

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

**Evaluación de los efectos de la restauración de una turbera de páramo sobre la biomasa aérea de plantas.**

**Valeria Del Pozo López**

**Biología**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Bióloga

Quito, 22 de mayo de 2023

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Evaluación de los efectos de la restauración de una turbera de páramo  
sobre la biomasa aérea de plantas**

**Valeria Del Pozo López**

**Esteban Suárez, PhD.**

Quito, 22 de mayo de 2023

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Valeria Del Pozo López

Código: 210531

Cédula de identidad: 1721603668

Lugar y fecha: Quito, 22 de mayo de 2023

## ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## UNPUBLISHED DOCUMENT

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

Las turberas de páramo son ecosistemas que reúnen características únicas por su geografía, clima frío y húmedo, y bajas tasas de descomposición de materia orgánica. Dentro de las turberas, se almacena una gran cantidad de biomasa vegetal, carbono, y especies de flora y fauna. A pesar de su importancia, estos sitios han sido disturbados para adaptarlos a la agricultura y ganadería. La turbera de la Reserva Chakana (Fundación Jocotoco) fue drenada para ser utilizada como potrero desde hace más de 200 años. En el 2017, empezó una iniciativa de restauración de esta turbera de páramo. En este contexto, el objetivo de este trabajo es presentar una evaluación de la actividad de restauración de Chakana en términos de recuperación de biomasa vegetal aérea, junto con un análisis de los cambios en la composición de la comunidad de plantas. El estudio comparó la turbera restaurada (Chakana alta) con la zona de la turbera que no fue restaurada (Chakana baja) para determinar la cantidad de biomasa vegetal aérea que posee cada sitio, y también la cobertura de vegetación dominante en las dos zonas.

Los resultados que obtuvimos muestran que la zona de Chakana alta almacena 149 toneladas más de biomasa vegetal aérea que la zona de Chakana baja. El tipo de vegetación dominante en Chakana alta son los parches dominados por *Festuca andicola* y *Eleocharis dombeyana*, ambas especies nativas de humedal altoandino. En Chakana baja los parches dominantes son los de *Anthoxanthum odoratum*, especie típica de potrero. También encontramos que la zona restaurada almacena en promedio 18 Mg C/ha, mientras que la zona no restaurada almacena un promedio de 10 Mg C/ha.

Palabras clave: Turberas, Disturbio, Restauración, Biomasa, Comunidad vegetal, Carbono.

## ABSTRACT

Páramo peatlands reunite unique characteristics due to their geography, cold and humid climate, and low organic matter decomposition rates. A large amount of plant biomass and carbon is stored within peatlands, and it is also habitat for different species of flora and fauna. Despite their importance, these sites have been disturbed to adapt them for agriculture and cattle ranching. The peatland of Chakana Reserve (Jocotoco Foundation) was drained to be used as pasture more than 200 years ago. In 2017, an initiative to restore this peatland started. The objective of this study is to present an evaluation of the Chakana restoration activity in terms of recovery of aboveground biomass, together with an analysis of changes in plant community composition. The study made a comparison between the restored (Chakana alta) and non-restored area (Chakana baja) to determine the amount of aboveground biomass that each site possesses, and also the dominant vegetation cover in the two zones.

The results of this study showed that Chakana alta stores an additional of 149 tons of aboveground biomass more than Chakana baja. The main vegetation types in Chakana alta are patches dominated by *Festuca andicola* and *Eleocharis dombeyana*, both native species of high Andean wetlands. In Chakana baja the dominant patches are those of *Anthoxanthum odoratum*, typical of pasture sites. We also found that the restored zone stores an average of 18 Mg C/ha, while the non-restored zone stores an average of 10 Mg C/ha.

Key words: Peatlands, Disturbance, Restoration, Aboveground biomass, Plant community, Carbon.

**TABLA DE CONTENIDO**

Introducción .....	9
Metodología .....	12
Resultados.....	19
Discusión.....	21
Referencias bibliográficas.....	25

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorías de vegetación de Chakana Alta.....	16
Tabla 2. Categorías de vegetación de Chakana baja.....	17



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la turbera de Chakana y cuadrantes .....	14
Figura 2. Diferencia de biomasa aérea vegetal .....	19
Figura 3. Aporte de biomasa por tipo de vegetación. A: Chakana baja B: Chakana alta .....	20
Figura 4. Promedio de almacenamiento de C en zona restaurada (Chakana alta) y zona no restaurada (Chakana baja).....	21

## INTRODUCCIÓN

Los páramos son ecosistemas estratégicos. Ubicados en los Andes del norte a más de 3000 metros de elevación, estos sitios reúnen características únicas como su geografía, clima frío y húmedo, y bajas tasas de descomposición de materia orgánica. Adicionalmente, por su topografía y elevación, los páramos son un sitio de diversificación de flora y fauna y sirven como corredor biológico de muchas especies, así como fuente importante de varios servicios ecosistémicos (Flantua et al., 2019). El páramo tiene muchos paisajes distintos, como pajonales, zonas de almohadillas, bosques de altura y turberas de páramo. Estas últimas se caracterizan por ser humedales con amplias capas de turba (suelo formado por materia orgánica parcialmente descompuesta) que se forman por las bajas temperaturas y las condiciones anóxicas de los suelos inundados (Suárez et al., 2022). Esta característica resulta en un ecosistema con comunidades vegetales particulares en composición y estructura, así como una gran capacidad de almacenamiento de agua y carbono (Hribljan et al., 2017).

