

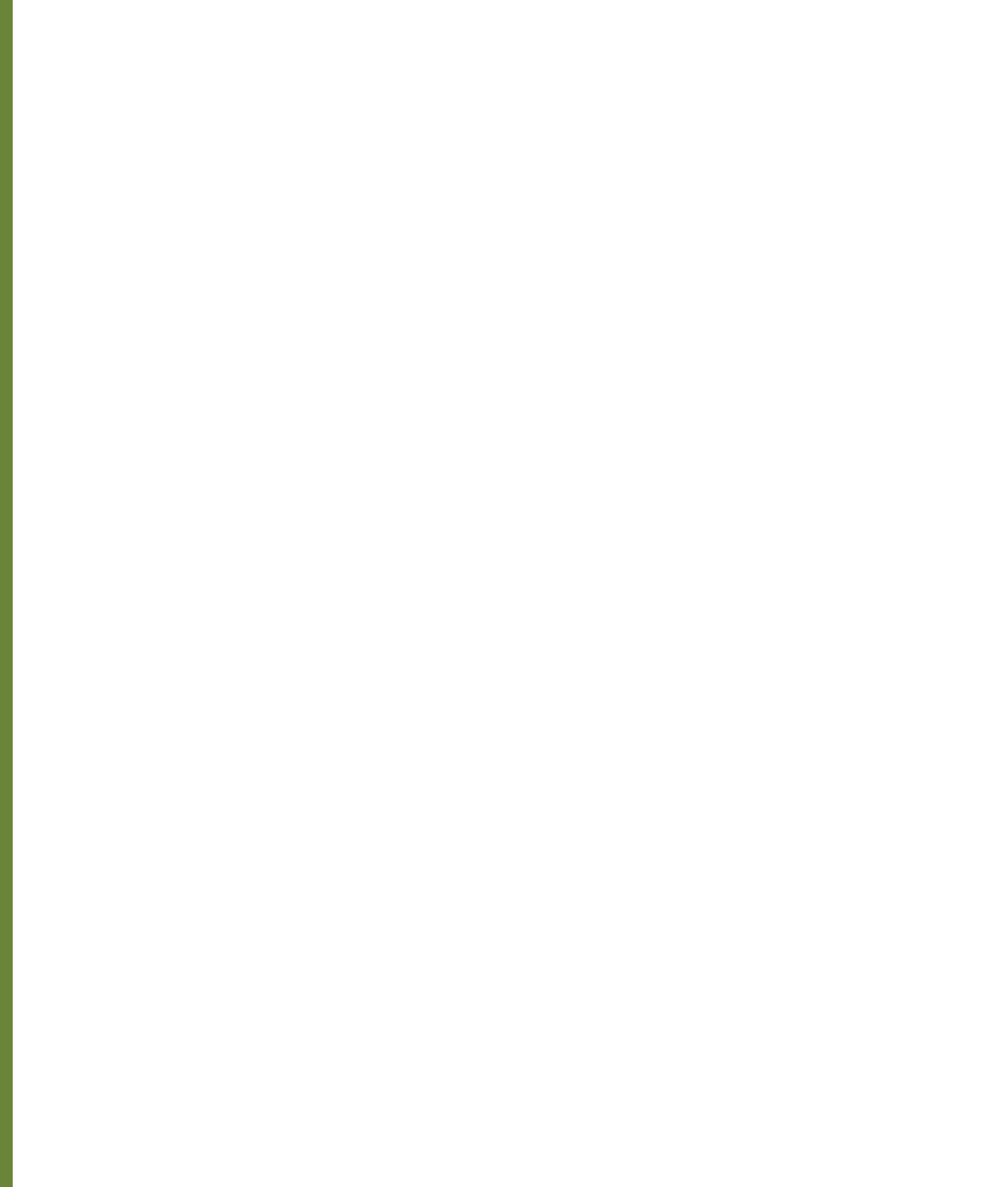


Turberas de páramo en el Ecuador

Notas sobre la ecología,
conservación, y restauración de
un ecosistema estratégico

Esteban Suárez, Segundo Chimbolema y Ricardo Jaramillo





Turberas de páramo en el Ecuador

Notas sobre la ecología, conservación, y restauración de un ecosistema estratégico



Este documento es posible gracias al generoso apoyo del pueblo estadounidense a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Las opiniones de los autores expresadas en esta publicación no reflejan necesariamente las de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional o del gobierno de los Estados Unidos.

Este trabajo se origina de un proyecto financiado por la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) y el Servicio Forestal de los Estados Unidos (USDA) a través del Programa de Adaptación y Mitigación Sustentable de Humedales (SWAMP). Toda opinión, resultado, conclusión o recomendación expresada corresponde a la de los autores, y no refleja necesariamente los puntos de vista de USDA.

Esta publicación fue elaborada por el Grupo de Ecología de Montaña, el Laboratorio de Ecología Acuática (LEA) y el Instituto Biósfera de la Universidad San Francisco de Quito.

TURBERAS DE PÁRAMO EN EL ECUADOR: NOTAS SOBRE LA ECOLOGÍA, CONSERVACIÓN, Y RESTAURACIÓN DE UN ECOSISTEMA ESTRATÉGICO

Dirección y Coordinación: Esteban Suárez

Autores: Esteban Suárez, Segundo Chimbolema, Ricardo Jaramillo, John Hribljan, Rodney, A. Chimner y Erik A. Lilleskov

Tiraje: 500

Derecho de autor: 062195

ISBN: 978-9942-42-407-5

Producción editorial: Esteban Suárez.

Fotografías: Esteban Suárez, Ricardo Jaramillo y Segundo Chimbolema.

Fotografía portada: Esteban Suárez

Fotografía contraportada: Ricardo Jaramillo

Revisión Editorial: Patricio Mena Vásquez, Ph.D.

Diseño e ilustración: Daniela Borja Kaisin

Apoyo en diagramación: Karina Núñez

Impresión: Imprenta Don Bosco - Quito

Distribución: Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales, Laboratorio de Ecología Acuática, Oficina DW 021, Calle Diego de Robles S/N y Vía Interoceánica, Campus Cumbayá, Casilla Postal: 17-1200-841, Quito-Ecuador, Teléfono: (593) 2971700 ext: 1441.

Para citar este manual: Suárez E., Chimbolema S. & R. Jaramillo. 2022. Turberas de páramo en el Ecuador: Notas sobre la ecología, conservación, y restauración de un ecosistema estratégico. Imprenta Don Bosco, Quito 124 pp.

Catalogación en la fuente:

Universidad San Francisco de Quito.

El texto del TURBERAS DE PÁRAMO EN EL ECUADOR: NOTAS SOBRE LA ECOLOGÍA, CONSERVACIÓN, Y RESTAURACIÓN DE UN ECOSISTEMA ESTRATÉGICO por Suárez et al. se encuentra bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 Uported. Los autores de las imágenes y fotografías de esta obra mantienen Copyright de las mismas y cualquier uso de éstas debe ser solicitado directamente a los autores.



Contenidos

7	Prefacio
11	Las turberas de páramo en el Ecuador
12	¿Qué es una turbera?
15	Las turberas de páramo en el Ecuador
17	Los factores ambientales y la vegetación de las turberas de páramo
19	Turberas de almohadillas
20	Turberas de gramíneas y musgos
20	Turberas de juncos y ciperáceas
22	Almacenamiento de carbono
27	El estado actual de las turberas de páramo en el Ecuador
31	Referencias
35	Introducción a la restauración de turberas de páramo en el Ecuador
37	Fases del programa de restauración
38	1. Planificación
41	2. Implementación
41	3. Monitoreo y manejo adaptativo
42	Técnicas básicas para restauración de canales o zanjas en turberas de páramo
45	Restauración de la vegetación
46	Referencias
47	Anexos
55	Implementación de un proyecto piloto de restauración ecológica en una turbera de páramo en el norte del Ecuador
56	Descripción e historia de la turbera de Chakana
58	El proceso de restauración
61	Resultados y evaluación de la restauración
66	Conclusiones sobre el proceso de restauración de la turbera de Chakana
68	Referencias
71	Lecciones aprendidas sobre la restauración de turberas de páramo en el norte del Ecuador
73	Objetivos dinámicos y realistas
73	Eliminación de las presiones de degradación
73	Selección de técnicas de restauración adecuadas
74	Importancia del sistema de monitoreo antes, durante y después de la restauración
75	Perspectivas de sostenibilidad
76	Oportunidades de mejoramiento y perspectivas a futuro
78	Referencias

81 Plantas representativas de las turberas de páramo del Ecuador

Almohadillas		Musgos	
84	Asteraceae - <i>Xenophyllum humile</i>	108	Bartramiaceae - <i>Bartramia</i> sp.
85	Cyperaceae - <i>Oreobolus ecuadorensis</i>	109	Dicranaceae - <i>Campylopus</i> sp.
86	Juncaceae - <i>Distichia acicularis</i>	110	Sphagnaceae - <i>Sphagnum</i> sp.
87	Juncaceae - <i>Distichia muscoides</i>		Penachos
88	Plantaginaceae - <i>Plantago rigida</i>	111	Cyperaceae - <i>Carex pichinchensis</i>
Arbustos erectos		112	Cyperaceae - <i>Carex pygmaea</i>
89	Asteraceae - <i>Diplostephium rupestre</i>	113	<i>Calamagrostis fibrovaginata</i>
90	Hypericaceae - <i>Hypericum harlingii</i>	114	Poaceae - <i>Calamagrostis ligulata</i>
91	Hypericaceae - <i>Hypericum quitense</i>	115	Poaceae - <i>Cortaderia nitida</i>
Arbustos rastreros		116	Poaceae - <i>Cortaderia sericantha</i>
92	Ericaceae - <i>Disterigma empetrifolium</i>	117	Poaceae - <i>Festuca andicola</i>
Hierbas erectas		118	Poaceae - <i>Festuca asplundii</i>
93	Cyperaceae - <i>Carex acutata</i>		Rosetas acaulescentes
94	Gentianaceae - <i>Gentiana sedifolia</i>	119	Asteraceae - <i>Oritrophium crocifolium</i>
95	Gentianaceae - <i>Gentianella hirculus</i>	120	Asteraceae - <i>Oritrophium limnophilum</i>
96	Gentianaceae - <i>Gentianella limoselloides</i>	121	Asteraceae - <i>Oritrophium peruvianum</i>
97	Gentianaceae - <i>Gentianella nummulariifolia</i>	122	Asteraceae - <i>Oritrophium yacurensis</i>
98	Gentianaceae - <i>Gentianella profusa</i>	123	Asteraceae - <i>Werneria pygmaea</i>
99	Gentianaceae - <i>Halenia weddelliana</i>	124	Caprifoliaceae - <i>Valeriana bracteata</i>
100	Juncaceae - <i>Juncus arcticus</i>	125	Eriocaulaceae - <i>Paepalanthus</i> sp.
101	Orobanchaceae - <i>Castilleja nubigena</i>	126	Ranunculaceae - <i>Caltha sagittata</i>
102	Orobanchaceae - <i>Neobartsia stricta</i>		Rosetas caulescentes
103	Poaceae - <i>Neurolepis cf. laegaardii</i>	127	Bromeliaceae - <i>Puya exigua</i>
Hierbas postradas		128	Bromeliaceae - <i>Puya hamata</i>
104	Geraneaceae - <i>Geranium maniculatum</i>		
105	Rubiaceae - <i>Nertera granadensis</i>		
Lycophytas herbáceas			
106	Isoetaceae - <i>Isoetes novo-granadensis</i>		
107	Lycopodiaceae - <i>Phlegmariurus crassus</i>		



Prefacio

Se ha escrito muchísimo sobre los ecosistemas de páramo. Sobre su importancia regional como fuente de agua para millones de personas, y para un sinnúmero de actividades económicas. Sobre la marginalización histórica de la gente que vive en ellos, y sobre su importancia en la cosmovisión de las culturas andinas. Sobre la intrigante diversidad de vida que ha florecido en estas montañas más que en ninguna otra cordillera del mundo y, más recientemente, sobre su rol crucial como reservorios de carbono en las estrategias de mitigación del cambio climático. Y, a pesar de todo lo que se ha escrito, incluso para los que por alguna razón frecuentamos los páramos, queda la sensación de que aun queda tanto por conocer. Y quizás uno de los vacíos más grandes, se relaciona con el extenso sistema de turberas (pantanos con suelos muy ricos en materia orgánica) que caracteriza a muchas regiones de páramo.

/ 7 /

A pesar de que pueden llegar a ocupar hasta una cuarta parte del territorio de los páramos, las turberas han sido consistentemente ignoradas. Para la gente que visita incidentalmente los páramos, las turberas son meramente áreas pantanosas del paisaje que hay que evitar en las caminatas o en los campamentos. Para los sistemas nacionales de clasificación de vegetación son apenas una subcategoría de los pajonales de páramo -un “herbazal inundable”, mientras que, para la gente a cargo de manejar y cuidar los páramos, las turberas prácticamente no existen. Pero para la gente que vive en los páramos o cerca de ellos, las turberas pueden jugar un papel preponderante en la provisión de agua y alimentos, incluso cuando ese papel no sea explícitamente reconocido.

Al formarse en las áreas relativamente planas del paisaje del páramo, el suelo de las turberas permanece anegado con agua durante la mayor parte del año, por lo que las turberas albergan un conjunto de plantas características con adaptaciones que les permiten sobrevivir a la inundación. Durante su desarrollo, estas plantas depo-

sitan restos de materia orgánica en el suelo, pero estos no llegan a descomponerse completamente debido a las condiciones de inundación, las bajas temperaturas, y la baja concentración de oxígeno que caracterizan al suelo anegado de la turbera. Como resultado, estos ecosistemas acumulan enormes cantidades de turba, es decir, suelos muy ricos en materia orgánica con bajos niveles de descomposición.

Pero estas características que las distinguen, implican que las turberas sean especialmente sensibles a las presiones de las actividades humanas. Al tener una topografía relativamente plana, suelos ricos en materia orgánica, y abundante agua, las turberas son espacios idóneos para actividades de agricultura y ganadería. Sin embargo, el exceso de agua suele ser nocivo para los cultivos y el ganado, por lo que el uso de las turberas normalmente requiere que se las seque mediante el corte de canales en el suelo para facilitar la salida del agua. De esta manera, el uso tradicional de las turberas de páramo, casi siempre implica la reducción de los niveles de inundación, de los que dependen el funcionamiento, la biodiversidad, y los otros servicios ecosistémicos que proveen estos ambientes.

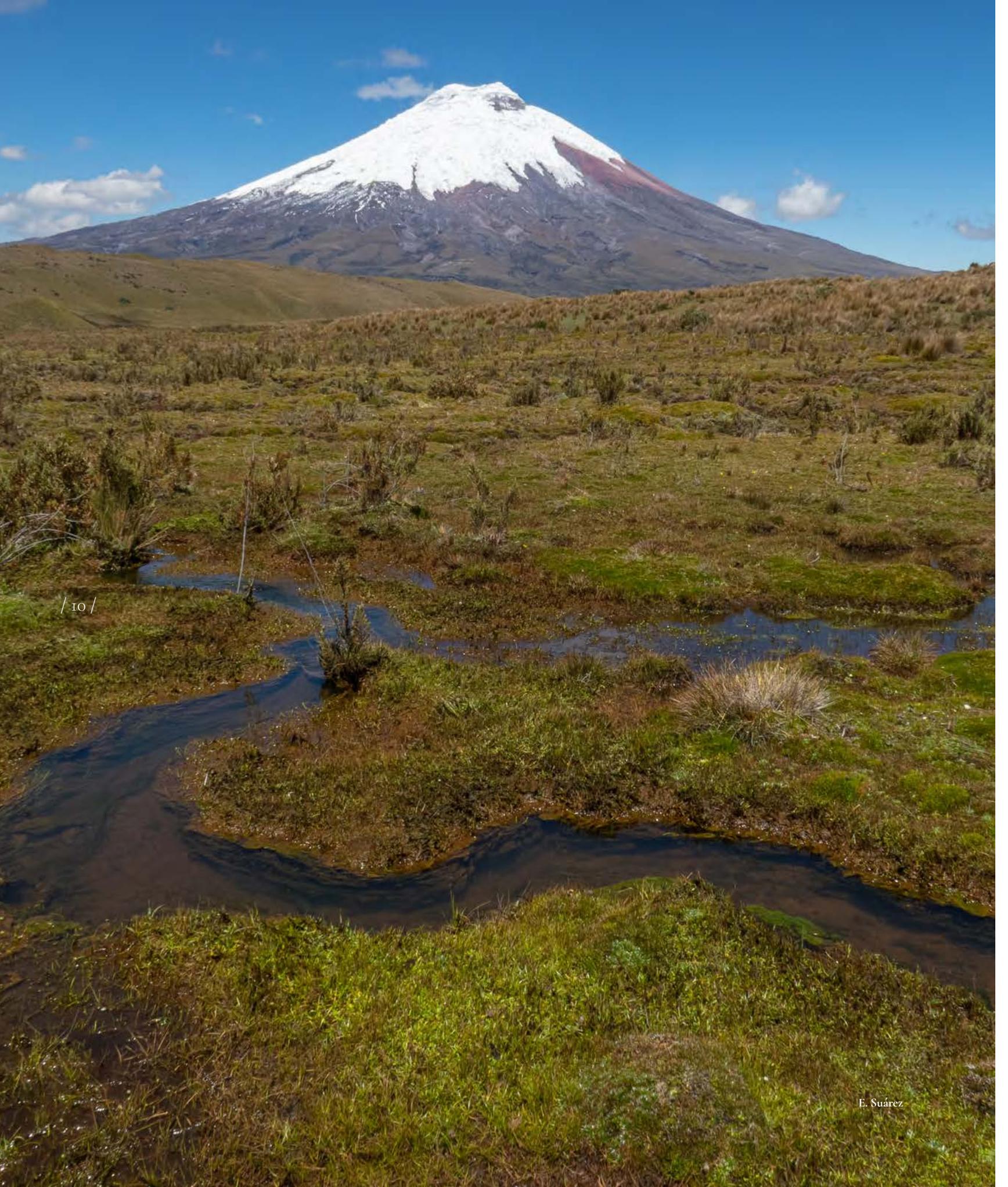
A pesar de las grandes presiones que experimentan las turberas de páramo, y de lo importantes que son como reservorios de biodiversidad y servicios ecosistémicos, aun conocemos muy poco sobre su estructura, extensión, distribución, y ecología. De esta manera, nuestra capacidad de manejar y restaurar estos ambientes y de integrarlos en la conservación de los páramos es aun limitada.

En este contexto, este libro resume los resultados de ocho años de investigación sobre turberas de páramo en el Ecuador. Su objetivo es ofrecer a estudiantes, científicos, y gente interesada en el manejo de los páramos, una visión general sobre el funcionamiento de las turberas de páramo, y su estado actual de conservación. Adicionalmente, al revisar la primera experiencia de restauración integral de una turbera de páramo en el Ecuador, queremos ofrecer una guía sobre como iniciar programas similares en otras partes del país.

Este programa de investigación ha sido liderado en Ecuador por la Universidad San Francisco de Quito, con el apoyo científico y económico del Programa de Adaptación y Mitigación de Humedales Sostenibles (SWAMP). SWAMP es un programa financiado por el gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica con el objetivo de proteger y reconstruir manglares y turberas alrededor del mundo, brindando información y apoyo a científicos, administradores, y políticos con interés en la formulación de estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático. Este

programa, con actividades en 25 países de Asia, África y América Latina, cuenta con financiamiento del Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR), y el Servicio Forestal de los Estados Unidos, con el apoyo de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).

Al presentar este trabajo, los autores agradecemos a todas las personas e instituciones que han colaborado con diferentes etapas de este programa, especialmente a la Universidad San Francisco de Quito, la Fundación de Conservación Jocotoco, el Fondo del Agua para la Conservación de la Cuenca del Río Paute (FONAPA), Naturaleza y Cultura Internacional, y el Fondo para la Protección del Agua (FONAG). Adicionalmente, agradecemos al Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador por los permisos de investigación bajo los que se ha desarrollado esta investigación.



Las turberas de páramo en el Ecuador

Esteban Suárez¹, Segundo Chimbolema¹, Ricardo Jaramillo¹, John Hribljan², Rodney, A. Chimner³ y Erik A. Lilleskov⁴

¹ Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales/Instituto Biosfera, Universidad San Francisco de Quito

² University of Nebraska Omaha, Department of Biology, Omaha, Nebraska, USA

³ College of Forest Resources and Environmental Science, Michigan Technological University, Houghton, Michigan, EUA

⁴ USDA Forest Service Northern Research Station, Houghton, Michigan, EUA

¿Qué es una turbera?

Las turberas son ecosistemas que se forman en zonas de un paisaje en las que, por su topografía relativamente plana o tipo de sustrato, el suelo tiende a anegarse durante la mayor parte del tiempo (Vitt 2008, Finlayson & Milton 2018). Dicho de otra forma, son sitios en los que el nivel freático (el nivel superior de la capa del suelo que está saturada con agua) está muy cerca de la superficie (Figura 1). Esta característica -el nivel freático superficial- tiene dos consecuencias principales sobre la estructura y el funcionamiento de las turberas. En primer lugar, implica que las plantas que se desarrollan en las turberas necesitan adaptaciones especiales para sobrevivir en un suelo saturado con agua o incluso ocasionalmente sumergido (Moor *et al.* 2017). Por lo tanto, las turberas suelen tener comunidades vegetales particulares que se distinguen en su composición y estructura de aquellas de las zonas aledañas con suelos bien drenados.

En segundo lugar, el nivel freático superficial implica que el agua desplaza al aire que se encuentra en los poros del suelo, con lo que se crean condiciones de anoxia o ausencia de oxígeno (Finlayson & Milton 2018). En estas condiciones, las comunidades bacterianas que normalmente realizan los procesos de descomposición de la materia orgánica en suelos bien oxigenados son reemplazadas por bacterias que pueden resistir la inundación, pero que utilizan una vía metabólica de descomposición anaeróbica (en ausencia de oxígeno), la cual es mucho menos eficiente que la descomposición aeróbica. Como resultado de esta descomposición más lenta y menos eficiente, la materia orgánica originada en las plantas no se descompone totalmente y así forma la turba. Esta se acumula y

da su característica única a los suelos de las turberas. La acumulación de materia orgánica es la razón por la que las turberas se han convertido en un reservorio gigantesco que contiene cerca del 20% de carbono almacenado en los suelos del planeta (Page *et al.* 2011, Yu *et al.* 2011).

La formación y las características de las turberas están determinadas, en parte, por el tipo de aportes de agua que reciben. En algunos casos, la turbera se forma en cuerpos de agua abierta (pozas o pequeños lagos someros) que paulatinamente son colonizados por comunidades de plantas. La capa de vegetación termina cerrando el cuerpo de agua y comienza a acumular turba. Esta, al ganar espesor, puede aislar a la turba del agua subyacente. Estas turberas dependen totalmente de nuevos aportes de agua de lluvia y se conocen como turberas ombrógenas (Reddy 2008). En otros casos, la turbera se forma y se alimenta con aportes de agua subterránea que al recorrer el suelo o la roca madre van arrastrando minerales que modifican la química y el contenido de nutrientes del agua y, por lo tanto, de la turbera. Estas se conocen como turberas minerógenas (Reddy 2008). Así, el origen del agua que alimenta a una turbera suele influir sobre la cantidad de nutrientes inorgánicos disponibles para las plantas, lo que determina el tipo de comunidades vegetales que se pueden desarrollar.

Las turberas suelen albergar especies de plantas con adaptaciones muy particulares. La mayoría de las plantas no pueden sobrevivir en suelos anegados porque el agua en el suelo dificulta la difusión del oxígeno, lo que es indispensable para el metabolismo y el





Figura 1. Ejemplos de turberas de varias partes del mundo.

crecimiento de las raíces de la planta. Las plantas de las turberas han desarrollado adaptaciones anatómicas y fisiológicas que les permiten sobrevivir en estas condiciones (Håkan & Jeglum 2013). Muchas de estas especies, por ejemplo, han desarrollado tejidos especiales en tallos y raíces con amplios conductos que les permiten transportar oxígeno desde las hojas y tallos hacia las raíces o los rizomas. Estos tejidos, conocidos como aerénquima, permiten que las plantas desarrollen y mantengan raíces funcionales en el ambiente anaeróbico del suelo de la turbera y, en algunos casos, les ayudan incluso a flotar en áreas inundadas.

Otra adaptación común de las plantas de turberas es utilizar selectivamente la microtopografía del terreno para alejarse de la zona inundada del suelo. Por ejemplo, ciertas especies de plantas que no poseen aerénquima pueden crecer en las partes superiores de montículos o plantas formadoras de almohadillas, y desarrollar raíces muy superficiales para mantenerlas por encima del nivel freático. Finalmente, muchas de estas especies pueden sobrevivir en los suelos anegados mediante el desarrollo de raíces adventicias en las capas más superficiales del suelo, con lo que se asegura que las raíces activas estén siempre en áreas relativamente bien aireadas. En las turberas boreales, este tipo de adaptaciones son mucho más comunes entre plantas leñosas y, particularmente, entre plantas de la familia Ericaceae (Rydin & Jeglum 2013).

En términos de su distribución y estructura, las turberas son ecosistemas muy heterogéneos y están presentes en casi todo el mundo. Se estima que ocupan aproximadamente 4 millones de kilómetros cuadrados o un 3% de la superficie continental del planeta (Page *et al.* 2011, Yu *et al.* 2011) y pueden estar dominadas por bosques, vegetación arbustiva, herbazales o campos de plantas formadoras de almohadillas (Figura 1). Las

extensiones más grandes de turberas se encuentran en las zonas árticas de Rusia, Canadá y Estados Unidos, pero también existen grandes turberas tropicales en la cuenca Amazónica, la cuenca del río Congo en África y el sudeste asiático.

Las turberas, al igual que otros tipos de humedales, proveen una gran variedad de servicios ecosistémicos. Por ejemplo, al acumular materia orgánica en el suelo, las turberas se han convertido en una fuente de combustible cuyas ventas en la primera década de los años 2000 alcanzaron los 390 millones de euros por año (World Energy Council 2013). De hecho, para ese período, la materia orgánica extraída de las turberas aportaba hasta el 22% del combustible para las plantas de energía eléctrica de Finlandia; la industria para su extracción ha sido reconocida por su importancia para los sectores rurales y de bajos recursos en el norte de Europa.

Además de servir como grandes reservorios de carbono, las turberas pueden almacenar agua y regular el rendimiento hídrico de las cuencas. Los suelos orgánicos de la turbera absorben el agua de la lluvia y actúan como esponjas al retenerla en su interior, dejándola fluir lentamente hasta ser drenada a través de los riachuelos en elevaciones más bajas. De hecho, como resultado de las grandes cantidades de carbono almacenado, las turberas pueden tener un efecto importante en el comportamiento hídrico a escala de cuenca. En los Andes del sur del Ecuador, por ejemplo, se ha demostrado que las cuencas con un mayor porcentaje de turberas tienden a tener mayores coeficientes de escorrentía. Este patrón posiblemente se debe a que el espacio de almacenamiento de agua a escala de cuenca se reduce proporcionalmente con el área de turberas por la presencia de suelos permanentemente saturados que no pueden almacenar más agua (Mosquera *et al.* 2015).

Las turberas de páramo en el Ecuador

Hasta hace muy poco, las turberas de páramo habían recibido muy poca atención científica y permanecido ausentes del imaginario que el público tiene sobre los ecosistemas de páramo. En el Ecuador, por ejemplo, las turberas de páramo ni siquiera tienen su propia categoría en los mapas oficiales de vegetación y, a pesar de ser extensas y estar bien distribuidas en el paisaje, tampoco tienen un nombre local que las distinga del resto del ecosistema de páramo. En algunos lugares se las conoce como ciénagas o moyas (E. Suárez, obs. pers.) pero en muchos otros solo se las considera como pantanos o lugares muy húmedos que se deben evitar al caminar por los páramos. Esta aparente invisibilización de las turberas de páramo (al menos en el Ecuador) es llamativa, especialmente si se considera que más al sur, en los ecosistemas de jalca y puna que dominan los altos Andes de Perú y Bolivia, las turberas tienen su nombre propio (bofedales) y se consideran como un elemento claramente distintivo dentro del paisaje altoandino (Cooper *et al.* 2010, Salvador *et al.* 2014, White-Nockleby *et al.* 2022).

Al igual que en otras montañas, las turberas de páramo tienden a ser relativamente pequeñas si se las compara con las grandes turberas árticas o de las tierras tropicales bajas. Su tamaño fluctúa desde unos pocos metros cuadrados hasta algunos cientos de hectáreas, pero en general su extensión está limitada por la disponibilidad de espacios relativamente planos en la accidentada topografía que caracteriza a los páramos. Pero, a pesar de ser relativamente pequeñas, pueden ser muy abundantes, especialmente en áreas con una historia activa de glaciares y actividad volcánica. En el caso de los Andes del Ecuador, por ejemplo, los páramos que rodean la ciudad de Quito, incluyendo la región

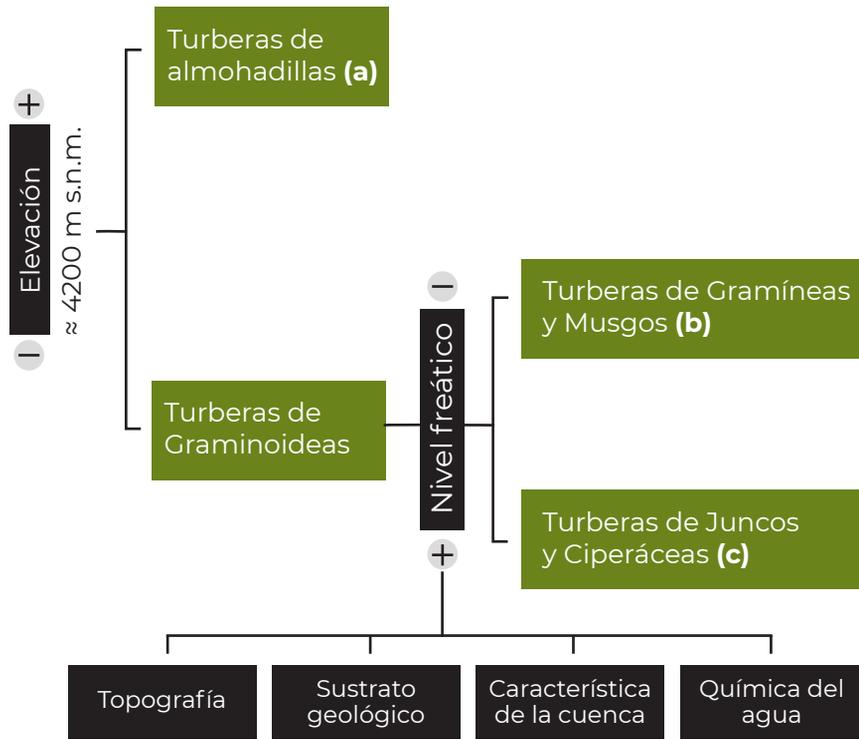


Turbera de juncos y ciperáceas en el páramo de Mojanda.

R. Jaramillo

/ 15 /

comprendida entre los parques nacionales Cayambe Coca, Antisana y Cotopaxi, cubren aproximadamente 2700 km² sobre los 3500 m de elevación, de los cuales aproximadamente 614 km² (23%) corresponden a turberas (Hribljan *et al.* 2017). Aunque es probable que la extensión de las turberas varíe mucho entre regiones de acuerdo con su topografía e historia geológica, es evidente que la importancia de este componente del ecosistema de páramo ha sido consistentemente subestimada y aun comprendemos poco sobre los factores que controlan su distribución. Dentro de esta heterogeneidad, algunas de las regiones con mayor concentración de turberas en el Ecuador se encuentran en la Reserva Ecológica El Ángel, la parte alta del Parque Nacional Cayambe Coca, la región oriental del Parque Nacional Cotopaxi, la parte alta del Parque Nacional Llanganates y los Parques Nacionales Cajas y Sangay.



■ Factores ambientales ■ Tipos de turberas

Figura 2. Esquema de los factores ambientales que controlan la estructura y el funcionamiento de las turberas de páramo en el Ecuador.

Los factores ambientales y la vegetación de las turberas de páramo

La información sobre los factores ambientales que controlan la estructura y funcionamiento de las turberas de páramo es aún limitada. El modelo que proponemos a continuación (Figura 2) está basado en datos para las turberas del Ecuador y lo planteamos como punto de partida para estudios adicionales que lo validen o modifiquen.

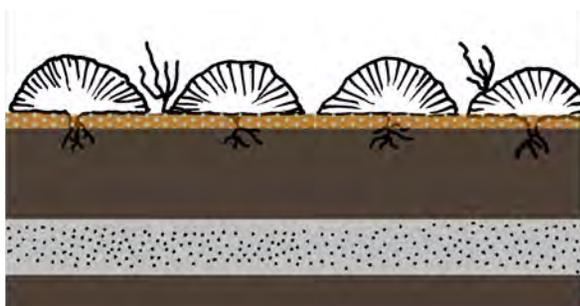
La estructura de las turberas de páramo en el Ecuador parece estar primeramente determinada por la elevación y los factores asociados a esta variable (por ejemplo, temperatura, precipitación y edad de los suelos). En los páramos del norte de Ecuador, por ejemplo, la vegetación de las turberas localizadas por encima de 4200 m tiende a estar dominada por plantas de almohadilla, especialmente de los géneros *Plantago* y *Distichia*, que pueden aportar hasta un 60% de la cobertura del suelo. Por debajo de esa cota altitudinal, las plantas de almohadilla comienzan a disminuir gradualmente y son remplazadas por vegetación predominantemente herbácea (por ejemplo, *Cortaderia sericantha* y *Festuca asplundii*) que crece en medio de una matriz de musgos (entre ellos *Breutelia* spp. y *Campylopus* spp.), y una mezcla heterogénea de arbustos bajos (como *Diplostephium rupestre* y *Loricaria* spp.), rosetas gigantes (*Puya* spp.), y almohadillas dispersas (como *Plantago* spp., *Distichia* spp., *Xenophyllum* spp. y *Oreobolus* spp.). Esta transición ya había sido sugerida anteriormente y podría estar relacionada con la baja conductividad y concentración de nutrientes que son comunes en las zonas más elevadas del páramo (Bosnian *et al.* 1993). Alternativamente, es posible que las plantas formadoras de almohadillas tengan una mayor tolerancia a las

condiciones de congelación que son progresivamente más frecuentes conforme aumenta la elevación, y podrían limitar el establecimiento y/o la supervivencia de otras formas de vida en las cotas superiores de las montañas.

