

CAPÍTULO 12

PROPAGACIÓN ARTIFICIAL DEL MUSGO *SPHAGNUM MAGELLANICUM* BRID. (BRYOPHYTA: SPHAGNACEAE), COMO MODELO PARA EL RESCATE DE ECOTIPOS RELEVANTES EN LA CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS DE TURBERAS

Rubén Carrillo L. & Patricio Pacheco C.

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Departamento de Ciencias Agronómicas y Recursos Naturales. Universidad de La Frontera.

E-mail: ruben.carrillo@ufrontera.cl

RESUMEN

La creciente demanda comercial por el musgo *Sphagnum magellanicum* Brid. en Chile, ha generado una intensa actividad extractiva, impactando fuertemente los ecosistemas naturales de pomponales y turberas naturales producto de su sobreexplotación y consecuente degradación. Esta situación hace necesario generar acciones que permitan promover la conservación y restauración de estos ecosistemas. Considerando ello, el presente trabajo tuvo como objetivo coleccionar diversos ecotipos del musgo *S. magellanicum* y seleccionar aquel que presentó las características morfológicas más apropiadas y demandadas en el ámbito de su comercialización para ser masificado *ex situ*. Para ello se realizó una prospección de áreas con presencia de *S. magellanicum* en turberas antropogénicas entre las regiones de Los Ríos y de Los Lagos, desde donde se coleccionaron muestras de cada subpoblación. El ecotipo seleccionado correspondió al ubicado en el sector de Quillaípe, en la provincia de Llanquihue, el cual se masificó artificialmente en 6 contenedores de fibra de vidrio de 14 m³, instalados en un invernadero de 275 m² de estructura metálica y cubierta de policarbonato, provisto de un sistema hidráulico que permitió la circulación de agua entre la turbera y el invernadero. En cada contenedor se depositó fierrillo, turba y una capa semidescompuesta de musgo sobre la cual se sembraron segmentos de 10 a 15 cm de *Sphagnum*. Los resultados arrojaron un crecimiento promedio en la longitud del caulidío de 0,46 y 0,78 cm por mes para la primera y segunda temporada anual respectivamente, superando las tasas naturales de crecimiento registradas en turberas antropogénicas. Se espera que el desarrollo de esta experiencia permita, a futuro, sentar las bases para el rescate y la conservación de ecotipos de *Sphagnum magellanicum*, favoreciendo con ello la

conservación y la restauración de ecosistemas de turberas perturbados por la actividad extractiva del musgo.

Palabras clave: producción artificial, ecotipos, *Sphagnum magellanicum*, conservación, restauración.

INTRODUCCIÓN

Las turberas corresponden a ecosistemas de humedales distribuidos en latitudes altas en ambos hemisferios, aunque también es posible encontrarlos en zonas tropicales (Díaz *et al.* 2015; Xu *et al.* 2018). Cubren cerca de 400 millones de ha, equivalente al 2,8% de la superficie terrestre mundial, y representan el 55% de los humedales del planeta (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2004; Xu *et al.* 2018). Ellas también han sido reconocidas mundialmente por el suministro de bienes y servicios ecosistémicos que entregan a la sociedad, destacándose sus contribuciones en el abastecimiento, la regulación y la calidad del recurso hídrico, además de los servicios de regulación y soporte como la conservación de la biodiversidad y el secuestro de carbono, a lo que se suma la provisión de turba, musgos y fibras, entre otros recursos (Kimmel & Mander, 2010; De Groot *et al.* 2012; Grand-Clement *et al.* 2013; Martin-Ortega *et al.* 2014; Webster *et al.* 2018).

A pesar de sus importantes valores ecológicos y ambientales, las turberas han sido utilizadas en forma intensa principalmente en las zonas boreales, y desde hace algunas décadas atrás en zonas tropicales y patagónicas, causando su degradación debido al drenaje, la extracción indiscriminada de turba, los incendios, o el cambio de uso del suelo para la habilitación de tierras para la producción agrícola y forestal (Turetsky *et al.* 2015). Las turberas patagónicas presentes en Chile y Argentina han recibido menores perturbaciones en cuanto a intensidad y temporalidad, manteniéndose gran parte de su superficie en condiciones prístinas debido a las dificultades de acceso (Kleinebecker *et al.* 2010).

