 2.** / Richness and density of shared species in the peatlands.

Turbera	Riqueza específica (%)	Número de especies	Densidad relativa <i>Sphagnum recurvum</i> (%)	Densidad relativa <i>Blechnum buchtienii</i> (%)
Cerro Paramillo	66.1	36	40.0	30.0
Salsipuedes	62.5	35	33.0	21.0
Quetzales-1	35.7	20	28.3	15.6
Quetzales-2	28.0	19	25.2	17.5
El Empalme	35.7	20	15.0	5.1

Tabla 3

 Valor corológico, Valor ecológico, Valor de Especie Clave e Índice de valor florístico de las especies inventariadas. / **Table 3.** Chorological value, Ecological value, Key Species Value and Floristic value index of the inventoried species.

Especie	Valor Corológico ¹	Valor Ecológico ²	Valor Especie Clave ³	IVF ⁴	IVF Turbera ⁵				
					EE	SAL	Q1	Q2	CP
<i>Agrostis tolucensis</i>	3			3		3			
<i>Blechnum buchtienii</i>	1			1		1	1		
<i>Cardamine ovata</i>	1			1		1			
<i>Castilleja talamancensis</i>	3			3		2			2
<i>Cavendishia bracteata</i>	1	1	1	3		3		3	3
<i>Comarostaphylis arbutoides</i>		1	1	2					2
<i>Equisetum bogotense</i>	1			1	1				1
<i>Fuchsia microphylla</i>	1			1		1			1
<i>Gaiadendron punctatum</i>	1	1	1	3					3
<i>Gentiana sedifolia</i>	1			1		1			1
<i>Greigia sylvicola</i>	3			3		2	2	2	2
<i>Hypericum irazuense</i>	3			3		2	2		2
<i>Isoetes storkii</i>	3			3		2			
<i>Jamesonia alstonii</i>	1			1		1	1		1
<i>Lachemilla pectinata</i>	1			1	1				1
<i>Pentacalia firmipes</i>	4			4		3	3		3
<i>Persea obtusifolia</i>		2		2					2
<i>Gaultheria mysinoides</i>		1	1	2		2			2
<i>Puya dasylirioides</i>	4	3	1	8		7	7	7	
<i>Quercus costaricensis</i>	3	2	1	6		5	5		5
<i>Rubus eriocarpus</i>	1			1	1			1	
<i>Jessea multivenia</i>	3			3	1				
<i>Telanthophora grandifolia</i>	1	1		2	2				2
<i>Vaccinium consanguineum</i>	3			3		2			2
<i>Vaccinium floribundum</i>	1			1	1	1		1	1
<i>Weinmannia pinnata</i>		1	1	2					2
<i>Xyris nigrescens</i>	4			4	3				3
TOTAL (IVF)					10	39	21	14	41

¹ Valor corológico. 1: Distribución a lo largo del eje montañoso México-Bolivia; 2: Especies con límite septentrional/meridional de su distribución en el área de estudio; 3: Especies de distribución Ístmica; 4: Endemismos costarricenses. ² Valor ecológico. 1: Preocupación menor; 2: Vulnerable; 3: En peligro. ³ Valor Especie Clave. 0: sin efecto ecológico favorable en un hábitat; 1: con un efecto ecológico favorable en un hábitat. ⁴ IVF: Índice de Valor Florístico. ⁵ EE: El Empalme; SAL: Salsipuedes; Q1: Quetzales-1; Q2: Quetzales-2; CP: Cerro Paramillo. / ¹Chorological value. 1: Distribution along the mountain axis from Mexico to Bolivia; 2: Species with Northern/Southern distribution limits within the study area; 3: Isthmic distribution species; 4: Costa Rican endemics. ² Ecological value. 1: Least concern; 2: Vulnerable; 3: Endangered. ³ Keystone Species Value. 0: No favorable ecological effect in a habitat; 1: With a favorable ecological effect in a habitat. ⁴ FVI: Floristic Value Index. ⁵ EE: El Empalme; SAL: Salsipuedes; Q1: Quetzales-1; Q2: Quetzales-2; CP: Cerro Paramillo.

especies que desde el punto de vista corológico presentan un valor más bajo son las que, en el área de estudio, tienen su límite septentrional o meridional de distribución (seis taxones; 9 % del total) (*Fuchsia microphylla*, *Polystichum concinnum*, *Rubus eriocarpus*, *Equisetum bogotense*,

Gentiana sedifolia, *Vaccinium floribundum*). El total de elementos con algún valor corológico es de 22, es decir, el 32.8 % del total.

Por otra parte, el valor biogeográfico de este ámbito del mundo está reconocido por los hallazgos encontrados en el área estudiada y



Fig. 3. Distribución biogeográfica de especies presentes en las turberas analizadas. / **Fig. 3.** Biogeographical distribution of species presents in the analyzed peatlands.

son los siguientes: el 58.2 % (39) de las especies inventariadas pertenece al reino Neotropical y el 38.8 % (26) al Neártico. Solamente un 1.5 % (1) presenta una distribución Paleártica y se debe a la presencia de una especie introducida (*Rubus ellipticus*) y la especie cosmopolita, *Juncus effusus*, que tiene una distribución Holártica.

Respecto al análisis del Valor Ecológico (VE), se identificaron seis especies bajo la categoría de Preocupación menor: una en El Empalme, dos en Salsipuedes, una en Quetzales-2, seis en Cerro Paramillo y ninguna presente en Quetzales-1. Con relación a las

especies vulnerables, se identificaron dos: una en Salsipuedes, una en Quetzales-1 y dos en Cerro Paramillo. La única especie En peligro, *Puya dasylirioides*, fue encontrada en Salsipuedes, Quetzales-1 y Quetzales-2 (Tabla 3). En total, nueve especies presentan valor ecológico, el 9 % del total inventariado.