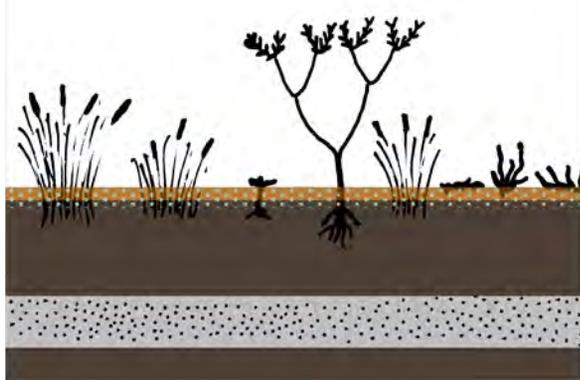
Por debajo de los 4200 m, la fisionomía de las turberas también puede variar de acuerdo con los patrones de nivel freático de la turbera y su relación con factores locales como la topografía, el sustrato geológico y las características geográficas de las cuencas que las alimentan (Figura 2). Las turberas que ocurren en cuencas bien confinadas y con sustratos casi planos tienden a tener niveles freáticos muy altos y constantes, y su vegetación suele estar casi completamente dominada por ciperáceas y juncáceas muy resistentes a la inundación, especialmente de los géneros *Carex* y *Juncus*. Por el contrario, las turberas que se desarrollan en cuencas relativamente abiertas y con algo de inclinación exhiben niveles freáticos ligeramente más bajos y variables. En estos casos, la vegetación tiende a ser dominada por varias especies de gramíneas (por ejemplo, *Cortaderia sericantha*, *Festuca asplundii* y *C. nitida*) y por arbustos pequeños (por ejemplo, *Hypericum* spp., *Loricaria thuyoides*, *Diplostephium rhomboidale* y *D. rupestre*), cuya abundancia aumenta conforme disminuye la altitud.

A la influencia del nivel freático sobre la vegetación deben añadirse los efectos de la química del agua (pH, conductividad y contenido de nutrientes). Aunque estas variables aún no han sido sistemáticamente caracterizadas en las turberas de páramo del Ecuador,

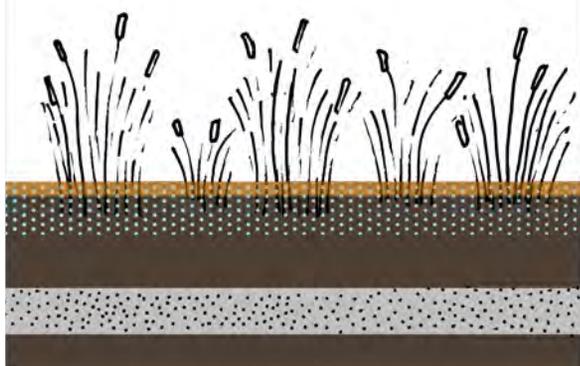
Estructura de la vegetación y perfil sedimentario



a) Almohadillas



b) Gramíneas y Musgos



c) Juncos y Ciperáceas

■ Agua ■ Capa mineral ■ Suelo ■ Turba

Figura 3. Figura esquemática de una turbera. a) Almohadillas; b) Gramíneas y Musgos; c) Juncos y ciperáceas

los datos preliminares sugieren que las turberas del extremo sur del país, desarrolladas sobre sustratos metamórficos y mucho más antiguos, tienden a tener valores de pH más ácidos (Tabla 1) y una mayor representación de musgos del género *Sphagnum* que las turberas de la zona norte del país, que tienen una influencia volcánica mucho más intensa y reciente.

Este esquema sobre los controles de la estructura y vegetación de las turberas de páramo es un modelo general susceptible a muchas excepciones. En la Sierra sur del país, por ejemplo, existen grandes turberas dominadas por vastos campos de almohadillas de *Distichia acicularis*, que se encuentran por debajo de los 4000 m. Igualmente, en el Parque Nacional Antisana y su zona de influencia existen grandes turberas de *Plantago rigida* a elevaciones de alrededor de 3600 m. En muchos casos, los patrones de vegetación de estas turberas han sido alterados por actividades antropogénicas como el sobrepastoreo, el drenaje y la construcción de caminos, pero aun es muy poco lo que conocemos acerca de los impactos específicos de estas actividades. De la misma manera, los páramos del extremo sur del país se han desarrollado en elevaciones muy inferiores (ca. 2900 m) y en sustratos geológicos metamórficos y mucho más antiguos que en el norte del país (Boschman 2021). La influencia de estos factores sobre la distribución, estructura y productividad de las turberas del país aún no ha sido explorada y representa un campo abierto para futuras investigaciones.

Como resultado de la acción de estos filtros ambientales, se pueden reconocer al menos tres grandes tipos de turberas en los páramos del Ecuador (Figura 3).

Turberas de almohadillas

Las turberas de almohadillas, especialmente las que se desarrollan en las zonas más altas, son muy similares a los bofedales que han sido descritos para los ecosistemas altoandinos de Perú y Bolivia (Squeo *et al.* 2006, Cooper *et al.* 2010, Ruthsatz 2012, Maldonado-Fonken 2014). La fisionomía de las comunidades de estas turberas está determinada por la forma de crecimiento de especies dominantes como *Plantago rigida*, *Distichia muscoides* y *D. acicularis*, y *Oreobolus* spp. Al crecer, las almohadillas se levantan sobre el suelo formando un sistema de pequeños montículos separados entre sí por una matriz de suelos que están frecuentemente inundados y, en algunos casos, cubiertos con especies de musgos altamente resistentes a la inundación. Al levantarse sobre los suelos inundados, las almohadillas sirven como hábitat para especies de hierbas, musgos e incluso pequeños arbustos que, al no tolerar la inundación constante del suelo, se alejan de él utilizando las almohadillas como sustrato. Este aparente mecanismo de facilitación ya ha sido descrito para plantas formadoras de almohadillas en otros ecosistemas como los Andes del sur (Cavieres *et al.* 2007, Cavieres & Badano 2009), pero hasta ahora no ha sido explorado para las turberas de páramo.

En las turberas de almohadillas de los páramos del norte y centro del Ecuador, la asociación de *P. rigida* y *D. muscoides* es bastante común. Sin embargo, la importancia de estas dos especies cambia tanto a escala de paisaje como a escala de sitio. Por un lado, mientras *D. muscoides* tiende a ser mucho más común conforme se incrementa la elevación -incluso hasta llegar a ser

casi la única especie dominante- *P. rigida* se vuelve más común en las elevaciones inferiores. Este patrón ya ha sido descrito para otras turberas en los páramos de Colombia (Bosnian *et al.* 1993). Por otro lado, mientras que *P. rigida* puede ocupar toda la gradiente desde zonas muy anegadas en el centro de las turberas hasta zonas bien drenadas en los páramos circundantes, *D. muscoides* está casi exclusivamente restringida a las zonas más húmedas de las turberas.



Turberas de gramíneas y musgos



R. Jaramillo

frecuentes las asociaciones con *Neurolepis* sp. *Festuca* spp. y *Sphagnum* spp. Tanto en el norte como en el sur, las turberas que se encuentran en elevaciones inferiores presentan algunas especies de arbustos dispersos entre las que se destacan principalmente *Diplostephium rupestre* y *Loricaria* spp.

Turberas de juncos y ciperáceas

Estas turberas se establecen en áreas muy planas que drenan cuencas extensas y colectan grandes cantidades de agua. Por ejemplo, es muy común encontrarlas en el fondo de los grandes valles en U que se formaron durante la última era glacial. Debido a su topografía plana y a la cantidad de agua que acumulan, este tipo de turberas se caracterizan por tener niveles freáticos muy altos y bastante constantes. En este contexto, las especies que pueden establecerse y sobrevivir en estos ambientes son escasas y, como resultado, la vegetación tiende a ser completamente dominada por un estrato homogéneo de varias especies de las familias *Juncaceae* (juncos y totoras) y *Cyperaceae*.



E. Suárez

Este es un grupo variado de turberas que están dominadas por un estrato de gramíneas formadoras de macollas o penachos que crecen en una matriz de musgos y hierbas, con almohadillas y arbustos ocasionales. Estas turberas tienden a formarse en los páramos más bajos en los que las turberas de almohadillas son menos comunes y, al ocupar las zonas bajas del paisaje, tienden a ser más antiguas y sus suelos pueden alcanzar hasta 12 m de profundidad.

La asociación de especies presentes en estas turberas es muy variada a través del país. En el norte (Imbabura, Pichincha, Napo y Cotopaxi) la comunidad típica suele estar formada por macollas de *Cortaderia sericantha* y/o *C. nitida* (esta última en elevaciones inferiores), creciendo en medio de una matriz de musgos (*Breutelia* y *Campylopus*), hierbas (*Castilleja*, *Gentiana sedifolia* y *Neobartsia*), rosetas (*Werneria pygmaea* y *Eryngium humile*) y almohadillas (*Xenophyllum humile* y *Disterigma empetrifolium*). En el extremo sur del país son más

Por su ubicación en las partes más bajas del paisaje de páramo y su topografía plana, estas turberas parecen ser especialmente vulnerables a los cambios en el uso del suelo y es frecuente encontrarlas convertidas en poteros o zonas de cultivo, para lo cual se las seca con extensos sistemas de drenajes artificiales.

Como mencionamos antes, la formación de estos tres tipos de turberas parece estar relacionada con factores hidrológicos y geomorfológicos. Por ejemplo, en tres turberas que se encuentran en un radio de aproximadamente 5 km y representan estas tres categorías de vegetación (Figura 4), el monitoreo entre 2017 y 2021 demuestra importantes diferencias en los patrones temporales de nivel freático. En el caso de la turbera de almohadillas, el nivel freático promedio a lo largo del año permanece sobre la superficie de la turba ($-1,45 \pm 0,55$ cm; los valores negativos implican que el agua se encontraba sobre la superficie del suelo). En este sitio la diferencia promedio en nivel freático entre el centro de la turbera y la ladera circundante donde se distingue el fin del humedal fue aproximadamente de

61 cm. Para la turbera de gramíneas y musgos, el nivel freático promedio fue ligeramente más bajo ($2,8 \pm 0,43$ cm) pero también extremadamente constante a lo largo del año y con una diferencia promedio de 77 cm con relación al nivel freático en la ladera circundante (Figura 4).

Por el contrario, la turbera de juncos y ciperáceas permaneció inundada casi todo el tiempo con un promedio de $-7,6 \pm 0,73$ cm, y una diferencia de apenas 15 cm en relación con el nivel freático de la ladera (Figura 4).

Más allá de esta clasificación general, las turberas de páramo pueden ser muy heterogéneas y muchas veces presentan más de un tipo de vegetación. En algunos casos, por ejemplo, el centro de la turbera, donde los niveles freáticos son más elevados, puede estar dominado por juncos y ciperáceas, rodeado de un anillo de gramíneas, musgos y/o almohadillas en la zona de transición hacia las laderas bien drenadas. Desde esta perspectiva, estas categorías deben mirarse más como un punto de referencia que como un sistema rígido de clasificación.

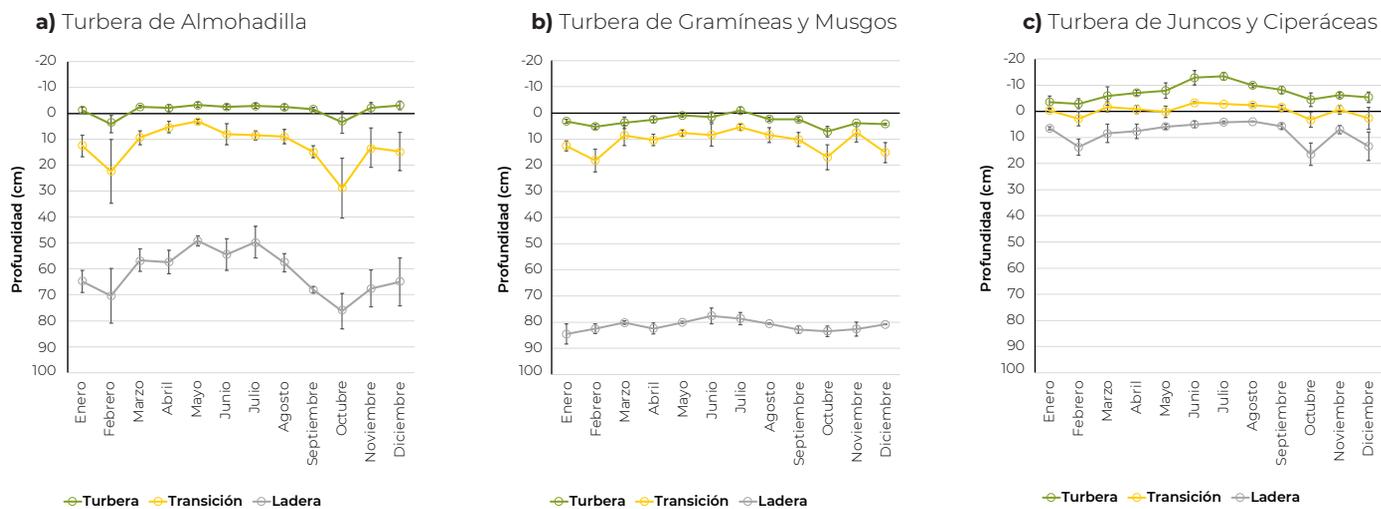


Figura 4. Variación mensual del nivel freático en zonas de turberas, de transición y ladera en turberas de Almohadillas, Musgos y Gramíneas y Juncos y Ciperáceas.

Almacenamiento de carbono

Las turberas de páramo suelen ser muy profundas y acumulan grandes cantidades de carbono. En los páramos húmedos del norte del Ecuador, por ejemplo, las turberas tienen una profundidad promedio de 5,8 m y acumulan más de 2000 MgC/ha (Hribljan *et al.* 2016, 2017) (Figura 5). La concentración de carbono en estas turberas es muy variable ($18,4\% \pm 1,3$) e incluso en algunos sitios puede caer bajo el límite de 12% de carbono orgánico que usualmente se utiliza para definir al suelo como una turba (USDA 1999). Sin embargo, la mayoría de estos sitios suelen estar inundados durante la mayor parte del año, especialmente en los páramos de vertientes orientales, y presentan suelos orgánicos con material vegetal reconocible y muy poco descompuesto. Otra característica de estas turberas, especialmente en el norte y centro del Ecuador, es que su suelo suele estar intersecado por varias capas de cenizas volcánicas que pueden llegar a tener entre 3 y 10 cm de espesor y altos valores de densidad aparente (Hribljan *et al.* 2016). Aunque estas capas de sustrato mineral son frecuentes en las turberas de áreas con historia reciente de actividad volcánica, aún no se las ha estudiado y podrían tener importantes implicaciones para el funcionamiento hidrológico y ecológico de estos ecosistemas.

Los tres tipos generales de vegetación que se encuentran en las turberas de los páramos del Ecuador difieren poco en cuanto a su contenido de carbono y la densidad de su turba (Figura 5). El muestreo de 53 turberas distribuidas en todo el país muestra que, considerando toda la longitud del perfil de la turba muestreada, la densidad aparente varió entre $0,243 (\pm 0,037 \text{ g/cm}^3)$ y $0,343 (\pm 0,058 \text{ g/cm}^3)$, mientras que su porcentaje de carbono varió entre $19,02 (\pm 2,48 \text{ \%C})$ y $20,83 (\pm 1,84$

\%C ; Figura 5). De igual manera, al analizar solamente los primeros 20 centímetros de turba, los valores fueron similares entre los tres tipos de vegetación y fluctuaron entre $0,101 (\pm 0,014 \text{ g/cm}^3)$ y $0,170 (\pm 0,036 \text{ g/cm}^3)$ para la densidad aparente, y entre $28,97 (\pm 3,59 \text{ \%C})$ y $34,47 (\pm 2,53 \text{ \%C})$ para el porcentaje de carbono.

A pesar de estas similitudes en las características de la turba, este mismo análisis sugiere que las turberas de plantas formadoras de almohadillas tienden a almacenar menos carbono ($1363 \pm 146 \text{ MgC/ha}$) que las turberas de juncos y ciperáceas ($2738 \pm 542 \text{ MgC/ha}$), y las de herbáceas ($2295 \pm 223 \text{ MgC/ha}$; Figura 5). Al no encontrarse diferencias significativas entre el porcentaje de carbono y la densidad aparente de estos tres tipos de turberas, su diferencia en cuanto a almacenamiento de carbono debe estar relacionada con la profundidad de la turba, la que tiende a ser significativamente menor en las turberas de almohadillas que en los otros dos tipos (Figura 5).

La acumulación de carbono en las turberas de páramo parece estar fuertemente relacionada con la elevación a la que ocurren y, por lo tanto, con su edad y la actividad glacial de los últimos 10.000 a 12.000 años. Durante el último período glacial, los altos Andes tropicales se cubrieron de vastos glaciares que descendían hasta elevaciones entre 2700 y 3000 m (Smith *et al.* 2005), con lo que se eliminaron toda la vegetación y los suelos de las áreas que hoy están ocupadas por los páramos. Cuando estos glaciares comenzaron a retirarse, paulatinamente liberaron zonas que, empezando en las elevaciones inferiores, fueron colonizadas mediante procesos de sucesión primaria. De esta manera, los ecosistemas de páramo y sus turberas se han desarro-

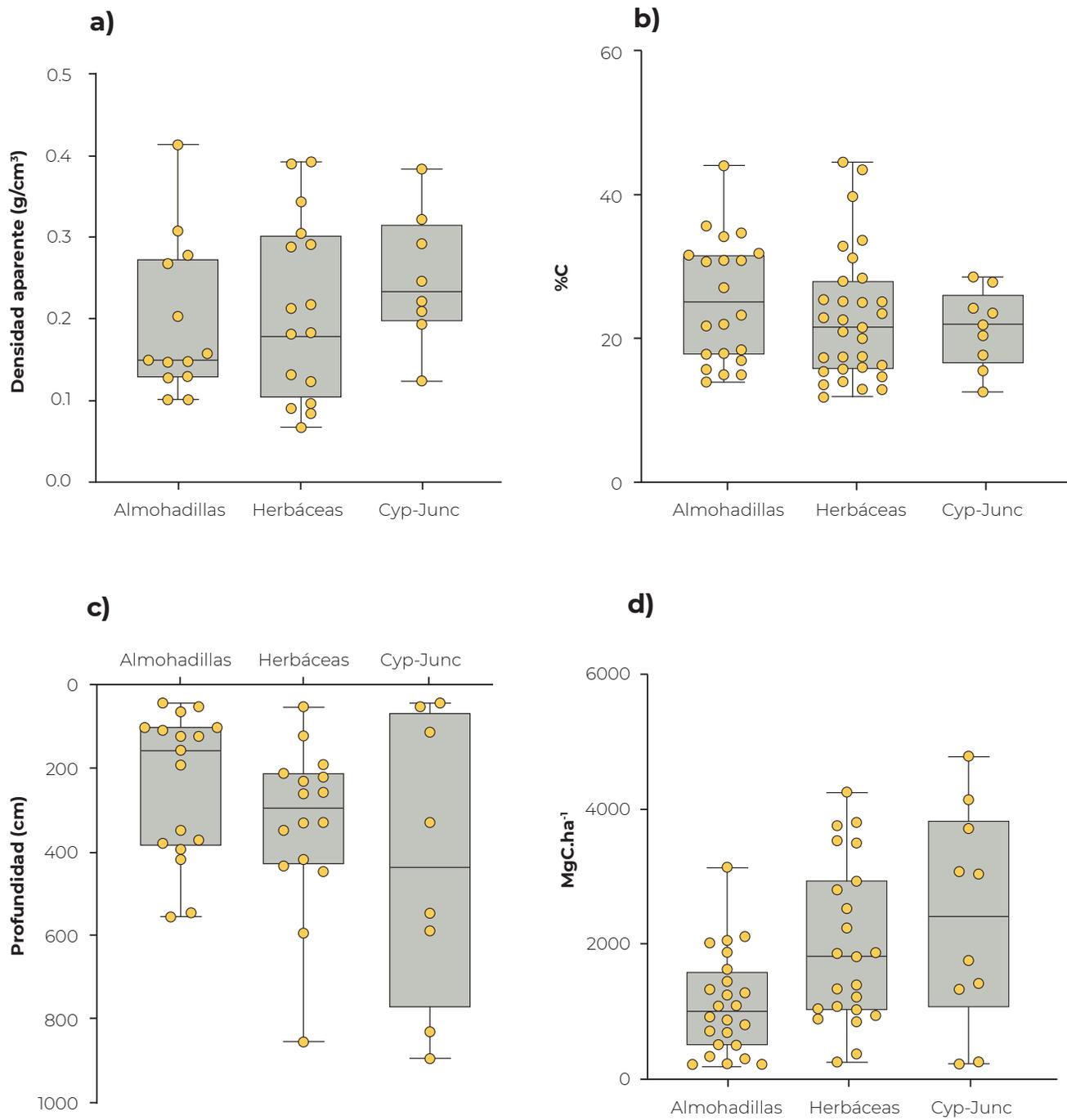
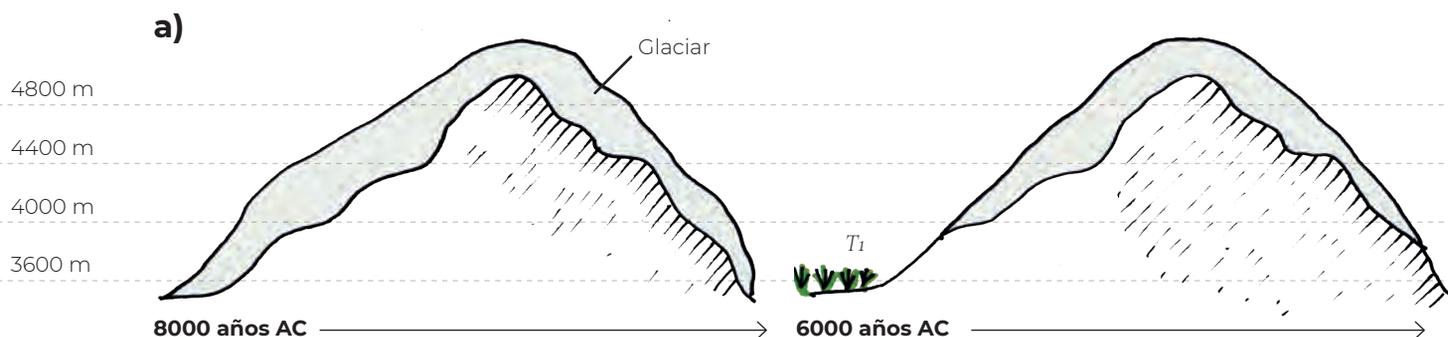


Figura 5. Comparación de las características de los tres tipos generales de turberas de los páramos del Ecuador. a) Densidad aparente para los primeros 2 a 5 metros de turba. b) Porcentaje de carbono para los primeros 2 a 5 metros de turba. c) Profundidad de la turba. d) Almacenamiento de carbono en toneladas de carbono por hectárea. Cada caja representa el promedio y los percentiles 25 y 75% para cada variable, mientras que las barras muestran sus valores máximos y mínimos.



llado a lo largo de una gradiente de elevación (Figura 6A) en la que las turberas más viejas están en las partes bajas de las montañas, mientras que las más jóvenes ocupan las zonas altas que se mantuvieron cubiertas de hielo por más tiempo. Por ejemplo, en un conjunto de turberas estudiadas en los páramos del norte del Ecuador, las turberas más viejas (ca. 10.700 años) se encontraron alrededor de 3500 m, mientras que las más jóvenes (ca. 118 años; Figura 6B) estaban por encima de 4800 m (Hribljan *et al.* 2016, 2017). Apoyando la misma línea de evidencia, los datos de estos estudios sugieren que, mientras mayor es la elevación de una turbera, menores son su profundidad (Figura 6C) y la cantidad de carbono que almacena (Figura 6D). Este patrón ofrece novedosas oportunidades para estudiar la dinámica de las turberas de páramo y los factores ambientales que la controlan. Por ejemplo, la cronosecuencia de turberas a lo largo de las gradientes altitudinales podría combinarse con estudios de microfósiles y datación con isótopos para caracterizar los patrones sucesionales de la vegetación de las turberas en diferentes regiones.

Otro patrón importante en el almacenamiento de carbono en las turberas de páramo emerge de las diferencias en la historia geológica de los Andes ecuatorianos. En la región que ahora comprende el territorio del

Ecuador, el levantamiento de los Andes se dio primero en la porción sur de la cordillera, donde se asientan las provincias de El Oro, Loja y Zamora, y la región sur de Azuay. En esa zona, las rocas son principalmente de origen metamórfico y plutónico, con una edad que fluctúa entre 251 y 419 millones de años para las rocas metamórficas y entre 23 y 66 millones de años para las plutónicas (Gómez *et al.* 2019). Por el contrario, la zona centro y norte del país tiende a tener una fuerte incidencia de rocas de origen volcánico con edades que varían entre 201 y 2,58 millones de años. Aunque la relación entre el sustrato geológico y el funcionamiento de las turberas de páramo aún no ha sido explorada, los datos preliminares sugieren que las turberas desarrolladas sobre sustratos metamórficos y plutónicos tienden a ser menos profundas y exhibir valores de pH y conductividad más bajos que aquellas desarrolladas sobre suelos volcánicos (Tabla 1). De igual manera, las turberas desarrolladas sobre rocas de origen metamórfico y plutónico almacenan en promedio aproximadamente un 70% menos carbono (786 a 933 MgC/ha) que las turberas desarrolladas sobre suelos volcánicos (1577 MgC/ha). Varias hipótesis podrían explicar estas diferencias en la magnitud de almacenamiento de carbono entre estas turberas. Por un lado, suponiendo que todas las turberas de páramo del país se deben haber formado a partir del fin de la

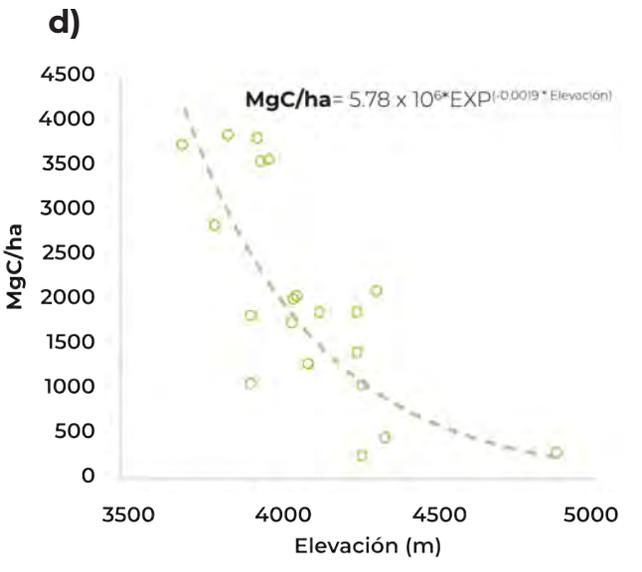
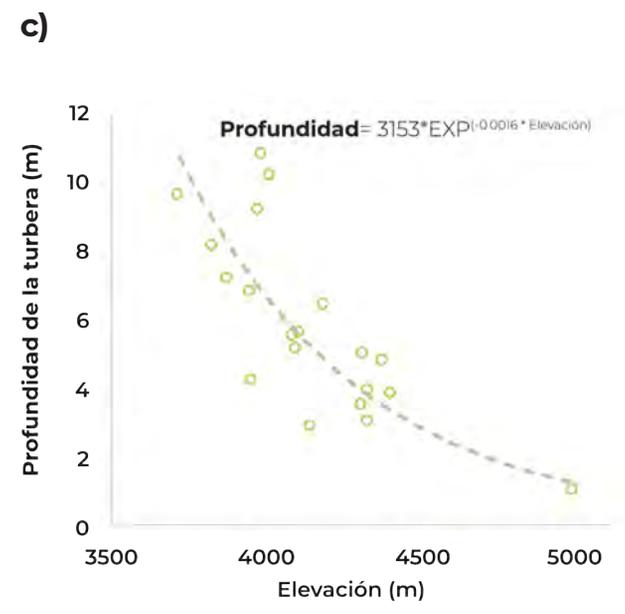
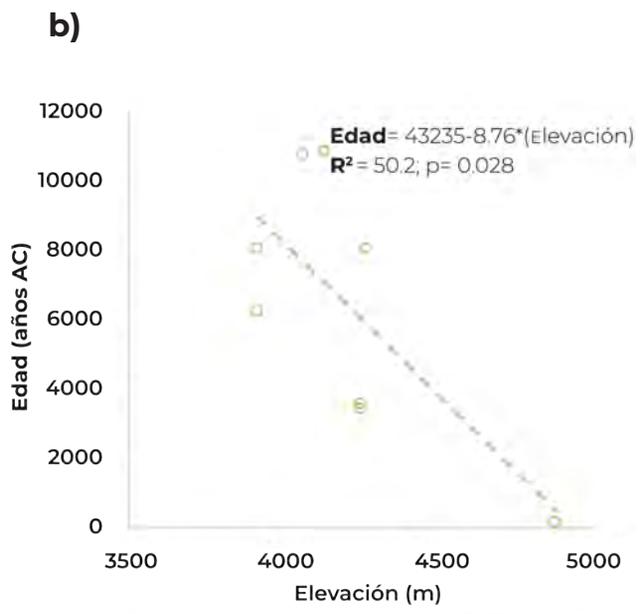
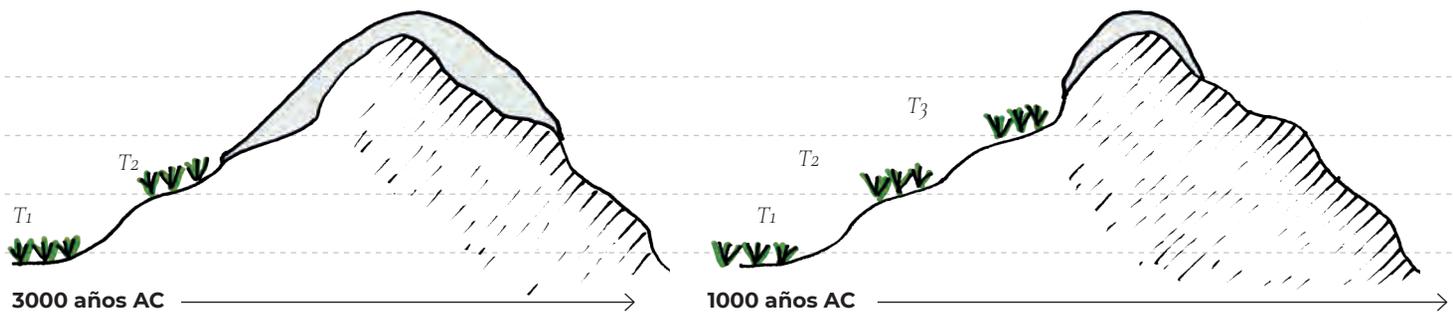


Figura 6. Hipótesis sobre la influencia del retroceso de los glaciares a lo largo de gradientes de elevación en el desarrollo de las turberas de páramo y sus patrones de acumulación de carbono (a). Esta hipótesis, apoyada por datos de Hribljan et al. (2016 y 2017), sugiere que la posición de las turberas de páramo a lo largo de las gradientes de elevación representa también una gradiente de edad desde las turberas más antiguas, formadas en las elevaciones inferiores que se liberaron más pronto de los glaciares, hasta las turberas más jóvenes formadas en las zonas altas. En este modelo, la elevación de las turberas está negativamente correlacionada con su edad (b), su profundidad (c) y su almacenamiento de carbono (d).

última era glacial, podría ser que los menores niveles de almacenamiento se deban a tasas más bajas de productividad primaria, relacionadas con limitación de nutrientes en los suelos antiguos y muy meteorizados del sur del país. Alternativamente, podría asumirse que las turberas desarrolladas en los suelos volcánicos del norte podrían haber tenido mayores tasas de acumulación de carbono como producto de una posible

fertilización con cenizas volcánicas, o menores tasas de descomposición por la estabilización de la materia orgánica en complejos órgano-metálicos formados con materiales volcánicos (Tonneijck *et al.* 2010). Explorar estas hipótesis es fundamental para entender la variación en los patrones de almacenamiento de carbono de las turberas de páramo y su sensibilidad ante los posibles impactos del cambio climático.

Tabla 1. Características y almacenamiento de carbono en turberas desarrolladas en diferentes tipos de roca de los páramos del Ecuador. La profundidad total reportada en la tabla es la profundidad de la capa de turba, sin tomar en cuenta las capas minerales que puedan existir a mayores profundidades.

		Tipo de Roca Basal		
		Metamórfica	Plutónica	Volcánica
Profundidad total (cm)		259 ± 84,2	195,5 ± 66,2	352,8 ± 46,28
pH		4,01 ± 0,31	4,04 ± 0,22	5,57 ± 0,19
Conductividad (ms/cm)		15,4 ± 4,3	17,9 ± 5,6	74,3 ± 15,77
Carbono Orgánico Disuelto (mg/L)		24,31 ± 2,77	20,6 ± 2,1	24,8 ± 2,9
Turba	Densidad aparente (g/cm³)	0,19 ± 0,07	0,18 ± 0,05	0,23 ± 0,01
	%C	29,8 ± 7,8	28,7 ± 2,3	24,03 ± 1,25
	MgC/ha	786,6 ± 237,8	933,4 ± 466,3	1577,9 ± 195,5
Horizonte mineral	Densidad aparente (g/cm³)	0,67 ± 0,25	0,67 ± 0,12	0,62 ± 0,04
	%C	9,06 ± 2,77	6,42 ± 2,04	6,48 ± 0,6
	MgC/ha	1185,2 ± 607,6	1259,7 ± 778,4	1406,9 ± 168,05

El estado actual de las turberas de páramo en el Ecuador

Las turberas se forman generalmente en los escasos terrenos planos o relativamente planos que existen en los páramos, lo que genera un fuerte estímulo para que sean drenadas y transformadas para la crianza de ganado, la agricultura y la extracción de agua (Figura 7). Al igual que en otras partes del mundo, uno de los principales impactos que experimentan las turberas en el páramo son el drenaje y su transformación a sistemas agrícolas y/o ganaderos (Laine *et al.* 2009). Sin embargo, los impactos de las alteraciones antropogénicas no están homogéneamente distribuidos en los páramos del Ecuador (Suárez *et al.* in rev.). En términos generales, la cordillera oriental, especialmente en el norte y centro del Ecuador, tiene una menor concentración de turberas alteradas, quizás como resultado de la combinación de un clima muy lluvioso, menores densidades poblacionales, y una mayor cobertura de áreas protegidas (Suarez *et al.* in rev.). Por el contrario, las turberas de la cordillera occidental, especialmente en las provincias de Tungurahua, Chimborazo y Bolívar, exhiben mayores concentraciones de signos de actividad humana. Este patrón podría deberse a los efectos a largo plazo de dos factores principales. Por un lado, una historia de ocupación y uso de los páramos mucho más larga e intensa. Por otro lado, unos niveles de precipitación más bajos que podrían exacerbar la importancia de las turberas como áreas para agricultura, ganadería y extracción de agua.