Debido a sus altas tasas de acumulación de carbono, las turberas de páramo tienen un rol fundamental en la mitigación de los efectos de cambio climático y en la regulación y suministro de agua (Benavides et al., 2013; Mosquera et al., 2015)(Chimner & Karberg, 2008). La estructura y vegetación de las turberas de páramo en Ecuador son heterogéneas según el entorno geomorfológico, los patrones climáticos locales y la elevación, que van desde pequeñas turberas (<0,5 ha) dominado por plantas que forman almohadillas (principalmente *Plantago rigida* y *Distichia muscoides*) en pequeñas depresiones topográficas; a grandes turberas (de 10 a 100 ha) dominadas por gramíneas, musgos y arbustos en elevaciones intermedias, hasta juncos en el fondo de grandes valles glaciares (Suarez et al., 2022).

Estudios previos sobre las turberas se han enfocado en la importancia de estos como sumideros de carbono (Hribljan et al., 2016) (Chimner & Karberg, 2008) (Ribeiro et al., 2021). Las turberas de montaña en la región nororiental de Ecuador tienen suelos densos y profundos con grandes reservas de carbono. En promedio, las turberas de Ecuador tienen una profundidad promedio de 4,6 m y almacenan aproximadamente 1573 Mg C/ ha (Hribljan et al., 2016). Comparados con información de turberas de montaña de Norteamérica que tiene casi el doble de edad y cerca de 200 Mg de C/ha, estos datos implican que las turberas de páramo son el mayor sumidero de carbono por área registrado para cualquier tipo de ecosistema en el páramo ecuatoriano (Hribljan et al., 2016, 2017; Suárez et al., 2022).

A pesar de su importancia, las turberas de páramo en Ecuador han recibido poca atención científica y no son concebidas como un ecosistema diferente del de páramo, por lo tanto carecen de planes explícitos para su protección o manejo. Por otro lado, sus suelos profundos y la presencia de abundante agua los hace particularmente vulnerables al cambio de cobertura para permitir agricultura y la ganadería (Suarez et al., 2022). Sin embargo, estas actividades casi siempre están acompañadas por la excavación de canales que tienen el objetivo de drenar la turbera y bajar el nivel freático para que el exceso de agua que caracteriza a las turberas no afecte a los animales domésticos o a los cultivos. Estos disturbios afectan la dinámica del ecosistema cambiando su hidrología, la composición de especies y reduciendo la cobertura de la vegetación. A pesar de la importancia de estas alteraciones, en el país existen muy pocas experiencias sobre conservación y restauración de turberas de páramo.

En diciembre de 2017 se inició un proyecto de restauración una turbera de páramo (Chakana), una turbera de 21 ha ubicada a 3750 m dentro de la Reserva Chakana, propiedad de la Fundación Jocotoco. Esta iniciativa se dio con base a 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. Para restaurar la hidrología y la vegetación de la turbera de Chakana, se utilizaron metodologías generales descritas para la restauración de turberas de montaña en otras partes del mundo, las cuales incluyen el bloqueo de canales para detener el movimiento de agua (Chimner et al., 2017, 2019; Planas-Clarke et al., 2020). En este proyecto se utilizaron dos técnicas de bloqueo dependiendo de las características de las zanjas. Las zanjas profundas con agua en movimiento rápido y siguiendo la dirección de la pendiente se bloquearon con una combinación de barreras de madera y pacas de paja con una separación entre 3 y 10 m, dependiendo de la pendiente del terreno. Las barreras tenían el propósito de reducir la energía del agua en movimiento, mientras que las pacas de paja se colocaron aguas abajo, detrás de las barreras, con el fin de proporcionar un sustrato para la colonización de plantas y estabilizar aún más los bloqueos (Suarez et al., 2022).

Uno de los principales resultados de este proceso de restauración, ha sido el re-humedecimiento de la turbera, que se refleja en los datos de nivel freático. A partir del 2020, el nivel freático comenzó a subir considerablemente y a hacerse mucho más estable. El promedio de las mediciones del 2020 y 2021 fue tres veces más alto que en el período 2017-2019; asimismo, el nivel freático se ha hecho considerablemente más estable (Chimbolema et al., 2022) evidenciando un claro patrón de re-humedecimiento de la turbera en respuesta al bloqueo de los

canales. Sin embargo, a pesar de que a escala de paisaje se puede apreciar la regeneración del ecosistema, no se han evaluado cuantitativamente los cambios en la estructura de la comunidad vegetal que se podrían haber generado como resultado del re-humedecimiento de la turbera a raíz de la restauración. En este contexto, este estudio presenta una metodología para evaluar los impactos de la actividad de restauración implementada en la turbera de Chakana en términos de recuperación de biomasa vegetal aérea después de 6 años del inicio del proceso de recuperación. Adicionalmente, presenta un análisis de los cambios en la composición de la comunidad de plantas, comparando las áreas restaurada y no restaurada de la turbera de Chakana. Este tipo de estudios contribuye a la creación de una línea base para aplicar este tipo de restauración en otros ecosistemas de turberas de páramo en Ecuador, y ofrece evidencia de los beneficios en términos tanto de servicios ecosistémicos como económicos de la conservación y restauración de ecosistemas de turberas de páramo.