En el análisis de su Valor como Especies Clave (EC), fueron identificadas siete especies (10.7 % del total) en cuatro turberas: *Comarostaphylis arbutoides* en Cerro Paramillo; *Gaultheria myrsinoides* en Salsipuedes y Cerro Paramillo; *Weinmannia pinnata* en Cerro Paramillo;

Cavendishia bracteata en Salsipuedes, Quetzales-2 y Cerro Paramillo; *Gaiadendron punctatum* en Cerro Paramillo; *Quercus costaricensis* en Salsipuedes, Quetzales-1 y Cerro Paramillo; *Puya dasylirioides* en Salsipuedes, Quetzales-1 y Quetzales-2 (Tabla 3).

El resultado del Índice de Valor Florístico (IVF) obtenido para las especies, muestra que los valores máximos los obtiene *Puya dasylirioides* (IVF = 8), presente en las turberas Salsipuedes, Quetzales-1 y Quetzales-2, seguida de *Quercus costaricensis* (IVF = 6) (Tabla 2). Si se analiza el IVF por turberas, se observa que Cerro Paramillo obtiene el valor más alto (IVF = 41), seguido de cerca por Salsipuedes (IVF = 39), mientras que Quetzales-1 (IVF = 21) presenta unos valores intermedios que, sin embargo, superan el valor resultante para Quetzales-2 (IVF = 14) y El Empalme (IVF = 10) (Tabla 3).

Por último, hay que destacar que de las 67 especies inventariadas 27 de ellas, es decir, el 40.3 % presentan algún tipo de valor (Corológico, Ecológico o de Especie Clave).

Hábitat y distribución altitudinal: Respecto al análisis del tipo de hábitat de cada especie, se determinó que el 28.6 % (16 especies) pertenecen al tipo bosque de roble y páramo, incluyendo: *Eleocharis acicularis*, *Gentiana sedifolia*, *Gaiadendron punctatum*, *Hypericum costaricense*, *Osmunda regalis*, *Polystichum concinnum* y *Valeriana prionophylla*. En segundo lugar, aparecen las especies propias de bosque muy húmedo, pluvial de roble y páramo y especies de bosque de roble y páramo, pastizales y turberas. Ambos grupos con un 17.9 % (10 especies) y caracterizados por la presencia de *Lachemilla pectinata*, *Fuchsia microphylla*, *Juncus effusus*, *Cora glabrata*, *Comarostaphylis arbutoides*, *Cladonia rappii*, *Nertera granadensis*, *Elaphoglossum brenesii*; *Eryngium humile*, *Heterodermia obscurata*, *Heterodermia vulgaris*, *Jamesonia alstonii*, *Lycopodium clavatum*, *Telanthophora grandifolia* y *Jessea multivenia* (Hammel et al., 2003a; Hammel et al., 2003b; Hammel et al., 2004; Hammel et al., 2007).

Aunque algunas especies propias de turberas se encuentran dentro de los grupos de

bosques de roble y páramo, pastizales y turberas o áreas abiertas, las especies características de estos medios suponen solamente el 8.9 % del total (5 especies). El porcentaje total de especies inventariadas en las turberas que no son propias de este hábitat supone el 42.2 % (24 especies), siendo únicamente el 58.8 % del total las especies que se encuentran en su tipo de hábitat.

Por otra parte, el análisis de la amplitud altitudinal (Fig. 4) muestra que en las turberas analizadas el 7 % (4 especies) de las plantas viven en un rango menor de 1 000 m de altitud; el 27 % (15 especies) en un rango de 1 001 - 1 500 m; el 30 % (17 especies) en un rango de 1 501 - 2 000 m, el 25 % (14 especies) en un rango de 2 001 - 2 500 m; y el 5.4 % en un nivel superior a los 2 501 m.

Amenazas e impactos a las turberas: El análisis de la flora inventariada y los muestreos realizados evidencian que los impactos y amenazas más importantes en el área estudiada están asociados con la captación y drenaje de las turberas por la red hidrográfica del Pacífico, con intensa erosión remontante que favorece la reducción en la saturación hídrica del suelo y la aparición de elementos ajenos a las turberas, evidenciando la alteración de estos espacios. En cuatro de las cinco turberas analizadas se identificaron varias especies de los géneros *Rubus* y *Pteridium*, indicando cierto nivel de alteración probablemente asociado a la baja saturación hídrica del suelo.

La especie introducida *Rubus ellipticus* fue localizada en tres sitios distintos en El Empalme, incluyendo zonas hacia su interior donde anteriormente se practicó la ganadería; y en Cerro Paramillo en dos sectores afectados por la cercanía de la carretera y de antiguos depósitos de material de obra. *Rubus eriocarpus* fue localizada en Salsipuedes, en el sector sur que colinda con la carretera, el más afectado debido a la existencia de un alcantarillado que drena este sector cercano a la carretera. *Rubus miser*, ampliamente cultivada en Costa Rica, fue localizada en Quetzales-1, en un sector con acumulación de sedimentos asociados a material de