El drenaje y el secamiento son quizás la más importante forma de alteración de las turberas, primero porque suelen ser un requisito para otros tipos de uso y, segundo, porque el corte con canales para drenar las

turberas altera fundamentalmente la principal característica de estos ecosistemas: su nivel freático elevado y relativamente constante. Los canales que se utilizan para drenar las turberas generalmente cortan el terreno y se orientan hacia la zona naturalmente más baja del paisaje. Éstos no suelen tener más de 30 a 40 cm de profundidad, pero con el tiempo y la erosión pueden convertirse en canales amplios y bastante profundos. El número y la longitud de los canales que se abren en una turbera dependen de su tamaño; en las turberas más grandes, los canales suelen conectarse entre sí para aumentar su capacidad de drenaje.

La dinámica de los canales de drenaje parece depender mucho del tipo de turbera, el clima de la zona y el uso que se implemente después del drenaje. Por ejemplo, cuando los canales son relativamente pequeños y no reciben mantenimiento, pueden cerrarse naturalmente con el paso del tiempo, especialmente en aquellas áreas con una época seca relativamente marcada. En estos casos, la vegetación circundante puede colonizar el canal durante la época seca, lo que reduce paulatinamente su amplitud hasta llegar a tapanlo, dejando apenas una tenue cicatriz que no suele mover suficiente agua como para afectar la hidrología de la turbera. En otros casos, especialmente en las regiones con alta precipitación, los canales mueven mucha agua y pueden sufrir erosión que incrementa su profundidad y amplitud, aumentando así su impacto sobre la hidrología y la estructura de la turbera.

Una turbera que ha sido drenada puede ser utilizada para cultivos o para ganadería, e incluso para casas,

corrales y otras formas de infraestructura. De hecho, en algunos casos, la ocupación y el uso de las turberas han sido tan largos e intensos que resulta casi imposible distinguirlas, excepto por la presencia de capas de turba aún enterradas bajo los cultivos.

Si bien los impactos de las actividades humanas sobre las turberas de páramo en el Ecuador aún no han sido bien estudiados, a partir de estudios en otros países es posible plantear algunas generalidades.

Como mencionamos antes, uno de los disturbios más frecuentes en las turberas es el drenaje para que el ganado pueda ingresar y alimentarse en ellas. La entrada del ganado modifica la dinámica de la turbera al cambiar inicialmente la composición de especies y reducir la cobertura de vegetación, pero con efectos heterogéneos sobre la diversidad de especies en general. Sin embargo, incluso con bajas intensidades de pastoreo, se ha reportado un incremento de hierbas introducidas (Molinillo & Monasterio 1997, Llambí & Rada 2019). La simulación del pisoteo y la fertilización con heces en una turbera de *Sphagnum* en los Andes centrales de Colombia demostró que los disturbios a pequeña escala tienen efectos rápidos sobre las funciones ecológicas de la turbera (Urbina & Benavides 2015). En este estudio, los tratamientos que simularon el efecto del ganado exhibieron un incremento en la invasión de plantas vasculares, disminución de la cobertura de *Sphagnum*, y una marcada aceleración de los procesos de descomposición de materia orgánica, lo que podría incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero. Por último, la compactación del suelo producida por el pisoteo podría reducir la capacidad de retención de agua de la turbera, lo que compromete su función como regulador hídrico en las regiones montañosas altas (Molinillo & Monasterio 1997, Urbina & Benavides 2015).

Por su ubicación en altas elevaciones, las turberas de páramo son muy susceptibles a los efectos actuales del cambio climático. El incremento de la temperatura ambiental podría dar lugar a un aumento de producción primaria, pero también en las tasas de descomposición de materia orgánica. Dependiendo del nuevo balance entre estos procesos, el cambio climático podría reducir la capacidad de las turberas para almacenar carbono y controlar las emisiones de CO₂ y CH₄ (Buytaert *et al.* 2011). Aunque estos procesos aún no han sido bien caracterizados, un estudio en tres turberas de almohadillas de *Distichia muscoides* en Colombia encontró que las tasas de acumulación de materia orgánica y turba han incrementado en los últimos 10 años, añadiendo 1400 g/m² de materia orgánica por año (Benavides *et al.* 2013). Al contrario de lo esperado, este estudio reportó un rápido crecimiento reciente de las turberas como consecuencia de la aceleración de la productividad de *D. muscoides* y las bajas tasas de descomposición de la materia orgánica. Esto sugiere que las turberas en buen estado podrían ser resilientes a los cambios en temperatura, e incluso podrían responder con un aumento en sus tasas de acumulación de carbono. Sin embargo, se requieren más estudios similares a través de las amplias gradientes ambienta-

Figura 7. Ejemplos de los impactos de actividades humanas sobre las turberas de páramo. a y b: drenajes para secar las turberas; c y d: infraestructura y campos agrícolas; e y f: suelos dañados por sobrepastoreo; g y h: ganadería extensiva.

a)



E. Suárez



E. Suárez

b)

c)



E. Suárez



E. Suárez

d)

e)



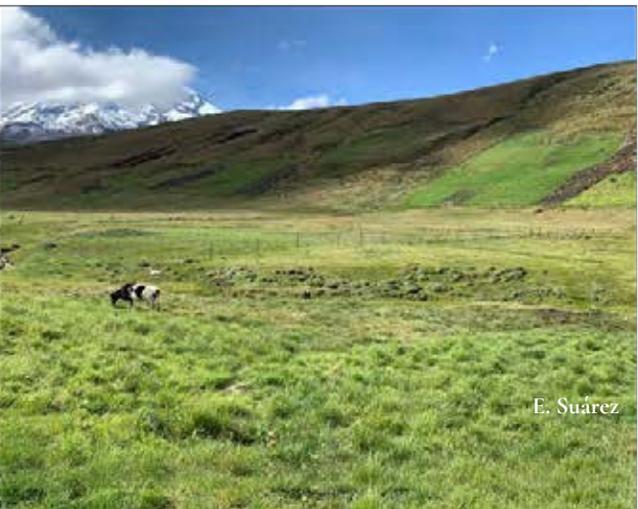
E. Suárez



E. Suárez

f)

g)



E. Suárez



E. Suárez

h)

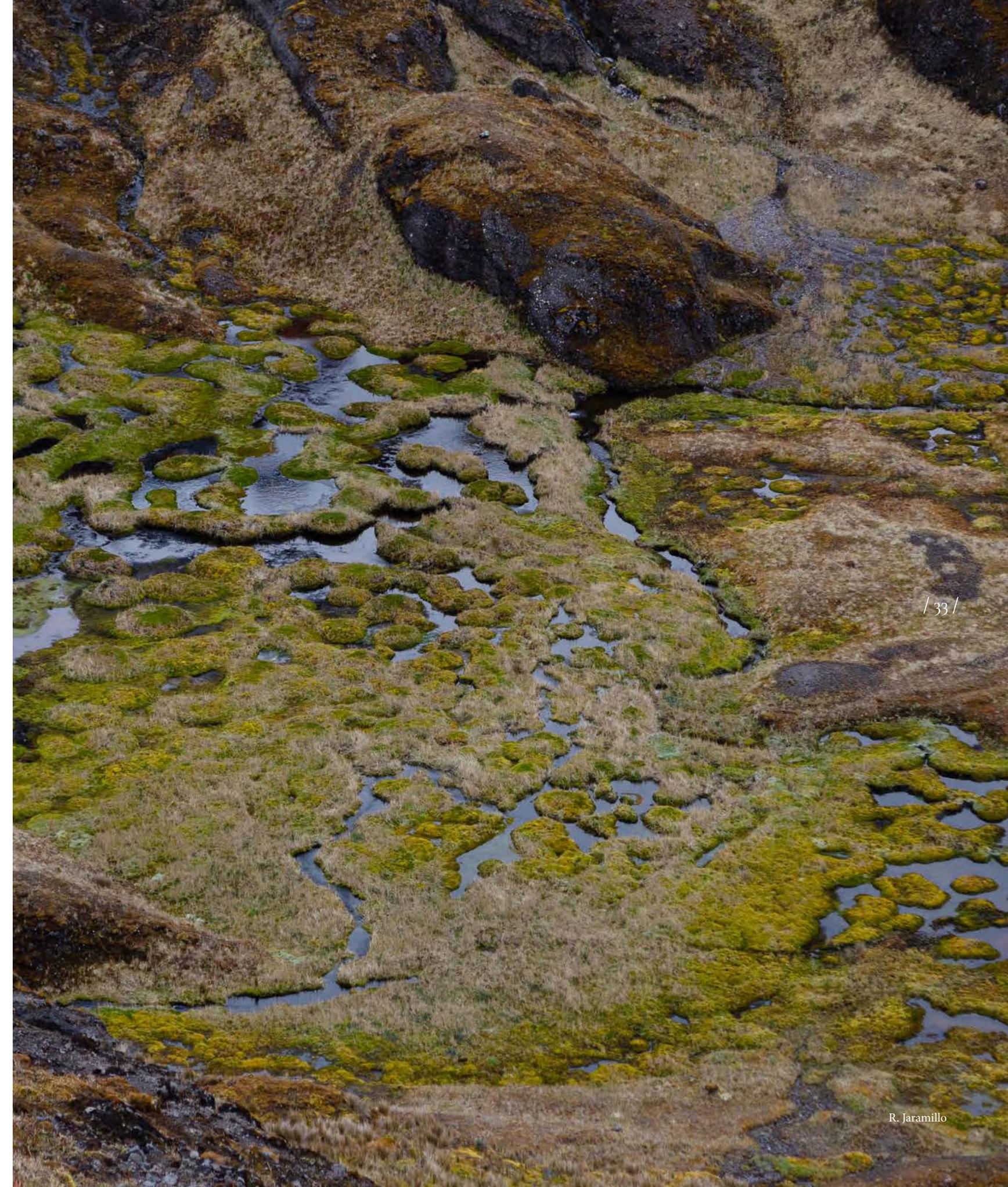
les que caracterizan los páramos. De hecho, el mismo estudio en Colombia sugiere que los incrementos en productividad de estas turberas podrían estar relacionados con un incremento en los aportes de agua por el derretimiento de los glaciares cercanos. Si esto es así, estos efectos podrían ser transitorios y revertirse una vez que los glaciares desaparezcan, lo que privaría a las turberas de ese aporte hídrico (Benavides *et al.* 2013).

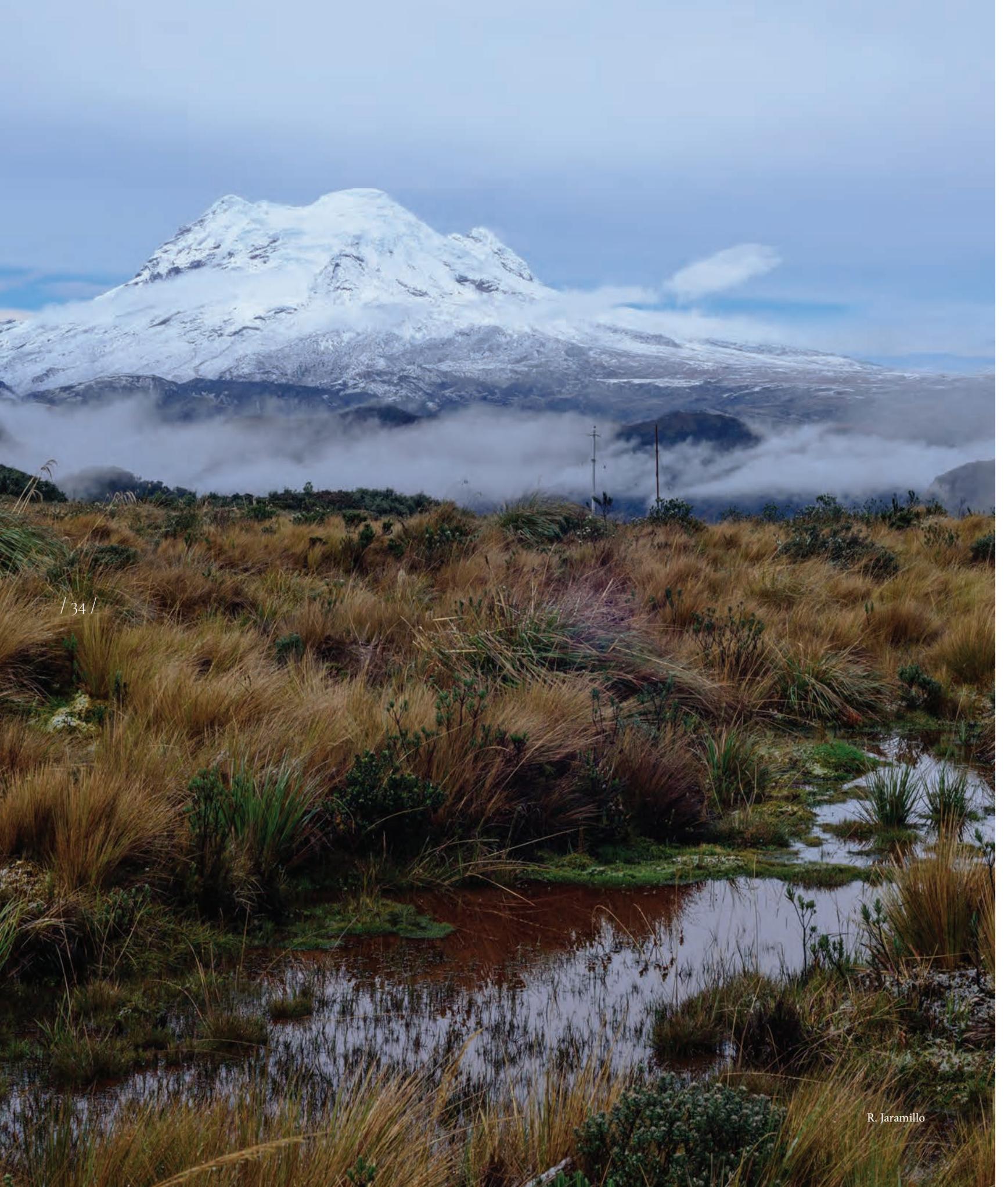
Esta breve revisión destaca la escasez de estudios específicos que analicen los impactos de las actividades antropogénicas sobre las turberas de páramo. Algunas de las áreas que requieren más atención se relacionan con el manejo de los tipos e intensidades de pastoreo. En otras regiones andinas, por ejemplo, se ha sugerido que las formas tradicionales de cría de camélidos pueden ser una alternativa viable para la utilización de las turberas (Buttolph & Coppock 2004, Verzijl & Guerrero-Quispe 2013). Sin embargo, en ausencia de esas formas tradicionales de manejo, se necesitan estudios que evalúen los niveles de carga animal que podrían soportar las turberas sin sufrir deterioros significativos, especialmente a lo largo de las gradientes de precipitación que se dan en los Andes. Más aún, se deben explorar alternativas económicas viables para las comunidades locales que permitan eliminar o reducir las presiones sobre las turberas, especialmente sobre las que, por su posición en el paisaje, tienen una función importante en la provisión y la regulación de agua.

Referencias

- Benavides, J. C., D. H. Vitt, and R. K. Wieder.** 2013. The influence of climate change on recent peat accumulation patterns of *Distichia muscoides* cushion bogs in the high-elevation tropical Andes of Colombia. *Journal of Geophysical Research* 1627–1635.
- Boschman, L. M.** 2021. Andean mountain building since the Late Cretaceous: A paleoelevation reconstruction. *Earth-Science Reviews* 220. Available at: <https://proxy.library.cornell.edu/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=50012825221001409&site=eds-live&scope=site>.
- Bosnian, A. F., P. C. van der Molen, R. Young, and A. M. Cleef.** 1993. Ecology of a paramo cushion mire. *Journal of Vegetation Science* 4: 633–640.
- Buttolph, L. P., and D. L. Coppock.** 2004. Influence of deferred grazing on vegetation dynamics and livestock productivity in an Andean pastoral system. *Journal of Applied Ecology* 41: 664–674.
- Buytaert, W., F. Cuesta-Camacho, and C. Tobon.** 2011. Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions. *Global Ecology and Biogeography* 20: 19–33.
- Cavieres, L. A., and E. I. Badano.** 2009. Do facilitative interactions increase species richness at the entire community level? *Journal of Ecology* 97: 1181–1191.
- Cavieres, L. A., E. I. Badano, A. Sierra-Almeida, and M. A. Molina-Montenegro.** 2007. Microclimatic Modifications of Cushion Plants and Their Consequences for Seedling Survival of Native and Non-native Herbaceous Species in the High Andes of Central Chile. *Journal of Ecology* 39: 229–236.
- Cooper, D. J., E. C. Wolf, C. Colson, W. Vering, A. Granda, and M. Meyer.** 2010. Alpine Peatlands of the Andes, Cajamarca, Peru. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 42: 19–33.
- Finlayson, C. M., and G. R. Milton.** 2018. Peatlands. In C. M. Finlayson, G. R. Milton, R. C. Prentice, and N. C. Davidson (Eds.) *The Wetland Book: II: Distribution, Description, and Conservation*. pp. 227–244, Springer Netherlands, Dordrecht. Available at: https://doi.org/10.1007/978-94-007-4001-3_202.
- Gómez, J., C. Schobbenhaus, and N. E. Montes.** 2019. Geological Map of South America 2019. Scale 1:5 000 000. Available at: <https://doi.org/10.32685/10.143.2019.929>.
- Håkan, R., and J. Jeglum.** 2013. *The Biology of Peatlands* 2nd Edition. Oxford University Press.
- Hribljan, J. A., E. Suarez, L. Bourgeau-Chavez, S. Endres, E. A. Lilleskov, S. Chimbolema, C. Wayson, E. Scrocki, and R. A. Chimner.** 2017. Multi-date, multi-sensor remote sensing reveals high density of carbon-rich mountain peatlands in the páramo of Ecuador. *Global Change Biology*.
- Hribljan, J. A., E. Suarez, H. Katherine, E. Lilleskov, and R. A. Chimner.** 2016. Peatland Carbon Stocks and Accumulation Rates in the Ecuadorian Páramo. *Wetlands Ecology and Management* 24: 113–127.
- Laine, J., K. Minkkinen, and T. Trettin.** 2009. Direct Human Impacts on the Peatland Carbon Sink. In *Carbon Cycling in Northern Peatlands*. Geophysical Monograph Series 184. pp. 71–78, American Geophysical Union, USA.
- Llambí, L. D., and F. Rada.** 2019. Ecological research in the tropical alpine ecosystems of the Venezuelan páramo: past, present and future. *Journal of Ecology* 12: 519–538.
- Maldonado-Fonken, M. S.** 2014. An introduction to the bofedales of the Peruvian High Andes. *Mires and Peat* 15: 1–13.
- Molinillo, M., and M. Monasterio.** 1997. Pastoralism in páramo environments: practices, forage, and impact on vegetation in the cordillera of Mérida, Venezuela. *Mountain Research and Development* 17: 197–211.
- Moor, H., H. Rydin, K. Hylander, M. B. Nilsson, R. Lindborg, J. Norberg, and P. Vesik.** 2017. Towards a trait-based ecology of wetland vegetation. *Journal of Ecology* 105: 1623–1635.
- Mosquera, G. M., P. X. Lazo, R. Celleri, B. P. Wilcox, and P. Crespo.** 2015. Runoff from tropical alpine grasslands increases with areal extent of wetlands. *Catena* 125: 120–128.
- Page, S. E., J. O. Rieley, and C. J. Banks.** 2011. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology* 17: 798–818.
- Reddy, K. R.** 2008. *Biogeochemistry of wetlands: science and applications*. CRC Press, Boca Raton.

- Ruthsatz, B.** 2012. Vegetation and ecology of the high Andean peatlands of Bolivia. *Phytocoenologia* 42: 133–179.
- Rydin, H., and J. K. Jeglum.** 2013. *The biology of peatlands* 2nd ed. Oxford University Press, Oxford.
- Salvador, F., J. Monerris, and L. Rochefort.** 2014. Peatlands of the Peruvian Puna ecoregion: types, characteristics and disturbance. *Mires and Peat* 15.
- Smith, J. A., G. O. Seltzer, D. T. Rodbell, and A. G. Klein.** 2005. Regional synthesis of last glacial maximum snowlines in the tropical Andes, South America. *Quaternary International* 138–139: 145–167.
- Squeo, F. A., B. G. Warner, R. Aravena, and D. Espinoza.** 2006. Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural* 79: 245–255.
- Suárez, E., S. Chimbolema, R. Jaramillo, L. Zurita-Arthos, P. Arellano, R. A. Chimner, and E. A. Lilleskov.** in rev. Challenges and opportunities for restoration of high-elevation Andean peatlands in Ecuador. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.
- Tonneijck, F. H., B. Jansen, K. G. J. Nierop, J. M. Verstraten, J. Sevink, and L. De Lange.** 2010. Towards understanding of carbon stocks and stabilization in volcanic ash soils in natural Andean ecosystems of northern Ecuador. *European Journal of Soil Science* 61: 392–405.
- Urbina, J. C., and J. C. Benavides.** 2015. Simulated Small Scale Disturbances Increase Decomposition Rates and Facilitates Invasive Species Encroachment in a High Elevation Tropical Andean Peatland. *Biotropica* 47: 143–151.
- USDA.** 1999. *Soil Survey: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. 2nd ed. USDA, Washington D.C.
- Verzijl, A., and S. Guerrero-Quispe.** 2013. The System Nobody Sees: Irrigated Wetland Management and Alpaca Herding in the Peruvian Andes. *Mountain Research and Development* 33: 280–293.
- Vitt, D. H.** 2008. Peatlands. In S. E. Jørgensen and B. D. Fath (Eds.) *Encyclopedia of Ecology*. pp. 2656–2664, Academic Press, Oxford. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080454054003189>.
- World Energy Council.** 2013. *World Energy Resources: 2013 Survey*. London.
- White-Nockleby, C., Prieto, M., Yager, K., & Meneses, R. I.** (2021). Understanding bofedales as cultural landscapes in the central Andes. *Wetlands*, 41(8), 1–14.
- Yu, Z., D. W. Beilman, S. Frohling, G. M. MacDonald, N. T. Roulet, P. Camill, and D. J. Charman.** 2011. Peatlands and their role in the global carbon cycle. *Eos, Transactions, American Geophysical Union* 92: 97–98.





Introducción a la restauración de turberas de páramo en el Ecuador

/ 35 /

Esteban Suárez¹, Segundo Chimbolema¹, Ricardo Jaramillo¹, Erik A. Lilleskov² y Rodney, A. Chimner³

¹ Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales/Instituto Biosfera. Universidad San Francisco de Quito

² USDA Forest Service Northern Research Station, Houghton, Michigan, EUA

³ College of Forest Resources and Environmental Science, Michigan Technological University, Houghton, Michigan, EUA

La restauración ecológica se define como un conjunto de procesos para propiciar la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido; el objetivo es regresarlo a su trayectoria histórica (Murcia & Guariguata 2014, Gann *et al.* 2019). En su concepción moderna, se trata de un proceso que intenta: i) ser participativo, involucrando a todos los usuarios legítimos y otros actores del ecosistema degradado; ii) utilizar la mejor información disponible sobre los ecosistemas de referencia en el contexto del actual cambio ambiental, y iii) alcanzar la mayor recuperación posible mediante el monitoreo y la definición de objetivos y estándares transparentes (Gann *et al.* 2019). Como complemento a la biología de la conservación, la restauración ecológica puede verse como la culminación de un continuo de actividades regenerativas que intentan a) reducir la degradación ambiental y b) revertir el deterioro de los ecosistemas y la fragmentación del paisaje. La naturaleza y la forma de las iniciativas de restauración ecológica son tan variadas como los ambientes en los que se aplican, y dependerán de las características ecológicas del sitio, el tipo de impactos que este ha experimentado y el contexto socioeconómico y cultural que enmarca esos impactos. Desde esta perspectiva, en este capítulo ofrecemos un esquema simplificado para planificar e implementar proyectos de restauración ecológica en turberas de páramo con base en los lineamientos generales propuestos por la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER).

La restauración de turberas suele ser diferente a la de otros tipos de ecosistemas. En muchos ambientes terrestres, la restauración comienza por eliminar las presiones o los factores de estrés y recuperar los elementos claves de la vegetación nativa para promover el restablecimiento de las funciones ecológicas. En las turberas, por el contrario, es esencial comenzar por restaurar el funcionamiento hidrológico que permitió su formación. Desde esta perspectiva, la restauración de una turbera suele iniciarse con el bloqueo de los drenajes que la están secando y la recuperación de la vegetación. La técnica que se utilice para hacerlo depende mucho de los fondos disponibles y del tipo y disposición de los canales.

Al igual que en otros ecosistemas, el proceso para la restauración de una turbera es único y debe diseñarse a partir de la historia, las condiciones y la idiosincrasia de ese sitio, por lo que es imposible ofrecer protocolos fijos para diseñar e implementar la restauración. Sin embargo, sí es posible ofrecer una guía general de las etapas que idealmente deberían completarse en todo proceso de restauración. La posibilidad de implementar todas estas etapas dependerá tanto de las particularidades de cada sitio como de los fondos y tiempo disponibles. Sin embargo, recomendamos que, en lo posible, se cumplan todas las fases y se utilice un principio de precaución y monitoreo frecuente para evitar consecuencias no intencionales o inadvertidas, o para poder corregirlas si se presentan.

Fases del programa de restauración

Un proyecto de restauración de una turbera puede estructurarse a través de tres fases principales: Planificación, Implementación y Monitoreo y manejo adaptativo. (Figura 1)

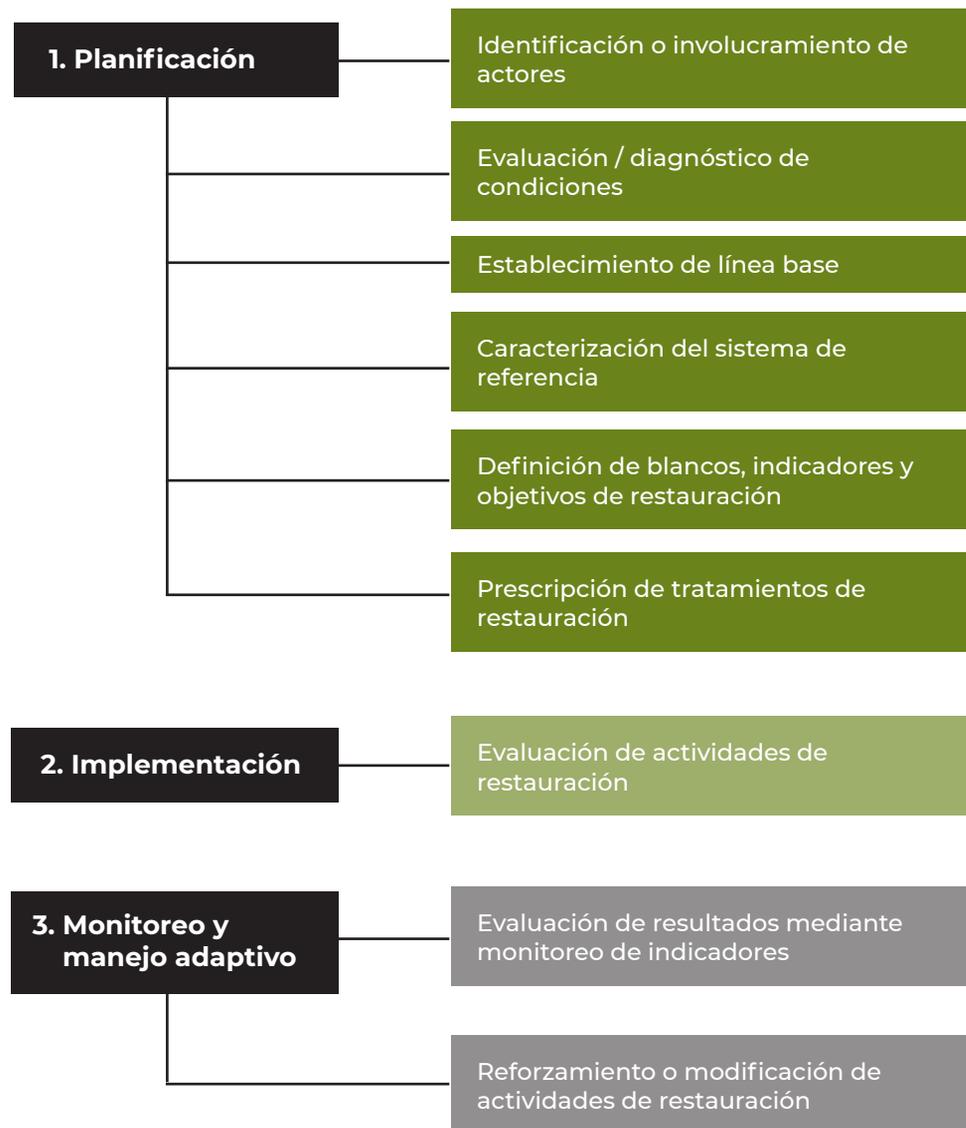


Figura 1. Fases para la implementación de un proyecto de restauración

1. Planificación

Este proceso incluye los siguientes pasos no necesariamente secuenciales:

1.1. Identificación y participación de actores: todo proyecto de restauración requiere la identificación de los actores relevantes que tengan o podrían tener interés o injerencia en la restauración y/o el manejo de la turbera. La participación de estos actores es clave no solo para comprender la dinámica que ha llevado a la degradación de la turbera, sino también para diseñar el entramado social o institucional en el que se deberían apoyar los procesos de restauración y conservación del sitio a largo plazo. Además de promover la participación de los actores clave relacionados con la dinámica socioambiental de la turbera, esta fase del proceso debe utilizarse para identificar o diseñar alternativas económicas o productivas que ayuden a los usuarios del ecosistema y les permita embarcarse y participar positivamente en la iniciativa de restauración. Para potenciar la sostenibilidad del proceso de restauración a largo plazo, esta fase debería incluir actividades de capacitación o entrenamiento que aseguren la participación activa de todos los actores clave en las etapas importantes de la restauración.

1.2. Evaluación y diagnóstico: antes de iniciar la restauración, se requiere una evaluación integral del estado y las condiciones de la turbera y del paisaje que la rodea. Como mínimo, esta evaluación debería registrar datos sobre:

- Los tipos de impactos antropogénicos presentes en la turbera: el diagnóstico de la turbera debe incluir información sobre las amenazas presentes en el si-

tio. Deben distinguirse las amenazas actuales de las amenazas pasivas, categorizadas de acuerdo con la intensidad de sus impactos sobre las turberas. Este inventario de amenazas o presiones sirve para planificar y priorizar las actividades de restauración de acuerdo con los recursos disponibles. Por ejemplo, si existe una amenaza que no afecta directamente la estructura o funcionamiento de la turbera (como la acumulación de basura), su remediación puede ser postergada para una fase posterior del proceso. Por el contrario, si existen alteraciones, como canales, que afectan directamente la hidrología de la turbera, estas deben ser consideradas como prioritarias en el proceso de restauración.

- El número, la longitud y las características de los drenajes: los canales o zanjas que se cavan en las turberas son una de las principales alteraciones que debe remediar el proceso de restauración. Estas zanjas, que se cavan para bajar el nivel freático y secar la turbera, son muy frecuentes y están presentes en casi todo sitio que haya sido utilizado para agricultura, ganadería o extracción de agua. Idealmente, esta información debería estar incluida en un mapa o esquema de la turbera que puede elaborarse a partir de imágenes de satélite, fotografías aéreas y/o evaluaciones de campo.
- El estado de la cuenca que rodea la turbera, especialmente en lo referente al estado de uso del suelo y la conectividad de los sistemas hidrológicos que podrían aportar a la turbera.
- El contexto socioeconómico de los usuarios directos y otros actores potencialmente interesados en el uso y la restauración de la turbera.

Esta información debe ser analizada para planificar la fase de implementación y monitoreo de la restauración.

1.3. Establecimiento de la línea base: en la medida de lo posible, todo proceso de restauración de turberas debería contar con al menos 12 meses de información sobre el nivel freático del sitio, antes de iniciar actividades como el relleno y bloqueo de los canales o la recuperación de la vegetación. La información sobre el nivel freático nos permite cuantificar la alteración que ha sufrido el funcionamiento hidrológico de la turbera pero, además, nos permitirá monitorear si el proceso de restauración está contribuyendo a la recuperación del funcionamiento de la turbera. Para monitorear el nivel freático de la turbera existen varias técnicas, pero la más fácil y barata es utilizar pozos contruidos con tubos de PVC que se entierran en el suelo de la turbera y con perforaciones que permitan la entrada del agua hacia el interior del tubo, lo que facilita el registro del nivel freático en el suelo (Anexo I). Con uno o varios de estos pozos instalados en un sitio podemos medir semanal o mensualmente el nivel del agua en el interior del pozo para desarrollar un perfil del nivel freático de la turbera antes de la restauración. Este perfil es nuestra línea base para evaluar cualquier cambio en el nivel freático que ocurra a raíz de las actividades de restauración. El proceso mismo de restauración no depende directamente de tener información sobre nivel freático. Sin embargo, sin esta información es prácticamente imposible determinar si el proceso de restauración está promoviendo una recuperación del funcionamiento hidrológico de la turbera. En casos ideales, el monitoreo del nivel freático puede ser acompañado con información de precipitación de una estación meteorológica cercana; esto permitirá un análisis detallado del comporta-



Canales de drenaje en la turbera de Chakana

miento de la capa freática en respuesta a los patrones de precipitación.