En Chile, los ecosistemas de turberas están circunscritos a la región de Tundra y, en sentido estricto, se extienden desde el golfo de Penas hasta el extremo sur del país (48°S - 56°S). Sin embargo, es posible observar incursiones septentrionales de dicha región hasta la zona de cordillera Pelada, al sur de la región de Los Ríos (Schlatter & Schlatter, 2004; León *et al.* 2012). Dentro de esta zona, y en particular en la región de Los Lagos, existen turberas originadas tras el retroceso de glaciares

(turberas naturales) y también otras áreas que corresponden a lugares anegados, y dominados por musgos del género *Sphagnum*, denominadas turberas antropogénicas, o localmente como pomponales, debido a que su origen se asocia a la quema o tala rasa de bosques nativos en sitios con drenaje pobre, por lo que son mucho más recientes que las turberas naturales del extremo sur del país (Zegras *et al.* 2006; Díaz *et al.* 2008; Díaz *et al.* 2012).



Durante las últimas décadas del siglo pasado las turberas de la región de Los Lagos comenzaron a ser intervenidas con el objetivo de extraer turba (Valenzuela & Schlatter, 2004; León *et al.* 2012). Junto a ello, a partir de mediados de la década de los 90, las turberas antropogénicas o pomponales comienzan a cobrar gran relevancia debido al interés por la cosecha y comercialización del musgo *Sphagnum magellanicum*, constituyéndose en una fuente de trabajo durante los meses de verano en las comunidades rurales. La creciente demanda por el musgo *Sphagnum* en la región de Los Lagos y de turba en la región de Magallanes ha traído como consecuencia una intensa actividad extractiva, lo que ha impactado fuertemente los ecosistemas naturales de los cuales forman parte, ello porque difícilmente vuelven a ser funcionales, debido a la lenta recuperación de las áreas, siendo finalmente abandonados (Díaz & Silva, 2018). El drástico deterioro de estos ecosistemas, junto a la fragmentación y degradación de importantes hábitats biológicos, han llevado a una enorme pérdida en la riqueza de especies y su diversidad genética. Las severas alteraciones de las condiciones ec hidrológicas y microclimáticas que han ocurrido en pomponales y turberas cosechadas intensamente, han dificultado la recolonización del musgo *Sphagnum*, disminuyendo con ello las superficies productivas de este recurso (León *et al.* 2014; Domínguez & Vega-Valdés, 2015; Díaz & Silva, 2018).

Esta problemática ha llevado a desarrollar una serie de iniciativas tendientes a disminuir el impacto sobre estos importantes ecosistemas, las cuales se han orientado al diseño y difusión de técnicas de cosecha sustentable para su implementación por parte de los recolectores (Domínguez, 2014; Oberpaur *et al.* 2018), siendo un importante aporte en la solución del problema; pero en la

práctica, pocos recolectores aplican estas recomendaciones, principalmente por el nivel de degradación de algunos pomponales y la necesidad de alcanzar volúmenes determinados de producción.

Por otra parte, no se han identificado ni masificado aquellos ecotipos del musgo que, desde el punto de vista comercial, generen mejores oportunidades de mercado considerando las características de calidad demandadas por los exportadores, así como el rol ecológico que éstos cumplen y que deben ser resguardados para futuras acciones de restauración. En este sentido, algunos países europeos (Alemania y Finlandia) están desarrollando opciones alternativas de uso de la tierra para turberas, las que se basan en el cultivo de musgos *Sphagnum* asociados al concepto de paludicultura de turberas, permitiendo la producción de biomasa de musgos al tiempo que se evita el drenaje y la extracción de turba, proporcionando una alternativa de uso sostenible para estos ambientes (Wichmann *et al.* 2017; Günther *et al.* 2018). Junto a ello, la implementación de actividades de restauración de turberas dominadas por *Sphagnum*, conocida como técnica de transferencia de capa de musgo (Quinty & Rochefort, 2003), necesariamente requiere de sitios donantes donde el musgo *Sphagnum* es extraído desde turberas naturales, provocando alteraciones adicionales ante la imposibilidad de contar con una producción *ex situ*, como ocurre con la viverización de plantas vasculares (Murray *et al.* 2017). En la actualidad no existen experiencias descritas que den cuenta de una propagación artificial *ex situ* del musgo *Sphagnum magellanicum* desde un punto de vista productivo, junto a la selección de características comerciales de este recurso en base a la prospección, selección, recuperación y propagación artificial de ecotipos superiores. Por tanto, de manera inédita, se generó un sistema artificial *ex situ* de producción del musgo que permitió resguardar la mantención de la calidad del recurso, y promover un volumen para apoyar el resguardo ecológico de ecosistemas de pomponales y turberas de *Sphagnum*, los cuales por su extensión en nuestro país juegan un rol fundamental en los flujos de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O) y en la regulación del régimen hídrico de los sectores donde se emplazan (Carrillo & Pacheco, 2017).