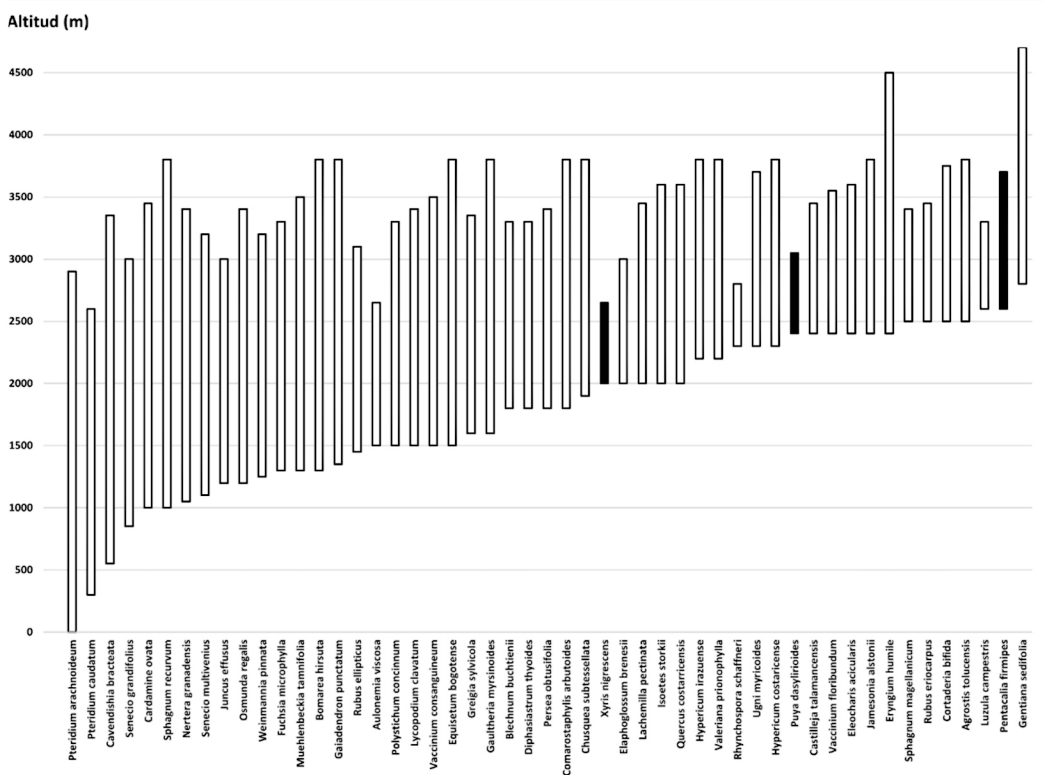


Fig. 4. Amplitud altitudinal por especie. En negro: endemismos. / Fig. 4. Altitudinal range by species. In black: endemisms.

obra para mantenimiento de la carretera. Las especies de helechos *Pteridium arachnoideum* y *Pteridium caudatum* fueron localizadas en Salsipuedes y Quetzales-1 respectivamente. En ambos casos, los individuos de estas especies se identificaron establecidos en áreas con afectaciones por sedimentación con material de obra de la carretera. Estos hallazgos asociados a las alteraciones de la composición vegetal de las turberas evidencian un efecto de borde respecto a esta infraestructura.

La turbera Quetzales-2, la única sin presencia de especies alóctonas, se encuentra a 1.5 m de elevación con respecto a Quetzales-1. Ambas evidencian haber sido originalmente una única extensión que se dividió debido a la construcción de la carretera. Esta obra interrumpió el flujo natural del agua desde la primera turbera hacia la segunda. En la actualidad, el agua que proviene de Quetzales-2 y se

dirige hacia la carretera es desviada mediante un sistema de drenaje diseñado para evitar su llegada a la vía, lo que, a su vez, permite que parte del agua de lluvia que fluye desde la carretera se vierta directamente en el cuerpo de agua de Quetzales-2. Este proceso conlleva el transporte de sedimentos, que se acumulan en el límite Quetzales-2 con la carretera, lo que, a largo plazo, podría dar lugar a la colmatación del cuerpo de agua de Quetzales-2.

La construcción de la Carretera Interamericana favoreció el establecimiento de asentamientos humanos que provocaron una afectación a las áreas de bosque de elevaciones intermedias, producto principalmente del desarrollo de actividades agroproductivas y la producción de carbón, propiciando incendios y la tala de los bosques (Fig. 5). Mientras algunas investigaciones de finales de los años 90 (Horn, 1989) plantean que la Carretera Interamericana

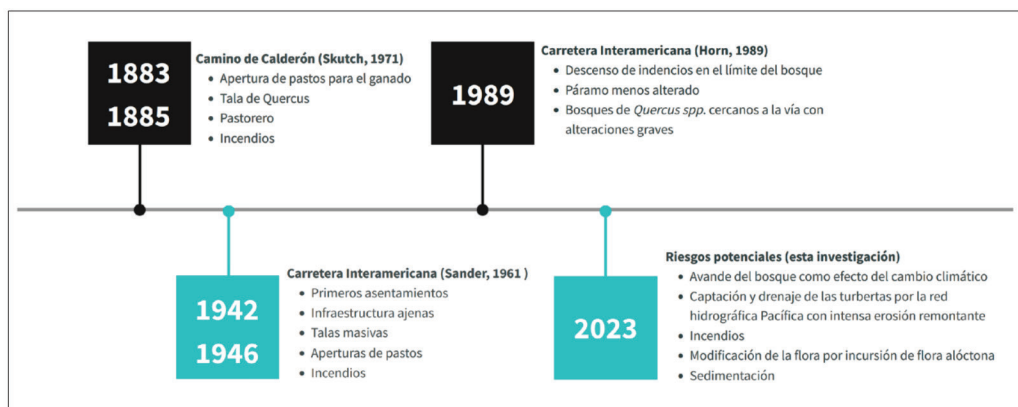


Fig. 5. Principales amenazas en las turberas del Macizo Buenavista a partir de 1883 y hasta el presente. / **Fig. 5.** Main threats in the peatlands of the Buenavista Massif from 1883 to the present.

no ha tenido fuertes impactos en la vegetación del Macizo de la Muerte, se ha constatado que la infraestructura ha provocado importantes modificaciones en el drenaje de estas turberas, lo que facilita el establecimiento de especies del género *Pteridium*. De acuerdo con Dolling (1999), la presencia de este género podría inhibir la regeneración del bosque autóctono, dada su actividad alelopática e incrementar el riesgo de incendios forestales y el avance del bosque como efecto del cambio climático (Silva-Matos & Belinato, 2010), con la potencial incidencia sobre la reducción del área de turbera por la incursión de otras especies alóctonas.

La existencia de la carretera genera vulnerabilidad ante factores como la invasión de especies que no son propias de este tipo de hábitat, afectando la conservación de estos espacios de gran singularidad. Aunado a lo anterior, el cambio climático y los incendios son amenazas considerables (Chuncho & Chuncho, 2019; Harrison, 2013; Iturraspe, 2010; Otto & Gibbons, 2017; Vargas et al., 2004).