Para el levantamiento de la línea base de la vegetación se puede utilizar cualquier método tradicional para caracterizar la composición y la estructura de las comunidades vegetales en ecosistemas abiertos. Sin importar el método que se utilice (por ejemplo, cuadrantes y transectos), es importante que las unidades de muestreo sean identificadas con marcas permanentes y ubicadas en un sistema de información geográfica (SIG) para que puedan ser estudiadas nuevamente conforme avanza el proceso de restauración. Entre otras cosas, la línea base de la vegetación debe servir para evaluar los cambios en estructura, composición y dominancia de la vegetación que deberían ocurrir luego de la restauración. Debido a que muchas turberas drenadas han sido extensamente utilizadas para

la ganadería, es importante registrar la presencia de especies exóticas que frecuentemente son dispersadas por el ganado.

1.4. Caracterización de sistemas de referencia: simultáneamente al levantamiento de la información de línea de base se debe buscar en el área otra turbera que tenga condiciones ambientales similares a las de la que se quiere restaurar, pero que no haya sido drenada o alterada significativamente. La vegetación y el nivel freático de esa turbera “control” servirán como referencia de las condiciones y la estructura de la vegetación que se quiere alcanzar como resultado del proceso de restauración.

En términos reales, encontrar buenos sitios de control puede ser extremadamente difícil porque las turberas que están cerca unas de otras tienden a estar sujetas al mismo tipo de presiones. Sin embargo, incluso si no son sitios ideales, es importante contar con algún tipo de referencia de cómo debería lucir y funcionar

una turbera que no haya sido drenada. En ausencia de turberas de referencia en buen estado, otra alternativa es encontrar una turbera cercana que tenga presiones similares y que no vaya a ser inmediatamente restaurada. Los patrones de nivel freático y vegetación de esa turbera alterada pueden servir como referencia de las condiciones de las que la turbera de interés debería alejarse paulatinamente como respuesta a las actividades de restauración.

1.5. Definición de blancos, indicadores y objetivos de restauración: con base en la información de los sitios de referencia, se deben establecer blancos u objetivos que serán utilizados como marca para evaluar los avances de las actividades de restauración. Por ejemplo, se podría establecer como objetivo “levantar en 50 centímetros el nivel freático promedio anual en un período de tres años” o “reducir en un 30% la variabilidad anual del nivel freático”. Otros objetivos pueden estar relacionados con la cobertura de la vegetación nativa o la representación de algunas especies típicas de turberas. El avance hacia esos objetivos nos permitirá determinar si las actividades de restauración están siendo efectivas o si necesitan modificarse o reforzarse.

1.6. Planificación de los tratamientos de restauración: una vez que se cuenta con una línea de base lo más completa posible y con objetivos concretos para el monitoreo, el siguiente paso es hacer un **plan de restauración** que al menos incluya i) una descripción de las actividades de restauración que se implementarán en la turbera, ii) detalles sobre las técnicas que se utilizarán para restaurar cada canal, y iii) un cronograma de implementación y monitoreo. En caso de que no se cuente con fondos suficientes para implementar todo el plan, este debería identificar las acciones



de restauración que son más urgentes o prioritarias (ver sección 1.2).

2. Implementación

Esta etapa consiste sencillamente en la ejecución del plan de restauración descrito en el paso anterior. Una consideración importante para este paso se relaciona con su calendario. En condiciones ideales, la restauración debería iniciarse solamente cuando ya se cuente con buena información de línea de base. Otro punto fundamental es realizar un monitoreo cercano de la respuesta de la turbera durante la implementación de las actividades de restauración, especialmente cuando estas involucran bloqueo de canales. En algunos casos, bloqueos mal diseñados o grandes eventos de precipitación pueden aumentar o alterar el flujo del agua, dañando barreras y produciendo erosión lateral o nuevos canales de escorrentía. Por esto, el monitoreo durante la implementación de la restauración permitirá corregir esos posibles problemas.

3. Monitoreo y manejo adaptativo

Como en cualquier iniciativa de conservación, en los proyectos de restauración es fundamental establecer un sistema de monitoreo que permita la evaluación de los resultados del proyecto y, en caso de que sean necesarias, la adopción de medidas correctivas (Aguilar-Garavito & Ramírez 2015). Las variables básicas para el sistema de monitoreo deben ser las mismas para las que se levantó información de línea de base (entre ellas, nivel freático y estructura y composición de la vegetación), y los mismos blancos u objetivos de

monitoreo (ver secciones 1.3 y 1.5). Sin embargo, se pueden incluir otras variables estructurales o funcionales adicionales que informen sobre el estado y funcionamiento de la turbera. Algunas variables que podrían considerarse son la respiración ecosistémica, la exportación de materia orgánica disuelta y la presencia de especies de fauna propias de turberas. La frecuencia y la intensidad del monitoreo siempre dependen de los recursos disponibles. Sin embargo, como regla general, recomendamos que se monitoree el nivel freático cada 15 días o cada mes, y la vegetación una vez cada seis meses al inicio de la restauración, y una vez al año cuando el proceso ya esté avanzado.

En el caso de que se hayan utilizado bloqueos o diques para neutralizar los drenajes, es importante monitorear constantemente su estado y funcionamiento, especialmente en la época de lluvias. El incremento del flujo en los canales puede reventar los diques o, en algunos casos, generar nuevos procesos de erosión. Si esto sucediera, se deben reparar los bloqueos dañados y, si es necesario, construir nuevos diques para reducir aún más la velocidad y la energía del agua que circula por los canales.

La clave del éxito del proceso de restauración radica en la utilización de los datos de monitoreo para la toma de decisiones. Si los resultados del monitoreo muestran, por ejemplo, que el nivel freático se está recuperando con relación a la línea de base, esto sugiere que la restauración estaría rehumedeciendo la turbera como se esperaría luego del bloqueo de los canales. Por el contrario, si el monitoreo no muestra signos de una respuesta positiva del nivel freático, es posible que los bloqueos no hayan sido eficientes en restar energía al agua en los canales y redistribuirla en la turbera.

Técnicas básicas para restauración de canales o zanjas en turberas de páramo

Los canales o zanjas que se cavan para drenar las turberas son uno de los impactos más frecuentes y significativos que sufren estos ecosistemas. Al secar el suelo, los canales afectan directamente a una de las principales características funcionales de las turberas. En este contexto, a pesar de que no son la única forma de alteración, en esta sección describimos las principales técnicas que hemos utilizado para restaurar canales en turberas de páramos en el norte del Ecuador. Estas técnicas han sido adaptadas a partir de protocolos utilizados en turberas de Norteamérica y Perú (Chimner *et al.* 2019, Planas-Clarke *et al.* 2020).

/ 42 /

La eliminación de los canales que drenan una turbera tiene dos objetivos principales que se deben tomar en cuenta al planificar su proceso de restauración. Por un lado, se pretende evitar que los canales sigan sacando agua de la turbera, fomentando de esa manera que el nivel freático se eleve nuevamente y se restauren las condiciones anóxicas que permiten el funcionamiento de la turbera. Por otro lado, se busca reducir el movimiento del agua que puede generar procesos de erosión y excavación en los canales y drenajes naturales de la turbera.

Para anular los canales artificiales en una turbera, la opción ideal es rellenarlos completamente, para lo que se puede utilizar una variedad de técnicas, desde el uso de tractores o retroexcavadoras para mover suelo rápidamente y rellenar los canales, hasta el uso de bolsas de yute rellenas con turba o con otro tipo

de suelo o materia orgánica que se colocan a lo largo de los canales, rellenándolos completamente. Sin embargo, en muchos casos el acceso a maquinaria pesada puede ser caro, o poco conveniente para sitios con suelos y vegetación muy frágiles. Adicionalmente, el relleno de sistemas de canales muy extensos puede resultar largo y costoso. En estos casos, en lugar de rellenar los canales completamente se puede optar por construir bloqueos o diques que reduzcan el flujo del agua en los canales y lo redistribuyan en la turbera (Figura 2).

Para las turberas de páramo, hasta la fecha hemos probado con éxito dos técnicas de bloqueo y restauración de canales. Para canales grandes o que mueven mucha agua utilizamos diques de madera rústica que se construyen a lo largo del canal. La distancia entre los diques depende de la pendiente del terreno. En zonas planas, los diques pueden estar separados por 10 metros o más, dependiendo de las condiciones del sitio, mientras que en áreas más empinadas los diques deben estar más juntos. El criterio más importante es quitar la energía del agua que se mueve por el canal para que no cause erosión y tienda a redistribuirse en la turbera.

Figura 2. Ejemplos de diques utilizados para bloquear el flujo del agua en drenajes artificiales construidos en turberas de páramo.



En canales más pequeños o que mueven poca agua hemos utilizado diques construidos con pacas de paja (Anexo II). Estas tienen la ventaja de ser baratas y fáciles de instalar en los canales, cubriendo áreas relativamente grandes. El peso de las pacas saturadas de agua suele ser suficiente para fijarlas contra el fondo del canal. Sin embargo, en algunas ocasiones la velocidad del agua puede mover las pacas, por lo que se deben fijar con estacas de madera. Otra ventaja de las pacas es que pueden servir como sustrato orgánico para pedazos de vegetación nativa con suelo (llamados localmente *chambas*) que faciliten la restauración.

La técnica que se utilice para rellenar o bloquear los canales dependerá mucho de los recursos disponibles y de las condiciones del sitio (incluyendo la topografía, las vías de acceso, el estado de la vegetación y los canales). Las técnicas que describimos aquí son solo un ejemplo, y las posibilidades de materiales y técnicas disponibles son amplias. Desde esta perspectiva, es útil referirse a la amplia experiencia en restauración de turberas de montaña que ya se ha desarrollado en otras partes del mundo (Armstrong *et al.* 2009, Parry *et al.* 2014, Chimner *et al.* 2017), para adaptarla a las condiciones de nuestras cordilleras.



Canal restaurado en la turbera de Chakana.

Restauración de la vegetación

A pesar de que los páramos están expuestos a una variedad de impactos antropogénicos, las iniciativas de restauración de estos ecosistemas aun son escasas y están casi completamente limitadas a los proyectos desarrollados en Colombia (Vargas-Ríos & Velasco-Linares 2011, p., Cabrera & Ramírez 2014). Las experiencias específicas sobre restauración de vegetación de turberas de páramo son aún más limitadas.

Esta sección no pretende ser una revisión exhaustiva de las técnicas y los enfoques de restauración ecológica. En el caso de las turberas, la restauración de la vegetación puede implementarse mediante enfoques activos - basados en acciones puntuales para la recuperación de elementos estructurales importantes de la vegetación original - o enfoques más pasivos, en los que se asume que la recuperación del nivel freático puede iniciar un proceso natural de recuperación de la vegetación de la turbera. La elección de estos enfoques o su posible combinación dependerá del estado de la vegetación antes de la restauración, de los recursos disponibles y de la información de línea base con la que se cuenta. Por ejemplo, si tenemos información histórica o sitios de referencia apropiados que permitan conocer la estructura y la composición de la vegetación original de la turbera, podemos utilizarlos para introducir activamente plántulas o propágulos de las especies que debieron dominar el sitio antes de la intervención antropogénica. En general, las plantas de rápido crecimiento y alta biomasa, como varias especies de juncos o ciperáceas, pueden ser apropiadas si es que estaban presentes en la turbera. Sin embargo, es esencial contar con algún tipo de información de referencia antes de proceder a la reintroducción

de cualquier especie, lo cual en muchos casos es casi imposible.

Si no se cuenta con recursos o con información de referencia, una opción es concentrar los esfuerzos de restauración en neutralizar los canales que drenan la turbera y esperar que la recuperación del nivel freático genere condiciones que excluyan a las especies exóticas o a las especies de suelos bien drenados, favoreciendo así el establecimiento de plantas típicas de turbera. Este enfoque posiblemente tomará mucho más tiempo y podría estar limitado por la disponibilidad natural de semillas y propágulos de especies de turbera en el paisaje. Desde esta perspectiva, es fundamental realizar un monitoreo constante de la vegetación para documentar los cambios que podrían ocurrir y evaluar si se necesitan intervenciones más activas para restaurar la comunidad vegetal.

Referencias

- Aguilar-Garavito, M., and W. Ramírez** eds. 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.
- Armstrong, A., J. Holden, P. Kay, M. Foulger, A. T. McDonald, and A. Walker.** 2009. Drain-blocking techniques on blanket peat: A framework for best practice. *Journal of Environmental Management* 90: 3512–3519.
- Cabrera, M., and W. Ramírez.** 2014. Restauración ecológica de los páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Chimner, R. A., D. J. Cooper, M. D. Bidwell, A. Culpepper, K. Zillich, and K. Nydick.** 2019. A new method for restoring ditches in peatlands: ditch filling with fiber bales. *Restoration Ecology* 27: 63–69.
- Chimner, R. A., D. J. Cooper, F. C. Wurster, and F. Rochefort.** 2017. An overview of peatland restoration in North America: where are we after 25 years? *Restoration Ecology*: DOI: 10.1111/rec.12434. *Restoration Ecology* 25: 283–292.
- Gann, G. D., T. McDonald, B. Walder, J. Aronson, C. R. Nelson, J. Jonson, J. G. Hallett, C. Eisenberg, M. R. Guariguata, J. Liu, F. Hua, C. Echeverría, E. Gonzales, N. Shaw, K. Decker, and K. W. Dixon.** 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* 27: S1–S46.
- Murcia, C., and M. R. Guariguata.** 2014. La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- Parry, L. E., J. Holden, and P. J. Chapman.** 2014. Restoration of blanket peatlands. *Journal of Environmental Management* 133: 193–205.
- Planas-Clarke, A. M., R. A. Chimner, J. A. Hribljan, E. A. Lilleskov, and B. Fuentealba.** 2020. The effect of water table levels and short-term ditch restoration on mountain peatland carbon cycling in the Cordillera Blanca, Peru. *Wetlands Ecology and Management* 28: 51–69.
- Vargas-Ríos, O., and P. Velasco-Linares.** 2011. Reviviendo nuestros páramos: restauración ecológica de páramos. Proyecto Páramo Andino.

Anexos

Anexo I. Monitoreo del nivel freático

En su versión más simple, el monitoreo del nivel freático utiliza pozos elaborados con tubos de PVC de 10 centímetros de diámetro y 50 a 100 centímetros de longitud. Para construir e instalar los pozos siga los siguientes pasos:

Construcción del pozo (Figura 3)

- 1) Corte el tubo en pedazos de la longitud deseada.
- 2) Selle un extremo del pozo utilizando un tapón de PVC y pegamento para PVC para asegurar que el tapón no se desprenda.
- 3) Utilizando un taladro, haga múltiples perforaciones a todo lo largo del tubo y con una separación de aproximadamente 10 centímetros entre cada orificio.
- 4) Una vez que el pozo esté perforado, fórralo por fuera con un pedazo de tela de velo tirol que puede ser fijado utilizando cinchas o amarras de plástico (zip-ties). Esta malla permitirá el paso del agua hacia adentro o hacia afuera del pozo a través de los orificios, pero evitará que tierra y otras partículas ingresen y terminen llenándolo.

Instalación del pozo:

- 5) Una vez en el campo, perfore el suelo de la turbera utilizando un barreno de diámetro similar al del pozo. La turba extraída del hueco puede ser descar-

tada o se puede coleccionar para análisis posteriores de materia orgánica y nutrientes. Con mucho cuidado, introduzca el pozo en el hueco lo más recto posible, evitando en así, alterar el suelo alrededor del pozo. Asegúrese de que el borde superior del pozo quede entre 10 y 15 centímetros por encima de la superficie del suelo, de manera que el agua superficial no pueda inundar el pozo.

- 6) Confirme que el pozo se está llenando de agua y tápelo con una tapa similar a la que se utilizó para el extremo inferior del pozo. Antes de tapar el pozo, es recomendable cortar una pequeña muesca de aproximadamente 2 centímetros de largo en el borde superior del pozo. Esta muesca evita que la tapa se quede atascada y facilita su remoción cada vez que se toma una medida en el pozo.
- 7) Anote la distancia (cm) entre el borde superior del pozo y la superficie del suelo. Esta distancia debe ser sustraída de cada medición de nivel freático que sea hecha en el pozo.

Medición de nivel freático:

- 8) Para medir el nivel freático, destape el pozo e introduzca una cinta métrica metálica, junto a la muesca marcada, hasta que la punta roce la superficie del agua en el interior del pozo. Registre la distancia entre la superficie del agua y el borde superior del pozo.
- 9) Si es necesario, mida la conductividad y el pH en el agua del pozo, y luego vacíe el pozo utilizando una gran jeringa construida con tubo de PVC. Al



Figura 3. Construcción del pozo para medición de nivel freático.

vaciar el pozo, trate de extraer el agua desde el fondo del pozo para limpiar la tierra y otros sedimentos que tienden a acumularse en el interior. Una vez que el pozo esté limpio, vuelva a poner la tapa hasta la siguiente medición.

- 10) Para obtener el valor correcto del nivel freático en cada medición utilice la fórmula:

$$NF = Pr - A$$

Donde:

NF = nivel freático

Pr = profundidad del agua medida desde el borde superior del pozo (cm)

A = distancia entre el borde superior del pozo y la superficie del suelo (cm)

Consideraciones adicionales:

- Si el nivel freático es muy bajo, la obscuridad en el pozo puede hacer muy difícil hacer una medición precisa. En estos casos es útil tener una pequeña linterna o la luz de un teléfono celular para iluminar el pozo y poder determinar correctamente el nivel del agua.
- Para reducir sesgos entre mediciones, marque un punto en el borde superior del pozo para hacer las mediciones siempre en el mismo lado.
- En aquellas turberas en las que el nivel freático es muy alto, el agua puede llegar a acumularse en la superficie durante las épocas más lluviosas. En estos casos es importante revisar el borde superior del pozo para asegurarse de que siempre esté por

encima del agua, de manera que el pozo no se llene con agua superficial.

- Si se cuenta con suficientes recursos económicos, el nivel freático en los pozos también se puede medir con sensores automáticos que se colocan en el fondo del pozo y utilizan la presión ejercida por la columna de agua en el interior del tubo para registrar la altura del nivel freático. Los datos son registrados automáticamente por el sensor y, una vez que son descargados en una computadora, se los compensa con la presión atmosférica medida simultáneamente por un sensor independiente colocado en la misma zona. Estos sensores pueden ser costosos pero tienen la ventaja de que toman mediciones automáticas y así multiplican la cantidad de información que se puede recopilar para un sitio, sin un incremento importante de los costos logísticos.

Anexo II. Construcción de dos tipos de barreras para restauración de canales en turberas de páramo.

Los métodos y materiales para la construcción de barreras para neutralizar zanjas o canales en turberas necesariamente cambiarán de acuerdo con las condiciones específicas de cada sitio. Los materiales disponibles, los recursos humanos y económicos, y el tamaño y accesibilidad de los sitios son solo algunos de los factores que se deben tomar en cuenta. Desde esta perspectiva, no existen recetas o protocolos fijos; la guía que presentamos aquí pretende ofrecer un ejemplo de los tipos de barreras que hemos

probado y de los factores que se deben considerar al construirlas.

Barreras de madera: este tipo de barrera se presta bien para neutralizar canales anchos y que transporten mucha agua. Si el canal es profundo y tiene un caudal alto, la barrera puede reventarse por la presión del agua.

Para la construcción de estas barreras se utilizan tablas de madera rústica. Es conveniente tener tablas largas (aproximadamente 250 x 40 centímetros) para poder cortarlas de acuerdo con las necesidades de cada barrera. Una vez que se han planificado el número y la ubicación de las barreras, se inicia la construcción con

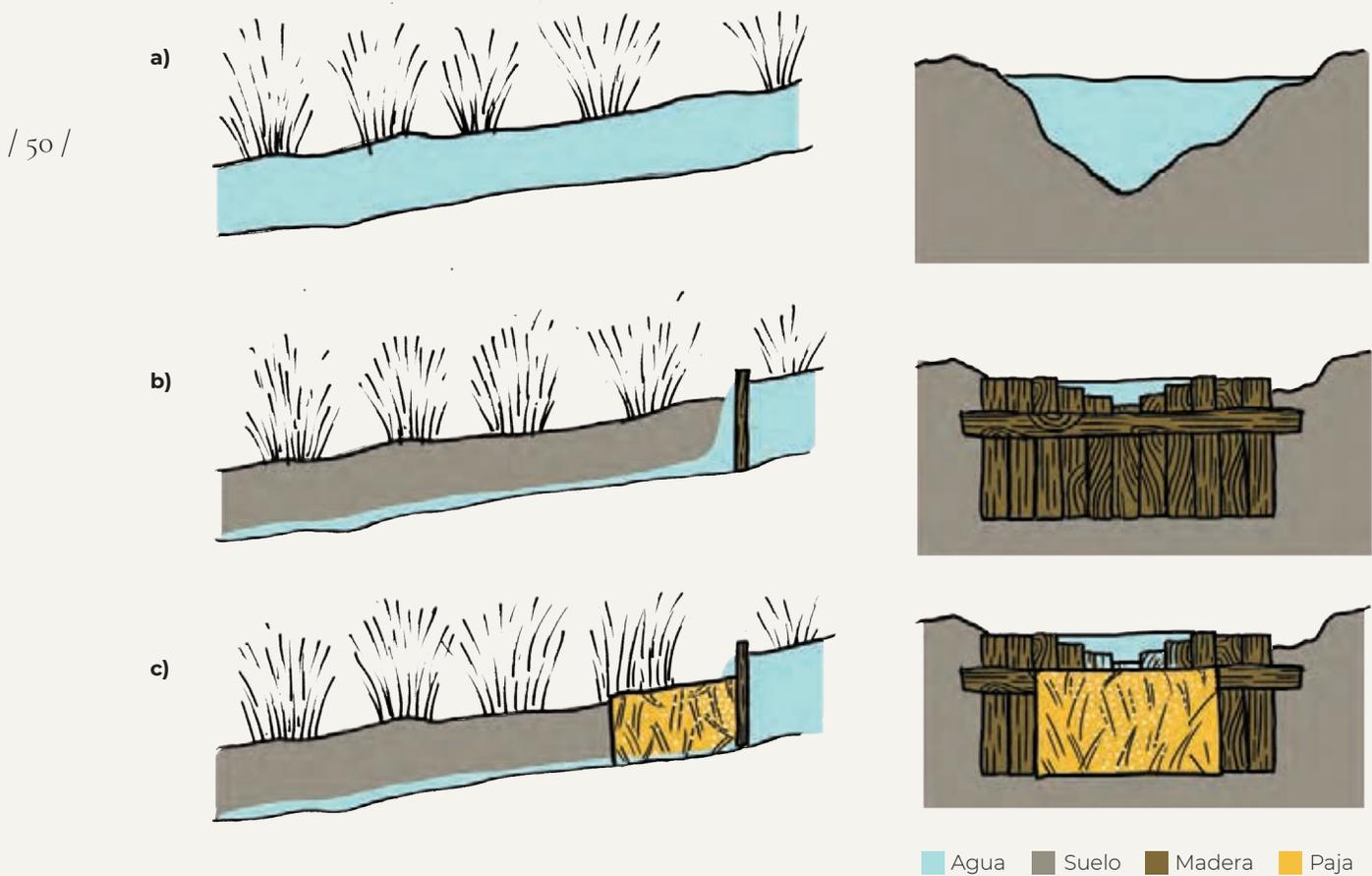


Figura 4. Pasos para la construcción de una barrera o dique.

los canales de la zona más elevada de la turbera. Para la construcción de cada barrera se siguen de manera general los siguientes pasos (Figura 4):

- 1) Utilizando una barreta de hierro, haga un corte transversal en el suelo que se extienda a cada lado del canal en una distancia igual al ancho que tendrá la barrera. Este corte debería tener al menos 30 o 40 centímetros de profundidad y un espesor similar al de las tablas que se emplearán.
- 2) Una vez hecho el corte, comience a construir la barrera introduciendo tablas en posición vertical a lo largo del corte. Estas tablas deben ser enterradas en la turba por lo menos hasta una profundidad de 60 a 100 centímetros, de forma que limiten efectivamente el movimiento del agua por debajo de la barrera. Asegúrese de que la parte superior de las tablas sobresalga lo suficiente como para bloquear el movimiento del agua por el canal y forzar su redistribución.
- 3) Como se muestra en la Figura 5, la parte central de la barrera (en el centro del canal) debería incluir un vertedero para evacuar el exceso de agua que puede acumularse detrás de la barrera durante las épocas más lluviosas. La altura del borde de este vertedero depende del relieve de cada sitio específico. Si el borde es demasiado bajo en comparación con la altura del terreno alrededor del canal, el agua fluirá por el canal casi de la misma forma en que lo haría si la barrera no existiera. Por el contrario, si el borde del vertedero es demasiado alto, la barrera podría acumular demasiada agua y formar un espejo de agua grande que podría reventarla. Al definir la altura del vertedero, recuerde que la función de las barreras no es formar una represa sino reducir

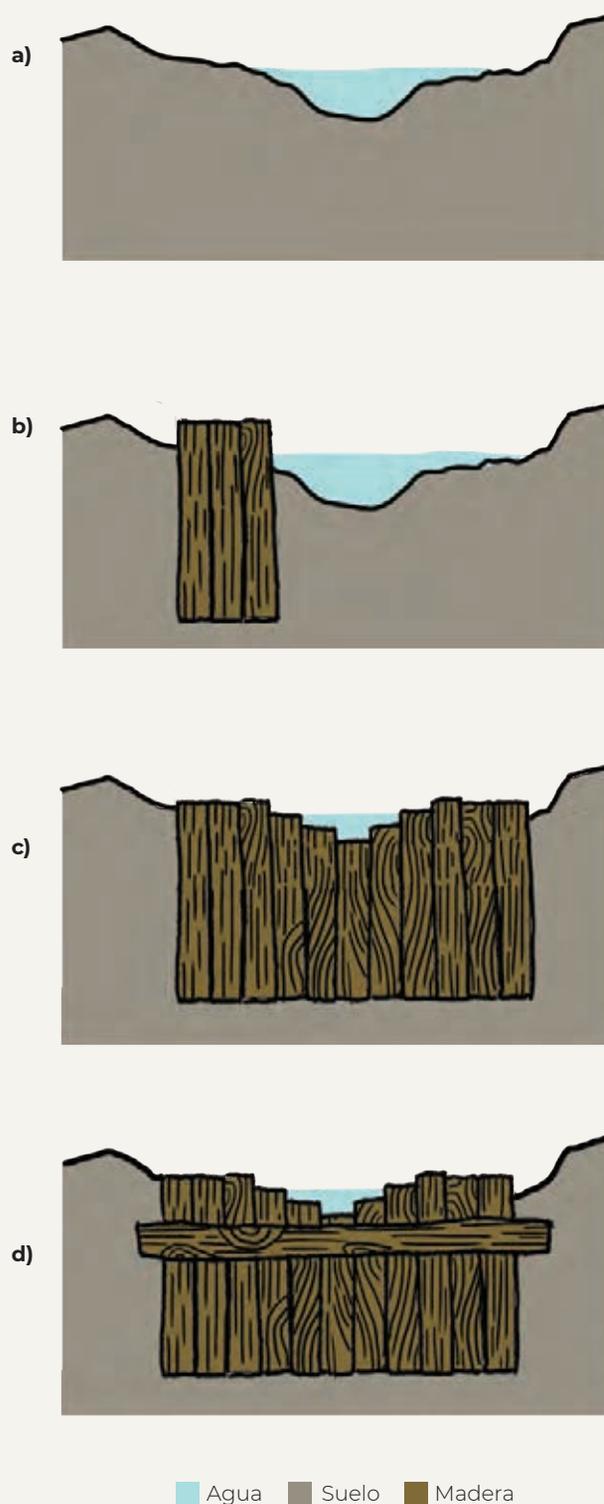


Figura 5. Pasos para la construcción de una barrera con vertedero.

la energía y la velocidad del agua que se mueve por los canales y forzar su redistribución y absorción en la turbera.

4) Una vez que la barrera de tablas verticales está completa, refuerce su estructura con tablas horizontales clavadas a través de la barrera. La disposición y el tamaño de las alas de cada barrera dependen de la topografía del terreno alrededor del canal. El criterio más importante es lograr que las barreras redistribuyan el agua y le quiten velocidad. También es importante asegurar que el agua que podría fluir por los extremos de una barrera en las épocas más lluviosas no inicie nuevos procesos de erosión alrededor de los canales. Si esto sucede, quizás se necesite extender la barrera o reducir un poco la altura del vertedero para que no se acumule demasiada agua.

5) Si el canal es muy ancho y profundo, las barreras de madera pueden ser complementadas con bolsas de arena o pacas de heno u otro material vegetal ubicadas en la parte inferior (aguas abajo) de la barrera. Estas pacas, que pueden ser aseguradas con estacas, cumplen un doble propósito. Primero, ayudan a estabilizar la barrera y reducen aún más la energía del agua en el canal. Segundo, ayudan a rellenar el relieve del canal y promueven una base de sustrato orgánico para la recuperación de la vegetación. De hecho, estas pacas pueden servir como base para sembrar chambas de vegetación nativa y así acelerar la consolidación de la barrera.

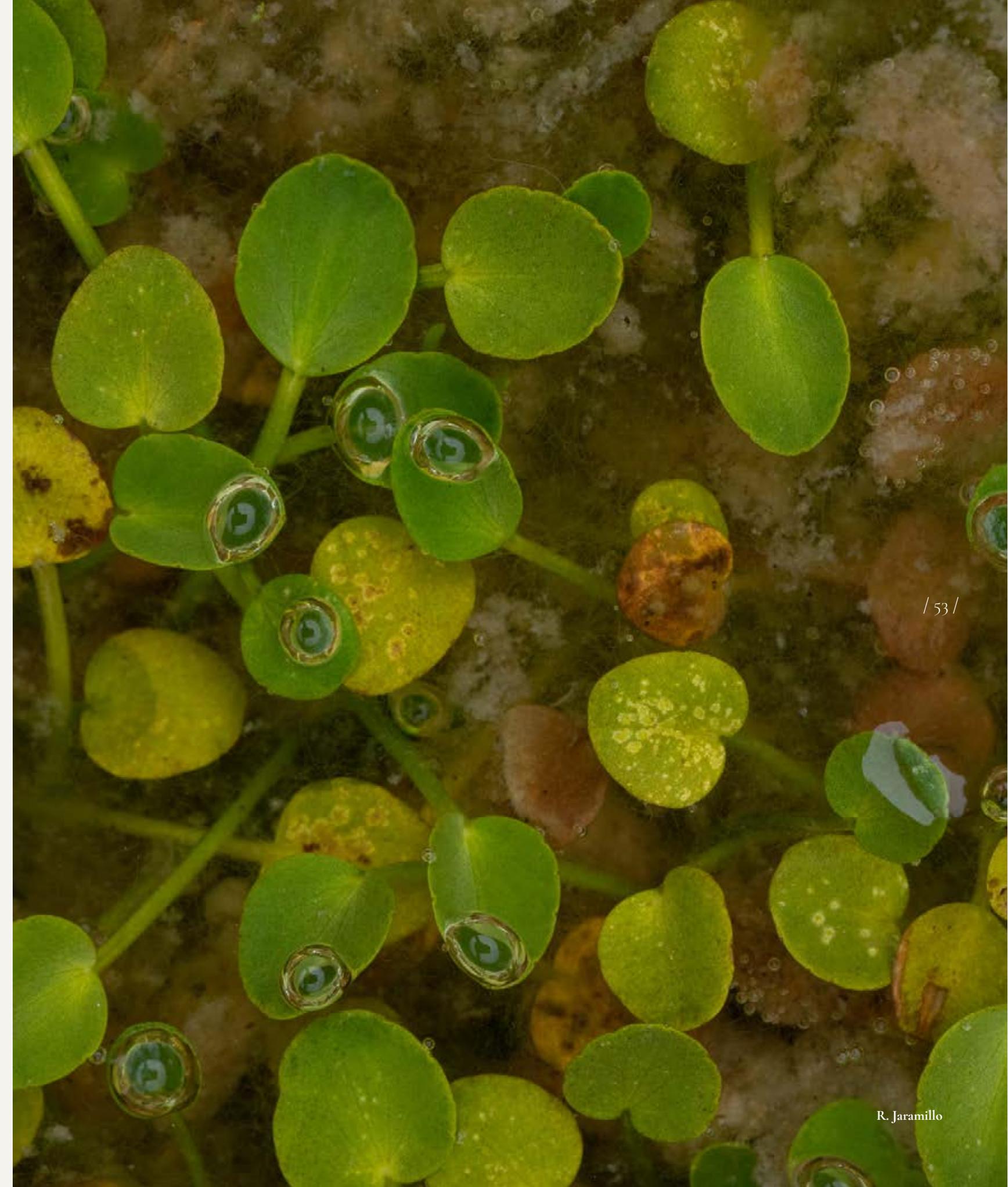
Barreras de pacas de paja: cuando los canales son extensos y los recursos son limitados, las pacas de heno o de otro material vegetal son una excelente alternativa para iniciativas de restauración de turberas. Las pacas de paja tienen la ventaja de que son baratas y relativamente fáciles de transportar. Adicionalmente, sirven

como sustrato orgánico para facilitar el crecimiento de vegetación sobre las barreras. La instalación de las pacas es sencilla y el único criterio es colocar suficientes pacas como para cubrir la totalidad del ancho del canal. Si el canal es muy profundo se pueden ubicar hasta dos niveles de pacas, pero es importante colocar primero una base de pacas, dejarlas que se saturen con agua y se consoliden, para luego completar el segundo nivel de la barrera y bloquear completamente el canal. Si las condiciones del sitio lo requieren, las barreras de pacas pueden ser reforzadas con estacas de madera. Sin embargo, en sitios con poca pendiente el peso de las pacas saturadas con agua suele ser suficiente para mantener la integridad de las barreras.

