



ARTÍCULO

Turberas y cosecha de *Sphagnum* en la región de Aysén, Chile.

Jaime Salinas Sanhueza^{1*}; Greta Gaudig²; Matthias Krebs²; Iván Moya Navarro¹ & Fernán Silva Labbé³

¹Instituto Forestal, Sede Patagonia, Coyhaique, Chile.

²Centro Greifswald Mire, Alemania.

³Servicio Agrícola y Ganadero, Coyhaique, Chile.

*Autor para correspondencia: jsalinas@infor.cl

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2024.606>

Recibido: 15.03.2024; Aceptado 20.04.2024

RESUMEN

Las turberas son ecosistemas clave para el almacenamiento de carbono, regulación del agua y mitigación del cambio climático. En Chile, se encuentran principalmente en el sur y la región austral. El musgo *Sphagnum*, recolectado en Chile desde hace 20 años, tiene una alta capacidad de retención de agua y se exporta principalmente a Asia para el cultivo de orquídeas y horticultura, generando ingresos significativos para los productores rurales. Sin embargo, la cosecha excesiva de *Sphagnum* puede afectar el suministro de agua, el ciclo del carbono y la integridad ecológica de las turberas. En la región de Aysén, donde la recolección de *Sphagnum* comenzó hace 10 años, es crucial evitar prácticas de extracción insostenibles. Para discutir una recolección sostenible, se organizó una excursión de campo con expertos del Instituto Forestal de la Sede Patagonia, del Servicio Agrícola y Ganadero (Coyhaique) y científicos del Greifswald Mire Center (Alemania). Se investigaron turberas en Aysén para evaluar nutrientes, vegetación y estratigrafía. Es vital distinguir el tipo de turbera para evaluar la sostenibilidad de la recolección. En turberas dominadas por *Sphagnum*, la extracción debe ser superficial (no más de 10 cm) para permitir la regeneración y evitar inundaciones. Durante la visita, se discutieron opciones de paludicultura, que implica el uso productivo de turberas húmedas para preservar el carbono y cultivar biomasa de *Sphagnum*. La paludicultura busca sostener ingresos mediante la recolección de biomasa sin dañar el recurso natural. Se necesita más investigación para determinar el potencial de esta práctica.

Palabras clave: Paludicultura, manejo sustentable.

SUMMARY

Peatlands are crucial ecosystems for carbon storage, water regulation, and climate change mitigation. In Chile, they are primarily found in the southern and southernmost regions. *Sphagnum* moss, collected in Chile for the past 20 years, has a high water retention capacity and is mainly exported to Asia for orchid cultivation and horticulture, generating significant income for rural producers. However, excessive *Sphagnum* harvesting can impact water supply, carbon cycles, and the ecological integrity of peatlands. In the Aysén region, where *Sphagnum* collection began 10 years ago, it is crucial to avoid unsustainable extraction practices. To discuss sustainable harvesting, a field excursion was organized with experts from the Forest Institute of the Patagonia Headquarters, the Agricultural and Livestock Service (Coyhaique), and scientists from the Greifswald Mire Center (Germany). Peatlands in Aysén were investigated to assess nutrients, vegetation, and stratigraphy. It is vital to distinguish the type of peatland to evaluate harvesting sustainability. In peatlands dominated by *Sphagnum*, extraction must be superficial (no more than 10 cm) to allow regeneration and prevent flooding. During the visit, paludiculture options were discussed, which involve the productive use of wet and rewetted peatlands to preserve carbon reserves and cultivate *Sphagnum* biomass. Paludiculture aims to sustain income through biomass harvesting without damaging the natural resource. Further research is needed to determine the potential of this practice.

Key words: *Beilschmiedia miersii*, root length, root protection zone, root architecture

INTRODUCCIÓN

Las turberas en Chile cubren aproximadamente el 2,5% de la superficie terrestre (1,9 millones de hectáreas) (UNEP, 2022) y casi el 26% de ellas se encuentran en la región de Aysén (Rodríguez Martínez, 2015). El área de turberas del musgo pompón (*Sphagnum magellanicum*) en la Región Aysén es de 15.240 ha (Domínguez y Martínez, 2021) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Área de turberas de *Sphagnum* en la región Aysén

Provincia	Comuna	Superficie (ha)	Participación (%)
Aysén	Aysén	2.526	16,6
	Cisnes	1.494	9,8
	Guaitecas	431	2,8
Coyhaique	Coyhaique	301	2,0
	Lago verde	564	3,7
General Carrera	Chile Chico	96	0,6
	Ibáñez	33	0,2
Capitán Prat	Cochrane	2.682	17,6
	O'Higgins	4.338	28,5
	Tortel	2.775	18,2
Total		15.240	100,0

El origen de las turberas en Aysén comenzó en el Holoceno, aproximadamente 15.000 a 12.000 años AP, que fue un período cálido y seco que marcó el final de la era glacial en la Patagonia (Holz *et al.*, 2012). Después de que la capa de hielo patagónica formara valles glaciares en forma de U y permitiera que los glaciares drenaran hacia el océano, estos valles fueron llenados por materiales sedimentarios transportados por poderosos ríos (Rodríguez Martínez, 2015). Los sumideros se llenaron con suelos turbios bajo paludificación o terrenalización antes de que pudieran desarrollarse pantanos (turberas) elevados. Casi un tercio de las turberas de Aysén están asociadas a las cuencas de los ríos regionales más grandes; Baker y Pascua. La presencia de ecosistemas de turberas a lo largo de estas cuencas fluviales aumenta a lo largo de una secuencia longitudinal este-oeste, siguiendo el drástico gradiente pluviométrico oeste-este en ambas cuencas. Rodríguez Martínez (2015) dividió los ecosistemas de turberas de secano en dos grupos; turberas elevadas y en blanco. La investigación sobre turberas en la región Aysén comenzó hace solo unos años, por ejemplo, Pfeiffer *et al.* (2010) mencionando suelos orgánicos por primera vez en las cuencas Baker y Pascua; Rodríguez Martínez (2015) dando información sobre su origen, hidrología, geomorfología, estratigrafía, ecología y capacidades de almacenamiento de carbono y agua; y también Rodríguez Martínez (2015) investigando la clasificación hidrogeomórfica de los ecosistemas de turberas.

Limitada por el archipiélago al norte y al oeste, por los Campos de Hielo al sur y por el frío desierto de la pampa argentina al este, la región de Aysén permaneció aislada. El desarrollo de la región comenzó a principios del siglo 20, ya que la ciudad de Puerto Aysén fue fundada en 1927. Importante para el desarrollo de la región fue la construcción de la Carretera Austral, que comenzó en 1976 en Puerto Montt dirigiéndose hacia el sur y terminando en el poblado de Villa O'Higgins. La carretera daba acceso a los recursos naturales y condujo a la extracción de madera valiosa de Ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*), una conífera altamente adaptada a las condiciones de anegamiento, que crece en hábitats muy húmedos.

Se informa que la explotación de estos árboles condujo a un excedente de agua que promueve la expansión de *S. magellanicum* y el desarrollo del pomponales, lo que también se describe para la isla Grande de Chiloé, donde las comunidades de *Sphagnum*, en particular con *S. magellanicum*, han reemplazado los antiguos ecosistemas forestales.

Los llamados 'pomponales' se encuentran comúnmente en la Isla Grande de Chiloé y también en las áreas continentales de la región de Los Lagos. Deben su origen a las intensas actividades de corte de madera y

despeje por fuego que tuvieron lugar a lo largo de los últimos dos siglos en áreas con suelos poco drenados de arcilla mineral húmeda, principalmente de origen glacial (labranza) y, por lo tanto, poseen una capa de turba poco profunda bajo una capa de *Sphagnum* productora de turba (León y Oliván, 2014). Este tipo es común en las llanuras aluviales y típico de los promontorios de los glaciares.

Estas áreas en la región de Los Lagos y en particular en Isla Grande de Chiloé fueron el foco de la recolección de *Sphagnum* con fines hortícolas con un creciente interés comercial en los últimos 20 años. La recolección insostenible de *Sphagnum* llevó a un agotamiento de este recurso en muchos lugares de la región de Los Lagos (Vacarezza, 2012).