## **METODOLOGÍA**

### *Área de estudio*

El estudio se llevó a cabo en la turbera de Chakana ubicada a 3750 msnm y con un tamaño de 21 hectáreas (Suarez et al., 2022). Chakana es una reserva ubicada entre las provincias de Pichincha y Napo y se ubica en las laderas occidentales del volcán Antisana, 48 km al sureste de Quito.

Este ecosistema de páramo se caracteriza por un clima frío y húmedo, que recibe una cantidad significativa de lluvia con importantes aportes de humedad de nubes y niebla que son interceptadas por la vegetación del páramo.

En el caso específico de Chakana, la turbera fue drenada para ser utilizada como sitio de pastoreo del ganado vacuno desde hace más de cien años. Como resultado de este proceso, la vegetación pasó a ser dominada por especies introducidas de potrero (e.g. *Anthoxanthum odoratum*, *Paspalum sp.*), o especies nativas resistentes al pastoreo como *Lachemilla orbiculata*. El proceso de restauración que se evalúa en este estudio, inició en diciembre de 2017, y se concentró en la parte superior de la turbera (Chakana alta: aproximadamente 21 ha), dejando sin restaurar la parte inferior (Chakana baja: Figura 1). En este contexto, para este estudio evalué los resultados de la restauración comparando los patrones de vegetación y almacenamiento de biomasa aérea entre las zonas restaurada (Chakana alta) y la zona no restaurada (Chakana baja).

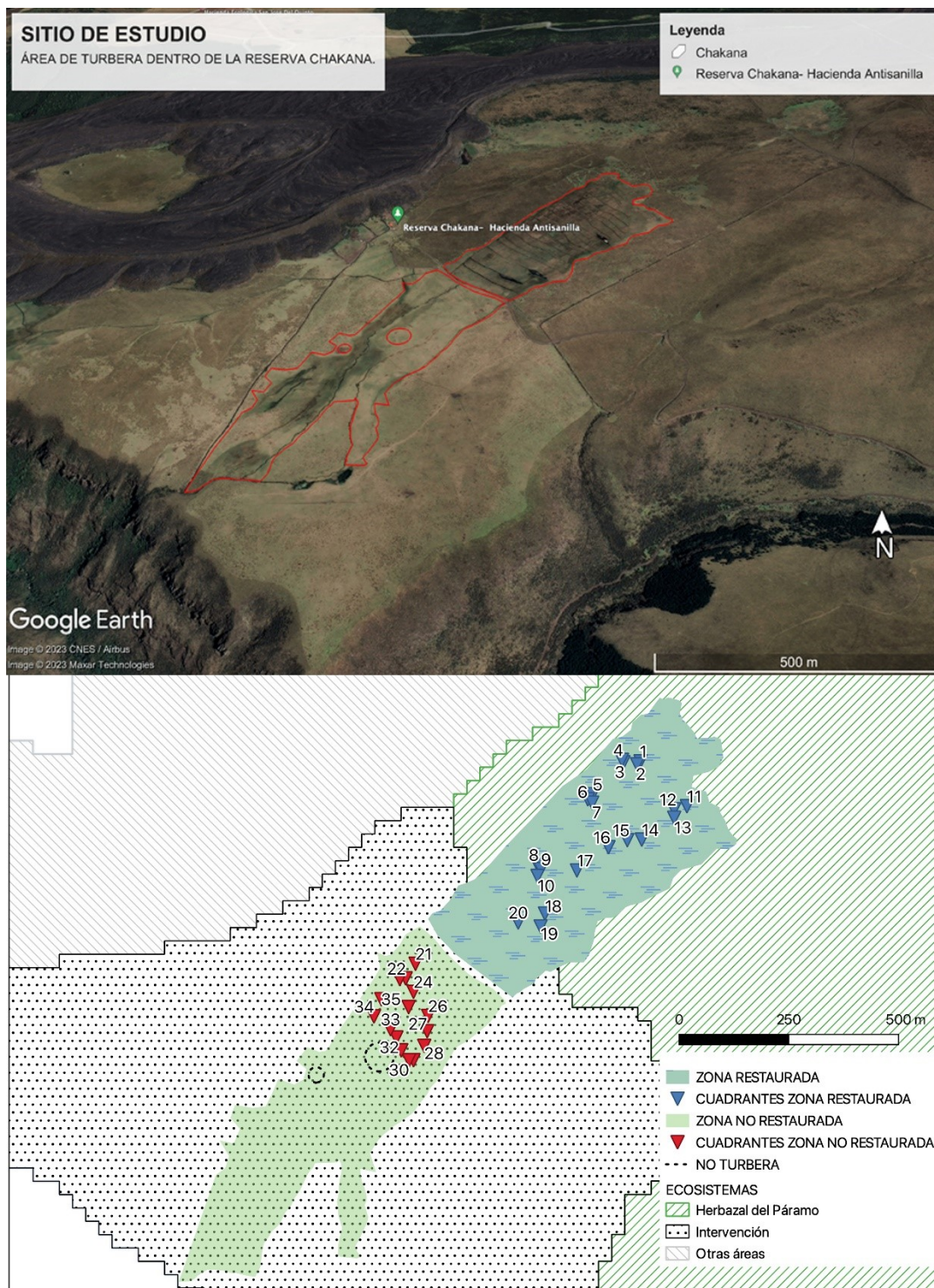
En esta investigación, se complementa la evaluación de la restauración con la caracterización de la comunidad vegetal de la turbera junto con el análisis de la cantidad de biomasa vegetal aérea y cantidad de carbono que se está almacenando. Es relevante utilizar como variable la biomasa vegetal ya que es un indicador clave tanto del almacenamiento de carbono como del funcionamiento ecológico de un ecosistema.