Una vez que están fijas, las barreras de pacas pueden ser cubiertas con chambas cortadas de la vegetación aledaña. Estas chambas ayudan a estabilizar la barrera, pero, además, contribuyen a recuperar la vegetación sobre el canal.

Un inconveniente con las barreras de pacas es que son frágiles y sensibles al pisoteo, especialmente cuando han pasado varios meses instaladas. Por esta razón, no conviene utilizarlas en áreas que todavía estén sujetas a pastoreo.

Aparte de las barreras de pacas y de madera hay muchas otras formas de bloquear canales. En algunos casos se pueden utilizar costales o sacos de yute rellenos con turba o suelo extraídos del mismo lugar. Estas barreras suelen ser muy estables pero su construcción demanda más tiempo y puede estar limitada por la disponibilidad de suelo para rellenar los sacos. También se pueden hacer diques con rocas y cemento, y hasta con planchas de metal o latón. La elección de la técnica y los materiales finalmente depende de los recursos disponibles y las características del sitio.





/ 54 /

Implementación de un proyecto piloto de restauración ecológica en una turbera de páramo en el norte del Ecuador

/ 55 /

Segundo Chimbolema¹, Ricardo Jaramillo¹, Fundación de
Conservación Jocotoco y Esteban Suárez¹

¹ Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales/Instituto Biosfera. Universidad San Francisco de
Quito

La restauración ecológica de turberas de páramo es un campo prácticamente inexplorado. A pesar de que estos ecosistemas son un elemento importante del paisaje altoandino (Hribljan *et al.* 2017) y tienen un papel preponderante en la acumulación de carbono y la regulación hídrica (Mosquera *et al.* 2015, Hribljan *et al.* 2016, 2017), las turberas de páramo han pasado prácticamente desapercibidas y no se las ha tomado en cuenta explícitamente en los planes de manejo y conservación de los paisajes de montaña (Suárez *et al.* in rev.). Más aún, el estado de estos ecosistemas en el Ecuador es prácticamente desconocido y no se cuenta con planes ni experiencias para restaurarlos y proteger su biodiversidad y servicios ecosistémicos.

El caso de estudio que presentamos aquí, la restauración ecológica de una turbera de la Reserva Chakana de la Fundación de Conservación Jocotoco en el norte del Ecuador, es representativo de las condiciones que se repiten en muchas iniciativas de conservación o restauración. En primer lugar, la oportunidad y los recursos para restaurar la turbera se presentaron de manera fortuita. En segundo lugar, fue imposible desarrollar una línea base sólida. En tercer lugar, no pudimos contar con un sitio de control apropiado. A pesar de estas limitaciones, la restauración de este sitio ha sido exitosa y genera varias lecciones que pueden informar futuros proyectos. En este capítulo hacemos un breve recuento de la historia de este sitio y describimos el desarrollo, los resultados y las conclusiones de este proceso de restauración.

Descripción e historia de la turbera de Chakana

La turbera de Chakana, donde se implementó esta iniciativa de restauración, es una turbera de aproxi-



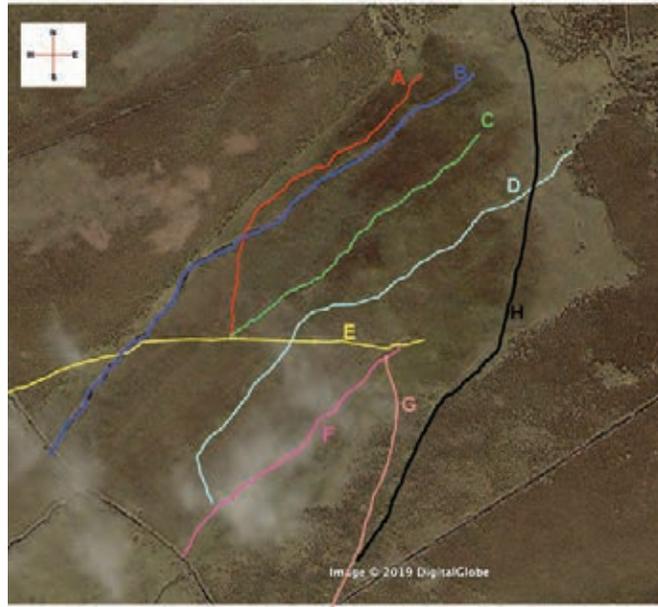
Figura 1. Fotografía aérea de la turbera de Chakana

madamente 21,3 hectáreas ubicada en la provincia de Pichincha ($0^{\circ}26'46.25''$ S; $78^{\circ}18'25.36''$ O), en los predios de la antigua hacienda Antisanilla (Figura 1). Esta turbera se encuentra en una amplia meseta que bordea el flanco oriental del flujo de lava de Muertepungo o Boliche. Su eje más largo descende en dirección hacia el sureste desde 3798 hasta 3744 m de elevación, con una inclinación promedio de 7,4%.

La propiedad de Chakana, parte de los extensos páramos que ascienden hacia el volcán Antisana, ha experimentado una larga historia de uso. Ya en 1880, el explorador y alpinista británico Edward Whymper recorrió esta zona y, de hecho, pasó una noche en la antigua casa de vaqueros que hasta el día de hoy se encuentra entre el flujo de lava de Muertepungo y la turbera de Chakana. En su relato de la primera ascensión al Antisana, Whymper describe una enorme caravana de chagras (vaqueros) que subían en sus caballos para arrear al incontable hato de ganado que pastoreaba en las extensas faldas del volcán.

Desde entonces y hasta hace muy poco tiempo, estos páramos han sido constantemente utilizados para la crianza de ganado vacuno y ovino, con los consiguientes incendios que frecuentemente acompañan las prácticas ganaderas en los páramos húmedos de Colombia y Ecuador. Y, a pesar de que no contamos con información más detallada, sabemos que hasta el año 2014 la zona de Antisanilla era sitio activo de pastoreo para un hato de no menos de 600 cabezas de ganado. Como parte del manejo de esta zona, en una fecha que ha sido imposible determinar, los antiguos propietarios de la hacienda Antisanilla abrieron en la turbera al menos cinco canales longitudinales (Figura 2a) y dos canales oblicuos, formando un sistema de zanjas de 3,16 km de longitud. Adicionalmente, se abrió una acequia de 0,76 km (Canal H, Figura 2a) que cortaba la cabecera de la turbera y desviaba una gran cantidad de agua que debería haber entrado en ella. La apertura de estos canales, unida al constante pastoreo por el ganado de la hacienda, convirtió a la turbera en un gran potrero dominado por especies exóticas o resistentes al pastoreo como *Anthoxanthum odoratum*, *Poa annua*, *Trifolium repens*, *Holcus lanatus* y *Lachemilla orbiculata*.

En el año 2014, la propiedad de Antisanilla fue comprada por la Fundación de Conservación Jocotoco, lo



a)



b)

Figura 2. Detalle de los canales que drenaban la turbera de Chakana. a) Canales longitudinales abiertos en una fecha indeterminada, posiblemente antes de principios del siglo XX. b) Canales transversales abiertos alrededor del año 2014 como parte de un experimento piloto para crear hábitat para aves acuáticas migratorias.

que dio lugar a la implementación de varias estrategias para reducir la presión del ganado y restaurar los ecosistemas nativos. Además de la reducción del hato ganadero y su exclusión de la zona de la turbera, en el año 2014 se cortaron 20 canales adicionales, paralelos a las líneas de pendiente de la turbera y con una longitud total de 4,86 km (Figura 2b). Estos canales fueron abiertos con la intención de restaurar hábitat para

aves acuáticas, pero tuvieron la consecuencia inadvertida de acelerar el drenaje de la turbera, con lo que se incrementó la urgencia de implementar un proceso de restauración de su hidrología y vegetación.

El proceso de restauración

En enero del año 2017 iniciamos la planificación de la restauración de la turbera de Chakana con base en un acuerdo de colaboración entre la Universidad San Francisco de Quito y la Fundación Jocotoco, y con el apoyo técnico de científicos de Michigan Technological University y el Servicio Forestal de los Estados Unidos de Norteamérica. Esta iniciativa estuvo basada en los lineamientos generales que se han desarrollado para restauración de turberas de montaña en Norteamérica y en otras regiones de los Andes (Chimner *et al.* 2019, Planas-Clarke *et al.* 2020).

/ 58 /

En preparación para la restauración, en marzo de 2017 instalamos un sistema de siete pozos de nivel freático que debían ser monitoreados cada dos semanas por personal de la Fundación Jocotoco. La línea base del nivel freático fue complementada con dos sistemas de monitoreo de la vegetación. Para el primer sistema establecimos, de manera estratificada, un total de 30 cuadrantes de 90 x 90 centímetros, con lo que se intentaban cubrir todos los tipos de vegetación que se observaban en la turbera. Dentro de cada cuadrante utilizamos un sistema de 81 puntos de intersección cada 10 centímetros para estimar la cobertura y la composición de especies. Para el segundo sistema utilizamos el mismo cuadrante de 90 x 90 centímetros para monitorear la dinámica de la vegetación en los canales transversales. Para este sistema establecimos tres cuadrantes ubicados aleatoriamente en cada uno de cuatro canales (canales 18, 16, 9 y 6).

El proceso de neutralización de los canales se realizó en dos fases. En la primera fase (noviembre-diciembre 2017) bloqueamos los canales de la parte más alta de la turbera (canales 11 a 20; Figura 2b) e iniciamos el trabajo en los canales longitudinales A, B, C, D y H (Figura 2a). Al iniciar la restauración en la zona alta buscábamos reducir progresivamente la energía y el volumen de agua que circulaba por los canales transversales. En la segunda fase (enero-febrero 2018) bloqueamos los canales 1 a 10 y completamos el trabajo en los canales longitudinales.

Para los canales transversales utilizamos pacas de paja para construir aproximadamente 400 diques, separados entre sí por aproximadamente 10 metros (Figura 3), mientras que para los canales longitudinales utilizamos aproximadamente 46 barreras construidas con tablas de madera rústica (Figura 4). En algunos canales muy anchos y profundos utilizamos las barreras de madera combinadas con pacas de paja instaladas en el lado inferior (aguas abajo) de la barrera para ayudar a estabilizarla y permitir que la vegetación colonizara. Adicionalmente, en julio de 2020 realizamos trabajos de reparación de varios diques y añadimos barreras en canales cuya recuperación parecía estancada porque aún tenían grandes espejos de agua.

Figura 3. Detalle del proceso de neutralización de los canales utilizando diques construidos con pacas de paja.



E. Suárez



E. Suárez



E. Suárez



E. Suárez



/ 60 /



Figura 4. Ejemplos de las barreras construidas con tablas de madera en los canales más anchos y profundos.

Resultados y evaluación de la restauración

Los resultados del proceso de restauración de Chakana se pueden analizar a tres niveles: los cambios en el nivel freático de la turbera, la recuperación de los canales y los cambios en la matriz de la vegetación.

Nivel freático

El monitoreo del nivel freático en esta iniciativa de restauración sufrió un problema imprevisto. El monitoreo de los pozos fue encomendado inicialmente a los guardaparques de la Fundación Jocotoco que trabajaban en la Reserva Chakana. Sin embargo, con el paso de los meses el control de los datos reveló que la información colectada por uno de ellos era imprecisa y posiblemente falsa, lo que invalidó varios meses de información de línea base del nivel freático en la turbera. En este contexto, nuestro análisis no es ideal al no contar con información previa a las actividades de restauración. A pesar de ello, los datos con los que contamos muestran fuerte evidencia de un rehumedecimiento considerable de la turbera.

A partir del monitoreo de los seis pozos ubicados a lo largo de la turbera, entre noviembre de 2017 (justo al inicio de la restauración) y diciembre de 2019, la profundidad promedio del nivel freático era de 33 ± 5 cm (Figura 5). A partir de 2020, el nivel freático comenzó a subir consistentemente en todos los pozos y a hacerse mucho más estable (Figura 5). Así, el promedio de las mediciones de los años 2020 y 2021 fue de 10 ± 1 cm, es decir tres veces más alto que en el período 2017-2019. Pero, además de ser más alto, el nivel freático de la turbera se ha hecho consistentemente más estable. Específicamente, el promedio de los rangos de

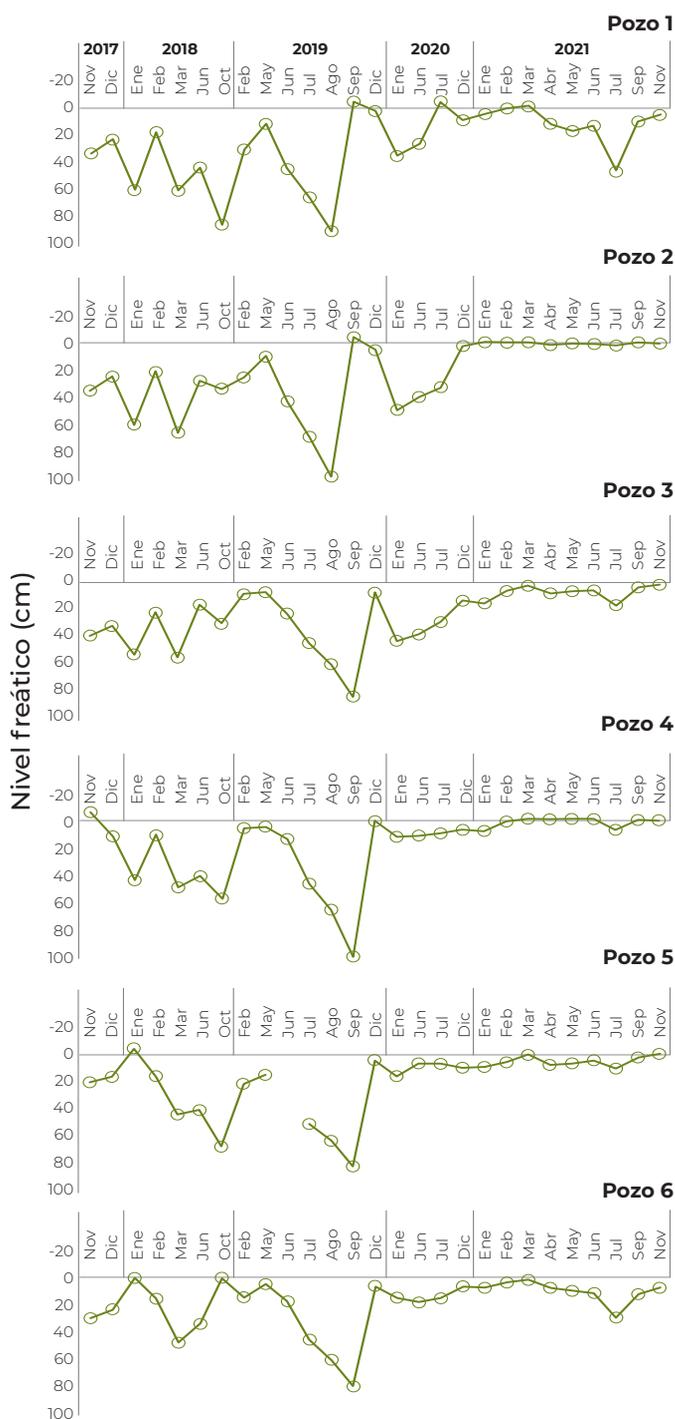


Figura 5. Tendencia temporal del nivel freático en seis pozos distribuidos a lo largo de la turbera de Chakana a 3700 m de elevación. El inicio del monitoreo coincide con la restauración de los canales que drenaban la turbera, proceso que se ejecutó entre noviembre de 2017 y febrero de 2018.

elevación de la capa freática (máximo – mínimo) entre todos los pozos pasó de 87 ± 3 cm entre 2017 y 2019 a 34 ± 6 cm entre 2019 y 2020. Estos valores de nivel freático más superficiales y estables evidencian un claro patrón de rehumedecimiento de la turbera como respuesta a la neutralización de los canales.

Recuperación de canales

En la turbera de Chakana los canales longitudinales coincidían con las áreas más húmedas de la turbera, es decir, las áreas más bajas por las que el agua tiende a circular. A partir de la construcción de las barreras, las zonas húmedas se expandieron a lo largo de los canales y promovieron una rápida extensión de parches de *Juncus arcticus*, una especie típica de turberas altoandinas con altos niveles freáticos (ver capítulo 1). El bloqueo del canal H (Figura 2) fue especialmente importante porque captaba y desviaba agua que naturalmente debía entrar a la turbera. Este canal fue bloqueado con 34 diques de madera colocados aproximadamente cada 8 a 12 m de acuerdo con la pendiente del terreno. El efecto de detener el flujo de este canal fue inmediatamente evidente en el rehumedecimiento de la porción superior de la turbera.

Los canales transversales de la turbera de Chakana representaban un problema particular. Por un lado, estos canales eran numerosos y extensos, con amplitudes promedio de 1,5 metros y profundidades que variaban entre 25 y 40 centímetros. Por otro lado, al estar interconectados a través de los canales longitudinales, los canales de la parte inferior de la turbera movían cantidades de agua mucho más grandes que los de la parte superior. Para estos canales, que fueron bloqueados con barreras construidas con pacas de paja (Figura

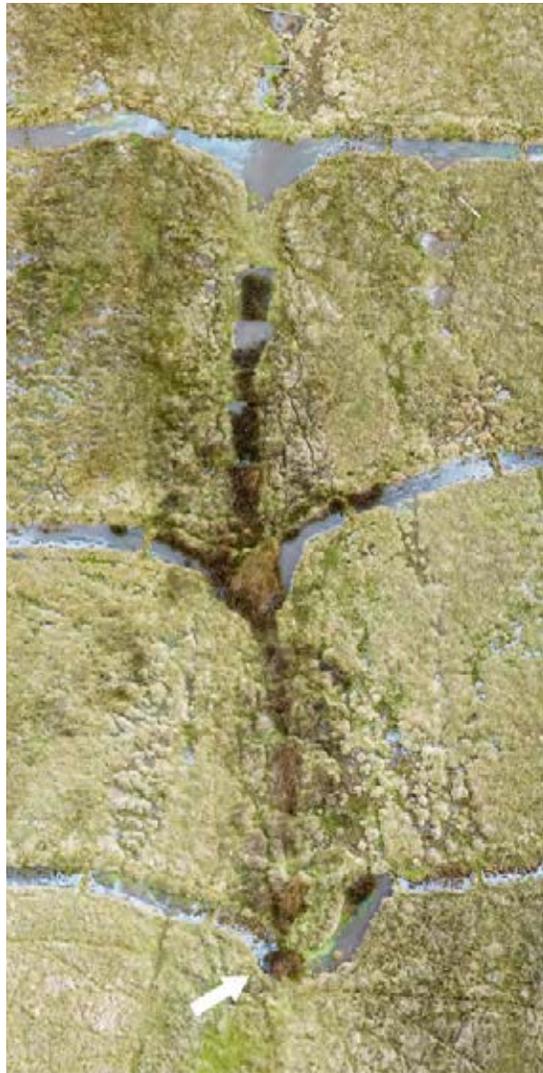
3), la restauración se está desarrollando a partir de un proceso de sucesión secundaria desencadenado por la inmovilización del agua en los canales.

Al limitar el movimiento del agua, los canales pasaron de comportarse como un sistema lóxico (con aguas corrientes) hacia un estado léxico (con aguas casi estancadas). Este estancamiento dio lugar a la formación de capas espesas de algas que aparecieron dentro de los tres primeros meses desde el bloqueo de los canales. En algunos casos, estas capas de algas llegaron a cubrir casi todo el espejo de agua de los canales. Al mismo tiempo, al no poder fluir por los canales, el agua comenzó a percolarse o desbordarse lentamente, lo que resultó en una rápida saturación del suelo en los espacios entre los canales.

Aproximadamente a los cuatro meses desde la neutralización de los canales, las algas comenzaron a morir y su biomasa, al descomponerse, sirvió como sustrato para una paulatina colonización, primero por plantas acuáticas (Figura 6) y luego por plantas típicas de humedal como *Caltha sagittata* y *Ranunculus flagelliformis*. Finalmente, aproximadamente 18 meses después del inicio de la restauración, los canales comenzaron a ser colonizados por *Eleocharis dombeyana*, la que en algunas secciones ya ha cerrado completamente el espejo de agua de los canales más someros de la parte superior de la turbera. Este proceso sucesional se puede observar en el ejemplo de la Figura 6, que muestra el cambio en la cobertura de los canales en un cuadrante permanente. Este proceso de sucesión no fue homogéneo entre los canales. En los más profundos el proceso ha sido mucho más lento y, en algunos casos, casi imperceptible. En estos lugares es posible que la restauración pasiva de los canales no sea suficiente y quizás se requiera un esfuerzo adicional para reducir la pro-



a)



b)



c)

Serie temporal del cierre de canales y del crecimiento de Juncos en la turbera de Chakana. a) 2018; b) 2020; c) 2022

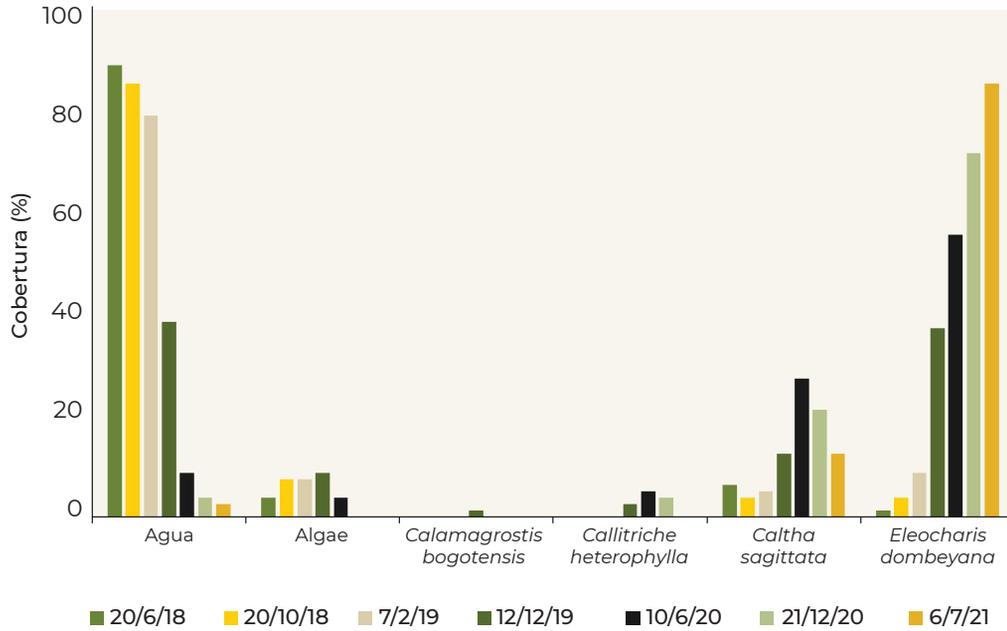


Figura 6. Ejemplo de la dinámica de la vegetación en un cuadrante permanente utilizado para monitorear el avance de la vegetación en los canales restaurados en la turbera de Chakana.

/ 64 /

fundidad de los canales y/o proveer un sustrato inicial para facilitar el establecimiento de la vegetación.

La dinámica de la restauración de los canales transversales de Chakana ofrece información importante sobre la eficiencia de las barreras que construimos con pacas de paja. Por un lado, después de casi cuatro años del inicio de la restauración, varios de los canales están totalmente cubiertos de vegetación de turbera y el flujo de agua se ha detenido. Por otro lado, las barreras originales que construimos, al estar formadas por materia vegetal, prácticamente han desaparecido

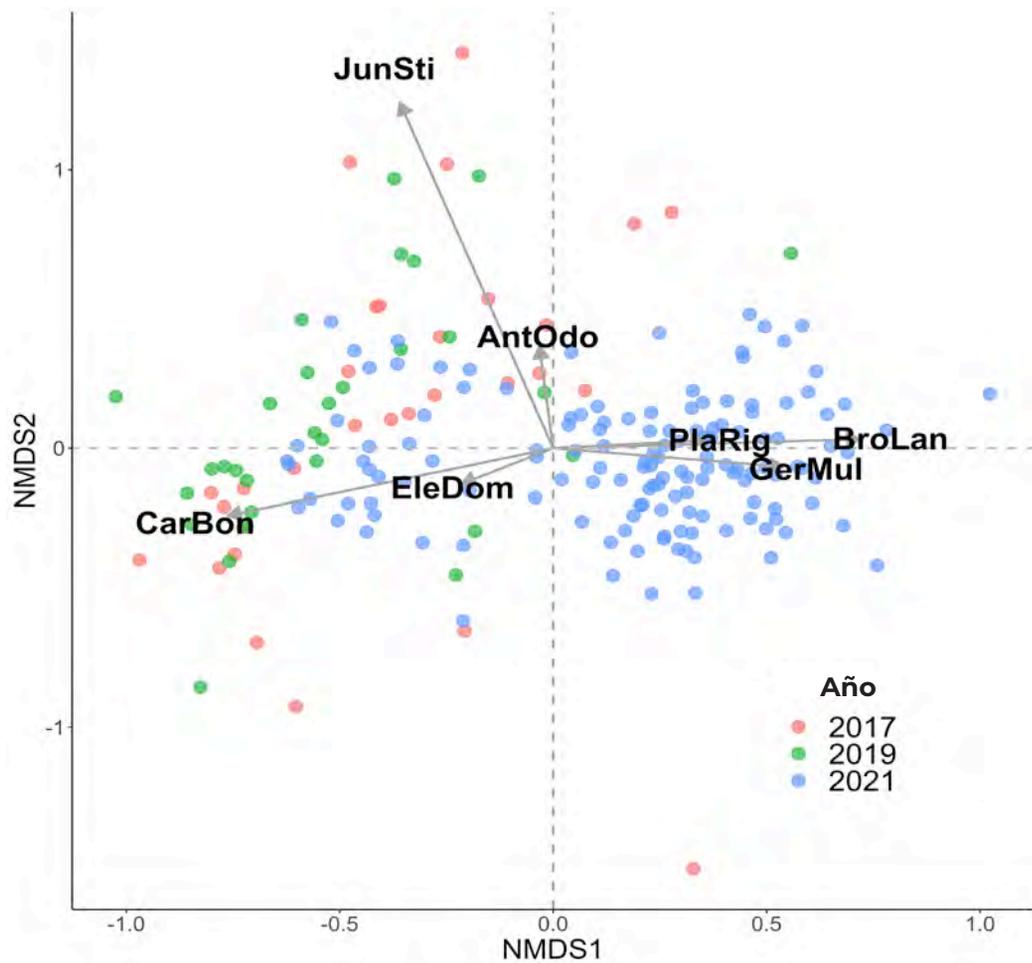
y han servido de sustrato para el desarrollo de vegetación nativa. Pero, a pesar de la desaparición de las barreras, los canales ya no mueven agua por la cohesión y la estructura provistas por la nueva vegetación que se desarrolló en ellos. Desde esta perspectiva, las barreras construidas con pacas de paja han mostrado ser extremadamente eficientes para controlar el flujo de agua y facilitar la colonización con vegetación nativa, al mismo tiempo que desaparecen relativamente pronto y evitan el impacto visual de barreras como las de madera, que son bastante más durables.

Cambios en la matriz de vegetación

El rehumedecimiento de la turbera de Chakana ha dado lugar a un cambio significativo en la composición de la comunidad de plantas que se desarrollaba entre los canales, como puede apreciarse en un análisis de escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS) de la composición de especies de cuadrantes de vegetación documentados en 2017, 2019 y 2021 (Suárez *et al.* in rev.) (Figura 7). Uno de los cambios más

destacables es la disminución de la especie de potrero *Anthoxanthum odoratum*, acompañada por un aumento de *Plantago rigida*, *Bromus lanatus* y *Geranium multipartitum*, todas especies nativas comunes en turberas altoandinas. Entre estos cambios, el aumento de *P. rigida* es especialmente interesante porque esta especie formadora de almohadillas es una de las principales aportantes de materia orgánica en las turberas de páramo (Suárez *et al.* 2021). La rápida expansión de esta especie podría ser un indicador de la recuperación funcional de la turbera.

Figura 7. Las siglas corresponden a las especies más dominantes en la turbera (AntOdo- *Anthoxanthum odoratum*; BroLan- *Bromus lanatus*; CarBon- *Carex bonplandii*; EleDom- *Eleocharis dombeyana*; GerMul- *Geranium multipartitum*; JunSti- *Juncus stipulatus*; PlaRig- *Plantago rigida*)



Conclusiones sobre el proceso de restauración de la turbera de Chakana

Este proyecto piloto ofrece algunas lecciones prácticas para futuras iniciativas de restauración de turberas en páramos del Ecuador:

1. La participación local en las iniciativas de restauración/conservación siempre es importante, más aún cuando se trata de ecosistemas estratégicos que proveen múltiples servicios ambientales. Sin embargo, es importante dar un acompañamiento cercano a esta participación, especialmente cuando implica medición de variables o parámetros importantes para el proyecto. En nuestro caso, la ausencia de un seguimiento más riguroso al inicio del proyecto resultó en la pérdida de datos cruciales de línea de base.
2. La utilización de parcelas o cuadrantes permanentes, marcados apropiadamente y seguidos a través del tiempo, ofrece excelente información acerca de la dinámica de la vegetación, tanto en los canales como en la matriz de vegetación de la turbera. Acompañar este monitoreo con registros fotográficos ayuda a interpretar los cambios que ocurren en la turbera, pero al mismo tiempo se convierte en una herramienta visual para mostrar los resultados de la restauración.
3. La técnica de bloqueo de canales con pacas de paja resultó altamente eficaz en la mayoría de los casos. Sin embargo, cuando los canales eran muy profundos (ca. 40 centímetros) y movían más agua, esta técnica redujo la velocidad del agua y la redistribuyó en la turbera, pero no lo suficiente como para

promover el cierre y la colonización de los canales. En esos casos, es posible que la recuperación completa de los canales requiera actividades adicionales como i) la adición de material como suelo o turba para reducir la profundidad de los canales, ii) el llenado completo de la longitud de los canales o iii) el aumento de la densidad de diques en el canal para exacerbar el efecto de las barreras.

4. Al contrario de lo que esperábamos, la restauración de turberas de páramo a esta elevación puede generar cambios rápidos en la estructura y la composición de las comunidades vegetales. En nuestro caso, estos cambios pueden haber resultado en incrementos importantes en la biomasa de la vegetación. Sin embargo, la ausencia de información de línea base sobre esta variable nos ha impedido documentar este posible beneficio de la restauración. En este sentido, recomendamos que futuras iniciativas recopilen información básica sobre la biomasa aérea de la vegetación en preparación para documentar posibles cambios en este parámetro.
5. En esta iniciativa favorecimos un enfoque de restauración pasiva al asumir que el rehumedecimiento de la turbera generaría condiciones de inundación que finalmente excluirían las especies de potrero. Y, aunque aún ha pasado poco tiempo desde el inicio de la restauración, hay porciones de la turbera que aún presentan una alta abundancia de pastos exóticos, especialmente *Anthoxanthum odoratum*. Aunque se requieren más observaciones, es posible que la forma de crecimiento de esta especie –formar pequeñas macollas o penachos con mucha biomasa basal– permita que estos pastos se levanten sobre el suelo anegado, al igual que lo

hacen especies de Poaceae típicas de turbera como *Cortaderia sericantha*. Si este es el caso, esta especie podría limitar la colonización de la turbera por especies nativas, especialmente por la alta densidad de individuos que puede alcanzar en ausencia de pastoreo. Desde esta perspectiva, necesitamos generar experiencias para la propagación y el establecimiento de especies nativas de turberas de páramo que nos permitan potenciar la recuperación de la vegetación nativa de estos ecosistemas.

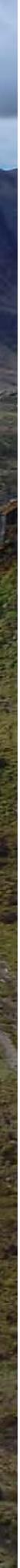
Referencias

- Chimner, R. A., D. J. Cooper, M. D. Bidwell, A. Culpepper, K. Zillich, and K. Nydick. 2019. A new method for restoring ditches in peatlands: ditch filling with fiber bales. *Restoration Ecology* 27: 63–69.
- Hribljan, J. A., E. Suárez, L. Bourgeau-Chavez, S. Endres, E. A. Lilleskov, S. Chimbolema, C. Wayson, E. Serocki, and R. A. Chimner. 2017. Multi-date, multi-sensor remote sensing reveals high density of carbon-rich mountain peatlands in the páramo of Ecuador. *Global Change Biology* 23: 5412–5425.
- Hribljan, J. A., E. Suárez, K. A. Heckman, E. Lilleskov, and R. A. Chimner. 2016. Peatland Carbon Stocks and Accumulation Rates in the Ecuadorian Páramo. *Wetlands Ecology and Management* 24: 113–127.
- Mosquera, G. M., P. X. Lazo, R. Celleri, B. P. Wilcox, and P. Crespo. 2015. Runoff from tropical alpine grasslands increases with areal extent of wetlands. *Catena* 125: 120–128.
- Planas-Clarke, A. M., R. A. Chimner, J. A. Hribljan, E. A. Lilleskov, and B. Fuentealba. 2020. The effect of water table levels and short-term ditch restoration on mountain peatland carbon cycling in the Cordillera Blanca, Peru. *Wetlands Ecology and Management* 28: 51–69.
- Suárez, E., S. Chimbolema, R. A. Chimner, and E. A. Lilleskov. 2021. Root biomass and production by two cushion plant species of tropical high elevation peatlands in the Andean páramo. *Mires and Peat* 27: 1–9.
- Suárez, E., S. Chimbolema, R. Jaramillo, L. Zurita-Arthos, P. Arellano, R. A. Chimner, and E. A. Lilleskov. in rev. Challenges and opportunities for restoration of high-elevation Andean peatlands in Ecuador. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.