En las turberas de *Sphagnum* de Aysén, se recolecta biomasa desde la década de 1990. Oficialmente se recolectaron 4.000 – 5.000 t por año en los últimos tres años en áreas de 2 a 50 ha, con 800 ha en total de turberas. Los recolectores juntan y secan *Sphagnum* en el campo antes de que el material sea colectado y exportado por alrededor de diez empresas, que se encuentran principalmente en Santiago de Chile.

Para controlar la recolección de *Sphagnum* el Gobierno implementó el decreto de recolección Decreto N° 25 de 2019. Desde 2011 se prueba el método de restauración canadiense (Quinty y Rochefort, 2003), pero la regeneración de la cubierta de *Sphagnum* a menudo es muy lenta (Domínguez Díaz *et al.*, 2022).

En el contexto descrito, este trabajo busca evaluar la sostenibilidad de la cosecha de *Sphagnum* y proporcionar recomendaciones para la revisión del Decreto Supremo N° 25, si procede, especialmente en lo que respecta a la aceleración del rebrote de *Sphagnum* después de la recolección, métodos para asegurar un alto crecimiento del musgo de larga duración y posibilidades de paludicultura de *Sphagnum* en la región de Aysén.

MATERIAL Y MÉTODO

Prospección de Predios Potenciales para Cultivo

Para llevar a cabo esta primera etapa de prospección del sitio, se trabajó en conjunto un equipo del Instituto Forestal de la Sede Patagonia y el Servicio Agrícola y Ganadero (Coyhaique). El equipo técnico del SAG tiene conocimiento de las turberas de la región y aprovechó su especialización en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Para las investigaciones se seleccionaron áreas con diferentes turberas de *Sphagnum* en la región de Aysén con diferentes montos de precipitación anual. Posteriormente se realizó una primera visita de aproximación a estos sitios con el fin de caracterizarlos y evaluar preliminarmente sus condiciones para su posterior validación por parte de los asesores alemanes. Se visitaron turberas en el norte, centro y sur de la región y se priorizaron 4 sitios para una evaluación adicional.

Fase de Campo

El equipo técnico consideró y contactó a dos expertos internacionales para su participación en el proyecto. Los investigadores Dr. Greta Gaudig y Matthias Krebs del Centro Greifswald Mire en Alemania, han estado investigando durante más de 20 años sobre la ecología, el crecimiento, el establecimiento y el rebrote después de la cosecha del *Sphagnum*, principalmente relacionados con la paludicultura, con varias publicaciones científicas relacionadas. Ambos expertos viajaron a Chile y, junto con el equipo nacional, compartieron aspectos técnicos, discutieron y evaluaron opciones de recolección sustentable y tuvieron una primera mirada al potencial de paludicultura de *Sphagnum* en la región de Aysén.

Las turberas visitadas se caracterizan por su ubicación, condiciones climáticas, vegetación, núcleos de turba y extensión de la recolección de *Sphagnum*. Se registró la vegetación y la estratigrafía durante la visita de campo, y se tomó muestras para análisis de elementos de biomasa (capa superficial de *Sphagnum* de 0-1 cm = capitula), turba (cerca de la superficie con bajo grado y más profundo con mayor grado de descomposición) y agua con mediciones de los valores de pH del agua y conductividad eléctrica. Los

análisis de las muestras fueron analizados en laboratorios del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Se incluyó datos adicionales de las referencias disponibles en la caracterización. A partir de esto, se buscó identificar el tipo de turbera y el impacto de la recolección de *Sphagnum* en la turbera misma. En algunos casos, más datos sobre el relieve en la superficie y del subsuelo mineral, incluidas las profundidades de turba, la hidrología y la biogeoquímica, serían útiles para verificar nuevas impresiones.

En la etapa de campo se planificaron visitas a terreno a los predios anteriormente preseleccionados con el SAG. En estas visitas participaron los asesores, el equipo técnico y asociados. En cada sitio se discutió sobre la potencialidad de establecer el cultivo del musgo y se realizarán evaluaciones de al menos las siguientes variables: (a) profundidad estratigráfica con barreno tipo ruso; (b) pH al agua; (c) materia orgánica a los 15 y 30 cm; (d) nivel freático; (e) composición botánica estimada y (f) nivel de perturbación, entre otros.

RESULTADOS Y DISCUSION

Turberas de Lago Vargas, Comuna de Tortel

El clima en la zona de Lago Vargas es frío-húmedo con temperaturas medias anuales de 11°C y con precipitación media anual de 1.300 mm, que se distribuye uniformemente (poco más en invierno), Rodríguez Martínez (2015) describe la zona de Lago Vargas como más o menos prístina, a juzgar por su hidrología, vegetación y estructura. La periferia del valle del Lago Vargas está demarcada por bordes y laderas, abundantes bosques con especies nativas como Coigue (*Nothofagus betuloides*) y ciprés de las Guaitecas. En el centro, aparecen turberas de musgos *Sphagnum* levantados y parches de pequeños bosques semidensos, que crecen sobre bancos de arena depositados en el pasado por el río Baker.

La parte central de la turbera tiene muchos apozamientos poco profundos colonizados con montículos de musgos *Sphagnum* y la *Juncaginaceae* - *Tetroncium magellanicum*. En las turberas de Lago Vargas se encuentran tres especies de *Sphagnum*: *S. magellanicum* (que se cosecha), así como *S. fimbriatum* y *S. falcatulum* en condiciones más minerotróficas en los márgenes. La capa de turba tiene hasta 2,3 m de espesor.

En las turberas de Lago Vargas fueron investigados tres sitios con ocho parcelas en total (**Figura 1**). Los sitios 1 y 2 son de un propietario/recolector, el sitio 3 de otro propietario. En el sitio 1 y 2, el ciprés se ha cortado de 2004 a 2019, antes de que comenzara la recolección de *Sphagnum* en 2018/2019. Recientemente, alrededor de 12.000 bolsas cada una con 25 kg de material húmedo de *Sphagnum* se recolectan por hectárea durante una temporada de septiembre a marzo. Con una horquilla modificada, se retira manualmente las hebras (césped) de *Sphagnum* hasta 25-30 cm de profundidad (después de las mediciones efectuadas) en lo más cercano a la carretera, mientras que el 30% en la distancia mayor se deja intacto (sitio 1). El musgo aún húmedo es transportado en bolsas hasta el borde de la turbera por un sistema de carro de arrastre manual, de allí a las instalaciones de secado. Los musgos secos son transportados desde Puerto Chacabuco a Puerto Montt por vía marítima en barcaza. El recolector reconoció un mejor repoblamiento (crecimiento) de *Sphagnum* al recolectar un patrón (7 m de cosecha, dejando 3 m intacto).

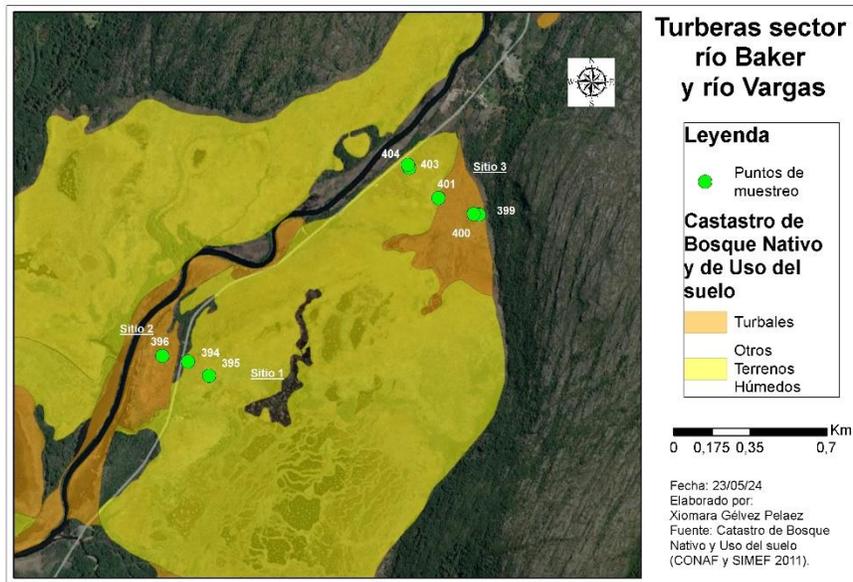


Figura 1. Parcelas de investigación (números de los puntos GPS de los diferentes sitios 1-3 en la turbera 1 en Lago Vargas)

- Sitio 1 en la Turbera 1 (Zona Lago Vargas)

Cuadro 2. Caracterización del sitio 1 en turbera 1 (Lago Vargas)