El presente trabajo tuvo como objetivo coleccionar ecotipos del musgo de turbera *Sphagnum magellanicum* Brid. y seleccionar aquel que presentó las mejores características morfológicas en cuanto a la calidad exigida para el producto a comercializar, para luego ser masificado *ex situ* considerando para ello las condiciones ambientales que favorecen su adecuado establecimiento y reproducción.

Esta investigación se desarrolló en el marco del Proyecto FIA (Fundación para la Innovación Agraria) "Plan Piloto de Masificación del Musgo *Sphagnum*" PYT-0087-2012 y ha sido registrada su propiedad intelectual con la inscripción N°277.195.

METODOLOGÍA

Colecta y selección de ecotipo

La colecta de ecotipos se realizó en base a los antecedentes bibliográficos existentes, la información aportada por servicios públicos (INDAP, ODEPA) y por comercializadores del musgo, logrando seleccionar un área geográfica comprendida entre las provincias de Valdivia (región de Los Ríos) y Chiloé (región de Los Lagos). Dentro de esta área geográfica se seleccionaron 5 sectores para la colecta del musgo, los cuales se detallan en el Tabla 1 y Fig. 1. En cada uno de estos lugares se extrajeron tres muestras compuestas de musgos, equidistantes 1 m a un punto central seleccionado como representativo del área para el cual se registró su coordenada UTM mediante GPS. El musgo se extrajo manualmente y se almacenó directamente en bolsas Ziploc rotuladas. Las muestras se almacenaron en un cooler con gel refrigerante para luego ser transportadas al Laboratorio de Biología Vegetal (LBV) de la Universidad de La Frontera, donde fueron refrigeradas a una temperatura de 2° C. En cada sector de muestreo se midieron las características químicas del agua y se caracterizó la vegetación circundante, aspectos ecológicos que condicionan junto al clima, el crecimiento y desarrollo del musgo, los cuales son de interés para la evaluación de su óptimo crecimiento. La identificación taxonómica se realizó mediante metodologías clásicas apoyadas con técnicas de biología molecular. Para ello, las muestras fueron analizadas en la sección de Botánica del Museo Nacional de Historia Natural, en donde se corroboró que todos los individuos colectados correspondían a la especie de briófito *Sphagnum magellanicum* Brid.

Tabla 1. Sectores de colecta de ecotipos del musgo de turbera *Sphagnum magellanicum*.

Sector	Región	Provincia	Coordenadas UTM S	Coordenadas UTM E
Los Ulmos	Los Ríos	Valdivia	5573413 S	659361 E
Quillaipe	Los Lagos	Llanquihue	5395124 S	690510 E
Aucar	Los Lagos	Chiloé	5329901 S	622477 E
El Palomar	Los Lagos	Chiloé	5341332 S	598626 E
Quellón	Los Lagos	Chiloé	5241874 S	608714 E