/ 70 /



Lecciones aprendidas sobre la restauración de turberas de páramo en el norte del Ecuador

/ 71 /

Ricardo Jaramillo¹, Segundo Chimbolema¹ y Esteban Suárez¹

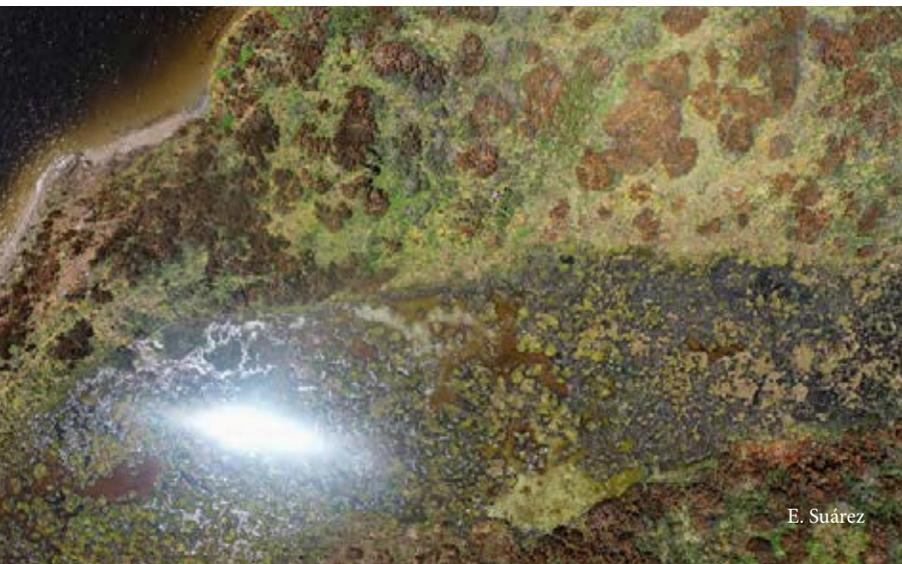
¹ Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales/Instituto Biosfera. Universidad San Francisco de Quito

La restauración ecológica es el proceso de asistencia en la recuperación y manejo de la integridad ecológica de un ecosistema, centrado en el mejoramiento de la productividad ecológica de áreas degradadas, la conservación de la biodiversidad biológica y la mitigación de la pérdida de ecosistemas (Martin 2017). A pesar de que en los últimos 20 años esta disciplina se ha convertido en uno de los campos con mayor crecimiento en la ecología aplicada, muchos proyectos de restauración fallan o son ineficientes por defectos en su planificación, establecimiento de objetivos irreales, falta de criterios de evaluación claros, y limitaciones ecológicas, sociales y económicas (Suding 2011, Hobbs 2018). Estas fallas resaltan la necesidad de utilizar una visión de manejo adaptativo en la que el monitoreo y las lecciones de iniciativas pasadas sirvan como fundamento para el diseño y la revisión permanente de los proyectos de restauración (Williams 2011, Aguilar-Garavito & Ramírez 2015). Este enfoque es especialmente importante en ecosistemas de montaña en los que la falta de información de base, la sensibilidad ecológica

y las condiciones ambientales severas pueden influir sobre los resultados de los procesos de restauración.

La restauración de los ecosistemas de páramo es un campo relativamente nuevo y frecuentemente complicado por las condiciones ambientales de las altas montañas tropicales (Vargas-Ríos y Velasco-Linares 2011). Y si el conocimiento sobre restauración de páramos es aún limitado, la experiencia en restauración de las numerosas turberas que ocurren en ellos es casi inexistente (Planas-Clarke *et al.* 2020). Al mismo tiempo, la necesidad de restaurar turberas de páramo es apremiante, tanto por la alta presión antropogénica que experimentan estos ambientes, como por las múltiples ventajas que su restauración podría generar en términos de conservación de biodiversidad y mantenimiento de servicios ecosistémicos (Suarez *et al.* en rev.). En este contexto, en este capítulo presentamos un análisis de las lecciones aprendidas durante la experiencia piloto de restauración de una turbera de páramo en el norte del Ecuador (Chimbolema *et al.* 2022).

La iniciativa piloto de restauración de turberas de páramo en la que se basa este análisis fue descrita en detalle por Chimbolema *et al.* (2022). Este proyecto piloto se desarrolló en la Reserva Chakana, perteneciente a la Fundación Jocotoco, a 3700 m de elevación. Esta turbera ha experimentado una larga historia de pastoreo y fue drenada mediante canales artificiales para permitir el acceso y el uso por el ganado. La restauración estuvo basada en la exclusión del ganado y el bloqueo de los canales artificiales para permitir una recuperación del nivel freático y el rehumedecimiento de la turbera. Las lecciones generadas a partir de esta iniciativa se presentan aquí como referencia para apoyar a futuras iniciativas de restauración de turberas en otros páramos de la región.



E. Suárez

Turbera de almohadillas

Objetivos dinámicos y realistas

Los ecosistemas alterados pueden responder de maneras inesperadas a las actividades de restauración. En este sentido, es importante definir objetivos realistas y flexibles a corto y largo plazo para guiar las iniciativas de restauración. En el caso de Chakana, por ejemplo, la ausencia inicial de un sistema de referencia para la vegetación nos llevó a implementar la restauración con un alto nivel de incertidumbre, y un enfoque mucho más fuerte en los aspectos funcionales de la turbera. Sin embargo, gracias a la información adicional generada luego del proceso de restauración hemos redefinido el tipo de comunidad vegetal que quisiéramos recrear en este sitio. Esta experiencia específica destaca la necesidad de contar con sitios de referencia, que puedan servir para analizar los cambios y guiar decisiones adecuadas y oportunas. Al mismo tiempo, hay que recordar que, dada la naturaleza impredecible de las comunidades, los procesos de restauración pueden exhibir múltiples trayectorias que deben ser monitoreados constantemente.

Eliminación de las presiones de degradación

Esta iniciativa demostró la importancia de eliminar las presiones sobre el ecosistema simultáneamente a la implementación de las actividades de restauración. En Chakana, la implementación de la restauración fue acompañada por una remoción permanente del ganado vacuno, pero algunos caballos de los guardapáramos del área continuaron utilizando la turbera. Aunque este impacto inicialmente se consideró insignificante, el monitoreo en el sitio mostró que los caballos utilizaban preferentemente los diques para



Disterigma empetrifolium

cruzar los canales, lo que generaba un impacto directo sobre el proceso de restauración. Este patrón obligó a reconsiderar el impacto de los caballos y a cambiar su forma de manejo para excluirlos definitivamente de la turbera. En este sentido, la recuperación hidrológica generada por la construcción de diques en los canales debe ir acompañada de una remoción completa del pastoreo y de cualquier otro impacto significativo que afecte a la turbera.

Selección de técnicas de restauración adecuadas

Existe una diversidad de técnicas disponibles para restauración de turberas (Chimner *et al.* 2019, Planas-Clarke *et al.* 2020). El costo y la factibilidad de estas técnicas es extremadamente variable y su selección dependerá de los recursos disponibles, las demandas logísticas y las características ecológicas de cada sitio. Sin embargo, el bloqueo de los drenajes mediante ba-



R. Jaramillo

Turbera en el páramo del Ángel

/ 74 /

rreras construidas con pacas de paja y/o madera rústica ha mostrado ser barato, fácil de implementar y altamente eficiente. En particular, el uso de pacas de paja para bloquear los canales no solo limita el movimiento del agua en los canales, sino que ayuda a recuperar el relieve y rellenar los canales más profundos. Adicionalmente, la colocación de tapetes de vegetación encima de los diques acelera su estabilización y permite que se pierdan con el tiempo, contribuyendo a generar una apariencia “más natural” de los canales restaurados.

Un aspecto importante sobre el uso de pacas de paja se relaciona con la posibilidad de que las pacas se conviertan en fuente de semillas de especies exóticas. En la turbera de Chakana, pudimos constatar que las pacas que se quedaron fuera de los canales como remanentes del proceso de restauración podían dar lugar a la germinación de semillas de pastos exóticos contenidas en las pacas. Sin embargo, esto nunca se observó en las

pacas con las que se construyeron los diques, seguramente por dos razones principales. Primero porque las pacas quedaban completamente sumergidas en el agua de los canales, lo que limita la germinación de especies netamente terrestres. Segundo, porque las pacas fueron cubiertas con chambas de la vegetación circundante de los canales, lo que evitaba el establecimiento de otras especies. En este contexto, a pesar de que de la experiencia de Chakana sugiere que el uso de pacas es bastante seguro, recomendamos que, para iniciativas de restauración en elevaciones más bajas, las pacas de heno sean armadas con material de especies nativas, ya que la probabilidad del apareamiento de especies invasivas es mayor en las elevaciones inferiores en las que las condiciones climáticas son menos limitantes.

Importancia del sistema de monitoreo antes, durante y después de la restauración

El seguimiento de los cambios en la vegetación, el nivel freático y los parámetros fisicoquímicos es parte fundamental del proceso de restauración; además, permite tener una visión temporal y espacial del comportamiento de la turbera. La evaluación temporal del proceso de restauración requiere de una línea base lo más completa posible antes de generarse cualquier tratamiento de restauración. Esto ayudará a que el monitoreo y el manejo adaptativo de la restauración tengan niveles de incertidumbre más bajos, además de permitir una toma oportuna de decisiones correctivas.

Nuestro sistema de monitoreo de la vegetación antes, durante y después de la restauración ha sido eficiente para documentar el proceso de recuperación de la vegetación y es fundamental para permitir el manejo y

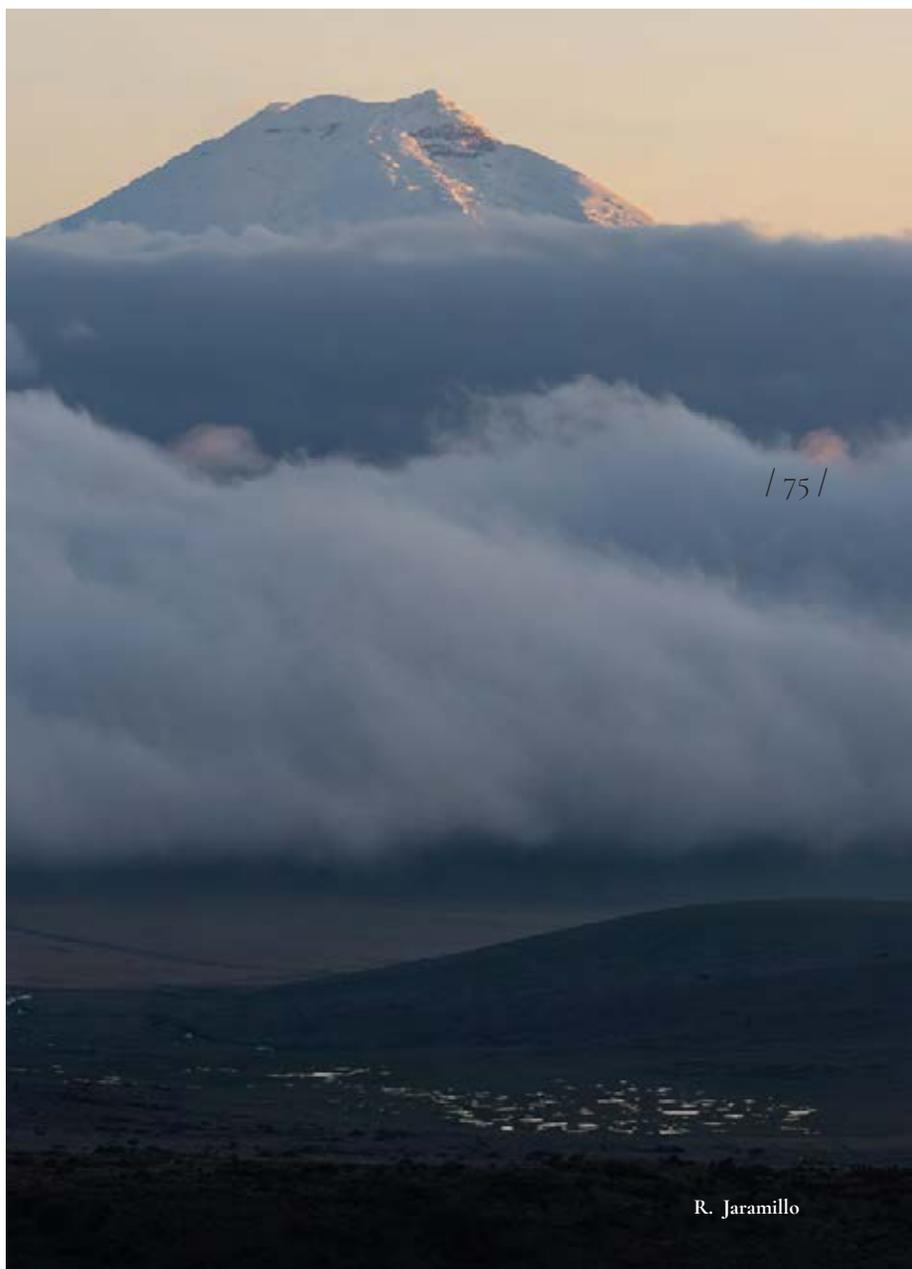
la evaluación de la iniciativa. Por el contrario, el sistema de monitoreo del nivel freático tuvo problemas de implementación que nos impidieron establecer una línea base sólida antes de la restauración. Si bien la información con la que contamos sugiere fuertemente que el nivel freático se ha recuperado en la turbera (Chimbolema *et al.* 2022), al no contar con esa línea base sólida es imposible determinar la magnitud de los cambios que se han dado en respuesta a la restauración. Esta falencia remarca la necesidad de invertir suficientes recursos y atención en el desarrollo de una buena línea base de información antes de iniciar la restauración.

Otro aspecto importante para el monitoreo es la disponibilidad de datos climáticos relevantes, que para la turbera de Chakana son inexistentes, lo que limita la interpretación de la respuesta de la turbera. En este contexto, se recomienda analizar la disponibilidad de datos climáticos antes de la restauración y, si esa disponibilidad está limitada, instalar una estación meteorológica en las inmediaciones de la turbera. En la actualidad existen estaciones de bajo costo y con suficiente autonomía energética como para que esta necesidad pueda ser cubierta con relativa facilidad.

Perspectivas de sostenibilidad

La sostenibilidad del proceso de restauración en el tiempo es clave para su éxito a largo plazo. Dependiendo de las instituciones y comunidades participantes, la sostenibilidad del proyecto está sujeta principalmente a las condiciones de uso del sitio, el ambiente institucional y los fondos disponibles para el monitoreo y manejo adaptativo.

En el caso particular de la turbera de Chakana, la sostenibilidad de la iniciativa de restauración está garantizada por las condiciones de tenencia de la tierra y los objetivos de la Fundación Jocotoco. El hecho de que la turbera pertenezca a una fundación de conservación y sin fines de lucro permite asegurar que el uso del



suelo no cambiará en un futuro cercano. En cuanto a los fondos para la restauración, se estima que la inversión inicial fue la más fuerte debido a que requería la neutralización de los canales; pero una vez que esa fase inicial se ha superado, la restauración pasiva de la turbera no debería requerir un alto nivel de financiamiento.

Oportunidades de mejoramiento y perspectivas a futuro

La restauración en Chakana se dio en un contexto institucional privado. Esto facilita en gran medida el di-

seño e implementación de la restauración porque todo depende de la disponibilidad de recursos y de la visión institucional. Adicionalmente, este contexto privado ayuda a incrementar la sostenibilidad del proceso en el tiempo y reduce los costos de control y monitoreo. Sin embargo, la gran mayoría de las turberas de páramo no están en manos privadas y, en muchos casos, son utilizadas intensamente por comunidades que dependen de ellas para varias de sus alternativas de subsistencia. En este contexto, uno de los principales desafíos para la restauración de turberas de páramo estará determinado por nuestra capacidad de involucrar a los actores locales en el desarrollo de este tipo de iniciativas.

/ 76 /



R. Jaramillo

Turbera a las faldas del Casahuala

Trabajar con comunidades y actores locales puede brindar oportunidades de colaboración que aseguren el cuidado y mantenimiento del sitio, la exclusión de las presiones de degradación y la disminución de los costos de implementación y monitoreo de la restauración, favoreciendo así la sostenibilidad a largo plazo. Sin embargo, para que esto ocurra, las iniciativas de restauración de turberas deben ser contempladas en el contexto del manejo integrado del paisaje. Esto es especialmente importante porque la capacidad de un proyecto de restauración/conservación para mitigar las presiones que experimentan las turberas muchas veces dependerá de su posibilidad de ofrecer alternativas de subsistencia o uso sostenible a los grupos humanos que dependen ellas. Desde esta perspectiva, los proyectos de restauración con comunidades locales deben ser vistos como una estrategia más dentro de un conjunto de herramientas para mejorar tanto las condiciones de manejo ecológico del ecosistema, como las condiciones de vida de los grupos locales.

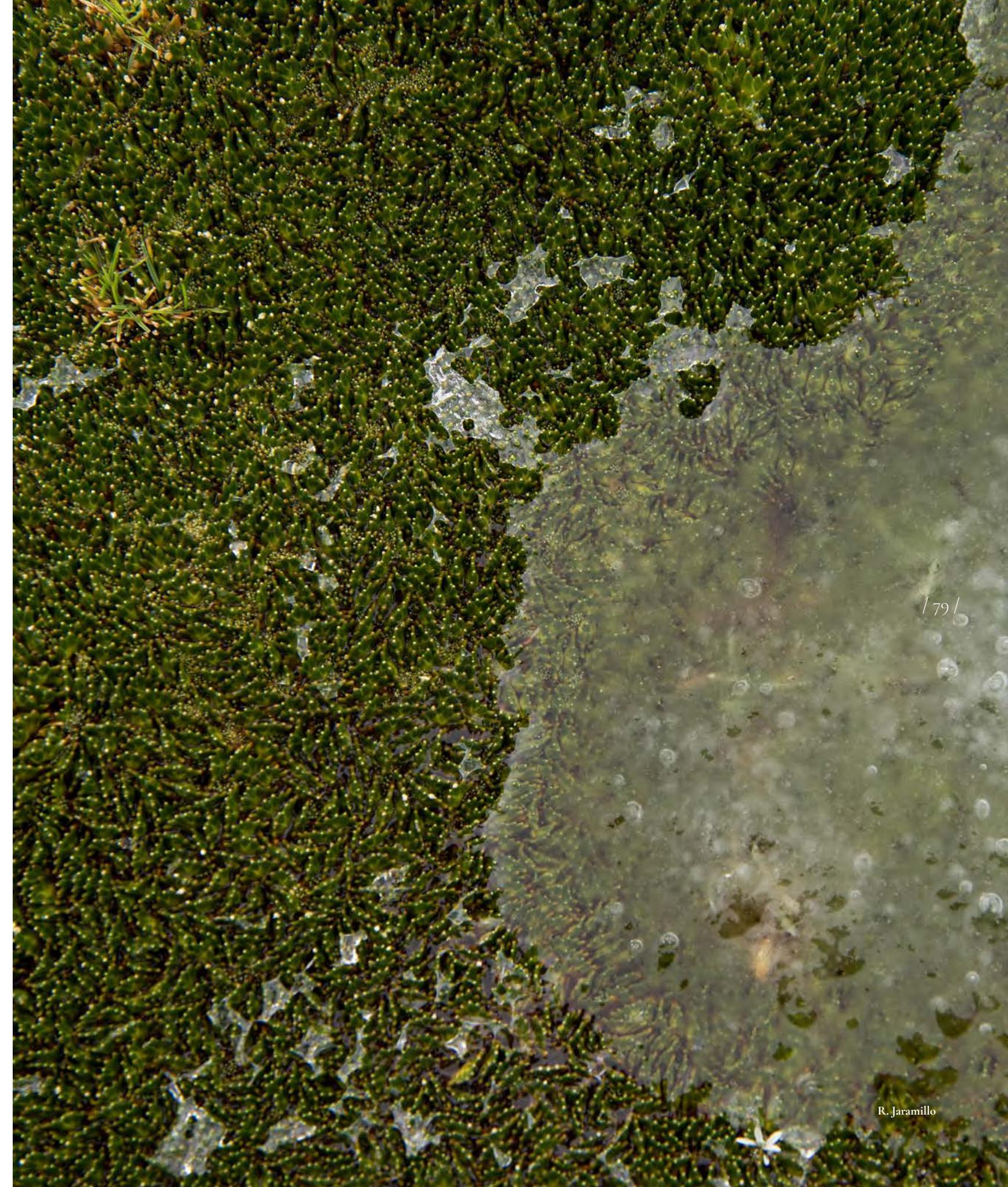
Otro aspecto importante para la restauración de turberas de páramo es su potencial para generar réditos económicos para las comunidades locales. Al ser reservorios con una altísima concentración de carbono (Hribljan et al. 2017) y un rol fundamental en la regulación hídrica (Mosquera et al. 2015), las turberas de páramo tienen el potencial de generar grandes retornos económicos en posibles mercados de carbono o de reducción de huella hídrica (Suarez et al. en rev.). Sin embargo, para que esto sea posible se requerirá más información acerca de i) los factores ambientales que controlan la dinámica de carbono en estos ecosistemas, ii) la respuesta de esta dinámica a las iniciativas de restauración, y iii) una mayor claridad en la

legislación y los sistemas institucionales en los que se apoyarían estos posibles proyectos de compensación.

Finalmente, otra posibilidad a futuro es la de utilizar nuevas tecnologías para el monitoreo de los proyectos de restauración. Específicamente, la necesidad de contar con resultados a corto plazo nos ha llevado a buscar un sistema de monitoreo utilizando fotografías aéreas obtenidas mediante drones. Esta es una herramienta de fácil uso que brinda una visión general de la dinámica de la turbera, y permite el monitoreo de los cambios que se dan en escalas temporales más cortas o que dependen de la estacionalidad del sitio.

Referencias

- Aguilar-Garavito, M., and W. Ramírez** eds. 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.
- Chimbolema, S., R. Jaramillo, Jocotoco, and E. Suárez.** 2022. Implementación de un proyecto piloto de restauración ecológica en una turbera de páramo en el norte del Ecuador. In *Turberas de páramo en el Ecuador: Notas sobre la ecología, conservación, y restauración de un ecosistema estratégico*. USFQ Press, Quito.
- Chimner, R. A., D. J. Cooper, M. D. Bidwell, A. Culpepper, K. Zillich, and K. Nydick.** 2019. A new method for restoring ditches in peatlands: ditch filling with fiber bales. *Restoration Ecology* 27: 63–69.
- Hobbs, R. J.** 2018. Restoration Ecology's silver jubilee: innovation, debate, and creating a future for restoration ecology. *Restoration Ecology* 26: 801–805.
- Hribljan, J. A., E. Suárez, L. Bourgeau-Chavez, S. Endres, E. A. Lilleskov, S. Chimbolema, C. Wayson, E. Serocki, and R. A. Chimner.** 2017. Multi-date, multi-sensor remote sensing reveals high density of carbon-rich mountain peatlands in the páramo of Ecuador. *Global Change Biology* 23: 5412–5425.
- Martin, D. M.** 2017. Ecological restoration should be redefined for the twenty-first century. *Restoration Ecology* 25: 668–673.
- Mosquera, G. M., P. X. Lazo, R. Celleri, B. P. Wilcox, and P. Crespo.** 2015. Runoff from tropical alpine grasslands increases with areal extent of wetlands. *Catena* 125: 120–128.
- Planas-Clarke, A. M., R. A. Chimner, J. A. Hribljan, E. A. Lilleskov, and B. Fuentealba.** 2020. The effect of water table levels and short-term ditch restoration on mountain peatland carbon cycling in the Cordillera Blanca, Peru. *Wetlands Ecology and Management* 28: 51–69.
- Suárez, E., S. Chimbolema, R. Jaramillo, L. Zurita-Arthos, P. Arellano, R. A. Chimner, and E. A. Lilleskov.** in rev. Challenges and opportunities for restoration of high-elevation Andean peatlands in Ecuador. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.
- Suding, K. N.** 2011. Toward an era of restoration in Ecology: successes, failures, and opportunities ahead. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 42: 465–487.
- Vargas-Ríos, O., and P. Velasco-Linares.** 2011. Reviviendo nuestros páramos: restauración ecológica de páramos. Proyecto Páramo Andino.
- Williams, B. K.** 2011. Adaptive management of natural resources—framework and issues. *Journal of Environmental Management* 92: 1346–1353.



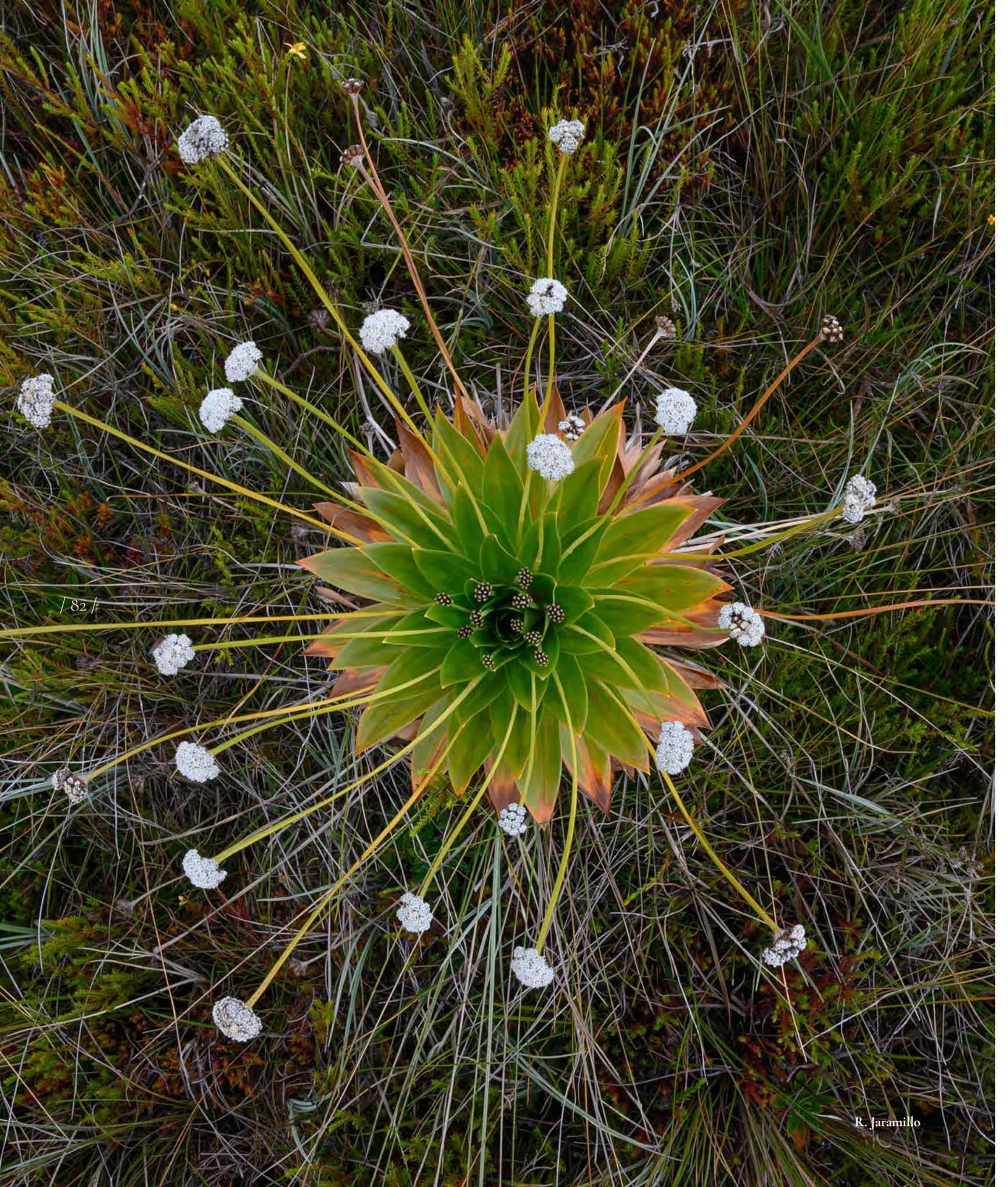


/ 80 /

Plantas representativas de las turberas de páramo del Ecuador

Segundo Chimbolema¹, Ricardo Jaramillo¹ y Esteban Suárez¹

¹ Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales/Instituto Biosfera. Universidad San Francisco de Quito



Las turberas de páramo están definidas por tres elementos esenciales (hidrología, suelos, y vegetación) que interactúan entre sí condicionando su estructura y función. La vegetación, en particular, es parte fundamental de este ecosistema, primero porque suele estar formada por especies adaptadas a las condiciones de inundación y, segundo, porque es la fuente de materia orgánica que eventualmente se acumula en forma de turba. Desde esta perspectiva, cualquier iniciativa de investigación, conservación o restauración, requiere una comprensión al menos básica de la estructura y composición de las comunidades de plantas de una turbera. El monitoreo y la identificación de la vegetación, por ejemplo, nos permite analizar el estado de conservación de la turbera, y la dirección de los cambios que se podrían esperar como resultado de alteraciones del uso del suelo, o de procesos de manejo o restauración. Pero, a pesar de su importancia, las comunidades de plantas de turberas de páramo están pobremente representadas en las colecciones de herbario y es poco lo que se conoce acerca de su diversidad, su estructura, y de su variación en relación con los factores ambientales. Así mismo, hasta donde conocemos no existen aun estudios que hayan analizado la contribución de las turberas a la diversidad regional de los páramos andinos.

En este contexto, en este capítulo presentamos una lista preliminar de plantas representativas de las turberas de páramo del Ecuador que hemos desarrollado a partir información obtenida de múltiples visitas de campo a turberas a lo largo del país. La lista cuenta con 40 especies de plantas vasculares, tres géneros de musgos, y dos licofitas comunes para turberas del Ecuador. Si bien esta no es una lista exhaustiva, esperamos que sea una herramienta para investigadores o gestores que tengan interés en la ecología, conservación o restauración de estos ecosistemas, y para el público en general que podría encontrarse con ellos durante cualquier visita a los páramos del país.

Las fichas de las especies se encuentran organizadas por forma de crecimiento y luego en orden alfabético de la familia, el género y especie. Cada ficha incluye el nombre de la familia, género y especie, forma de crecimiento, tipo de turbera en la que se encuentra (ver capítulo 1), y las provincias y el rango de distribución altitudinal en los que ha sido registrada de cada especie. La información sobre distribución y rango altitudinal fue extraída de la base de datos de Tropicos v3.3.2. (www.tropicos.org) del Missouri Botanical Garden.