Ubicación	GPS	pH superficie del agua	eC de la superficie del agua ($\mu\text{S}/\text{cm}^1$)	Nivel freático por debajo de la superficie de <i>Sphagnum</i> (cm)
1. Margen	394	4.33 4.39	14 26	
Vegetación	<i>Sphagnum falcatulum</i> , <i>S. magellanicum</i> , <i>S. fimbriatum</i> , <i>Pilgerodendron uviferum</i> , <i>Nothofagus antarctica</i> , <i>Empetrum rubrum</i> , <i>Carex spec.</i>			
Cosecha	Desde 2018			
Observaciones	Suelo (rojo) impermeable con hierro			
2. Centro (área intocada)	395	4.3	11	
Vegetación	<i>Pilgerodendron uviferum</i> (mucho tallo muerto), <i>Nothofagus antarctica</i> , <i>Juncus sp.</i> , <i>Schoenoplectus sp.</i> , <i>Marsippospermum multiflorum</i> , <i>Empetrum rubrum</i> , <i>Gaultheria mucronata</i> , <i>Carex sp.</i> , líquenes: <i>Cladonia</i> , <i>Usnea</i> ; 100 % <i>Sphagnum magellanicum</i>			
	Profundidad	Tipo de turba	Grado de descomposición (de Von Post 1924)	Observaciones
Núcleo	0 – 20 cm	Césped de <i>Sphagnum</i>		
	20 – 69 cm	<i>Sphagnum</i> turba	H2	
	> 69 cm	Subsuelo mineral (arena)		

- Sitio 2 en la Turbera 1 (Zona Lago Vargas)

Cuadro 3. Caracterización del sitio 2 en la turbera 1 (Lago Vargas)

Ubicación	GPS	pH superficie del agua	eC de la superficie del agua ($\mu\text{S}/\text{cm}^1$)	Nivel freático por debajo de la superficie de <i>Sphagnum</i> (cm)
1. Centro	396	3.86 4.14	41 26	20
Núcleo	Profundidad	Tipo de turba	Grado de descomposición (de Von Post 1924)	Observaciones
	0 – 10 cm	Césped <i>Sphagnum</i>		
	10 – 15 cm	<i>Sphagnum</i> turba (negra)	H2	Capa de remanentes de incendios
	15 – 26 cm	<i>Sphagnum</i>	H2	sección <i>Cymbifolia</i> , algo como estratificación en planos/bandeja
	26 – 110 cm	Turba de raíces <i>Sphagnum-Sphagnum</i> y turba	H7-8	Componentes de sedimentos de aguas abiertas (gyttja), algo de madera y carbón
	> 110 cm	Subsuelo mineral limo arenoso		

El sitio 2 está situado al lado del río, próximo a la carretera. Esta parte de turberas está más seca que al otro lado de la carretera. Más montículos indican mayores fluctuaciones en el nivel freático. Las inundaciones tres veces al año, según lo descrito por el propietario/recolector, no eran comprensibles mediante la extracción de muestras en el centro (parcela 396), ya que no se encontraron restos minerales en la turba.

En esta parte de turberas, la cantidad de *Sphagnum* recolectado es mucho menor y los musgos eran más compactos y más atractivos para la industria, pero más difíciles de recolectar debido a la cubierta más densa de arbustos de *Ericaceae*.

- Clasificación de la Turbera 1 en la Zona de Lago Vargas

S. magellanicum domina la vegetación, mientras que *S. fimbriatum* solo ocurre en los márgenes. Las capas superficiales de turba consisten principalmente en *Sphagnum*, que solo se descompone ligeramente (H1-4). En capas más profundas se encontró turba de *Sphagnum* más descompuesta en parte con raíces o algo de madera. Rodríguez Martínez (2015) describió tal sitio como una turbera levantada. En los puntos investigados el camino se construyó a través de la turbera lo que influye en su hidrología; la parte hacia el río era más seca que la otra parte.

La biomasa de *Sphagnum* se recoge a ambos lados de la carretera. La eliminación de la biomasa de *Sphagnum* (o incluso más profunda) conduce a la pérdida del acrotelmo como capa autorreguladora (hidrológica).

Como resultado, el agua ya no se puede retener en la misma medida que antes y el agua drena más rápido hacia el río adyacente en el lado occidental de la carretera. Además, el flujo de agua de las partes más altas de las turberas está severamente restringido por la carretera. Las condiciones son más secas que en condiciones naturales e intactas, el rebrote de *Sphagnum* es bajo y el sistema de turberas podría degradarse aquí.

La inundación regular de las turberas por el río debería haber dejado restos minerales, pero no se encontraron en la turba. La situación al otro lado y al este de la carretera es diferente. Aquí el camino parece represar el agua proveniente principalmente de la lluvia y las montañas adyacentes hasta cierto punto, lo que resulta en condiciones mucho más húmedas. La disponibilidad de agua se ve condicionada por la tala o quema de ciprés, lo que reduce la evaporación y, por lo tanto, la pérdida de agua. Incluso si la capa superior de *Sphagnum* también se eliminó aquí, volvería a crecer en unos pocos años, si la biomasa fuera sólo recolectada a poca profundidad (~ 15 cm) y se evitara la inundación de la capa residual.

Turberas en la Comuna de Aysén

La comuna de Aysén abarca 3 millones de hectáreas. Puerto Aysén tiene un clima oceánico con altas precipitaciones durante todo el año en más de 200 días al año y precipitación media anual de 2.240 mm. La temperatura media en verano es de 12,2 ° C, la temperatura media de invierno 6,7 ° C (Dirección Meteorológica de Chile, 2016). Se visitaron tres turberas en esta comuna (turberas 2, 4, 5).

- *Turbera 2 en la Comuna de Aysén*

La turbera 2 está situada a unos 19 km al este de Puerto Aysén, directamente cerca del Río Simpson. Parece llenar una depresión, posiblemente una antigua rama del río que se ha convertido en una turbera. En el borde se utiliza para el pastoreo de ganado. Además, un agricultor está recolectando biomasa de *Sphagnum*.

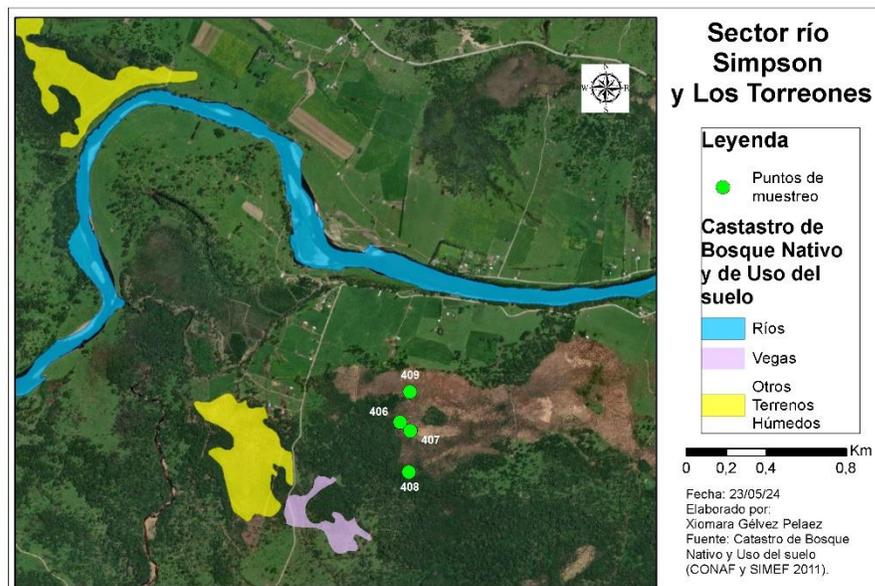


Figura 2. Parcelas de investigación (números de los puntos GPS) en la turbera 2 cerca del Río Simpson, comuna de Aysén.