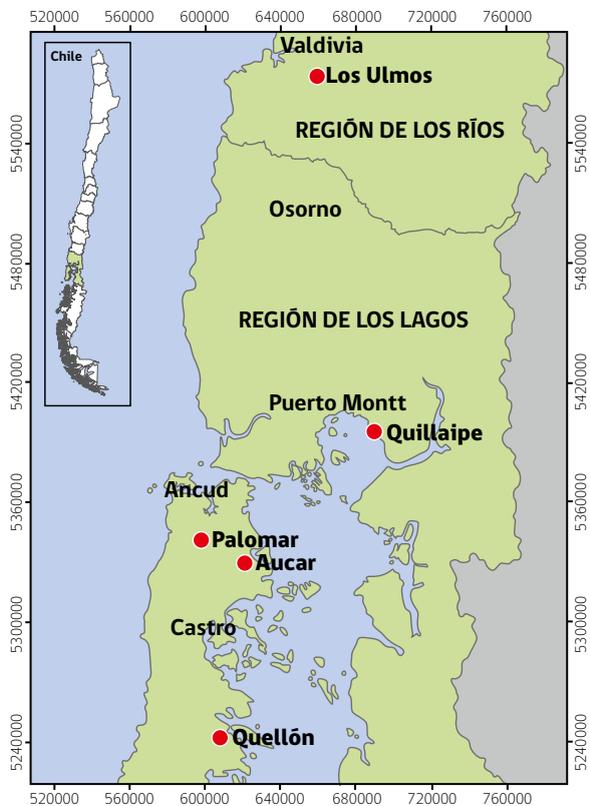


Fig. 1. Sectores de colecta de ecotipos del musgo *S. magellanicum*.

En el LBV se seleccionaron aquellos ecotipos superiores, es decir, que cumplieran con características fenotípicas de interés comercial. Para ello también se consultó la opinión especializada de pequeños productores y de exportadores del musgo pompón. Los parámetros de calidad que son demandados por parte de compradores nacionales y exportadores para el musgo *Sphagnum* se focalizan principalmente en 2 aspectos, los que corresponden al grosor y la longitud de la fibra, además de que el producto no presente impurezas. En algunos casos también es posible que se soliciten características basadas especialmente en el color del musgo. Considerando lo indicado, la descripción morfológica fue realizada en base a parámetros cuantitativos y cualitativos para cada uno de los ecotipos muestreados. Dentro de los análisis cuantitativos se realizaron mediciones del largo de fascículos (conjunto de ramas que nacen de una inserción en el caulidio), además del largo y ancho de filidios. Se consideraron

estos parámetros ya que al tener una mayor longitud de agrupaciones y mayores anchos de caulidio se asume un mayor poder de absorción del musgo. En cuanto a los parámetros cualitativos se evaluaron la forma, coloración y concavidad de filidios en agrupaciones y aquellos que salen directamente del caulidio.

Proceso de propagación artificial

El proceso de propagación artificial consideró el desarrollo de infraestructura, la cual fue instalada en un terreno particular perteneciente a uno de los socios de la Agrupación Gremial de Pequeños Agricultores de Musgo Pompón, ubicado en la localidad de Quillaipe, distante aproximadamente 28 km al sureste de la ciudad de Puerto Montt por la ruta 7 (Fig. 2).



Fig. 2. Localización infraestructura para la producción artificial del musgo *S. magellanicum*. Referencia respecto a la ciudad de Puerto Montt.

una superficie de 275 m² (25 m de largo por 11 m de ancho) construido en estructura metálica y recubierto completamente con policarbonato alveolar. Se confeccionaron 6 contenedores de fibra de vidrio de un volumen de 14 m³ cada uno y cuyas medidas fueron de 10 m de largo, 2 m de ancho y 0,7 m de altura, de color gris para impedir la proliferación de algas en el fondo y los bordes del contenedor. La disponibilidad permanente de agua en la producción artificial del musgo fue obtenida directamente desde el humedal (turbera) hacia los contenedores. Es así como se desarrolló un sistema hidráulico que permitió

captar el agua de la turbera, transportarla hacia los contenedores y después tener la posibilidad de devolverla al humedal. Para ello se construyó un acumulador de agua en el humedal a 70 m en línea recta del invernadero. El sistema hidráulico consideró la instalación de una motobomba en el punto de salida del acumulador y cañerías de PVC para el transporte del agua hacia el invernadero (Fig. 3).



Fig. 3. Infraestructura generada para el proceso de masificación artificial. **A)** Invernadero recubierto en policarbonato, **B)** Contenedores de fibra de vidrio, **C)** Caseta motobomba sistema hidráulico y **D)** Acumulador de agua en la turbera.