Marco normativo y su efectividad frente a impactos y amenazas: En cuanto al marco normativo, es evidente que la protección de las turberas de alta montaña cuenta principalmente con el respaldo de acuerdos internacionales, como la Convención Ramsar, que establece pautas generales para la conservación

de humedales, incluyendo las turberas. A nivel regional, en América Latina, las regulaciones varían de un país a otro, pero muchas naciones han ratificado acuerdos ambientales regionales, como el Convenio sobre Diversidad Biológica, que promueve la conservación de ecosistemas únicos, entre ellos, las turberas de alta montaña. En el caso de Costa Rica, el marco normativo nacional se basa en la adhesión a los acuerdos internacionales mencionados, así como en su legislación nacional orientada a la conservación de la diversidad biológica y sus hábitats, lo que incluye a las turberas de alta montaña. Además, es importante destacar que la mayoría de los ecosistemas de turberas de alta montaña de Costa Rica se encuentran dentro de Espacios Naturales Protegidos de carácter estatal, lo que implica que se aplican, además, los planes generales de manejo establecidos para cada figura de protección (Tabla 4).

En Costa Rica, las estrategias de manejo implementadas para la gestión de las Áreas Silvestres Protegidas parecen ser efectivas en el aporte a la conservación de las turberas. Esto es particularmente evidente en las turberas Salsipuedes y Cerro Paramillo, localizadas dentro de una Área Protegida, las cuales mostraron los mayores porcentajes de diversidad florística (66.1 y 62.5 %, respectivamente). La turbera El Empalme, ubicada en una finca privada antiguamente utilizada para pastoreo

**Tabla 4**

Marco normativo según escala de desarrollo e impacto sobre la conservación de las turberas de altura en la Cordillera de Talamanca. / **Table 4.** Regulatory framework according to development scale and impact on the conservation of high-altitude peatlands in the Talamanca Mountain Range.

Escala	Normativa	Año
Internacional	Convención de Ramsar	1975
	Estrategia Global de Biodiversidad	1989
	Convenio sobre Diversidad Biológica	1992
Nacional	Ley de aguas N° 276	1942
	Ley de Creación del Servicio de Parques Nacionales N° 6084	1977
	Ley de Conservación de la Vida Silvestre N° 7317	1992
	Ley Orgánica del Ambiente N° 7554	1995
	Ley Forestal N° 7575	1996
	Plan General de Manejo del Parque Nacional Tapantí-Macizo de la Muerte	2014
	Política Nacional de Humedales	2017
	Estrategia Nacional de Biodiversidad	2018
	Plan General de Manejo del Parque Nacional Los Quetzales	2018
	Plan General de Manejo del Parque Internacional de La Amistad	2021

de ganado vacuno, muestra una diversidad más baja (37.5 %). Sin embargo, esta diversidad podría aumentar, ya que, aunque todavía evidencia los efectos de la sedimentación por materiales de obra en la colindancia de la carretera, en la actualidad se encuentra en conservación bajo el incentivo estatal de Pago por Servicios Ambientales. Por otra parte, las turberas Quetzales-1 y Quetzales-2, a pesar de estar ubicadas dentro de Áreas Silvestres Protegidas, presentan una diversidad más baja (19 % cada una), lo cual parece estar relacionado con el efecto de borde que genera la carretera en ambos casos.

DISCUSIÓN

El análisis del IVF en cinco turberas en el Macizo de La Muerte revela un patrón de biodiversidad notable en esta región. Cerro Paramillo y Salsipuedes destacan con los valores más altos (IVF= 41 e IVF= 39, respectivamente), indicando una riqueza florística importante. Además, Quetzales-1 también mostró valores intermedios significativos (IVF= 21) lo que subraya su importancia en términos de biodiversidad. Estos resultados resaltan la relevancia de las montañas tropicales del istmo centroamericano

como un *hotspot* de biodiversidad, donde las turberas, en particular, albergan una diversidad botánica significativa. Adicionalmente, el análisis de las diferentes categorías de conservación mostró un total de 9 especies categorizadas bajo algún grado de amenaza, lo cual demuestra la particularidad y vulnerabilidad de estos ecosistemas de altura, lo que los sitúa en una posición de altísimo valor por su aislamiento, su originalidad y sus especiales características ecológicas y de aporte de servicios ecosistémicos.

Las turberas analizadas se encuentran dentro del *Hotspot* de Mesoamérica, un espacio que ocupa el octavo lugar entre los 25 *Hotspots* mundiales y que posee aproximadamente 24 000 especies de plantas vasculares, de las cuales unas 5 000 (21 %) son endémicas. Tal y como se ha comprobado, uno de los aspectos por los que se atribuye una biodiversidad elevada a este *Hotspot* es su posición geográfica, situado en la unión de dos de los grandes reinos biogeográficos: el Neártico de América del Norte y el Neotrópico de América del Sur y Centroamérica y el Caribe, sirviendo como puente terrestre entre dos subcontinentes (Mittermeier et al., 2004; Myers et al., 2000).

Por otro lado, el porcentaje total de especies inventariadas que no son propias del

hábitat turberas supone el 42.2 % (24 especies), siendo únicamente el 58.8 % del total las especies que se encuentran en su tipo de hábitat. Además, se destaca que las especies propias de turberas representan una minoría significativa, constituyendo solo el 8.9 % del total de especies inventariadas. Esto sugiere una vulnerabilidad particular de las turberas, ya que muchas de las especies propias del biotopo están asociadas a condiciones edáficas, geomorfológicas y topográficas particulares y no pueden migrar fácilmente a otros hábitats. El hecho de que el 42.2 % de las especies inventariadas en las turberas no sean propias de este hábitat sugiere la presencia de especies que pueden estar fuera de su rango altitudinal óptimo. Esto podría indicar un desplazamiento altitudinal y una posible invasión del biotopo de turberas por especies de bosques de pisos altitudinales más bajos. Además, si las condiciones de saturación hídrica tienden a descender debido al cambio climático, es plausible que algunas especies propias del páramo se vean obligadas a migrar a altitudes superiores (Pepin et al., 2022; Rangwala & Miller, 2012).