Cuadro 4. Caracterización de la turbera 2, Cymb = sección Cymbiofolia, Acut = sección Acutifolia de especies de *Sphagnum*

Ubicación	GPS	pH superficie del agua	eC de la superficie del agua (µS/cm')	Nivel freático por debajo de la superficie de <i>Sphagnum</i> (cm)
1.	406	5.06	28	8
vegetación	<i>Juncus effusus</i> , <i>Oxycoccus</i> sp., helecho (<i>Blechnum</i> sp.), 2 <i>Ericaceae</i> , <i>Sphagnum lescurii</i> , <i>Sphagnum magellanicum</i> , <i>S. cuspidatum</i> , líquenes y tocones de árboles			
núcleo	Profundidad	Tipo de turba	Grado de descomposición (de Von Post 1924)	Observaciones
	0 – 6 cm	<i>Sphagnum</i> raíces, Cymb + Acut/Cusp turba	H2-3	Hoja de <i>Nothofagus</i>
	6 – 45 cm	Turba de raíces	H6-7	12 cm carbón muy compacto desde ~20 cm arena, raíces que decrecen hacia abajo
	> 45 cm	Subsuelo mineral: arena		gyttja, raicillas limoso
2. Mitad del transecto	407	4,87	27	5
vegetación	<i>Juncus effusus</i> , fern (<i>Blechnum</i> sp.), <i>Ericaceae</i>			
observaciones	Recién cosechado (abril 2022), muchas fecas de vacas			
núcleo	Profundidad	Tipo de turba	Grado de descomposición (de Von Post 1924)	Observaciones
	0 – 6 cm	<i>Sphagnum</i> turba	H2	
	6 – 12 cm	Turba de Raíces <i>Sphagnum</i>	H4	raíces, ~35 cm carbón
	> 12 cm	Turba de Raíces	H6-7	arena
3. Borde cerca del bosque	408			
vegetación	No hay <i>Sphagnum</i> , por pendiente en el bosque alejada de la turbera, con canales de drenaje natural			
núcleo	Profundidad	Tipo de turba	Grado de descomposición (de Von Post 1924)	Observaciones
	0 – 100 cm	Turba de raíces	H8	~60 cm: 5 cm arena
4.	409	4.4	23	
vegetación	<i>Sphagnum magellanicum</i> (100%), <i>Juncus effusus</i> (no en montículos), <i>Carex</i> spec.			
muestreo	<i>Sphagnum</i> y turba (Capitula, 5-10 cm)			
Núcleo	Profundidad	Tipo de turba	Grado de descomposición (de Von Post 1924)	Observaciones
	0 – 4 cm	<i>Sphagnum cesped</i>		
	4 – 15 cm	<i>Sphagnum</i> turba	H2	
	15 – 22 cm	Turba de <i>Sphagnum</i> y raíces	H6	22 + 30 cm carbón
	22 – 68 cm	Turba de raíces	H6-7	arena
	> 68 cm	Subsuelo mineral: arena		Gyttja



Figura 3. Ganado pastando en el margen de la turbera 2 (izquierda). Colecta manual de *Sphagnum* en turbera 4 (derecha). (Foto: G. Gaudig).

- *Clasificación de la Turbera 2*

La turba de raíces (*radicell*) y los componentes de los sedimentos de aguas abiertas (*gyttja*) indican condiciones húmedas probablemente durante la terrenalización o paludificación de una antigua rama del río. Debido a que las parcelas de investigación están situadas a un máximo de 70 m del margen y faltan datos sobre el subsuelo mineral o los núcleos en el centro de las turberas, es difícil determinar el desarrollo de estas. Pero la ocurrencia relativamente reciente de *Sphagnum magellanicum* (capas poco profundas de biomasa o turba) muestra una disminución del impacto del agua subterránea, mientras que el impacto del agua de lluvia aumenta. Dado que el área de captación parece ser bastante pequeña, se asume poca entrada de agua del área circundante a las turberas. Sin embargo, las partes de turberas hacia el río albergan menos plantas vasculares que las partes más alejadas del río, donde una mayor cobertura de plantas vasculares y montículos de *Sphagnum* indican condiciones temporalmente más secas y mayores fluctuaciones del nivel freático. La eliminación de la cubierta de *Sphagnum* por recolección podría perjudicar las condiciones hidrológicas, al menos para la situación en el margen, y también para el rebrote de *Sphagnum*.

- *Turbera 4 en la Comuna de Aysén*

La turbera 4 está situada a unos 4 km al noreste de Puerto Aysén, directamente cerca del río Pangal. La recolección de *Sphagnum* es llevada a cabo por varios recolectores en casi toda la turbera con aproximadamente 350 ha de área abierta cubierta principalmente por *Sphagnum magellanicum*.

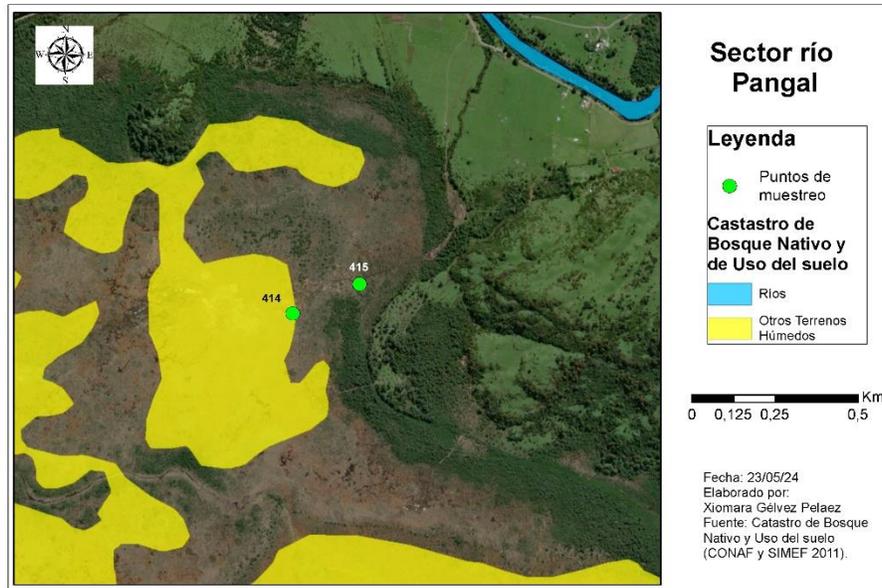


Figura 4. Parcelas de investigación (números de los puntos GPS) en la turbera 4 al sur del río Pangal, comuna Aysén.

Cuadro 5. Caracterización de la turbera 4

Ubicación	GPS	pH superficie del agua	eC de la superficie del agua (µS/cm ¹)	Nivel freático por debajo de la superficie de <i>Sphagnum</i> (cm)
1. Área cercana a la cosecha	414	4.72	43	36
vegetación	<i>Sphagnum magellanicum</i> (100%, muy compacto), <i>Gaultheria mugronata</i> , <i>Empetrum rubrum</i> , <i>Nanodea muscosa</i> , <i>Schoenoplectus caufornicus</i> , <i>Roscovia</i> sp. (cf. <i>magellanicum</i>)			
muestreo	<i>Sphagnum</i> y turba (capitula 66-71 cm)			
	Profundidad	Tipo de turba	Grado de descomposición (de Von Post 1924)	Observaciones
	0 – 24 cm	<i>Sphagnum césped</i>		
	24 – 45 cm	<i>Sphagnum</i> turba	H3-4	Carbón, raices vivas, raicillas <i>Ericaceae</i>
	45 – 61 cm	<i>Sphagnum</i> turba	H4	<i>Ericaceae</i> , raices, cenizas volcánicas
	61 – 76 cm	<i>Sphagnum</i> turba de raíces	H3	<i>Ericaceae</i>
núcleo	76 – 83 cm	<i>Sphagnum</i> turba de raíces	H5	<i>Ericaceae</i>
	83 – 124 cm	Turba de raíces	H9	<i>Sphagnum</i> , arena
	124 – 126 cm	arena		
	126 – 141 cm	<i>Sphagnum turba de raíces</i>	H4-6	
	141 – 142 cm	Ceniza volcánica negra		
	142 – 190 cm	<i>Sphagnum</i> turba de raíces	H5-6	
	190 – 220 cm	Turba madera	H9	

220 – 232 cm	Turba de raíces	H8	
232 – 234 cm	Ceniza Volcánica		
234 – 240 cm	Turba madera, raíces	H7	
240 – 250 cm	arena		Raíces, ceniza Volcánica
250 – 275 cm	Turba madera	H9	Raíces, liquido
275 – 300 cm	Turba Amorfa	H9-10	Raíces, arena, madera

Ubicación	GPS	pH superficie del agua	eC de la superficie del agua ($\mu\text{S}/\text{cm}^1$)	Nivel freático por debajo de la superficie de <i>Sphagnum</i> (cm)
2. aguas abiertas junto al "ferrocarril" con hierro reducido	415	5.96	91	
3.	415	5.9	24	

- *Clasificación de Turbera 4*

El subsuelo mineral no se alcanzó a muestrear, pero se encontraron depósitos de turba hasta 3 m de profundidad. La turba fue acumulada principalmente por *Sphagnum*, raicillas o madera que está altamente descompuesta por debajo de los 80 cm de profundidad. Las capas de turba superiores consisten principalmente en turba *Sphagnum* ligeramente descompuesta. Esta estratigrafía es típica de una turbera elevada, que también está indicado por su posición en el paisaje. La eliminación del acrotelm (capa superior autorregulada) destruye la funcionalidad de este sistema de turberas. Su regeneración lleva mucho tiempo o fracasará.