*Estimación de biomasa aérea y caracterización de la comunidad vegetal*

Para obtener la concentración de biomasa aérea por  $m^2$  en cada tipo de vegetación, primero identifiqué visualmente los principales grandes tipos de vegetación presentes en la turbera (Tabla 1). La composición de especies dominantes en cada uno de esos tipos de vegetación se caracterizó mediante el uso de un cuadrante de  $0,8 \times 0,8$  m dividido en una grilla de  $10 \times 10$  cm. Este cuadrante se colocó encima de parches representativos de cada tipo de vegetación y se eligieron aleatoriamente 10 intersecciones de la grilla, para anotar la especie presente en cada una de ellas. En total, caractericé 35 cuadrantes, 20 en Chakana alta y 15 en Chakana baja. A continuación, ubiqué un cuadrante de  $0,56 \times 0,56$  m en el mismo sitio, y coseché toda la vegetación que estaba dentro de él, hasta la base de los tallos en donde aparecían las primeras raíces. La vegetación cosechada fue pesada con una balanza en el campo y se colectaron submuestras de cada uno de los 35 cuadrantes, para secarlas en el laboratorio (72 horas,  $65^\circ\text{C}$ ) y poder determinar el peso seco de la biomasa ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) de cada cuadrante y cada tipo de vegetación.

Para caracterizar la cobertura de vegetación del humedal, utilicé transectos lineares trazados a través de la turbera cada 40 m en Chakana alta (17 transectos), y cada 60 m en Chakana baja (13 transectos). El menor número de transectos en Chakana baja se explica porque la vegetación de potrero que aún domina en esta zona es mucho más homogénea que la de Chakana alta. Dependiendo del ancho de la turbera, estos transectos midieron entre 250 – 300 m. En cada transecto, ubiqué puntos de muestreo cada 10 m, y registré el tipo general de vegetación presente en cada punto, refiriéndome a los tipos generales definidos previamente

*Figura 1. Mapa de la turbera de Chakana y cuadrantes*



*Procesamiento de muestras*



En el laboratorio de Ecología Acuática de la Universidad San Francisco de Quito (LEA – USFQ) se obtuvo el peso fresco de las muestras de los cuadrantes y posteriormente se secaron en horno a 65 °C durante 72 horas. Después, se pesó de nuevo las muestras para obtener el peso seco. Una vez que se obtuvieron estos datos, se calculó los valores de biomasa seca por área de cada cuadrante a través de la siguiente fórmula:

$$BS/\text{área} = \frac{PS (g)}{0.31 \text{ m}^2}$$

En donde BS es biomasa seca. PS, peso seco en gramos y 0.31 m<sup>2</sup> el área total del cuadrante dentro del cual se cosechó la muestra.

Con los datos obtenidos acerca de la composición de especies de cada cuadrante, se elaboró la categoría de tipo de vegetación a la cual pertenece el dato de biomasa seca por área. Es decir, la cantidad de biomasa que está aportando cada especie presente en la turbera.

Para elaborar las categorías de tipo de vegetación, se utilizó la especie dominante de cada parcela (>50% de dominancia).

Tabla 1. Categorías de vegetación de Chakana alta

<b>Categorías de vegetación</b>	<b>Porcentaje de cobertura (%)</b>	<b>Concentración de biomasa (kg/m<sup>2</sup>)</b>
<i>Festuca andicola</i>	26,95	3,36
<i>Eleocharis dombeyana</i>	23,40	2,70
<i>Lachemilla orbiculata</i>	17,25	1,92
<i>Deyeuxia rigensis</i>	9,45	1,29

<i>Carex sp.</i>	5,91	3,94
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	4,25	1,62
<i>Bromus lanataus</i>	3,78	1,65
<i>Carex bonplandii</i>	2,83	3,09
<i>Juncus articus</i>	2,12	5,85
<i>Carex tristichia</i>	1,41	2,45
<i>Caltha sagittata</i>	1,18	0,09
<i>Plantago rigida</i>	1,18	1,7
<i>Werneria pygmaea</i>	0,23	0,09