En el invernadero se instalaron tuberías subterráneas de PVC y una llave de paso de agua para cada contenedor. Para la extracción del agua desde los contenedores hacia la turbera se instaló una motobomba al interior del invernadero con un montaje de filtros para reducir el transporte de sedimentos. El sistema de recarga y descarga de agua fue ejecutado a través de un panel de control dispuesto dentro del invernadero, el cual además disponía de todos los bloqueos de seguridad necesarios para no dañar las motobombas en caso de que no se produjera la succión y el movimiento del agua (Fig. 4). Se instalaron 6 ventanas abatibles dispuestas en las paredes, junto a dos extractores industriales ubicados en la cara frontal de la nave para realizar la circulación de aire y controlar la temperatura dentro del invernadero. Los extractores estaban sincronizados con 4 persianas instaladas en la cara posterior del invernadero para permitir la extracción del aire cálido acumulado al interior de la nave. Este

sistema permitió reducir la temperatura ambiental de manera rápida y eficiente. Para el funcionamiento automático de los extractores se instaló un timer digital conectado a un sensor de temperatura ambiental ubicado en el interior del invernadero. Durante el período estival se consideró necesaria la instalación de una malla raschel de 80% de sombreado sobre el techo del invernadero, y sobre cada uno de los contenedores para disminuir la temperatura y la radiación solar excesiva, favoreciendo el crecimiento del musgo (Fig. 4).



Fig. 4. Sistema hidráulico dispuesto en el interior del invernadero. **A)** Motobomba de extracción de agua desde contenedores, **B)** Tablero de control, **C)** Llaves de paso dispuestas en cada contenedor, **D)** Incorporación de agua a contenedores, **E)** Extractores de aire industriales y **F)** Persianas sincronizadas a extractores para la circulación del aire.

El diseño de masificación artificial consideró un sistema que replicara las condiciones naturales de crecimiento del musgo en turberas antropogénicas presentes en el sector de Quillaipé, las cuales se caracterizan por presentar un reducido estrato de turba, el cual se acumula sobre un suelo mineral caracterizado por la presencia de una capa cementante de fierrillo (óxidos de hierro y aluminio), el cual provoca el anegamiento permanente o temporal de la turbera, y proporciona condiciones químicas particulares al agua presente en este ambiente.

Considerando ello, se recolectó una proporción de fierrillo, obtenida del mismo sector de emplazamiento de la infraestructura, el que fue esparcido homogéneamente en cada contenedor formando una capa de 10 cm de alto. Posteriormente se realizó un procedimiento similar con la turba, la cual fue obtenida desde cortes transversales en los bordes del humedal. La turba fue dispuesta de manera homogénea sobre la capa de fierrillo estableciendo un estrato de 10 cm de alto. Luego los contenedores fueron cargados parcialmente con agua para cubrir los estratos de fierrillo y turba. Sobre las dos capas anteriores se incorporaron homogéneamente 5 cm de musgo *Sphagnum* semidescompuesto sin capacidad de desarrollo, a modo de sustrato orgánico, el cual fue obtenido directamente desde la turbera. Finalmente se sembraron hebras de 10 a 15 cm de largo del ecotipo de musgo seleccionado para su masificación artificial (Campeau & Rochefort, 1996; Quinty & Rochefort, 2003), las cuales fueron esparcidas homogéneamente sobre el estrato de musgo parcialmente descompuesto. El material vegetal a propagar se obtuvo de la cosecha de ~ 70 kg de musgo húmedo desde la turbera aledaña, el cual se limpió y permaneció en dicho lugar hasta que perdió el 50% de su humedad. De esta manera se trató de afectar en menor medida el ciclo hidrológico del humedal (Domínguez, 2014). Luego de ello el musgo fue trasladado al invernadero para ser pesado y utilizado en la siembra de los contenedores. Se usaron ~ 25 kg de musgo para ser destinados en la siembra de cada contenedor, valor que se utilizó para establecer una relación de peso ganado al momento de la cosecha de los contenedores. Inmediatamente luego de la siembra, todos los contenedores fueron irrigados considerando como referencia un nivel freático muy próximo a la superficie (~ 2 cm de profundidad) en el cual el contacto de las hebras con el agua fue superficial, sin que éstas quedaran sumergidas como material sobrenadante.