- *Turbera 5 en la Comuna de Aysén*

La turbera 5 está situada a 4 km al este de Puerto Aysén, directamente cerca del Río Aysén. Está cubierto en gran parte con árboles y otras plantas vasculares y con algunos parches de *Sphagnum* que crecen en montículos. No hay cosecha de *Sphagnum* en esta turbera.

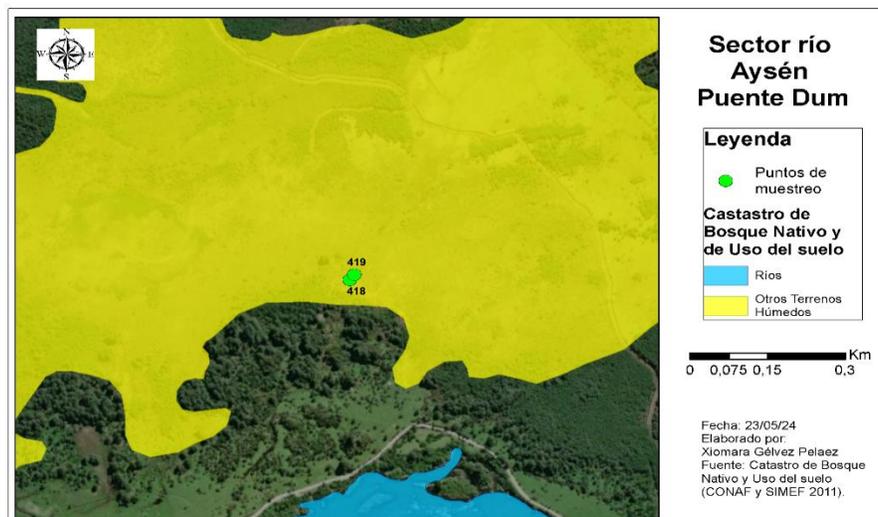


Figura 5. Parcelas de investigación (números de puntos GPS) turbera 5 al norte del río Aysén, comuna de Aysén.

Cuadro 6. Caracterización de la turbera 5

Ubicación	GPS	pH superficie del agua	eC de la superficie del agua ($\mu\text{S}/\text{cm}^1$)	Nivel freático por debajo de la superficie de <i>Sphagnum</i> (cm)
1. Margen	418	5.41	18	
2. Cercano al centro	419	5.22	28	10
Vegetación	<i>Juncus lessuaudi</i> , <i>Blechnum pendamarina</i> , <i>Carex banksii</i> , <i>Myrtida numularia</i> , (<i>Blechnum cordatum</i>)			
	Profundidad	Tipo de turba	Grado de descomposición (de Von Post 1924)	Observaciones
	0 – 12 cm	Césped <i>Sphagnum</i>		
	12 – 21 cm	Turba de Raíces <i>Sphagnum</i>	H3	Carbón, raíces vivas, raicillas (radicell), <i>Ericaceae</i>
	21 – 38 cm	<i>Sphagnum</i> turba de raíces	H4	
	38 – 60 cm	<i>Sphagnum</i> turba de raíces	H7-9	Carbón grueso y arena
	60 – 63 cm	limo		raicillas
	63 – 69 cm	Turba madera	H9	Raíces, raicillas hojas de <i>Nothofagus dombeyi</i> , cieno
núcleo	69 – 72 cm	cieno		
	72 – 100 cm	Turba madera	H9	Raíces (radicell) <i>Nothofagus</i> hoja, <i>Berberis microphylla</i> ('Calafate') hoja, limoso
	100 – 150 cm	gyttja	K3	Radiceles, madera, <i>Berberis microphylla</i> ('Calafate') hoja
	150 – 170 cm	Pérdida de núcleo		
	170 – 200 cm	Turba de raíces	H7	madera, <i>Berberis microphylla</i> ('Calafate') hoja, arena, lodo

- *Clasificación de la Turbera 5*

El subsuelo mineral no se alcanzó mediante extracción de muestras, sino que se encontraron depósitos de turba hasta 2 m de profundidad. La turba por debajo de los 40 cm de profundidad fue acumulada principalmente por madera o raíces y está altamente descompuesta. Hay lodo entre 100 y 150 cm de profundidad que indica aguas abiertas en esta parcela durante un largo tiempo, antes de que se establezca turba de madera acumulada, lo que indica una turbera de paludificación / terrestreización.

En los 40 cm superiores aumenta la proporción de *Sphagnum*, lo que apunta a un impacto creciente del agua de lluvia. Las condiciones del sitio son subneutras y pobres en nutrientes, pero con las más altas concentraciones de hierro en el agua de poro muestran todavía un impacto de las aguas subterráneas. Los montículos y las áreas de aguas abiertas muestran las fluctuaciones de la capa freática. Para poder evaluar

de manera concluyente el potencial de recolección de *Sphagnum* o paludicultura de *Sphagnum*, se necesitan investigaciones más intensivas sobre hidrología y condiciones de nutrientes.

Turbera en Laguna Pedro Aguirre Cerda Comuna de Coyhaique

La turbera Pedro Aguirre Cerda está situada en el norte de la comuna de Coyhaique, a unos 62 km al noreste de Aysén. Tiene aproximadamente 110 ha de tamaño, la superficie está ligeramente inclinada (0,3%) y modelada en montículos y honduras. La turbera está bordeada por el río Mañihuales alrededor de 750 m en el norte y drena hacia el lago Aguirre Cerda en el sur. A 150 m de distancia (mínimo) la Carretera Austral pasa por el lado occidental de la turbera. Un pequeño arroyo entre la carretera y las turberas conecta el río con el lago. El clima regional se clasifica como templado oceánico frío, con una temperatura media anual de ~6°C y una precipitación media anual de ~2.500 mm (DGA, 2004). Hay una menor pérdida de agua por evapotranspiración y escorrentía lateral o vertical que el suministro de agua, principalmente por precipitación, conduce a un excedente de agua en las turberas y la formación de apozamiento (Domínguez & Martínez 2021). La filtración en las profundidades se ralentiza por el aumento del grado de descomposición de la turba.

La turbera Pedro Aguirre Cerda está bien investigada, también con análisis paleoecológico. La acumulación de materia orgánica comenzó alrededor de 9.800 AP, probablemente en un momento posterior al final de la gran salida de agua de deshielo glacial a través del valle del río Mañihuales durante el final de la última edad de hielo (Reid & McCulloch 2021). Una capa de turberas de hasta 5,5 m se ha acumulado en alta proporción (ibíd.). En el resultado del nuestro realizado se encontró de 1 a 1,35 m turba de *Sphagnum* descompuesta por encima de *Sphagnum* descompuesto más alto o turba de raíces, que fue interrumpida por capas delgadas de arena o ceniza volcánica. No se llegó al subsuelo mineral. Este tipo es una turbera elevada.

La recolección de *Sphagnum* solo ocurre en pequeñas cantidades en el borde norte de la turbera desde 2012. En esta turbera también se han llevado a cabo experimentos de rebrote por parte de Domínguez y Martínez (2021). Se observaron huellas dejadas por las máquinas demarcando profundamente la turbera cerca de la parcela de investigación 411.