Tabla 2. Categorías de vegetación de Chakana baja

<b>Tipo de vegetación</b>	<b>Porcentaje de cobertura (%)</b>	<b>Concentración de Biomasa seca (kg/m<sup>2</sup>)</b>
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	40,13	1,62
<i>Lachemilla orbiculata</i>	24,48	1,05
<i>Deyeuxia rigensis</i>	14,28	1,29
<i>Festuca andicola</i>	4,76	3,36
<i>Juncus articus</i>	4,42	5,85
<i>Lupinus pubescens</i>	3,06	7,79
<i>Holcus lanatus</i>	2,38	3,36
<i>Bromus lanatus</i>	2,04	1,65

<i>Caltha sagittata</i>	1,36	0,09
<i>Calamagrostis fibrovaginata</i>	1,02	1,62
<i>Carex sp.</i>	0,68	3,94
<i>Carex pygmaea</i>	0,34	0,09
<i>Isoetes</i>	0,34	0,09
<i>Muhlenbergia</i>	0,34	0,09
<i>Plantago rigida</i>	0,34	1,7

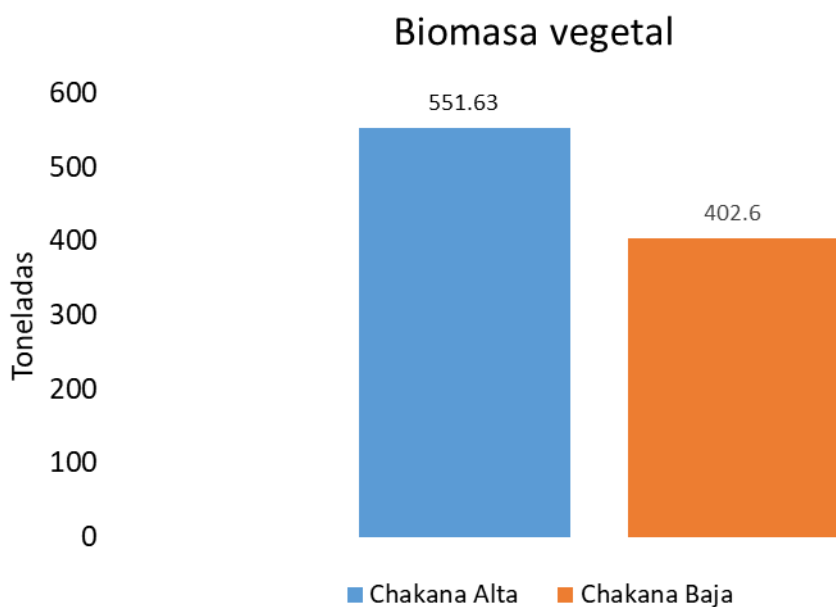
Para estimar la biomasa aérea total en las áreas restauradas y no restauradas de la turbera, primero estimé la superficie total (en ha) de la zona alta y de la zona baja de Chakana con la herramienta de *Google Earth Pro*. A continuación, utilicé los datos de porcentaje de cobertura de cada tipo de vegetación proveniente de los transectos, para estimar su superficie en hectáreas. Finalmente, para cada tipo de vegetación, multipliqué su concentración de biomasa ( $\text{kg/m}^2$ ) por

la superficie cubierta por cada tipo de vegetación en la turbera, con lo cual pude obtener la sumatoria de las biomásas de todos los tipos de vegetación en la turbera y desagregarla para las áreas restaurada y no restaurada.