ALMOHADILLA

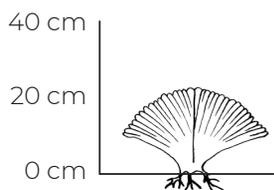
ASTERACEAE

Xenophyllum humile

(Kunth) V.A. Funk

Forma y altura máxima de crecimiento

Almohadilla



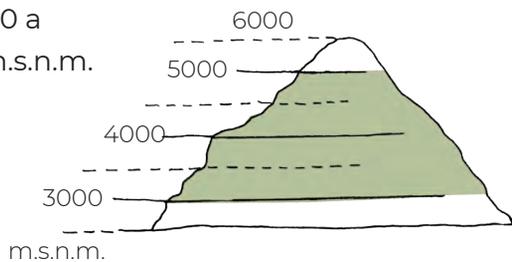
Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

Rango altitudinal

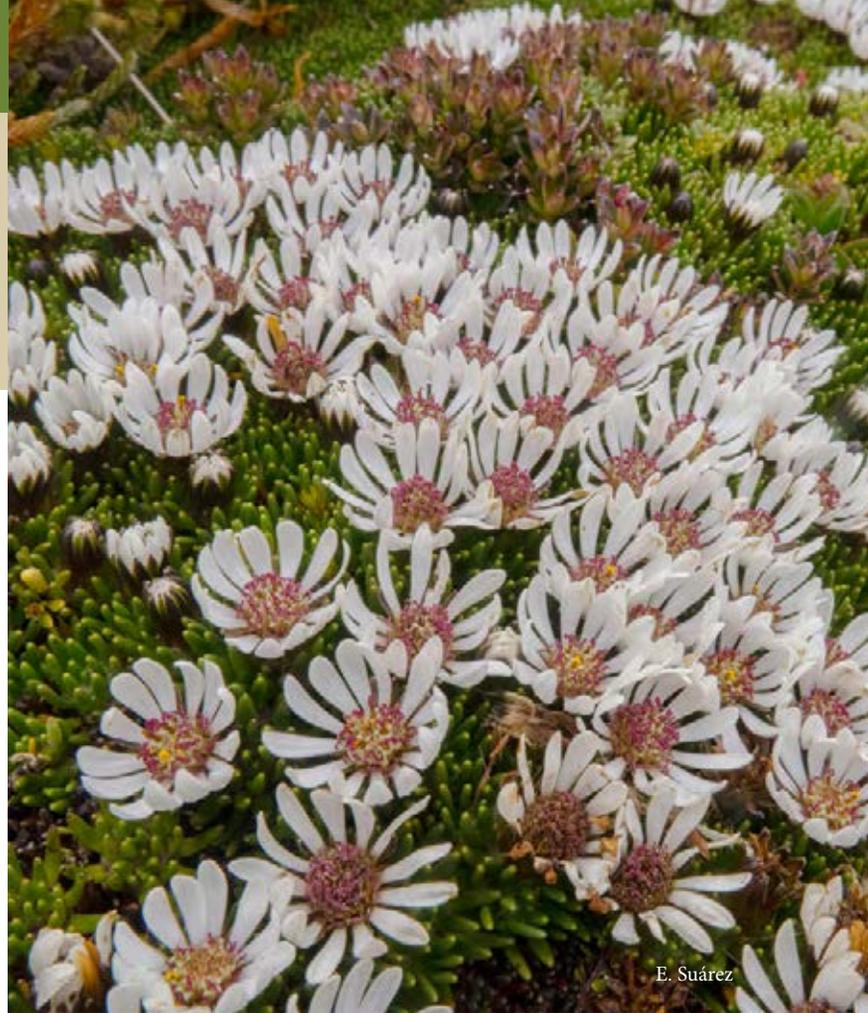
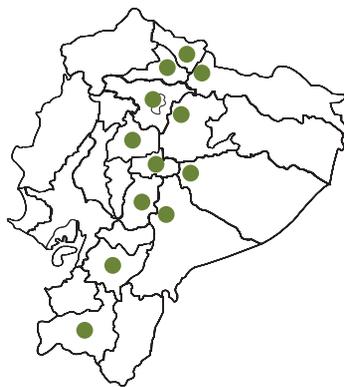
De 3000 a

5000 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Loja
- Morona-Santiago
- Napo
- Pastaza
- Pichincha
- Sucumbíos
- Tungurahua



E. Suárez



R. Jaramillo

ALMOHADILLA

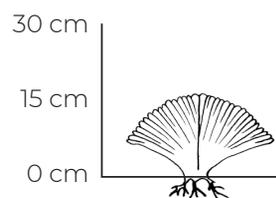
CYPERACEAE

Oreobolus ecuadorensis

T. Koyama

Forma y altura máxima de crecimiento

Almohadilla

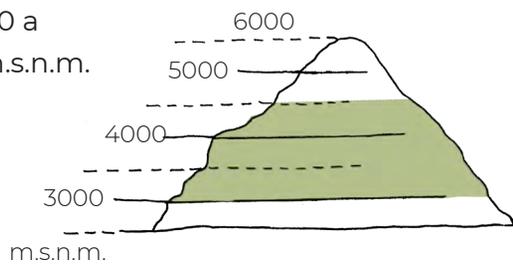


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

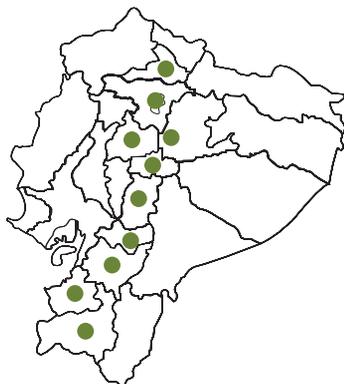
Rango altitudinal

De 3000 a
4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Cañar
- Chimborazo
- Cotopaxi
- El Oro
- Imbabura
- Loja
- Napo
- Pichincha
- Tungurahua



E. Suárez



E. Suárez / 85 /

ALMOHADILLA

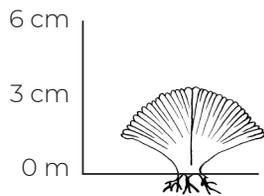
JUNCACEAE

Distichia acicularis

Balslev & Læggaard

Forma y altura máxima de crecimiento

Almohadilla

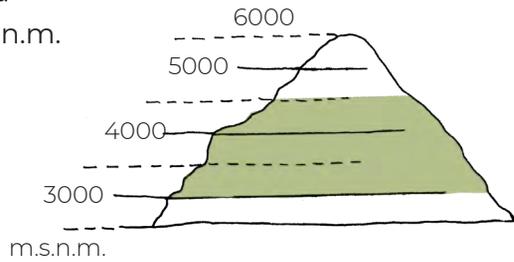


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

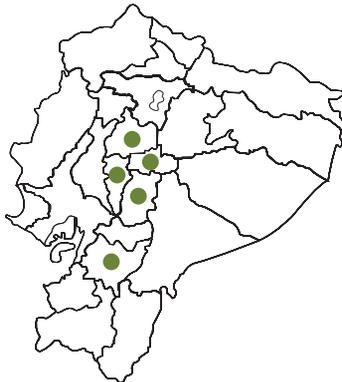
Rango altitudinal

De 3000 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Tungurahua



S. Chimbolema



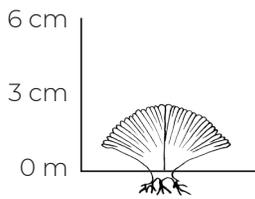
E. Suárez

JUNCACEAE
Distichia muscoides

Nees & Meyen

Forma y altura máxima de crecimiento

Almohadilla

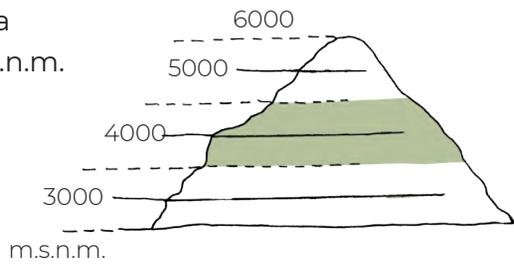


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

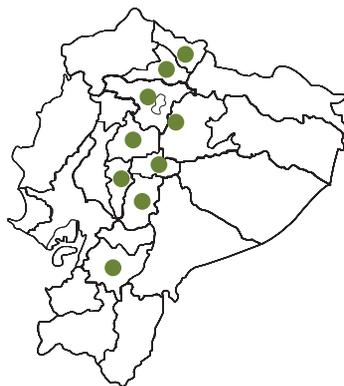
Rango altitudinal

De 3500 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Napo
- Pichincha
- Tungurahua



E. Suárez



ALMOHADILLA

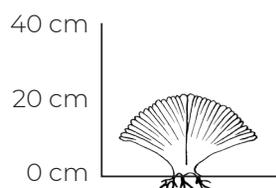
PLANTAGINACEAE

Plantago rigida

Kunth

Forma y altura máxima de crecimiento

Almohadilla

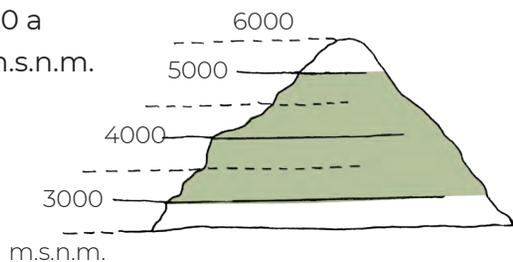


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

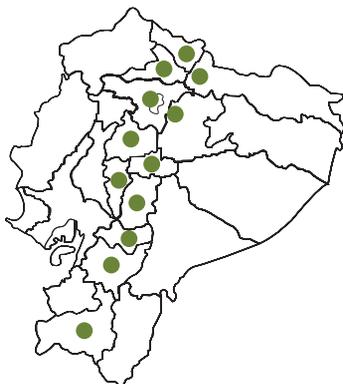
Rango altitudinal

De 3000 a 5000 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Cañar
- Carchi
- Chimborazo,
- Cotopaxi
- Imbabura
- Loja
- Napo
- Pichincha
- Sucumbíos
- Tungurahua



E. Suárez



R. Jaramillo

ARBUSTO ERECTO

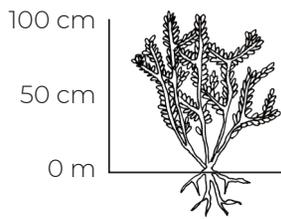
ASTERACEAE

Diplostephium rupestre

(Kunth) Wedd.

Forma y altura máxima de crecimiento

Arbusto erecto

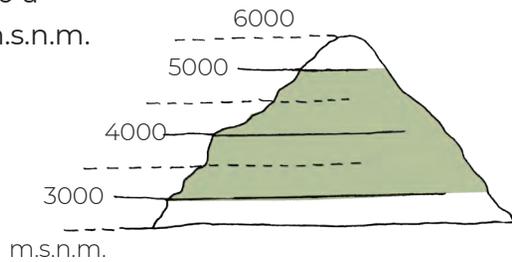


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

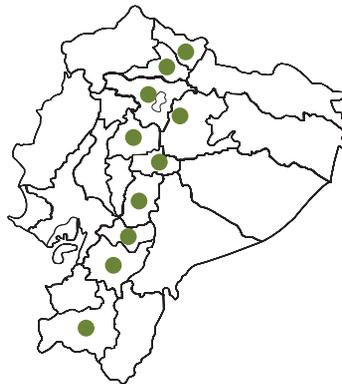
Rango altitudinal

De 3000 a 5000 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Loja
- Napo
- Pastaza
- Pichincha
- Tungurahua



E. Suárez



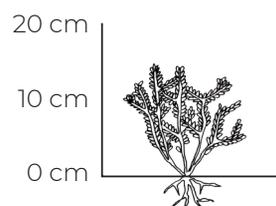
E. Suárez / 89 /

HYPERICACEAE
Hypericum
harlingii

Gilg

Forma y altura máxima de crecimiento

Arbusto erecto

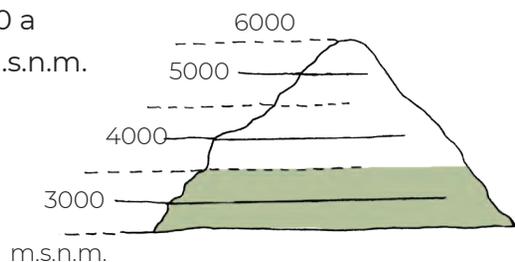


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

Rango altitudinal

De 2500 a 3500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Loja
- Zamora-Chinchipec



E. Suárez



E. Suárez

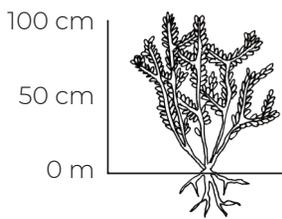
ARBUSTO ERECTO

HYPERICACEAE
Hypericum
quitense

R. Keller

Forma y altura máxima de crecimiento

Arbusto erecto

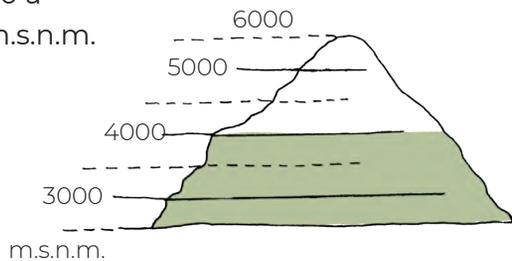


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

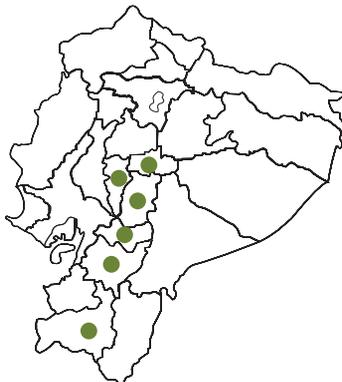
Rango altitudinal

De 2000 a
4000 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Cañar
- Chimborazo
- Loja
- Tungurahua



S. Chimbolema



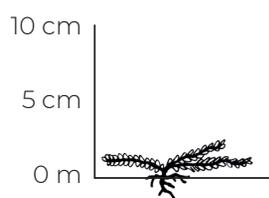
ERICACEAE

Disterigma empetrifolium

(Kunth) Drude.

Forma y altura máxima de crecimiento

Arbusto erecto

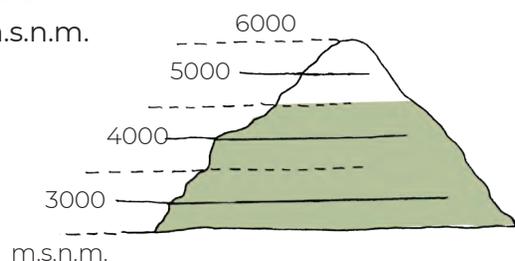


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

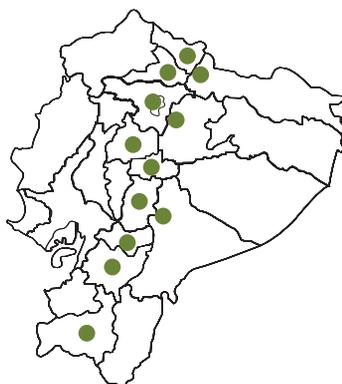
Rango altitudinal

De 2500 a
4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Cañar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Loja
- Morona-Santiago
- Napo
- Pichincha
- Sucumbíos
- Tungurahua



E. Suárez



E. Suárez

HIERBA ERECTA

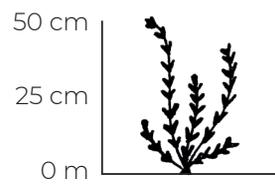
CYPERACEAE

Carex acutata

Boott

Forma y altura máxima de crecimiento

Hierba erecta

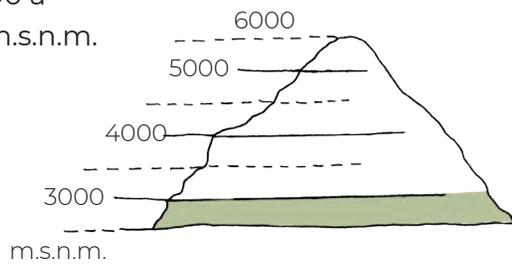


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

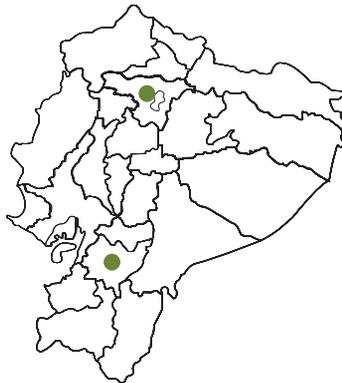
Rango altitudinal

De 2000 a
3000 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Pichincha



E. Suárez



E. Suárez / 93 /

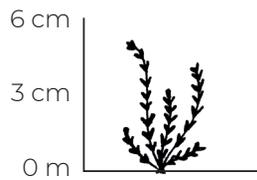
GENTIANACEAE

Gentiana sedifolia

Kunth

Forma y altura máxima de crecimiento

Hierba erecta

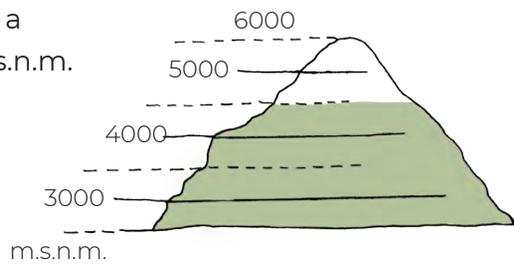


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

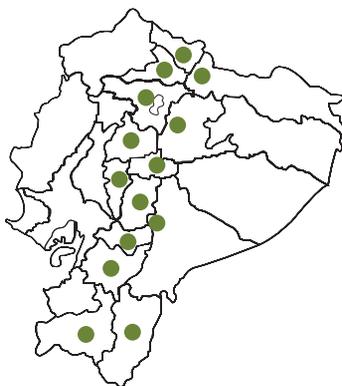
Rango altitudinal

De 2000 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Cañar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Loja
- Morona Santiago
- Napo
- Pichincha
- Sucumbíos
- Tungurahua
- Zamora Chinchipe



R. Jaramillo



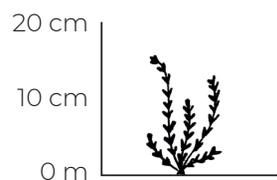
E. Suárez

GENTIANACEAE
Gentianella hirculus

(Griseb.) Fabris

Forma y altura máxima de crecimiento

Hierba erecta

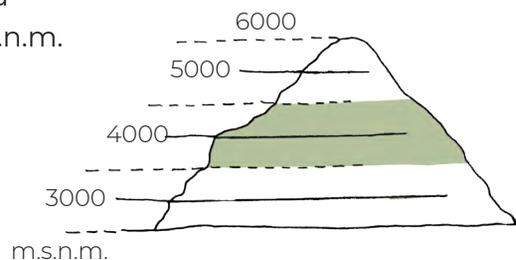


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

Rango altitudinal

De 3500 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay



E. Suárez



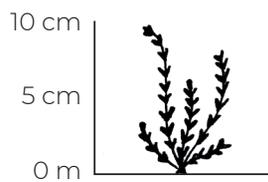
GENTIANACEAE

Gentianella limoselloides

(Kunth) Fabris

Forma y altura máxima de crecimiento

Hierba erecta

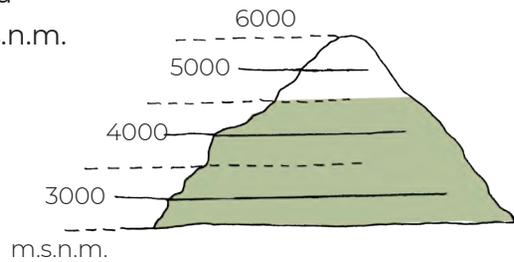


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

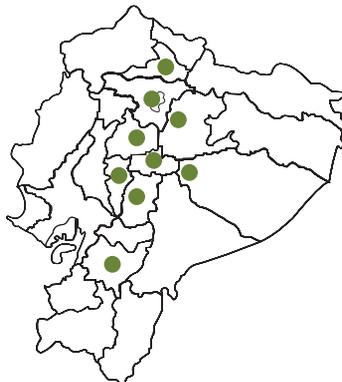
Rango altitudinal

De 3500 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Napo
- Pastaza
- Pichincha
- Tungurahua



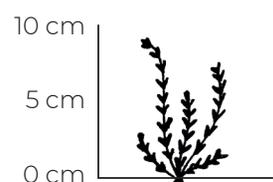
GENTIANACEAE

Gentianella nummulariifolia

(Griseb.) Fabris

Forma y altura máxima de crecimiento

Hierba erecta

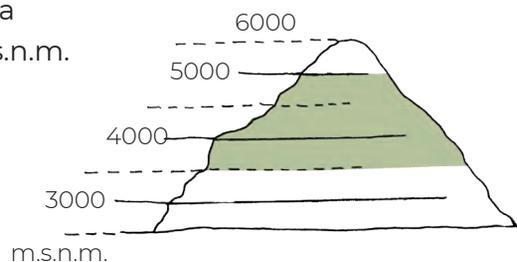


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

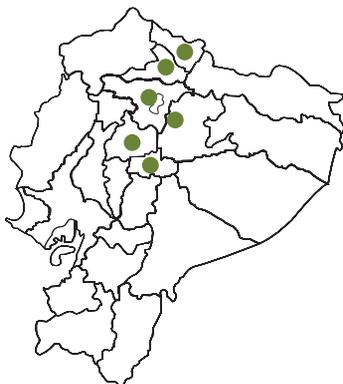
Rango altitudinal

De 3500 a 5000 m.s.n.m.

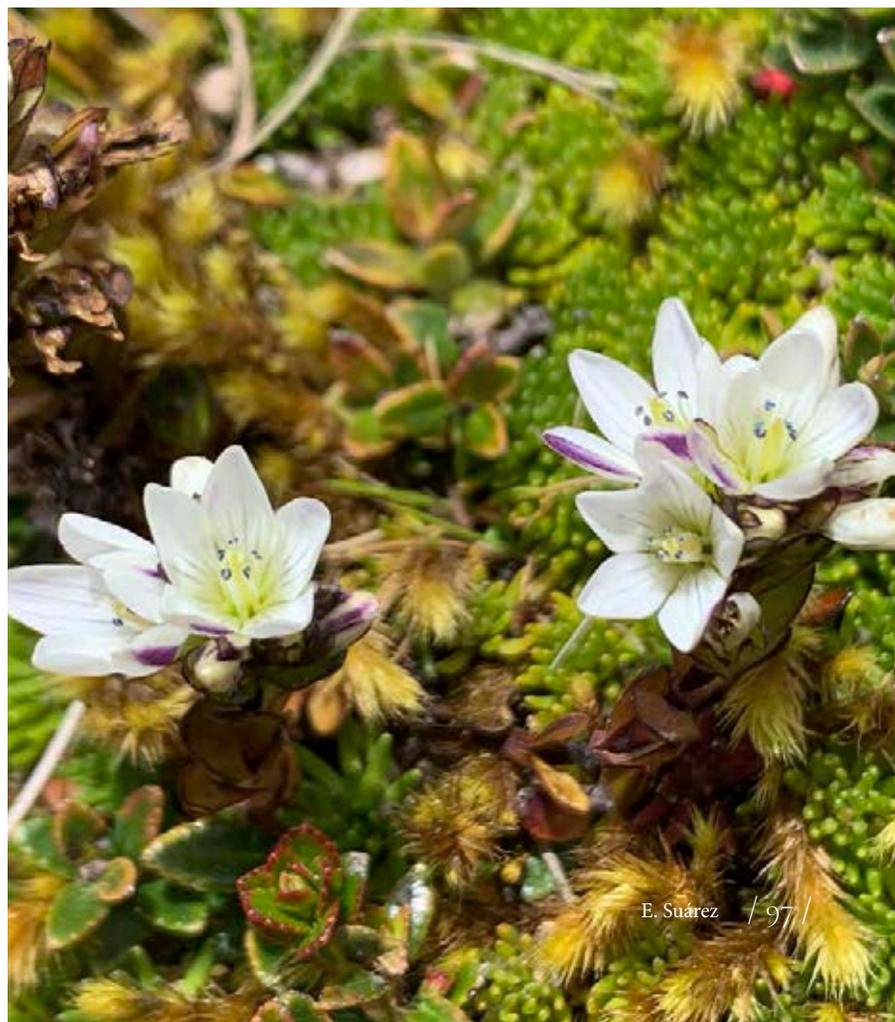


Distribución en Ecuador

- Carchi
- Cotopaxi
- Imbabura
- Napo
- Pichincha
- Tungurahua



R. Jaramillo

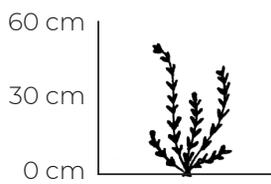


GENTIANACEAE
Gentianella
profusa

J.S. Pringle

**Forma y altura
máxima
de crecimiento**

Hierba erecta

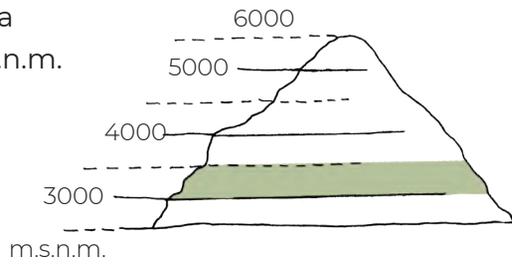


**Tipo de turbera
en la que se
encuentra**

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

Rango altitudinal

De 3000 a
3500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Loja



R. Jaramillo



R. Jaramillo

HIERBA ERECTA

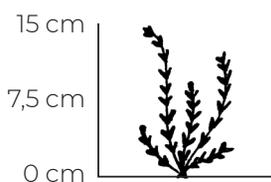
GENTIANACEAE

Halenia weddelliana

Gilg

Forma y altura máxima de crecimiento

Hierba erecta

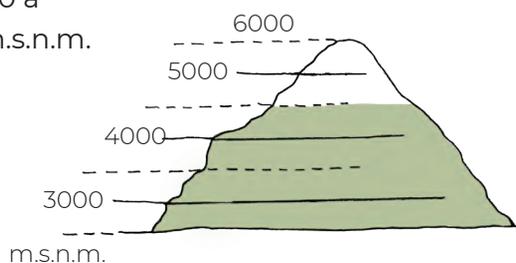


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

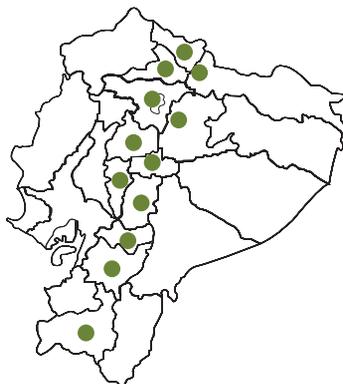
Rango altitudinal

De 2000 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Cañar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Loja
- Napo
- Pichincha
- Sucumbíos
- Tungurahua



E. Suárez



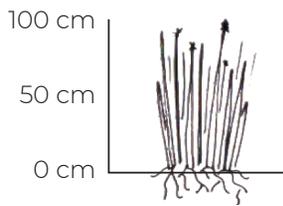
JUNCACEAE

Juncus arcticus

Willd.

Forma y altura máxima de crecimiento

Hierba erecta

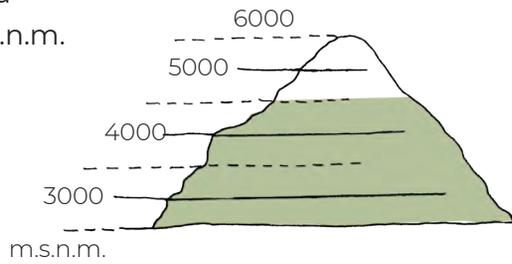


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

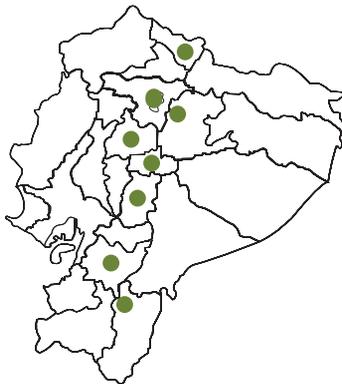
Rango altitudinal

De 2500 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Napo
- Pichincha
- Tungurahua
- Zamora-Chinchi



E. Suárez



E. Suárez

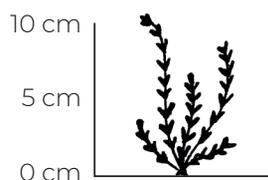
OROBANCHACEAE

Castilleja nubigena

Kunth

Forma y altura máxima de crecimiento

Hierba erecta

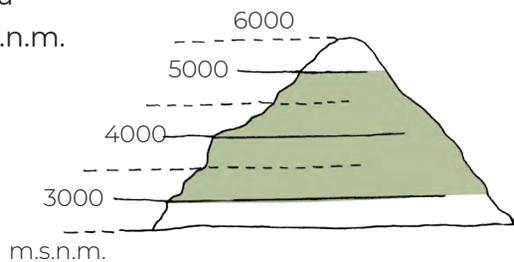


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

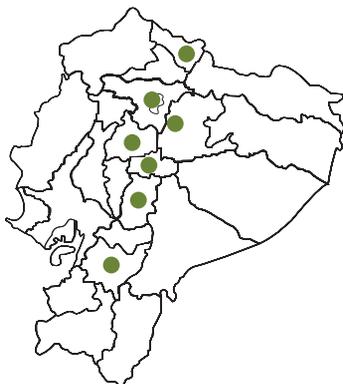
Rango altitudinal

De 3000 a 5000 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Napo
- Pichincha
- Tungurahua



S. Chimbolema



R. Jaramillo / IOI /

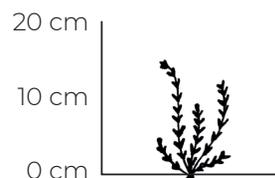
OROBANCHACEAE

Neobartsia stricta

(Kunth) Uribe-Convers & Tank

Forma y altura máxima de crecimiento

Hierba erecta

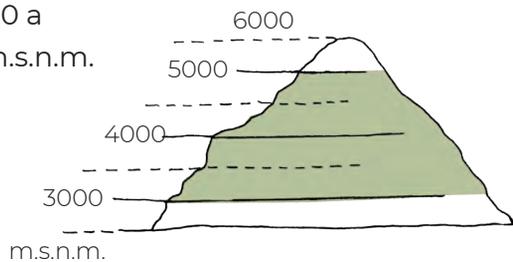


Tipo de turbera en la que se encuentra

-  Almohadilla
-  Herbácea
-  Juncos y Ciperáceas

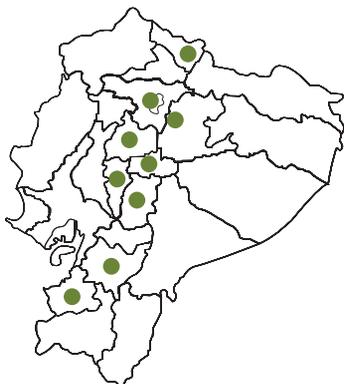
Rango altitudinal

De 3000 a 5000 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- El Oro
- Napo
- Pichincha
- Tungurahua



E. Suárez



E. Suárez

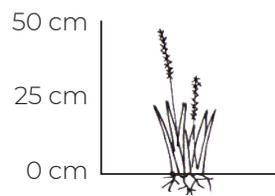
POACEAE

***Neurolepis*
*cf. laegaardii***

Cf. laegaardii

**Forma y altura
máxima
de crecimiento**

Hierba erecta



**Tipo de turbera
en la que se
encuentra**

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas



R. Jaramillo



R. Jaramillo / 103 /

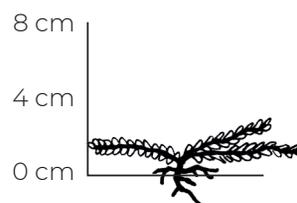
GERANEACEAE

Geranium maniculatum

H.E. Moore

Forma y altura máxima de crecimiento

Hierba postrada

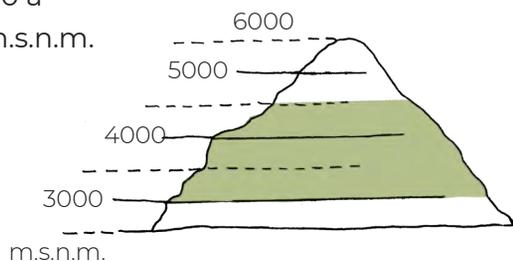


Tipo de turbera en la que se encuentra

-  Almohadilla
-  Herbácea
-  Juncos y Ciperáceas

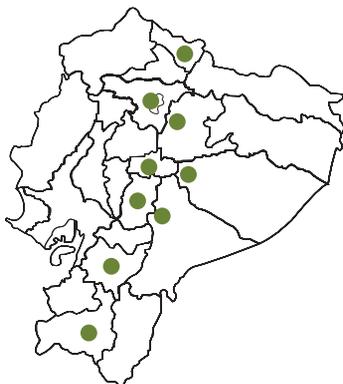
Rango altitudinal

De 3000 a
4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Carchi
- Chimborazo
- Loja
- Morona-Santiago
- Napo
- Pastaza
- Pichincha
- Tungurahua



R. Jaramillo



R. Jaramillo

HIERBA POSTRADA

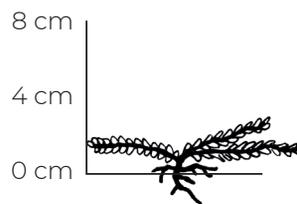
RUBIACEAE

Nertera granadensis

(Mutis ex L. f.) Druce

Forma y altura máxima de crecimiento

Hierba postrada

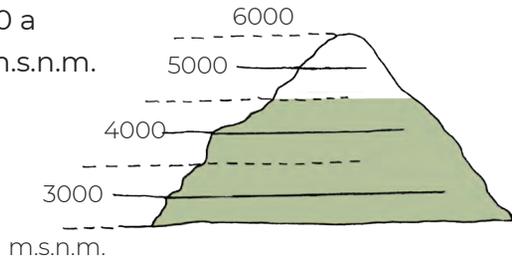


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

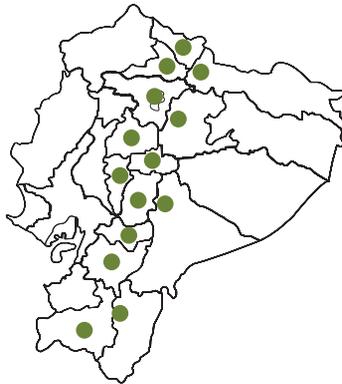
Rango altitudinal

De 1500 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Cañar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Loja
- Morona-Santiago
- Napo
- Pichincha
- Sucumbíos
- Tungurahua
- Zamora-Chinchipe



S. Chimbolema



S. Chimbolema / 105 /

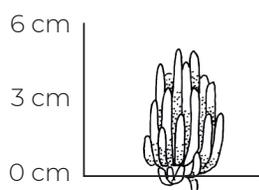
ISOETACEAE

Isoetes novo-granadensis

H.P. Fuchs

Forma y altura máxima de crecimiento

Lycophyta herbácea

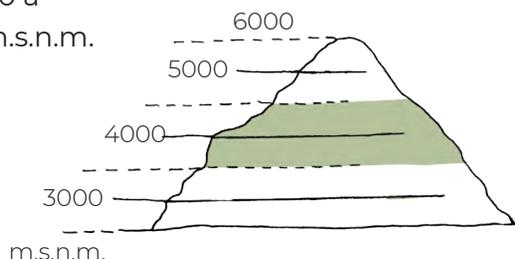


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

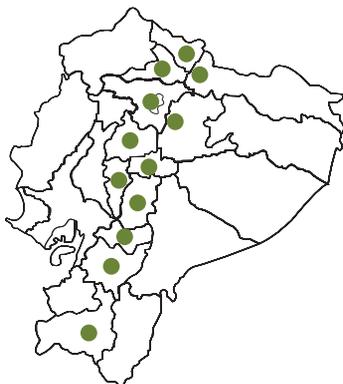
Rango altitudinal

De 3500 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Cañar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Loja
- Napo
- Pichincha
- Sucumbíos
- Tungurahua



S. Chimbolema



E. Suárez

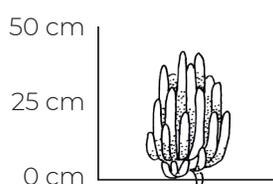
LYCOPODIACEAE

Phlegmariurus crassus

(Humb. & Bonpl. ex Willd.) B. Øllg.

Forma y altura máxima de crecimiento

Lycophyta herbácea

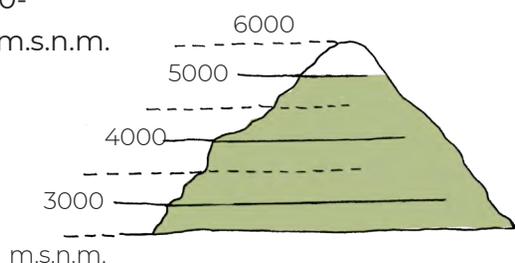


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

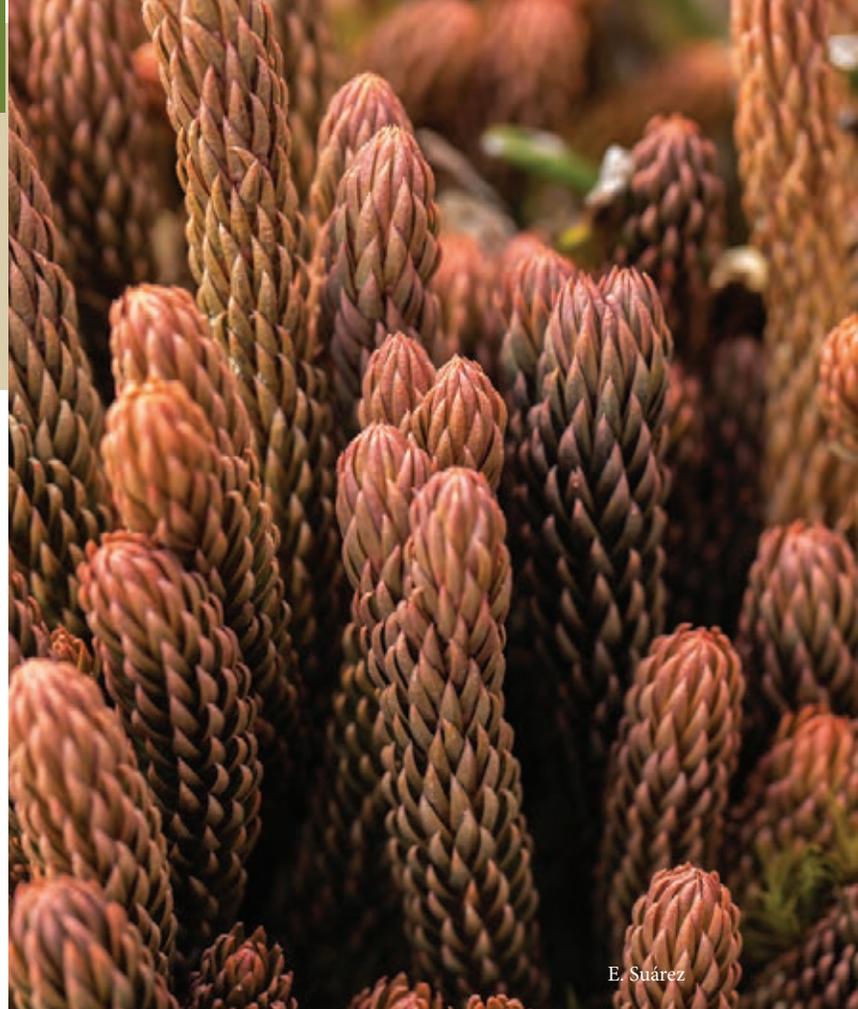
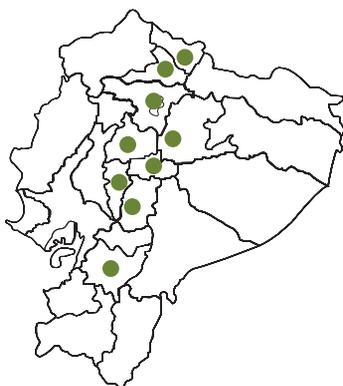
Rango altitudinal

De 2500-
>5000 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Napo
- Pichincha
- Tungurahua



E. Suárez



E. Suárez / 107 /

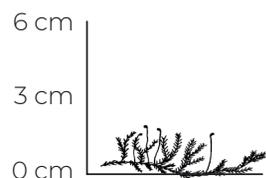
BARTRAMIACEAE

Bartramia sp.