En relación con lo anterior, el análisis de hábitat y de la distribución altitudinal de las especies en el área de estudio podría estar revelando importantes implicaciones en el contexto del cambio climático y el desplazamiento altitudinal de los ecosistemas y las especies. En primer lugar, aproximadamente el 30 % de las especies inventariadas se encuentran en un rango de altitud que oscila entre 1 501 y 2 000 m, lo que sugiere que estas áreas podrían desempeñar un papel crítico en la conservación de la biodiversidad en un contexto de cambio climático. Además, aproximadamente el 5.4 % de las especies se hallan a altitudes superiores de 2 501 m, lo que indica que la vegetación de estas montañas puede experimentar un desplazamiento hacia zonas más elevadas en respuesta al aumento de las temperaturas. Esta situación reviste particular importancia para las especies que componen el biotopo de las turberas, intrínsecamente ligado a suelos con micro relieves específicos que permiten mantener una alta saturación hídrica (Iturraspe, 2010).

Los impactos asociados a la presencia de la infraestructura vial y que generan reducción de la capacidad de retención de agua, podrían estar favoreciendo una respuesta adversa a los efectos del cambio climático, ya que las condiciones en el biotopo pueden mutar a medida que aumenta la temperatura y se altera la disponibilidad de agua. La presencia de las varias especies de los géneros *Rubus* y *Pteridium*, da cuenta del impacto humano provocado por el efecto de borde de la carretera, favoreciendo el establecimiento de especies con menor demanda hídrica en el biotopo de las turberas (González et al., 2021).

Las montañas tropicales del istmo centroamericano son importantes en términos de biodiversidad florística (Kappelle & Horn, 2005), favorecidas por una singular ubicación geográfica que le permite actuar como un puente entre diferentes subcontinentes con alta diversidad (Lachniet et al., 2005). En nuestro caso, se alcanzan valores de singularidad florística que superan el 40% de las especies inventariadas. La importancia de esta región como un *hotspot* en biodiversidad florística radica en su papel crucial en la preservación de especies vegetales únicas y en la contribución a la diversidad global de la flora (Bermúdez & Sánchez, 2000; Mittermeier et al., 2004; Myers et al., 2000).

Esta investigación evidencia que las Áreas Silvestres Protegidas, unidas a unas políticas y legislación ambiental robustas, favorecen el estado de conservación de formaciones vegetales sensibles como las turberas. Sin embargo, según plantea Moomaw et al. (2018), es necesaria una protección más efectiva, así como la acción dirigida a la restauración de los humedales de altura degradados, mediante estructuras de manejo de múltiples niveles que garanticen la viabilidad ecológica de este tipo de vegetación. Los planes de restauración y de manejo de las Áreas Silvestres Protegidas, deben contemplar las diversas presiones antropogénicas sobre los humedales y que puedan estar protegidos mediante políticas que incluyan el monitoreo, así como los incentivos económicos para la conservación en propiedades privadas (Harrison, 2013; Pitchford et al., 2012; Shen



et al., 2019). Tal y como apuntan Jiménez (2016) y Kappelle (2016), es necesario incorporar bajo figuras de manejo algunas turberas de Talamanca que no están en zonas protegidas. Según indica la Convención sobre los Humedales (s.f.) las turberas son críticamente importantes, ya que reportan apreciables beneficios sociales, económicos y ecológicos. Sin embargo, a pesar de su reconocido valor para la mitigación de los efectos del cambio climático y de su capacidad para la regulación del ciclo del carbono, no parece haber suficientes políticas e iniciativas internacionales que protejan estos espacios de forma adecuada (Finlayson et al., 2019; Ricaurte et al., 2019).

Declaración de ética: los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

Ver material suplementario
a08v73n1-suppl1

AGRADECIMIENTOS

A los funcionarios del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Área de Conservación Amistad-Pacífico (ACLAP), Ronald Chan, Gravin Villegas y Oscar Rojas, por su apoyo para la puesta en servicio y operación del dron utilizado en los sobrevuelos.

REFERENCIAS

- Alfaro, A., Denyer, P., Alvarado, G. E., Gazel, E., & Chamorro, C. (2018). Estratigrafía y petrografía de las rocas ígneas en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 58, 7–36.
- Benavides, J., Cortés-Duque, J., & Sarmiento, C. E. (2013). *Perturbaciones en las turberas de páramo: la acción del hombre y el clima* (pp. 81–87). Visión socio ecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos.
- Bergoeing, J. P. (2007). *Geomorfología de Costa Rica*. Librería Francesa.
- Bermúdez, M., & Sánchez, J. (Eds.). (2000). *Identificación de vacíos de información botánica en Centroamérica*. WWF Centroamérica, Museo Nacional de Costa Rica. <https://bit.ly/3RPDjQx>
- Biancalani, R., & Avagyan, A. (2014). *Towards climate-responsible peatlands management*. Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 9. <https://tinyurl.com/265y5vlf>
- Brak, B., Vroklage, M., Kappelle, M., & Cleef, A. M. (2005). Comunidades vegetales de la turbera de altura 'La Chonta' en Costa Rica. En M. Kappelle, & S. P. Horn (Eds.), *Páramos de Costa Rica* (pp. 607–629). Editorial INBio.
- Burger, W., & Barringer, K. (2000). Family 193a, Schlegeliaceae. *Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany*, 41, 69–77.
- Burger, W., & Gentry, A. (2000). Family 194, Bignoniaceae. *Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany*, 41, 77–161.
- Burger, W., & Huft, M. (1995). Family 113, Euphorbiaceae. *Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany*, 36, 1–169.
- Burger, W. C., & Taylor, C. M. (1993) Family 202, Rubiaceae. *Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany*, 33, 1–323
- Burger, W. C., & van der Werff, H. (1990) Family 80, Lauraceae. *Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany*, 23, 1–129.
- Burger, W. C., & Zamora, N. (1991) Family 101a, Humiriaceae. *Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany*, 28, 25–30.
- Burger, W. C. (1971a). Family 40, Casuarinaceae. *Flora Costaricensis. Fieldiana Botany*, 35, 3–4
- Burger, W. C. (1971b). Family 41, Piperaceae. *Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany*, 35, 5–218.
- Burger, W. C. (1971c). Family 42, Chloranthaceae. *Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany* 40, 1–10.
- Burger, W. C. (1977b). Family 43, Lacistemaceae. *Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany*, 40, 11–13.
- Burger, W. C. (1977c). Family 45, Garryaceae. *Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany*, 40, 18–20.
- Burger, W. C. (1977d). Family 46, Myricaceae. *Fieldiana, Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany*, 40, 21–27.
- Burger, W. C. (1977e). Family 50, Fagaceae. *Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany*, 40, 59–82.