## RESULTADOS

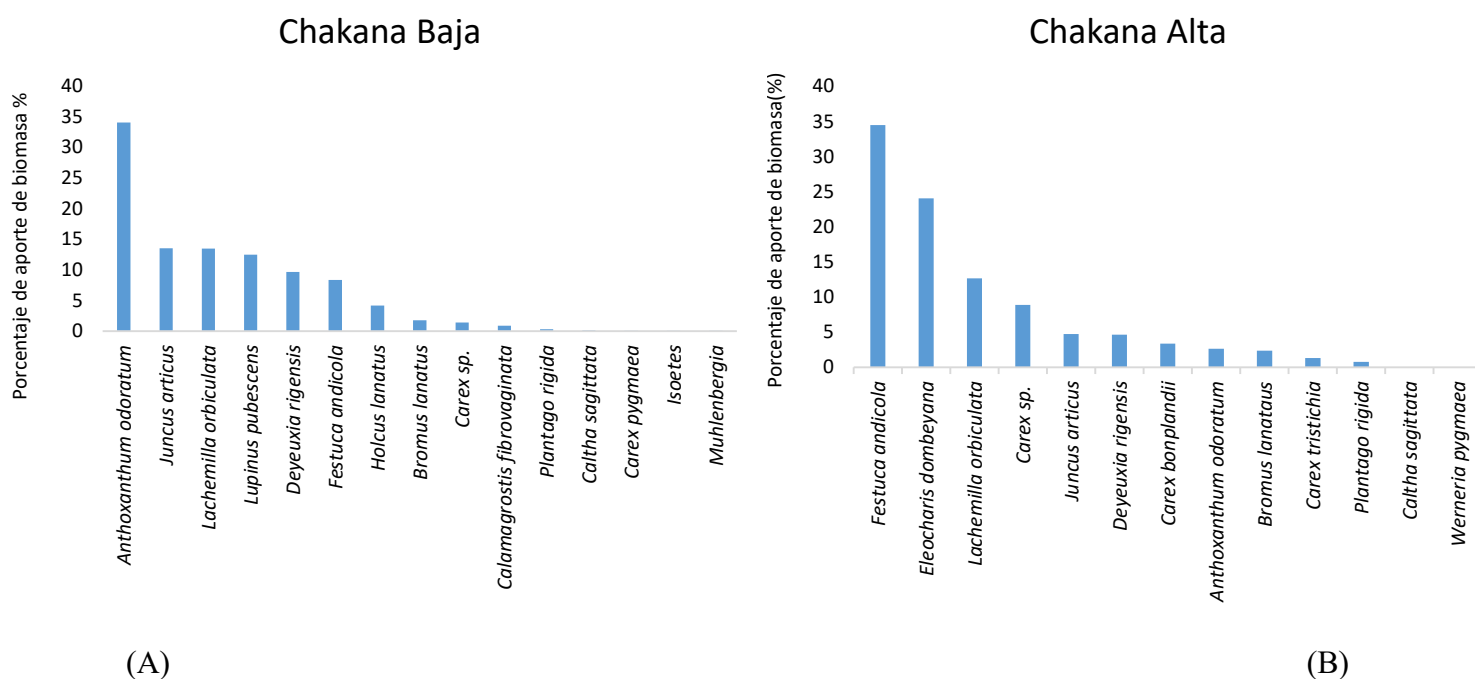
La diferencia de biomasa aérea de plantas entre la zona restaurada y la zona no restaurada fue más de 100 toneladas. En Chakana baja, estimé un total de 402.6 toneladas de biomasa vegetal, mientras que el valor para Chakana alta, llegó a 551.6 toneladas. A raíz de la restauración se han recuperado 149.03 toneladas de biomasa.

*Figura 2. Diferencia de biomasa aérea vegetal*



En cuanto a la estructura de la comunidad vegetal, encontré que fue muy diferente entre las zonas restaurada y no restaurada.

Figura 3. Aporte de biomasa por tipo de vegetación. A: Chakana baja B: Chakana alta

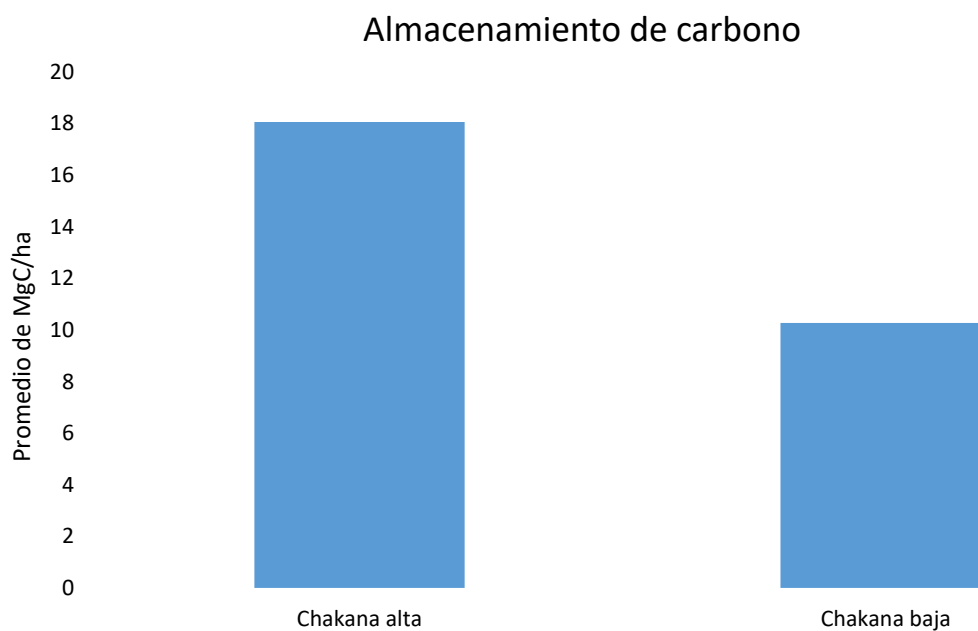


En Chakana Baja, el tipo de vegetación dominante son los parches dominados por *Anthoxanthum odoratum*, que aportó un 33% (Figura 3A). La biomasa de los parches de *A. odoratum* en Chakana baja fue casi tres veces más alta que la de los tres siguientes tipos de vegetación dominante que corresponden a los parches dominados por *Juncus articus*, *Lachemilla orbiculata*

o *Lupinus pubescens*, que aportaron entre el 12 y 13% de la biomasa total de la zona no restaurada. El resto de tipos de vegetación aportaron menos del 10% de la biomasa. Por el contrario, en Chakana Alta, los tipos de vegetación que más biomasa aportaron fueron los dominados por *Festuca andicola* con 34%, *Eleocharis dombeyana* con 24% y *L. orbiculata* con 12%. Los datos muestran que la zona restaurada pasó de ser un ecosistema dominado por especies de potrero introducidas como *A. odoratum* o especies resistentes al pastoreo (*L. orbiculata*) a un sitio donde ya hay una dominancia de especies nativas propias de ecosistema de humedal como *F. andicola* y *E. dombeyana*.