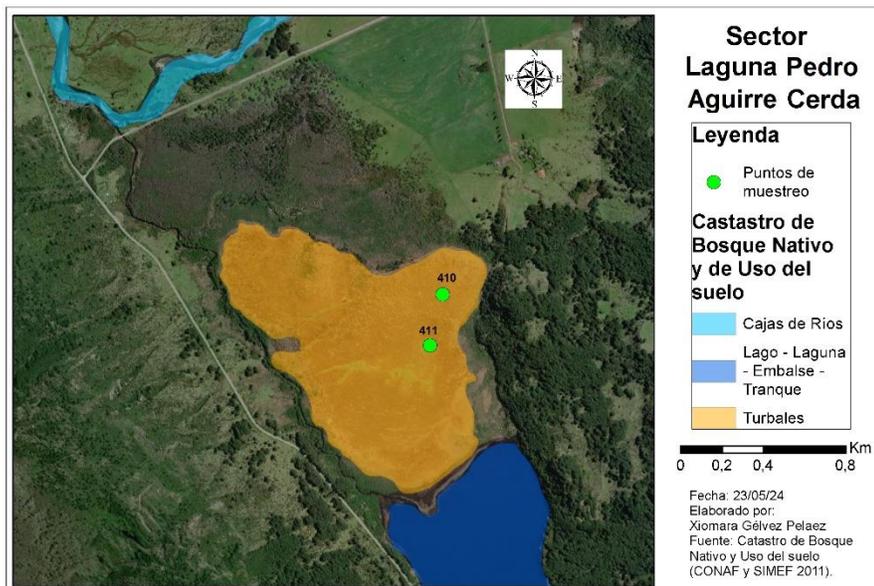


Figura 6. Parcelas de investigación (números de los puntos GPS) en la turbera 3 adyacente a la Carretera Austral y Laguna Pedro Aguirre Cerda, comuna Coyhaique.

Cuadro 7. Caracterización de la meseta de turberas 3

Ubicación	GPS	pH superficie del agua	eC de la superficie del agua ($\mu\text{S}/\text{cm}^1$)	Nivel freático por debajo de la superficie de <i>Sphagnum</i> (cm)
1. Meseta en el centro	410	4.5	83	35
Vegetación	<i>Sphagnum magellanicum</i> (100%, muy compacto), <i>Tetrorchidium punctatum</i> , <i>Gaultheria antarctica</i> , <i>Empetrum rubrum</i> , <i>Nanoda nusca</i> , y en los bordes de la turbera también con <i>Sphagnum falcatulum</i>			
Muestreo	<i>Sphagnum</i> y turba (Capitula, 35-40 cm, 106-111 cm)			
Núcleo	Profundidad	Tipo de turba	Grado de descomposición (de Von Post 1924)	Observaciones
	0 – 15 cm	<i>Sphagnum cespeditum</i>		
	15 – 31 cm	<i>Sphagnum</i> turba	H1	
	31 – 86 cm	<i>Sphagnum</i> turba	H2	
	86 – 115 cm	<i>Sphagnum</i> turba	H3	Raíces
	115 – 125 cm	<i>Sphagnum</i> turba de raíces	H4	Carbón
	125 – 135 cm	<i>Sphagnum</i> Cymb., turba de raíces	H5	<i>Ericaceae</i> , <i>gyttja</i>
	135 – 145 cm	<i>Sphagnum</i> Cymb. Turba de raíces	H6	<i>Ericaceae</i>
	145 – 156 cm	arena (fina y mediana)		
	156 – 188 cm	<i>Sphagnum</i> Cymb. Turba de raíces	H6	<i>Ericaceae</i>
	188 – 192 cm	arena		
	192 – 193 cm	Ceniza volcánica negra		
	193 – 222 cm	<i>Sphagnum</i> turba de raíces	H6-7	
	222 – 227 cm	arena		
	227 – 230 cm	Ceniza volcánica negra		
	230 – 234 cm	<i>Sphagnum</i> turba de raíces	H4	
	234 – 258 cm	<i>Sphagnum</i> turba	H6-7	Raíces, arena, ceniza volcánica
	258 – 260 cm	arena		
	260 – 269 cm	Turba de raíces	H7	madera <i>Sphagnum</i>
	269 – 273 cm	Turba de raíces	H7	<i>Sphagnum</i> , limo
273 – 300 cm	Turba de raíces	H7		



Figura 7. Meseta de la turbera 3 (izquierda). Muestreando en el centro de la turbera 3 (derecha). (Fotos: G. Gaudig).

Cuadro 8. Caracterización del centro de la turbera 3

Ubicación	GPS	pH superficie del agua	eC de la superficie del agua ($\mu\text{S}/\text{cm}^1$)	Nivel freático por debajo de la superficie de <i>Sphagnum</i> (cm)
2. Centro (hacia la laguna)	411	4.3	20	10
Vegetación	<i>Sphagnum cuspidatum</i>			
Observaciones	Fecas de ave			
Núcleo	Profundidad	Tipo de turba	Grado de descomposición (de Von Post 1924)	Observaciones
	0 – 90 cm	<i>Sphagnum</i> turba	H2	Raíces muy sueltas
	90 – 100 cm	<i>Sphagnum</i> turba	H3-4	<i>Ericaceae</i> , Raíces
	100 – 115 cm	Pérdida del núcleo		
	115 – 131 cm	<i>Sphagnum</i> turba de raíces	H7	madera
	131 – 134 cm	Arena		
	134 – 145 cm	<i>Sphagnum</i> turba de raíces	H6-7	
	145 – 150 cm	Turba de raíces	H7	Arena, limo
	150 – 165 cm	Lodo		
	165 – 180 cm	Turba de raíces	H8	lodo, madera
	180 – 187 cm	arena + ceniza volcánica		
	187 – 193 cm	<i>Sphagnum</i> turba	H3	Arena, ceniza volcánica
	> 193 cm	Turba de raíces	H7	Madera, arena, <i>Sphagnum</i>

- *Clasificación de la Turbera 3*

Dado que la turbera Pedro Aguirre Cerda es una turbera de acrotelm, con el acrotelm como capa funcional para el mantenimiento de la turbera (Domínguez & Martínez 2021). La eliminación de la capa de *Sphagnum* sería desastrosa para esta, no solo en la parte superior (meseta) que actúa como depósito de agua, sino

también en el margen, lo que afectaría sustancialmente la hidrología en toda el área de turberas. Además, el pisoteo de caminos (con recolección regular) o la conducción de máquinas o accesos, conducirían a la compactación de las capas superiores de turba, en las que las plantas vasculares y los árboles pueden establecerse con mayores tasas de evapotranspiración como resultado y también crear drenajes artificiales que afectan la hidrología de las turberas.

Comparación de las Condiciones del Sitio de Turberas Visitadas

- *Condiciones Climáticas*

El clima en la región visitada más al norte cerca de Puerto Aysén se clasifica como templado fresco oceánico, con una temperatura media anual de 6 a 9.5 ° C y una precipitación media anual de 2,240-2,500 mm. La zona del Lago Vargas entre Cochrane y Tortel a 250 km al sur de Puerto Aysén muestra temperaturas medias anuales de 11°C y precipitación media anual de 1.300 mm, más seca y cálida.

- *Tipo de Turbera*

Las turberas visitadas son principalmente turberas elevadas con un acrotelmo (capa superior autorregulada) y depósitos profundos de turba (turberas 1, 3, 4). Las turberas 2 y 5 parecen ser turberas de terrestrialización (o paludificación) con un impacto recientemente creciente del agua de lluvia, por lo que es probable un desarrollo hacia una turbera elevada.

- *Nutrientes*

Los contenidos de nitrógeno, potasio y fósforo en la turba de todas las turberas visitadas son bajos, como se describe para las turberas con valores particulares muy bajos de nitrógeno. Los contenidos de nitrógeno son similares a los valores más bajos descritos para la turba *Sphagnum magellanicum* en turberas de las cuencas de los ríos Pascua y Baker en Aysén y en la Isla Grande de Chiloé. (León & Oliván, 2014; León *et al.*, 2021), indicando condiciones oligotróficas muy pobres (C/N=50 para turba de *S. magellanicum* en la región Aysén (Rodríguez Martínez, 2015).

En el capítulo de *Sphagnum* se registraron valores más bajos de N y mayores de P y K en comparación con una turbera en la Patagonia Austral > 800 km al sur de los sitios en Aysén (Fritz *et al.*, 2012). En comparación con las turberas naturales de las tierras bajas de Kolkheti (ubicado en el Cáucaso en Georgia), también caracterizadas por una alta precipitación anual > 2.000 mm y situadas junto al mar, con vegetación de *Sphagnum papillosum* y *S. palustre* se encontraron valores predominantemente de P más altos y contenidos similares de K en las turberas de Aysén que en Kolkheti con < 0,61 mg P g/DM y 2,6 – 4,9 mg K g/DM (Krebs *et al.*, 2016).