Bartramia Hedw.

Forma y altura máxima de crecimiento

Musgo

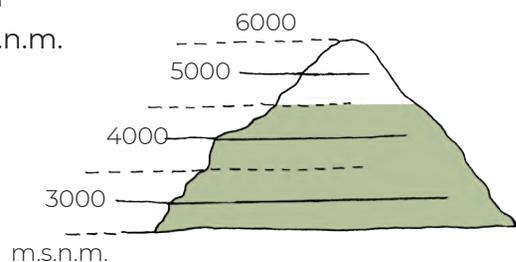


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

Rango altitudinal

De 1500 a 4500 m.s.n.m.



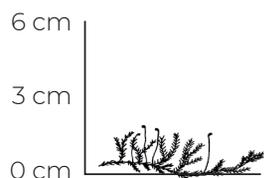
DICRANACEAE

Campylopus sp

Campylopus Brid.

Forma y altura máxima de crecimiento

Musgo

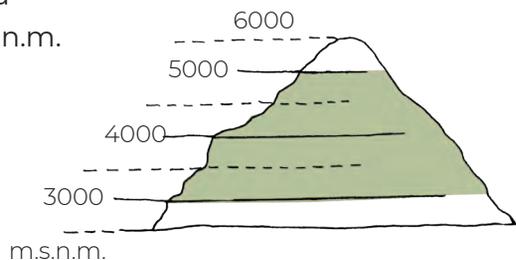


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

Rango altitudinal

De 3000 a 5000 m.s.n.m.



E. Suárez



E. Suárez / 109 /

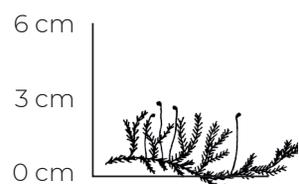
SPHAGNACEAE

Sphagnum sp

Sphagnum L.

Forma y altura máxima de crecimiento

Musgo

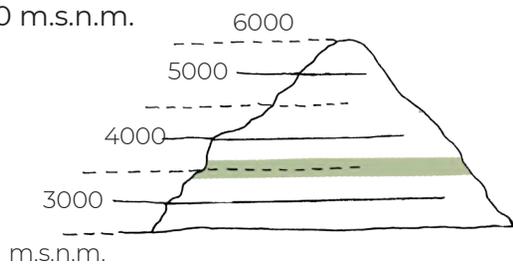


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

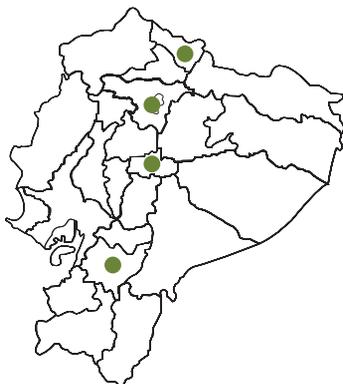
Rango altitudinal

De 3500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Carchi
- Pichincha
- Tungurahua



R. Jaramillo



E. Suárez

PENACHO

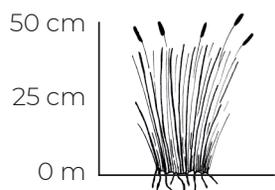
CYPERACEAE

Carex pichinchensis

Kunth

Forma y altura máxima de crecimiento

Penacho

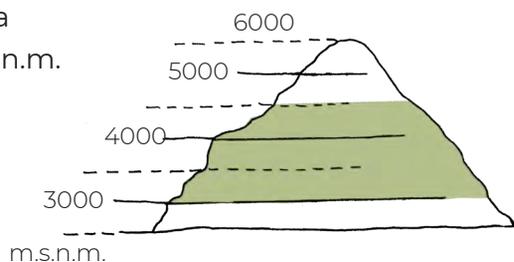


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

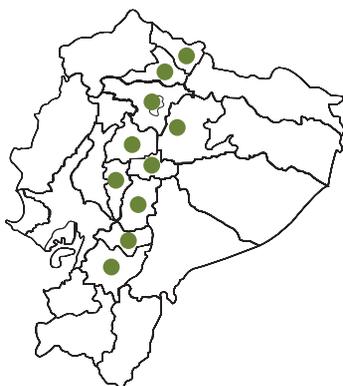
Rango altitudinal

De 3000 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Cañar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Napo
- Pichincha
- Tungurahua



R. Jaramillo



R. Jaramillo / III /

PENACHO

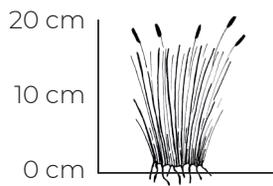
CYPERACEAE

Carex pygmaea

Boeckeler

Forma y altura máxima de crecimiento

Penacho

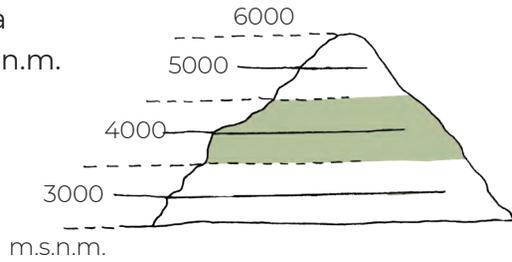


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

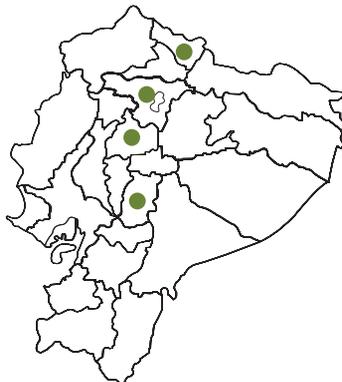
Rango altitudinal

De 3500 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Pichincha



S. Chimbolema



S. Chimbolema

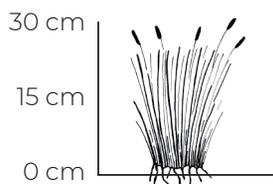
POACEAE

Calamagrostis fibrovaginata

Lægaard

Forma y altura máxima de crecimiento

Penacho

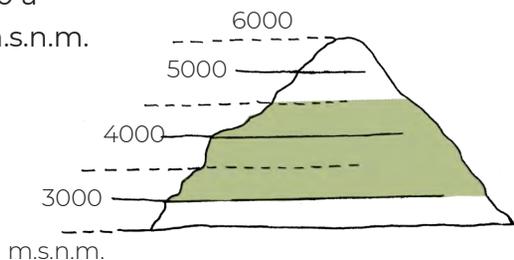


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

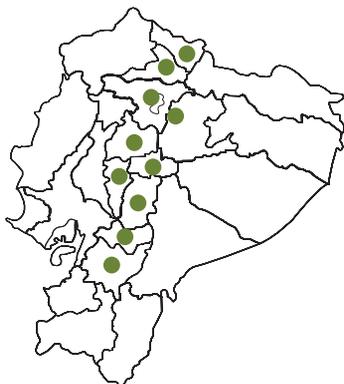
Rango altitudinal

De 3000 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Cañar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Napo
- Pichincha
- Tungurahua



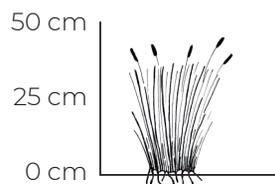
POACEAE

Calamagrostis ligulata

(Kunth) Hitchc.

Forma y altura máxima de crecimiento

Penacho

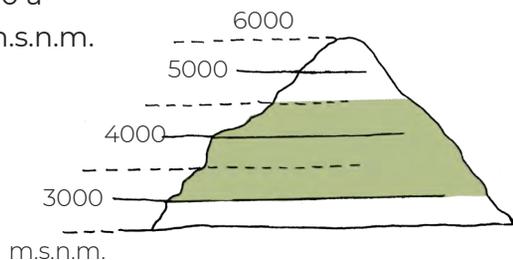


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

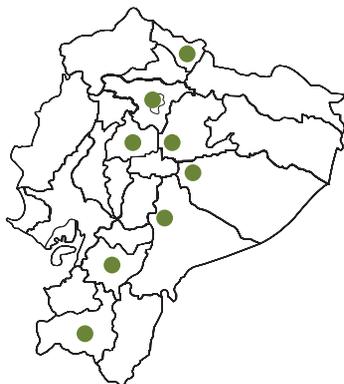
Rango altitudinal

De 3000 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Carchi
- Cotopaxi
- Loja
- Morona-Santiago
- Napo
- Pastaza
- Pichincha



E. Suárez



E. Suárez

PENACHO

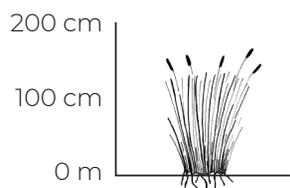
POACEAE

Cortaderia nitida

(Kunth) Pilg

Forma y altura máxima de crecimiento

Penacho

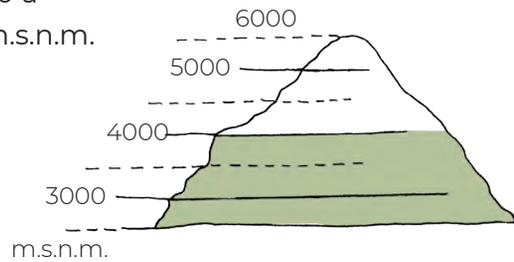


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

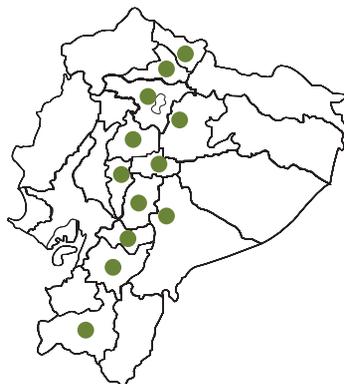
Rango altitudinal

De 2500 a 4000 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Cañar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Loja
- Morona-Santiago
- Napo
- Pichincha
- Tungurahua



E. Suárez



E. Suárez / 115 /

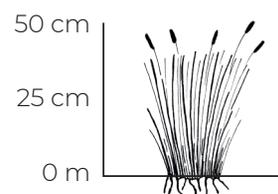
POACEAE

Cortaderia sericantha

(Steud.) Hitchc

Forma y altura máxima de crecimiento

Penacho

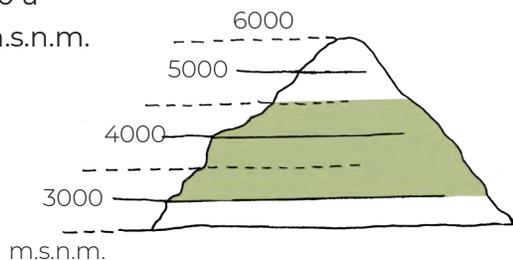


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

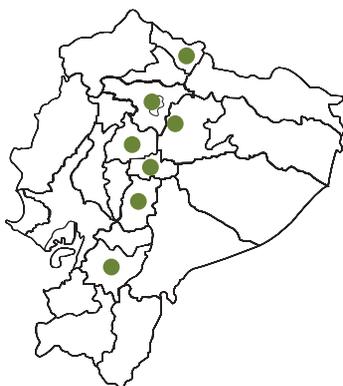
Rango altitudinal

De 3000 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Napo
- Pichincha
- Tungurahua



E. Suárez



E. Suárez

PENACHO

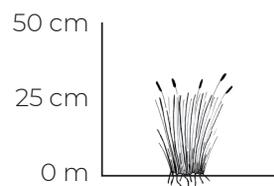
POACEAE

Festuca andicola

Kunth

Forma y altura máxima de crecimiento

Penacho

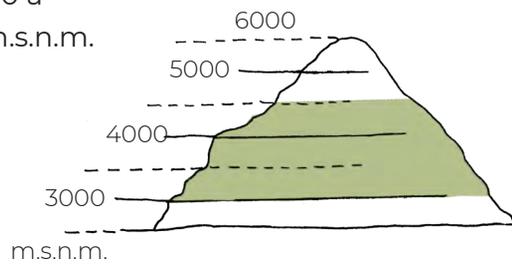


Tipo de turbera en la que se encuentra

-  Almohadilla
-  Herbácea
-  Juncos y Ciperáceas

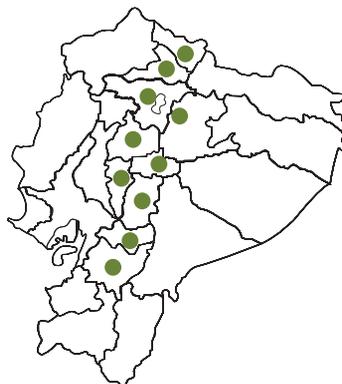
Rango altitudinal

De 3000 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Cañar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Napo
- Pichincha
- Tungurahua



R. Jaramillo



R. Jaramillo / 117 /

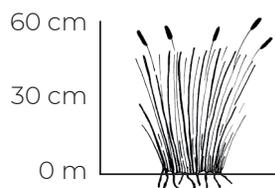
POACEAE

Festuca asplundii

E.B. Alexeev

Forma y altura máxima de crecimiento

Penacho

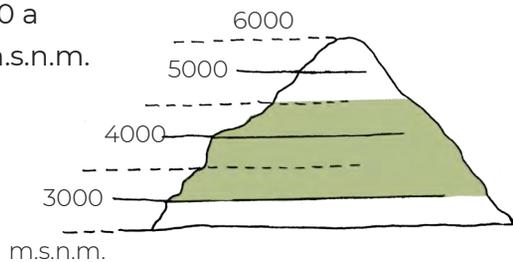


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

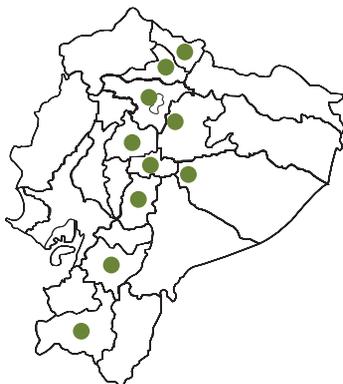
Rango altitudinal

De 3000 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Loja
- Napo
- Pastaza
- Pichincha
- Tungurahua



S. Chimbolema



E. Suárez

ROSETA ACAULESCENTE

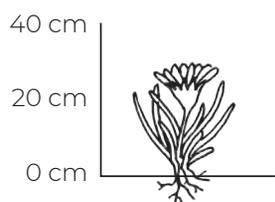
ASTERACEAE

Oritrophium crocifolium

(Kunth) Cuatrec.

Forma y altura máxima de crecimiento

Roseta acaulescente

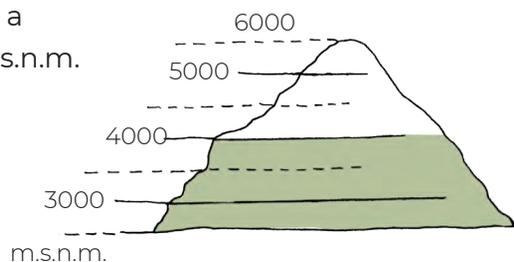


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

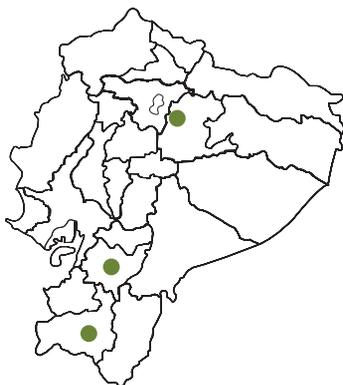
Rango altitudinal

De 2500 a
4000 m.s.n.m.

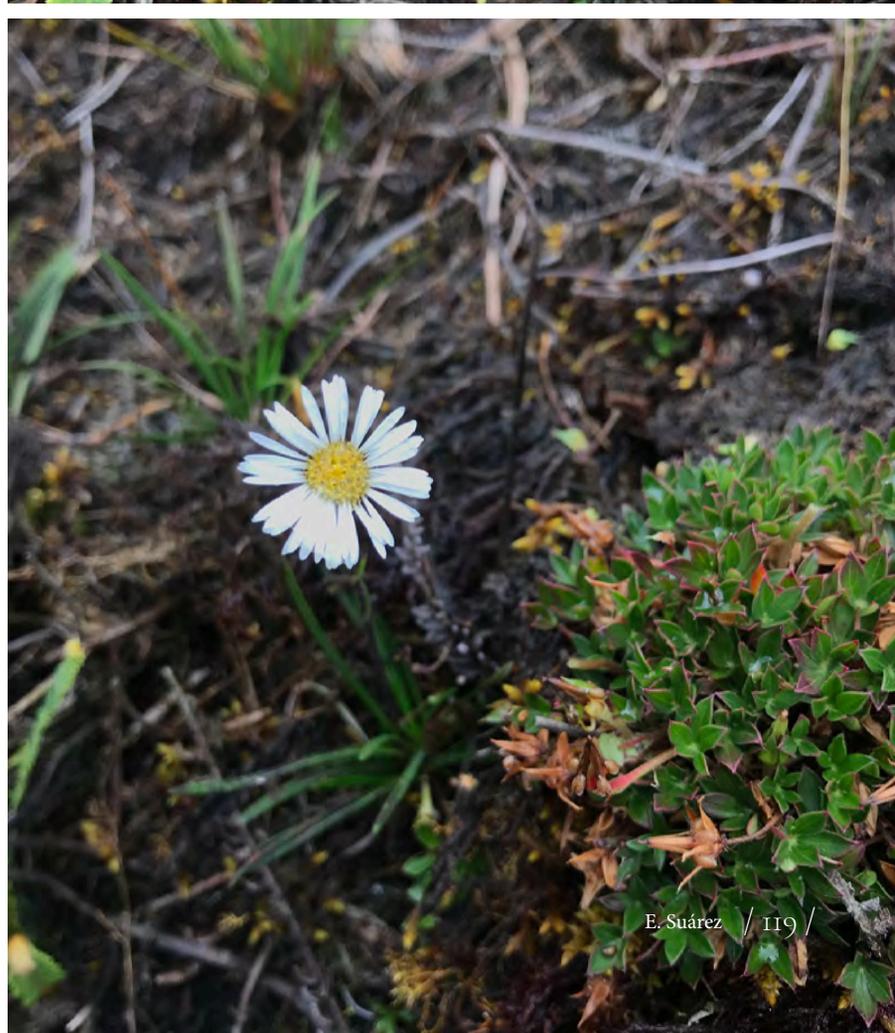


Distribución en Ecuador

- Azuay
- Loja
- Napo



E. Suárez



E. Suárez / 119 /

ROSETA ACAULESCENTE

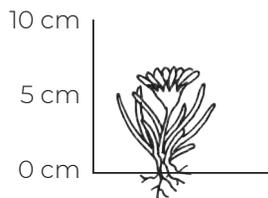
ASTERACEAE

Oritrophium limnophilum

(Sch. Bip.) Cuatrec.

Forma y altura máxima de crecimiento

Roseta acaulescente

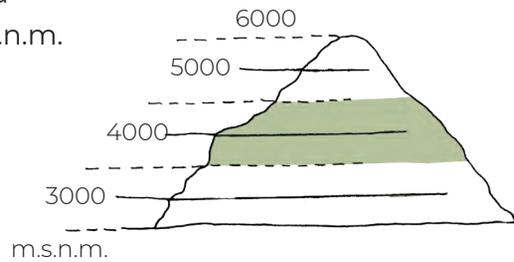


Tipo de turbera en la que se encuentra

-  Almohadilla
-  Herbácea
-  Juncos y Ciperáceas

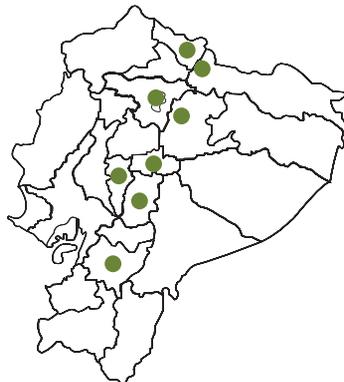
Rango altitudinal

De 3500 a
4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Carchi
- Chimborazo
- Napo
- Pichincha,
- Sucumbíos
- Tungurahua



R. Jaramillo



R. Jaramillo

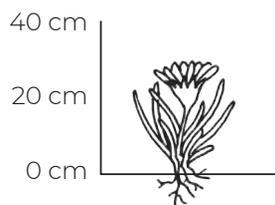
ASTERACEAE

Oritrophium peruvianum

(Lam.) Cuatrec.

Forma y altura máxima de crecimiento

Roseta acaulescente

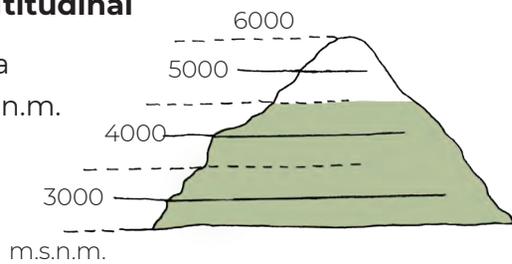


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

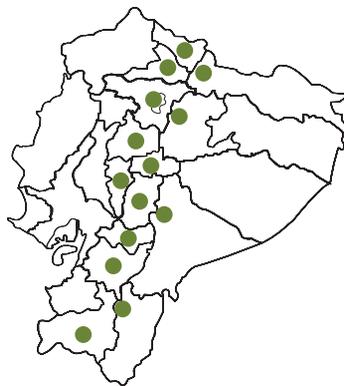
Rango altitudinal

De 2000 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Cañar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Loja
- Morona Santiago
- Napo
- Pichincha
- Sucumbíos
- Tungurahua
- Zamora Chinchipe



E. Suárez



E. Suárez / 121 /

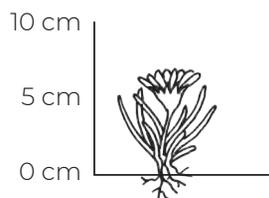
ROSETA ACAULESCENTE

ASTERACEAE
***Oritrophium
yacurensis***

(Kunth) Cuatrec.

Forma y altura máxima de crecimiento

Roseta acaulescente

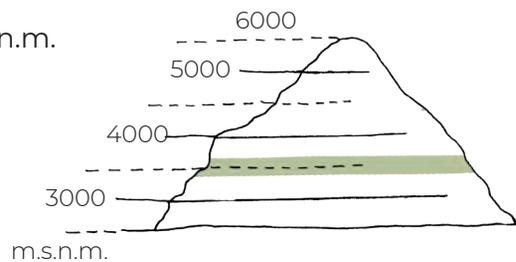


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

Rango altitudinal

3395 m.s.n.m.



S. Chimbolema



S. Chimbolema

ROSETA ACAULESCENTE

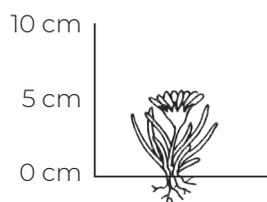
ASTERACEAE

Werneria pygmaea

Gillies ex Hook. & Arn.

Forma y altura máxima de crecimiento

Roseta acaulescente

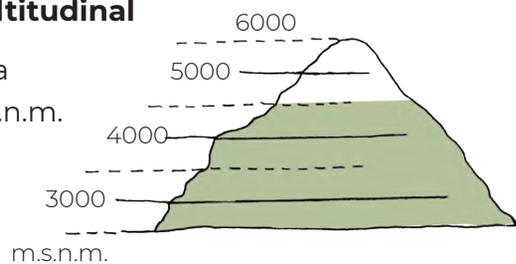


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

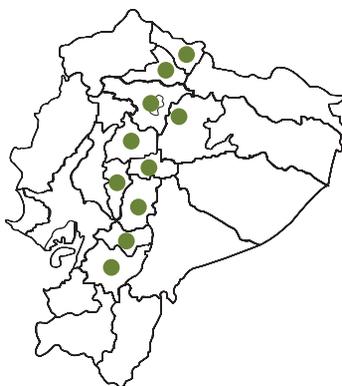
Rango altitudinal

De 2500 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Bolívar
- Cañar
- Carchi
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Imbabura
- Napo
- Pichincha
- Tungurahua



E. Suárez



S. Chimbolema / 123 /

ROSETA ACAULESCENTE

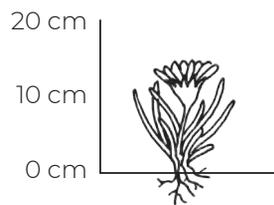
CAPRIFOLIACEAE

Valeriana bracteata

Benth.

Forma y altura máxima de crecimiento

Roseta acaulescente

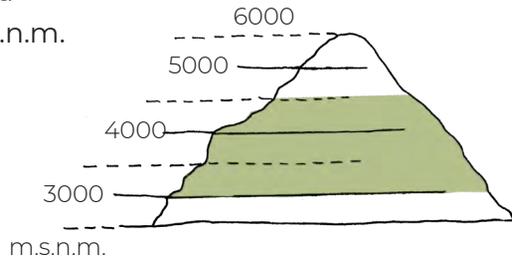


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

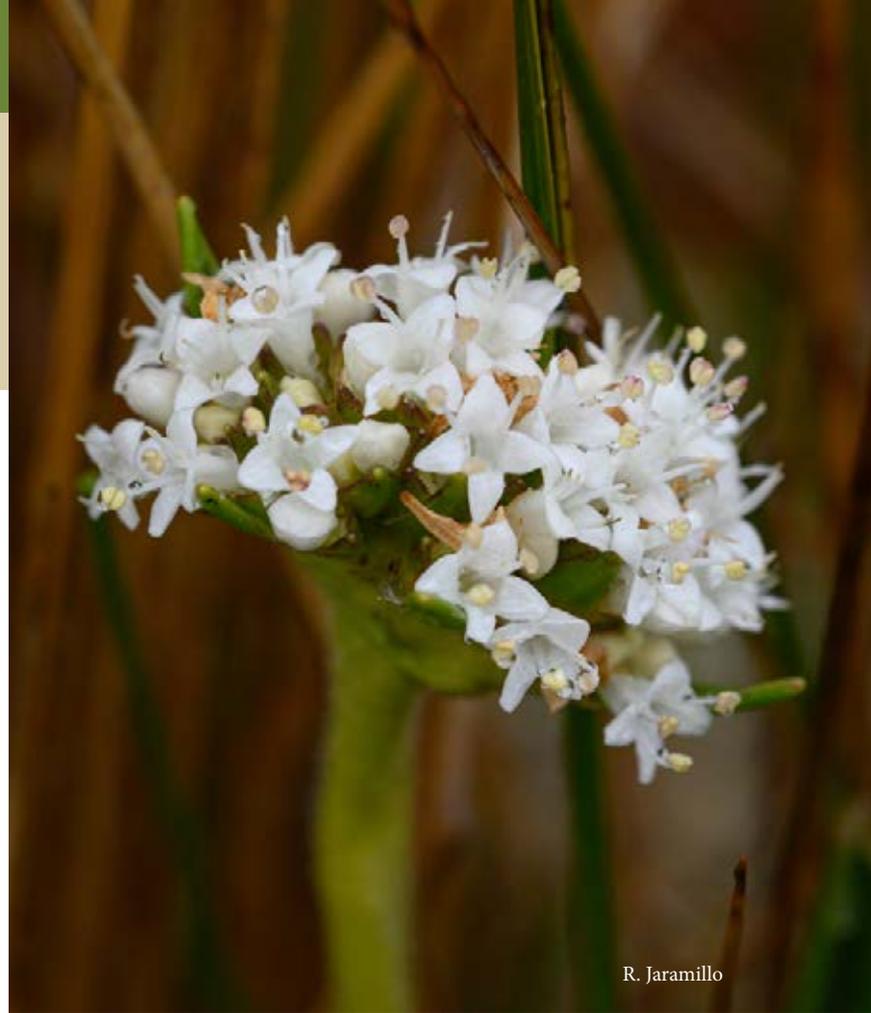
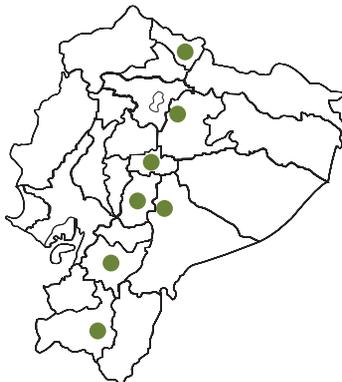
Rango altitudinal

De 3000 a
4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Carchi
- Chimborazo
- Loja
- Morona-Santiago
- Napo
- Tungurahua



R. Jaramillo



R. Jaramillo

ROSETA ACAULESCENTE

ERIOCAULACEAE

Paepalanthus sp

Mart.

Forma de crecimiento

Roseta acaulescente



Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas



R. Jaramillo



R. Jaramillo / 125 /

ROSETA ACAULESCENTE

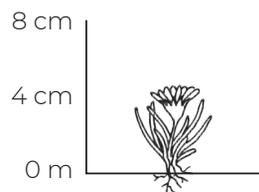
RANUNCULACEAE

Caltha sagittata

Caltha sagittata Cav.

Forma y altura máxima de crecimiento

Roseta acaulescente

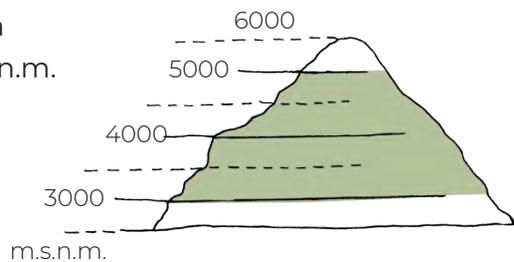


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

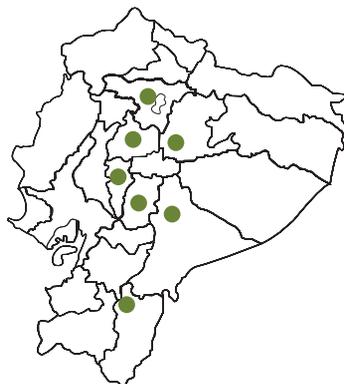
Rango altitudinal

De 3000 a 5000 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Bolívar
- Chimborazo
- Cotopaxi
- Morona-Santiago
- Napo
- Pichincha
- Zamora-Chinchipec.



R. Jaramillo



R. Jaramillo

ROSETA CAULESCENTE

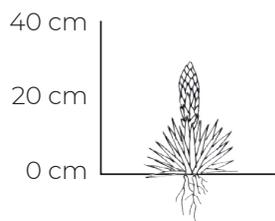
BROMELIACEAE

Puya exigua

Mez

Forma y altura máxima de crecimiento

Roseta caulescente

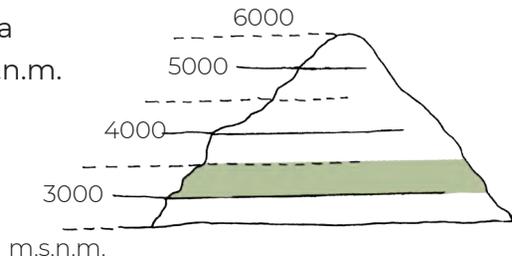


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

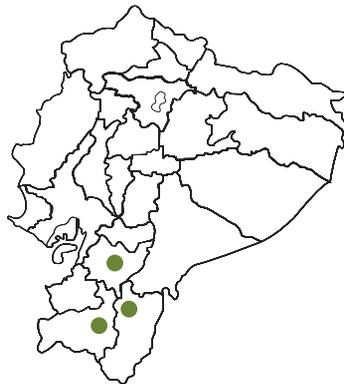
Rango altitudinal

De 3000 a 3500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Loja
- Zamora Chinchipe



R. Jaramillo



R. Jaramillo / 127 /

ROSETA CAULESCENTE

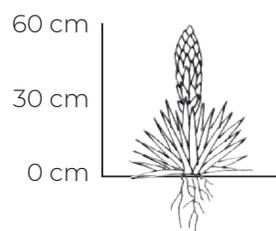
BROMELIACEAE

Puya hamata

L.B. Sm.

Forma y altura máxima de crecimiento

Roseta caulescente

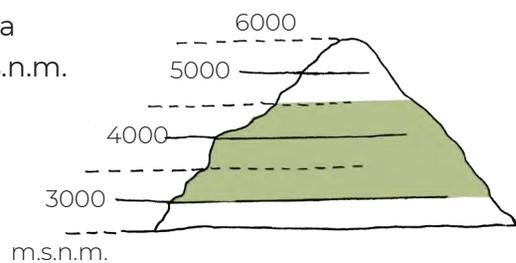


Tipo de turbera en la que se encuentra

- Almohadilla
- Herbácea
- Juncos y Ciperáceas

Rango altitudinal

De 3000 a 4500 m.s.n.m.



Distribución en Ecuador

- Azuay
- Carchi
- Cotopaxi
- Imbabura
- Napo