En términos de carbono almacenado, Chakana Alta está almacenando cerca del doble con un promedio de 18 MgC/ha, a diferencia de Chakana Baja que está almacenando en promedio 10 MgC/ha.

Figura 4. Promedio de almacenamiento de C en zona restaurada (Chakana alta) y zona no restaurada (Chakana baja)



## DISCUSIÓN

La evidencia del aumento en la cantidad de biomasa aérea vegetal y la colonización de especies nativas sugiere que la restauración está siendo exitosa en términos de la recuperación de los procesos ecológicos de la turbera de Chakana. El hecho de que el tipo de restauración utilizada en este caso fue una restauración pasiva contrasta con lo mencionado por (Duarte Sánchez & Benavides Céspedes, 2020), en donde sugiere que la restauración natural no parece ser una técnica prometedora en este tipo de ecosistemas de páramo para recuperar aspectos funcionales a corto plazo. En el caso de Chakana, hay que reconocer que es la combinación de factores lo que ha permitido la recuperación de la funcionalidad ecosistémica, la remoción de las fuentes de disturbio, bloqueo de canales y posterior redistribución del agua de los canales hacia la turbera, combinado con el hecho de que el suelo a pesar de que estaba siendo drenado, no estaba sin vegetación, son los factores específicos del sitio que favorecieron en la restauración pasiva y han permitido una relativamente rápida colonización de especies nativas.

A pesar de que actualmente las categorías de vegetación que más aportan biomasa son nativas propias de humedal, (*F. andicola* y *E. dombeyana*), es interesante enfocarse en *Juncus articus*, también nativa de humedal altoandino, como un tipo de vegetación clave en el camino que está siguiendo la restauración de la turbera. A pesar de que actualmente *Juncus* está aportando solamente el 2% de la biomasa, esta herbácea acuática que puede llegar a alcanzar 1 metro de altura, ya está colonizando los cuerpos de agua de los canales de la turbera, causando que estos se vayan cerrando por la presencia de este tipo de vegetación. Los registros fotográficos aéreos

muestran que desde el 2018, se encuentran cada vez más parches de *Juncus* distribuidos a través de la turbera. Es particularmente interesante concentrarse en junco porque es naturalmente dominante en turberas no disturbadas que se encuentran en otros páramos de Ecuador, como es el ejemplo de la turbera de Limpiopungo en el Parque Nacional Cotopaxi. En este sitio, la cobertura de juncos es más del 50%. Tomando en cuenta esto, y realizando una proyección sobre el proceso de restauración en Chakana, si *Juncus* llega a ser un tipo de vegetación con al menos el 60% de cobertura, se puede llegar a ganar 546 toneladas de biomasa aérea en lugar de las 149 que se están recuperando actualmente. Esta trayectoria de la composición vegetal implica aumento en el almacenamiento de carbono, así como la recuperación conjunta del ecosistema y el acercamiento a un sistema auto-regulado.

Actualmente, por cada hectárea de turbera restaurada, se está ganando 7 kg de biomasa aérea. Es interesante pensar en esto en términos de carbono, si se toma en cuenta que hoy en día se le está asignando un valor económico a la cantidad de carbono que un ecosistema almacena. En el caso de la restauración de turberas, hay varias opciones de financiamiento. De manera general, las diferencias de financiamiento principalmente se basan en: (i) pagan únicamente por los beneficios de mitigación del carbono y el clima, o pagan por una gama más amplia de servicios ecosistémicos derivados de la restauración; (ii) son de financiación pública o privada; y (iii) tienen un alcance internacional o regional (Bonn et al., 2014). El mercado de carbono voluntario es financiado por el sector privado y típicamente es nacional o regional. En Ecuador, hay una combinación entre las iniciativas públicas (como los proyectos REDD) y las privadas como la Plataforma de Carbono de Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible de Ecuador (CEMDES). Uno de los ejes de estas iniciativas es involucrar a comunidades locales, lo cual en el caso de las turberas es ideal ya que hay que considerar que de manera general son



comunidades locales quienes ocupan los sitios de turbera para sus actividades de agricultura o ganadería. El ofrecer una alternativa de sustento económico para restaurar estos sitios, puede ser un gran incentivo si los mercados de carbono entran en juego.

## CONCLUSIÓN

Las turberas de páramo son ecosistemas vulnerables frente a escenarios de disturbio. Sin embargo, el proceso de restauración por el que está atravesando la turbera de Chakana demuestra que al mismo tiempo es un ecosistema resiliente, ya que en tan solo 6 años del inicio de la restauración, ya se han recuperado 149 toneladas de biomasa aérea y en la comunidad vegetal, han colonizado especies nativas, desplazando las especies de potrero. Y todo esto en comparación a los 200 años que se sabe que el sitio estuvo bajo presiones antropogénicas. A pesar de que es un proyecto piloto, evidencia que bajo las condiciones necesarias para la restauración, las turberas de páramo tienen la capacidad de recuperarse.