- Burger, W. C. (1977f). Family 51, Ulmaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 40, 83–93.
- Burger, W. C. (1977g). Family 52, Moraceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 40, 94–215.
- Burger, W. C. (1977h). Family 53, Urticaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 40, 218–283.
- Burger, W. C. (1983a). Family 55, Proteaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 13, 8–14.
- Burger, W. C. (1983b). Family 56, Olacaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 13, 14–27.
- Burger, W. C. (1983c). Family 58, Loranthaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 13, 29–79.
- Burger, W. C. (1983d). Family 61, Balanophoraceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 13, 93–99.
- Burger, W. C. (1983e). Family 62, Polygonaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 13, 99–138.
- Burger, W. C. (1983f). Family 64, Amaranthaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 13, 142–180.
- Burger, W. C. (1983g). Family 65, Nyctaginaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 13, 180–199.
- Burger, W. C. (1983h). Family 66, Phytolaccaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 13, 199–213.
- Burger, W. C. (1983i). Family 70, Caryophyllaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 13, 227–247.
- Burger, W. C. (1986a). Family 200, Acanthaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 18, 1–87.
- Burger, W. C. (1986b). Family 201, Plantaginaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 18, 87–90.
- Burger, W. C. (1990). Family 81, Hernandiaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 23, 129–138.
- Burger, W. C. (1991a). Family 98, Oxalidaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 28, 2–16.
- Burger, W. C. (1991b). Family 99, Geraniaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 28, 16–21.
- Burger, W. C. (1991c). Family 100, Tropaeolaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana Botany*, 28, 21–23.
- Burger, W. C. (1995). Montane species-limits in Costa Rica and evidence for local speciation on latitudinal gradients. In S. P. Churchill, H. Balslev, E. Forero, J. L. Luteyn (Eds.), *Biodiversity and conservation of Neotropical montane forests. Proceedings of a symposium* (pp 127–133). New York Botanical Garden.
- Chai, L. L., Hernandez-Ramirez, G., Hik, D. S., Barrio, I. C., Frost, C. M., Soto, C. C., & Esquivel-Hernández, G. (2020). A methane sink in the Central American high elevation paramo: Topographic, soil moisture and vegetation effects. *Geoderma*, 362, 114092. <https://bit.ly/3PKrEzZ>
- Chimner, R. A., & Karberg, J. M. (2008). Long-term carbon accumulation in two tropical mountain peatlands, Andes Mountains, Ecuador. *Mires and Peat*, 3(04), 1–10.
- Chuncho, C., & Chuncho, G. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), 71–83. <https://bit.ly/3ZT7pET>
- Cleef, A. M., & Chaverri, A. (1992). Phytogeography of the páramo flora of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica. En H. Balsev, & J. L. Luteyn (Eds.), *Páramo: An Andean ecosystem under human influence* (pp. 45–60). Academic Press.
- Convención sobre los Humedales. (s.f.). *Perfil de Costa Rica. Ramsar*. <https://www.ramsar.org/es/country-profile/costa-rica>
- Corrales, L. del M. (2018). *Caracterización biofísica y determinación del intercambio de gases de efecto invernadero en las turberas de Talamanca, Costa Rica*. [Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE]. <https://tinyurl.com/27cjumag>
- Correa, A., Ochoa Tocachi, B. F., Birkel, C., Ochoa Sánchez, A., Zogheib, C., Tovar, C., & Buytaert, W. (2020). A concerted research effort to advance the hydrological understanding of tropical paramos. *Hydrological Processes*, 34(24), 4609–4627. <https://doi.org/10.1002/hyp.13904>
- Dolling, A. (1999). The vegetative spread of *Pteridium aquilinum* in a hemiboreal forest–invasion or revegetation. *Forest Ecology and Management*, 124(2–3), 177–184.
- Environmental Systems Research Institute. (2021). *ArcGIS Pro* (Versión 2.8). Esri Inc. <https://www.esri.com>
- Finlayson, C. M., Davies, G. T., Moomaw, W. R., Chmura, G. L., Natali, S. M., Perry, J. E., Roulet, N., & Sutton-Grier, A. E. (2019). The second warning to humanity—providing a context for wetland management and policy. *Wetlands*, 39, 1–5. <https://doi.org/10.1007/s13157-018-1064-z>
- Food and Agriculture Organization. (2020). *Peatlands Mapping and Monitoring-Recommendations and technical overview*. <https://tinyurl.com/25deu9ve>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2023). *Monitoreo forestal*. <https://www.fao.org/forest-monitoring/es>
- Gastezzi-Arias, P., Alvarado, V., & Perez-Quezada, J. (2023). Las turberas de altura del Parque Nacional Tapantí en Costa Rica: caracterización e importancia del suelo turboso. *Revista Terra Latinoamericana*, 41, 1–12. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1758>