Las mediciones en el agua de poro muestran condiciones ácidas con baja conductividad eléctrica, lo que también describen Rodríguez Martínez (2015) o Reid & Torres (2021) para otras turberas de la región Aysén. El agua de poro también tiene bajas concentraciones de elementos, en particular para amonio, nitrato y fósforo, con la excepción de valores de Ca más altos en las turberas 1, sitio 3 y turberas 3 en la meseta en el centro de turberas (Bragazza & Gerdol, 2002; Käärmelahti *et al.*, 2023).

A pesar de la baja disponibilidad general de nutrientes en los cocientes N/P y N/K del agua de turba y poro en los capítulos de *Sphagnum* de 7-19 y 1.1-2.3, respectivamente, lo que indica un suministro de nutrientes generalmente bueno para el crecimiento de *Sphagnum* con algunos signos de limitaciones de nitrógeno. El rocío marino y rara vez las inundaciones de los ríos pueden tener un papel importante en la influencia del estado nutricional de los musgos *Sphagnum*.

Recomendaciones para Futuras Cosechas de *Sphagnum* en Aysén, Chile

Las turberas en Aysén permanecieron intactas por más tiempo que en otras regiones de Chile. La biomasa de *Sphagnum* se recolecta en Chile desde la década de 1990, lo cual está regulado por el Decreto Supremo

N° 25 desde 2019. Las normas son en gran medida buenas, pero para su eficacia es importante aplicar controles y sanciones. Pero la regla de dejar 5 cm de musgo *Sphagnum* no está clara y es difícil de seguir y controlar. Se recomienda concretar la profundidad de recolección vista desde la superficie del musgo.

Además, se recomienda especificar las normas para los tipos de turberas, ya que los impactos de la recolección de *Sphagnum* dependen de la hidrología, otras condiciones del sitio, el relieve y la infraestructura antropogénica (carreteras, zanjas, etc.) de las turberas y sus alrededores. En las turberas elevadas, el acrotelmia construido principalmente a partir de *Sphagnum* como capa superior autorregulada es crucial para la hidrología y para la existencia y el mantenimiento del sistema de acumulación en la turba. Su eliminación conduce a condiciones más secas y probablemente degradantes de turba que son desfavorables para el rebrote de *Sphagnum*. La recolección sostenible de *Sphagnum* es en gran medida imposible en las turberas con acrotelm. Por lo tanto, se sugiere incluir en la revisión del Decreto Supremo N° 25 también la obligación de determinar el tipo de turbera para el otorgamiento del permiso para la recolección de *Sphagnum*.

En contraste, la hidrología en pomponales es diferente. Como resultado de la tala de cipreses, el suministro de agua y el nivel freático son constantemente altos sin una capa superior autorregulada en estos tipos secundarios de turberas, pero con capacidades crecientes de almacenamiento de agua (y probablemente filtración de agua). En tales condiciones, *Sphagnum* puede volver a crecer en unos pocos años, si se cosecha poco profundo (máx. 15 cm) y se evita la inundación de la capa residual. La cosecha en tiras angostas o la aplicación adicional de fragmentos frescos de *Sphagnum* después de la recolección podría acelerar el rebrote. Aunque el Decreto Supremo N° 25 prescribe que al menos el 30% de los musgos deben dejarse intactos, no existen regulaciones sobre su distribución. Para el rebrote de *Sphagnum*, los restos distribuidos ("en parches") serían mejores en lugar de "bloques compactos" de musgos intactos. Sin embargo, se debe evitar la inundación de la capa residual de *Sphagnum* para evitar condiciones anóxicas y el posible establecimiento de algas como competidoras de la luz y los nutrientes que perjudican y, en última instancia, previenen el rebrote de *Sphagnum*.

El Decreto Supremo N° 25 debe revisarse y actualizarse cada dos años teniendo en cuenta los resultados recientes de las investigaciones, las experiencias y el consenso de un grupo de expertos.

Las turberas intactas contribuyen significativamente a la biodiversidad regional y proporcionan una amplia gama de servicios ecosistémicos, como el sumidero de carbono y el almacenamiento y purificación de agua, el enfriamiento del paisaje, etc. Su capacidad para secuestrar carbono en la turba o para almacenar y filtrar agua hace que los ecosistemas sean muy valiosos con respecto a la mitigación y adaptación al cambio climático. Por esta razón, se recomienda mantener la funcionalidad de las turberas intactas y valorar su rendimiento como sumideros de carbono y almacenadoras de agua. Para ello el mantenimiento de su hidrología es crucial. Para alcanzar la neutralidad de CO₂ para 2050, como se comprometió en el Acuerdo de París, también se debe prestar atención al impacto climático de las turberas, porque cuando estas se drenan, emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

Paludicultura de *Sphagnum* en Turberas Preutilizadas

La paludicultura de *Sphagnum* es el cultivo de musgos de turba en turberas degradadas y rehumedecidas. En Alemania se tienen experiencias con la paludicultura de *Sphagnum* en turberas cortadas o turberas anteriormente utilizadas como pastizales (Gaudig *et al.*, 2018). Para su instalación, los fragmentos de *Sphagnum* se extienden sobre la superficie de turba preparada (nivelada, libre de vegetación) de un pantano degradado, antes de volver a humedecer. El nivel freático se mantiene cerca de la superficie mediante un sistema de riego automático a través de zanjas y bombas. El nivel freático se incrementa con el crecimiento de *Sphagnum*. Debe haber un sistema de gestión adecuado del agua, entrada para el riego y también un flujo de salida para evitar la inundación del *Sphagnum*, en Alemania, en particular durante el invierno, es esencial para la paludicultura de *Sphagnum*. En Chile, la paludicultura de *Sphagnum* podría ser una opción para las turberas degradadas y preutilizadas para lograr una mejora significativa en su hidrología y, por lo tanto, en la conservación de la turbera.

Las condiciones adecuadas para la paludicultura de *Sphagnum* son:

- Balance hídrico positivo, preferiblemente durante todo el año
- Precipitación distribuida uniformemente (alta), en particular en épocas de altas temperaturas durante los largos períodos del año con temperaturas $> 0^{\circ}\text{C}$ (ya que *Sphagnum* crece a temperaturas $> 0^{\circ}\text{C}$)
- Disponer superficie plana con o sin micro relieve para facilitar la gestión del agua: mantener un suministro constante de agua de los musgos *Sphagnum*, evitando inundaciones
- El área inmersa en un entorno húmedo causa menos pérdida de agua
- El subsuelo superficial debe ser turba, cuanto más profunda sea la capa de turba, mejor.
- El subsuelo superficial (turba) con bajo grado de descomposición, pero con alta conductividad del agua permite una buena gestión del agua
- Un suelo impermeable al agua o poco permeable debajo del subsuelo superficial extendido, permite reducir las pérdidas de agua
- Si la precipitación no es suficiente para el suministro constante de agua, es necesaria la disponibilidad de agua de riego.
- Calidad del agua de poro y agua de riego potencial: con valores bajos de pH (~3-6.5), baja conductividad eléctrica ($< 500\ \mu\text{S}/\text{cm}$), bajas concentraciones de bicarbonato y calcio ($< 500\ \mu\text{mol}/\text{l}$)
- Preferiblemente condiciones de sitio pobres en nutrientes, en particular baja deposición de nitrógeno ($< 15\ \text{kg N}/\text{ha}/\text{año}$)
- Acceso a la zona para la gestión (disponibilidad eléctrica para bombas, etc.), cosecha y transporte de la biomasa *Sphagnum* cosechada
- Disponibilidad del material de operación para *Sphagnum*: elementos de trabajo, aparatos de lo más cerca posible para la instalación del sitio.