Por otro lado, es imprescindible mencionar la importancia del monitoreo en los procesos de restauración. Gracias al monitoreo se tienen la información disponible para a) tomar decisiones correctivas en el caso de que sea necesario y b) tomar decisiones futuras con respecto a la restauración.

## REFERENCIAS

- Benavides, J. C., Vitt, D. H., & Wieder, R. K. (2013). The influence of climate change on recent peat accumulation patterns of *Distichia muscoides* cushion bogs in the high-elevation tropical Andes of Colombia. *Journal of Geophysical Research. Biogeosciences*, *118*(4), 1627–1635. <https://doi.org/10.1002/2013JG002419>
- Bonn, A., Reed, M. S., Evans, C. D., Joosten, H., Bain, C., Farmer, J., Emmer, I., Couwenberg, J., Moxey, A., Artz, R., Tanneberger, F., von Unger, M., Smyth, M.-A., & Birnie, D. (2014). Investing in nature: Developing ecosystem service markets for peatland restoration. *Ecosystem Services*, *9*, 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.06.011>
- Chimbolema, S., Jaramillo, R., & Suarez, E. (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.* (pp. 55–68). USFQ.
- Chimner, R. A., Cooper, D. J., Bidwell, M. D., Culpepper, A., Zillich, K., & Nydick, K. (2019). A new method for restoring ditches in peatlands: Ditch filling with fiber bales: New method for filling peatland ditches. *Restoration Ecology*, 27(1), 63–69.  
<https://doi.org/10.1111/rec.12817>
- Chimner, R. A., Cooper, D. J., Wurster, F. C., & Rochefort, L. (2017). An overview of peatland restoration in North America: Where are we after 25 years? *Restoration Ecology*, 25(2), 283–292. <https://doi.org/10.1111/rec.12434>
- Chimner, R. A., & Karberg, J. M. (2008). Long-term carbon accumulation in two tropical mountain peatlands, Andes Mountains, Ecuador. *Mires and Peat*, 3(4), 1–10.
- Duarte Sánchez, I. R., & Benavides Céspedes, J. C. (2020). *Restauración ecológica en turberas de páramos y ecosistemas alpinos, una revisión mundial para la aplicación de enfoques y técnicas en Colombia* [Pontificia Universidad Javeriana].  
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.10554.38813>
- Flantua, S. G. A., O’Dea, A., Onstein, R. E., Giraldo, C., & Hooghiemstra, H. (2019). The flickering connectivity system of the north Andean páramos. *Journal of Biogeography*, 46(8), 1808–1825. <https://doi.org/10.1111/jbi.13607>
- Hribljan, J. A., Suarez, E., Bourgeau-Chavez, L., Endres, S., Lilleskov, E. A., Chimbolema, S., Wayson, C., Serocki, E., & Chimner, R. A. (2017). Multidate, multisensor remote sensing reveals high density of carbon-rich mountain peatlands in the páramo of Ecuador. *Global Change Biology*, 23(12), 5412–5425. <https://doi.org/10.1111/gcb.13807>

- Hribljan, J. A., Suárez, E., Heckman, K. A., Lilleskov, E. A., & Chimner, R. A. (2016). Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian páramo. *Wetlands Ecology and Management*, 24(2), 113–127. <https://doi.org/10.1007/s11273-016-9482-2>
- Mosquera, G. M., Lazo, P. X., Célleri, R., Wilcox, B. P., & Crespo, P. (2015). Runoff from tropical alpine grasslands increases with areal extent of wetlands. *Catena (Giessen)*, 125, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.010>
- Planas-Clarke, A. M., Chimner, R. A., Hribljan, J. A., Lilleskov, E. A., & Fuentealba, B. (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(1), 51–69. <https://doi.org/10.1007/s11273-019-09694-z>
- Ribeiro, K., Pacheco, F. S., Ferreira, J. W., de Sousa-Neto, E. R., Hastie, A., Krieger Filho, G. C., Alvalá, P. C., Forti, M. C., & Ometto, J. P. (2021). Tropical peatlands and their contribution to the global carbon cycle and climate change. *Global Change Biology*, 27(3), 489–505. <https://doi.org/10.1111/gcb.15408>
- Suárez, E., Chimbolema, S., & Jaramillo, R. (2022). *Turberas de páramo en el Ecuador: Notas sobre la ecología, conservación y restauración de un ecosistema estratégico*. USFQ.
- Suarez, E., Chimbolema, S., Jaramillo, R., Zurita-Arthos, L., Arellano, P., Chimner, R. A., Stanovick, J. S. & Lilleskov, E. A. (2022). Challenges and opportunities for restoration of high-elevation Andean peatlands in Ecuador. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 27(4). <https://doi.org/10.1007/s11027-022-10006-9>