- 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. *UNED Research Journal*, 13(2), e3716. <https://doi.org/10.22458/urj.v13i2.3716>
- Global Biodiversity Information Facility. (s.f.). *Global Biodiversity Information Facility (GBIF)*. <https://www.gbif.org/es>
- Gómez, L. D. (1986). *Vegetación y Clima de Costa Rica*. Universidad Estatal a Distancia.
- Gómez, L. D., & Burger, W. (2000) Family 197. Orobanchaceae. Flora of Costa Rica. *Fieldiana, Botany*, 41, 165–169.
- González, F., León, Y., & López, N. (2021). Las turberas de la Cordillera de Talamanca (Costa Rica): Diversidad biológica y gestión. En García-Rodríguez, J. L. (Ed.) Libro de resúmenes de los trabajos del XXVII Congreso de la Asociación Española de Geografía [Congreso] (pp. 131–132). XXVII Congreso de la Asociación Española de Geografía, Asociación Española de Geografía, Ciudad de La Laguna, España.
- Hammel, B. E., Grayum, M. H., Herrera, C., & Zamora, N. (Eds.). (2003a). *Manual de Plantas de Costa Rica: Gimnospermas y Monocotiledóneas (Agavaceae—Musaceae)* (Vol. II). Missouri Botanical Garden.
- Hammel, B. E., Grayum, M. H., Herrera, C., & Zamora, N. (Eds.). (2003b). *Manual de Plantas de Costa Rica: Monocotiledóneas (Orchidaceae—Zingiberaceae)* (Vol. III). Missouri Botanical Garden.
- Hammel, B. E., Grayum, M. H., Herrera, C., & Zamora, N. (Eds.). (2004). *Manual de Plantas de Costa Rica: Introducción* (Vol. I). Missouri Botanical Garden.
- Hammel, B. E., Grayum, M. H., Herrera, C., & Zamora, N. (Eds.). (2007). *Manual de Plantas de Costa Rica. Vol VI. Dicotiledóneas (Haloragaceae-Phytolaccaceae)*. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden, 111, 1–933.
- Harrison, M. E. (2013). Using conceptual models to understand ecosystem function and impacts of human activities in tropical peat-swamp forests. *Wetlands*, 33(2), 257–267. <https://bit.ly/3PKgJXa>
- Herrera, W., & Gómez, L. D. (1993). Unidades bióticas de Costa Rica. [Mapa]. San José, CR, US Fish y Wildlife Service / The Nature Conservancy / Incafo / Centro de Datos para la Biología de la Conservación de Costa Rica / INBio / Fundación Gómez-Dueñas. Escala 1: 685.000. Color.
- Herrera, W. (2005). El clima de los páramos de Costa Rica. En M. Kappelle, & S. P. Horn (Eds.), *Páramos de Costa Rica* (pp. 113–160.). Instituto Nacional de Biodiversidad.
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (Eds.). (2003). *Los páramos del mundo. Proyecto atlas mundial de los páramos*. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/Eco-Ciencia. <https://bit.ly/3ZKdpQe>
- Horn, S. P. (1989). The Inter-American highway and human disturbance of paramo vegetation in Costa Rica. In Yearbook of the Conference of Latin Americanist Geographers [Congress] (Vol. 15, pp. 1313–22). Conference of Latin Americanist Geographers, Louisiana State University, United States.
- Horn, S. P. (2005). Dinámica de la vegetación después de fuegos recientes en los páramos de Buenavista y Chirripó, Costa Rica. En M. Kappelle, & S. P. Horn (Eds.), *Páramos de Costa Rica* (pp. 631–656). Instituto Nacional de Biodiversidad.
- Horn, S. P., & Kappelle, M. (2009). Fire in the paramo ecosystems of Central and South America. In *Tropical fire ecology* (pp. 505–539). Springer.
- International Union for Conservation of Nature. (s.f.). *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org>
- Islebe, G. A., & Hooghiemstra, H. (1997). Vegetation and climate history of montane Costa Rica since the last glacial. *Quaternary Science Reviews*, 16(6), 589–604. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(96\)00051-0](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(96)00051-0)
- Iturraspe, R. (2010). *Las turberas de Tierra del Fuego y el cambio climático global*. Fundación Humedales-Wetlands International. <https://tinyurl.com/24tbatlc>
- Jiménez, J. (2016). Bogs, Marshes and Swamps of Costa Rica. In M. Kappelle (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 683–705). University of Chicago Press.
- Kappelle, M. (1996). *Los bosques de roble (Quercus) de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica: biodiversidad, ecología, conservación y desarrollo*. INBio.
- Kappelle, M., & Horn, S. P. (2005). *Páramos de Costa Rica*. Editorial INBio.
- Kappelle, M. (2016). The montane cloud forests of the Cordillera de Talamanca In M. Kappelle (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 451–491). University of Chicago Press.
- Kappelle, M., & Horn, S. P. (2016). The Paramo ecosystem of Costa Rica's highlands. In M. Kappelle (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (492–523). University of Chicago Press.
- Kern, M. T., Horn, S. P., Grissino-Mayer, H. D., & Stachowiak, L. A. (2018). Annual growth zones in stems of *Hypericum irazuense* (Guttiferae) in the Costa Rican paramos. *Physical Geography*, 39(1), 38–50.
- Lachniet, M. S., Seltzer, G. O. & Solís, L. (2005). Geología, geomorfología y depósitos glaciares en los páramos de Costa Rica. In M. Kappelle, & S. P. Horn (Eds.),