Para evaluar la idoneidad de un sitio para la paludicultura de *Sphagnum*, se debe disponer de los siguientes datos:

Clima

- Suma anual de precipitación
- Distribución anual de la precipitación
- Temperatura promedio diaria
- Humedad media diaria
- Radiación solar

Topografía

- Altitud con respecto al nivel del mar
- Relieve (llanura, pendiente)
- Micro relieve
- Integración en el paisaje – considerando los alrededores (valle, montañas, otras turberas)

Subsuelo

- Tipo de subsuelo(s), en particular el subsuelo superficial
- Espesor de las capas del subsuelo
- Grado de descomposición (turba)
- Características químicas de los subsuelos (por ejemplo, pH, conductividad eléctrica, contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, hidrógeno carbonato)
- Características físicas de los subsuelos (conductividad del agua, porosidad, densidad aparente seca)

Agua

- Características químicas del agua porosa y del agua de riego potencial (por ejemplo, pH, conductividad eléctrica, contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, hidrógeno carbonato)
- Disponibilidad de agua para mantener condiciones húmedas constantes (alta humedad, alto nivel freático) para *Sphagnum*

- Opciones potenciales para la gestión del agua (regulación de la capa freática – aumento y disminución)

Historia cultural, usos recientes

- Uso anterior del sitio y alrededores (qué actividades humanas)
- Uso reciente del sitio y sus alrededores

REFERENCIAS

- Bragazza, L. & Gerdol, R. (2002).** Are nutrient availability and acidity-alkalinity gradients related in *Sphagnum*-dominated peatlands? *Journal of Vegetation Science*, 13(4): 473-482. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02074.x>
- DGA (2004).** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Aysén. Preparado por Cade-Idepe consultores. Dirección General de Aguas. En: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Aysén.pdf>
- Dirección Meteorológica de Chile (2016).** En: https://en.wikipedia.org/wiki/Puerto_Ays%C3%A9n
- Domínguez, E. & Martínez, M.P. (2021).** Funciones y servicios ecosistémicos de las turberas de *Sphagnum* en la región de Aysén. Colección libros INIA No. 41. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Tamel Aike, Chile. Coyhaique, 344 p.
- Domínguez Díaz, E.; Martínez de Urquidi, M. P. & Montti Solis, A. (2022).** Restauración de la cubierta vegetal en una turbera de musgo *Sphagnum* en Aysén: Una primera aproximación. Boletín INIA N° 467. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Tamel Aike. Coyhaique, Chile. 64 p.
- Fritz, C.; Van Dijk, G., Smolders, A. J. P.; Pancotto, V. A.; Elzenga, T. J. T. M. et al. (2012).** Nutrient additions in pristine Patagonian *Sphagnum* bog vegetation: Can phosphorus addition alleviate (the effects of) increased nitrogen loads? *Plant Biology*, 14(3): 491-499. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2011.00527.x>
- Gaudig, G.; Krebs, M.; Prager, A., Wichmann, S. et al. (2018).** *Sphagnum* farming from species selection to the production of growing media: a review. *Mires & Peat*, 20(13): 1-30. En: <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map20/map2013.php> 10.19189/MaP.2018.OMB.340
- Holz, A.; Haberle, S.; Veblen, T. T.; De Pol-Holz, R. & Southon, J. (2012).** Fire history in western Patagonia from paired tree-ring fire-scar and charcoal records. *Climate of the Past*, 8(2): 451-466. <https://doi.org/10.5194/cp-8-451-2012>
- Käärmelahti, S. A.; Temmink, R. J. M.; van Dijk, G.; Prager, A., Kohl, M. et al. (2023).** Nutrient dynamics of 12 *Sphagnum* species during establishment on a rewetted bog. *Plant Biology*, 25(5): 715-726. <https://doi.org/10.1111/plb.13534>
- Krebs, M.; Gaudig, G. & Joosten, H. (2016).** Record growth of *Sphagnum papillosum* in Georgia (Transcaucasus): rain frequency, temperature and microhabitat as key drivers in natural bogs. *Mires & Peat*, 18(4): 1-16. 10.19189/MaP.2015.OMB.190
- León, C. A. & Oliván, G. (2014).** Recent rates of carbon and nitrogen accumulation in peatlands of Isla Grande de Chiloé-Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, N°87. Pp: 1-7. <https://doi.org/10.1186/s40693-014-0026-y>
- León, C. A.; Gabriel, M.; Martínez Rodríguez, C.; Iturraspe, R.; Savoretti, A. et al. (2021).** Peatlands of southern South America: a review. *Mires & Peat*, 27(3): 1-29. 10.19189/MaP.2020.SNPG.StA.2021
- Pfeiffer, M.; Mascayano, C. & Aburto, F. (2010).** Soils of Chilean Patagonia in glacial and periglacial environments. *Eurasian Soil Sc.*, 43(13): 1430–1438. <https://doi.org/10.1134/S106422931013003X>
- Quinty, F., & Rochefort, L. (2003).** Peatland restoration guide (p. 106). Fredericton, NB, Canada: Canadian *Sphagnum* Peat Moss Association.
- Reid, B. y McCulloch, R. (2021).** Hidrología de una turbera de *Sphagnum* en la Patagonia chilena. Cap. 5. Pp: 111

- 131. En: Domínguez, E. & Martínez, M.P. (Eds). Funciones y servicios ecosistémicos de las turberas de *Sphagnum* en la región de Aysén. Colección libros INIA N° 41. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Tamei Aike, Chile. Coyhaique. 344 p.
- Reid, B. & Torres, R. (2021).** La conexión entre hidrología y calidad de aguas: Un factor clave en la conservación de las turberas en la región de Aysén. Cap. 4. Pp: 91-109. Funciones y servicios ecosistémicos de las turberas de *Sphagnum* en la región de Aysén. Colección libros INIA, (41).
- Rodríguez Martínez, A. C. (2015).** Hydrogeomorphic classification of mire ecosystems within the Baker and Pascua Basins in the Region Aysén, Chilean Patagonia: a tool for their assessment and monitoring (Doctoral dissertation, Humboldt-Universität).
- UNEP (2022).** Global Peatlands Assessment – The State of the World’s Peatlands: Evidence for action toward the conservation, restoration, and sustainable management of peatlands. Main Report. Global Peatlands Initiative. United Nations Environment Programme, Nairobi.
- Vacarezza, F. (2012).** Gestión Ambiental de las turberas de Magallanes (Environmental Management of the Peatlands of Magallanes). Doctoral dissertation, University of Barcelona, Spain, 445 pp. (in Spanish).
- Von Post, L. (1924).** Das genetische System der organogenen Bildungen Schwedens. In: Frosterus, B. (Ed). Mémoires sur la Nomenclature et la Classification des Sols. Comité International de Pédologie, IV ème commission (commission pour la nomenclature et classification des sols, commission pour l'Europe). Helsingfors/Helsinki. Pp: 287–304.

Anexo 1. Glosario de Términos.

- **Acrotelm:** Capa superior productora de turba de una turbera con alta capacidad de almacenamiento de agua y un marcado gradiente de conductividad hidráulica. Las fluctuaciones del nivel freático y el flujo de agua horizontal se limitan predominantemente a esta capa. El acrotelm estabiliza las condiciones hidráulicas.
- **Biomasa de *Sphagnum*:** Capa superior, viva y vital de *Sphagnum* con alto potencial de regeneración, que fue determinada como los 12 cm superiores de la capa.
- **Fango límnicos:** Una turbera, donde actualmente se está formando y acumulando turba.
- **Gyttja:** Material sedimentario acumulado bajo el agua de origen orgánico y/o mineral, en su mayoría sedimentos.
- **Paludificación:** La formación de condiciones de encharcamiento: también se refiere a la acumulación de turba que comienza directamente sobre un suelo mineral anteriormente seco.
- **Pantano:** Lodazal sólo alimentada por la precipitación
- **Pantano elevado:** Turbera con su superficie y nivel de agua claramente elevados por encima del de la ciénaga geogénica/suelo mineral circundante y que recibe nutrientes únicamente de la atmósfera.
- **Pompón:** Mechón/ matas de *Sphagnum*
- **Pomponales / Pomponeras:** Humedal donde crece *Sphagnum* se desarrolló en tiempos recientes después de incendios y extracciones (en Aysén especialmente de ciprés de las Guaitecas, *Pilgerodendron uviferum*), pero sin capas de turba o con capas poco profundas. No se permite extraer el ciprés de las Guaitecas cuando está vivo, solo si está muerto (especie protegida).
- **Radicélulas:** Raíces y raicillas principalmente de juncos.
- **Terrenalización:** La acumulación de sedimentos y turbas en aguas abiertas.
- **Turbera:** Un área con o sin vegetación con una capa de turba acumulada naturalmente en la superficie.
- **Turba de *Sphagnum*:** Material acumulado sedentario proveniente principalmente de musgos de *Sphagnum* que consiste en al menos un 30% (peso seco) de material orgánico muerto.