- Páramos de Costa Rica* (pp. 129–146.). Instituto Nacional de Biodiversidad.
- Luteyn, J. (2005). Introducción al ecosistema de páramo. En M. Kappelle & S. P. Horn (Eds.), *Páramos de Costa Rica* (pp. 37–99). Editorial INBio.
- Luteyn, J. L., & Wilbur, R. L. (2005). Family 172, Ericaceae. *Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany*, 45, 1–107.
- Mallakpour, I., & Villarini, G. (2015). The changing nature of flooding across the central United States. *Nature Climate Change*, 5(3), 250–254. <https://doi.org/10.1038/nclimate2516>
- Microsoft Corporation. (2018). *Microsoft Excel (Versión 2019)*. Microsoft. <https://www.microsoft.com>
- Missouri Botanical Garden. (2024). *Trópicos*. <https://www.tropicos.org>
- Missouri Botanical Garden, Harvard University Herbaria, & Flora of North America Association. (s.f.). *Flora of North America*. <http://www.efloras.org>
- Mittermeier, R. A., Robles, P., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C. G., Lamoreux, J., & Da Fonseca, G. A. B. (2004). *Hotspots Revisited*. Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. Cemex. <https://tinyurl.com/2ydog396>
- Ministerio Nacional de Ambiente y Energía. (2017). *Política Nacional de Humedales 2017-2030*. <https://bit.ly/3PI613n>
- Monro, A., Santamaría-Aguilar, D., González, F., Chacón, O., Solano, D., Rodríguez, A., Zamora, N., Fedele, E., & Correa, M. (2017). A first checklist to the vascular plants of La Amistad International Park (PILA), Costa Rica-Panama. *Phytotaxa*, 322(1), 1–283. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.322.1.1>
- Moomaw, W. R., Chmura, G. L., Davies, G. T., Finlayson, C. M., Middleton, B. A., Natali, S. M., Perry, J. E., Roulet, N., & Sutton-Grier, A. E. (2018). Wetlands in a changing climate: science, policy, and management. *Wetlands*, 38(2), 183–205. <https://doi.org/10.1007/s13157-018-1023-8>
- Morrone, J. J. (2006). Biogeographic areas and transition zones of Latin America and the Caribbean islands based on panbiogeographic and cladistic analyses of the entomofauna. *Annual Review Entomology*, 51, 467–494. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.50.071803.130447>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Otto, M., & Gibbons, R. E. (2017). Potential effects of projected decrease in annual rainfall on spatial distribution of high Andean wetlands in southern Peru. *Wetlands*, 37(4), 647–659.
- Page, S. E., Wüst, R. A. J., Weiss, D., Rieley, J. O., Shotyk, W., & Limin, S. H. (2004). A record of Late Pleistocene and Holocene carbon accumulation and climate change from an equatorial peat bog (Kalimantan, Indonesia): implications for past, present and future carbon dynamics. *Journal of Quaternary Science*, 19(7), 625–635.
- Pepin, N. C., Arnone, E., Gobiet, A., Haslinger, K., Kotlarski, S., Notarnicola, C., Palazzi, E., Seibert, P., Serafin, S., Schöner, W., Terzaghi, S., Thornton, J. M., Vuille, M., & Adler, C. (2022). Climate changes and their elevational patterns in the mountains of the world. *Reviews of Geophysics*, 60(1), e2020RG000730. <https://doi.org/10.1029/2020RG000730>
- Pitchford, J. L., Wu, C., Lin, L., Petty, J. T., Thomas, R., Veselka, W. E., & Anderson, J. T. (2012). Climate change effects on hydrology and ecology of wetlands in the mid-Atlantic highlands. *Wetlands*, 32(1), 21–33. <https://bit.ly/48LD7b2>
- Pix4D S.A. (2019). *Pix4Dmapper (Versión 4.5)*. Pix4D S.A. <https://www.pix4d.com>
- Pohl, R.W. (1980). Family 15, Gramineae. *Flora of Costa Rica. Fieldiana Botany*, 4, 1–608.
- Ramsar. (2018). *Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas*. <https://tinyurl.com/2b2bk7p8>
- Rangel-Churio, J. (2018). *Colombia diversidad biótica XVI: Patrones de riqueza y de diversidad de las plantas con flores en el bioma de Páramo*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. <https://tinyurl.com/228mqsg>
- Rangwala, I., & Miller, J. R. (2012). Climate change in mountains: A review of elevation-dependent warming and its possible causes. *Climatic Change*, 114(3-4), 527–547. <https://doi.org/10.1007/s10058-012-0419-3>
- Ricaurte, L. F., Patiño, J. E., Zambrano, D. F. R., Arias-G, J. C., Acevedo, O., Aponte, C., Medina, R., González, M., Rojas, S., Flórez, C., Estupinan-Suarez, L., Jaramillo, U., Santos, A. C., Lasso, C. A., Duque, A. A., Restrepo S., Vélez, J. I., Caballero, J. H., Duque, S., ... Junk, W. J. (2019). A classification system for Colombian wetlands: an essential step forward in open environmental policy-making. *Wetlands*, 39(5), 971–990.
- Shen, X., Xue, Z., Jiang, M., & Lu, X. (2019). Spatiotemporal change of vegetation coverage and its relationship with climate change in freshwater marshes of Northeast China. *Wetlands*, 39(3), 429–439.
- Silva-Matos, D. M., & Belinato, T. A. (2010). Interference of *Pteridium arachnoideum* (Kaulf.) Maxon. (Dennstaedtiaceae) on the establishment of rainforest trees. *Brazilian Journal of Biology*, 70(2), 311–316.



- The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries, & Australian National Botanic Gardens. (s.f.). *International Plant Names Index (IPNI)*. <https://www.ipni.org>
- United Nations Environment Programme. (2022). *Global Peatlands Assessment: The State of the World's Peatlands*. <https://bit.ly/48FvPpj>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2023). *Lista Roja de Especies Amenazadas*. <https://www.iucnredlist.org>
- Vargas, O., Jaimes, V., Castellano, L., & Mora, J. (2004). *Proyecto Páramo andino. Propuesta de actividades de investigación para los páramos de Colombia* [Informe]. <https://tinyurl.com/27892bbu>
- Vargas, G., & Sánchez, J. J. (2005) Plantas con flores de los páramos de Costa Rica y Panamá: el páramo istmico. En M. Kappelle, & S. P. Horn (Eds.), *Páramos de Costa Rica* (pp. 397–435). Editorial INBio.
- Veas-Ayala, N., Quesada-Román, A., Hidalgo, H. G., & Alfaro, E. J. (2018). Humedales del Parque Nacional Chirripó, Costa Rica: características, relaciones geomorfológicas y escenarios de cambio climático. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1436–1448.
- Wu, J., Porinchu, D. F., & Horn, S. P. (2019). Late Holocene hydroclimate variability in Costa Rica: Signature of the terminal classic drought and the Medieval Climate Anomaly in the northern tropical Americas. *Quaternary Science Reviews*, 215, 144–159.