La primera siembra fue realizada a inicios del mes de junio del año 2014, luego de lo cual los únicos factores que se mantuvieron en constante vigilancia fueron el nivel de agua en los contenedores (todo el período) y los niveles de radiación y temperatura (en el período estival). La primera cosecha fue realizada en el mes

de mayo del año 2015. El segundo período de crecimiento considera la siembra realizada en el mes de junio del año 2015 y la cosecha en el mes de junio de 2016.

La cosecha del musgo en los contenedores se realizó mediante un sistema de bloques alternados, el cual consistió en dividir los contenedores en 10 secciones de 1 m cada uno, generando un total de 10 bloques de similar superficie en cada contenedor (cada bloque tuvo una superficie de 2 m²). Este patrón se mantuvo durante todo el contenedor, cosechando una superficie total de 10 m². La cosecha se realizó extrayendo manualmente el musgo en los bloques impares y dejando intactos los bloques pares, es decir, se cosechó un bloque por medio. Se optó por este sistema con el objetivo de contar con material vegetal para la recolonización de los bloques cosechados. Luego de la cosecha, el material fue transportado al tendal para su secado por un período aproximado de 15 a 20 días. Posterior al secado, el musgo fue transportado nuevamente al invernadero para ser pesado una vez más.

Durante cada período de evaluación de 1 año, se realizaron 3 mediciones intermedias y una medición final del crecimiento en longitud de las hebras de musgo sembradas. Para ello, cada contenedor fue dividido en 3 secciones de 3,3 m cada una, y dentro de cada sección se extrajeron al azar 10 hebras de musgo obtenidas desde los bordes y desde el centro del contenedor. Por tanto, se midió una muestra de 30 hebras de musgo por contenedor. Se registró el crecimiento en longitud de las hebras mediante un pie de metro digital a partir de la elongación de los caulidios, el cual es impulsado por el proceso de fotosíntesis realizado mayormente en los capítulos de cada segmento.

Análisis Estadístico

En el caso de los análisis realizados sobre los parámetros morfológicos que fueron evaluados para determinar el mejor ecotipo, los datos se sometieron a una prueba de Kruskal-Wallis para 5 grupos con el propósito de determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las 5 áreas muestrales trabajadas. Esto debido a que los datos no presentaron una distribución normal. Posteriormente, se analizaron las áreas muestrales en pares, con la prueba de Mann-Whitney-Wilcoxon para dos grupos, con el fin de determinar exactamente cuáles eran los sectores que presentaron diferencias en la distribución de su varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de ecotipo a masificar

La descripción morfológica de parámetros cuantitativos pretendió determinar la existencia de diferencias entre estos parámetros que puedan ser considerados estadísticamente significativos entre las distintas procedencias. Se debe destacar la necesidad de identificar parámetros morfológicos idénticos, para finalmente obtener resultados que sean comparables entre un área muestral y otra. Los resultados de los parámetros cuantitativos se presentan a continuación.

Parámetros cuantitativos evaluados

En la Tabla 2 se presentan los valores promedios y las desviaciones estándar para las muestras de cada procedencia que fueron evaluadas en cada uno de los parámetros morfológicos cuantitativos considerados en el análisis.

Tabla 2. Valores promedio y desviaciones estándar para las mediciones de parámetros cuantitativos evaluados para cada procedencia de musgo *Sphagnum*.

Parámetro cuantitativo evaluado	Sector / Procedencia Ecotipo	Media \bar{x} (mm)	Desviación Estándar (mm)
Largo de fascículos	Los Ulmos	8,800	1,937
	EL Palomar	9,400	2,500
	Quellón	8,333	2,454
	Quillaipe	9,267	2,180
	Aucar	10,067	2,333
Largo de filidios	Los Ulmos	2,113	0,340
	El Palomar	2,497	0,206
	Quellón	2,117	0,305
	Quillaipe	2,040	0,298
	Aucar	2,340	0,244
Ancho de filidios	Los Ulmos	0,990	0,195
	El Palomar	1,050	0,170
	Quellón	1,033	0,267
	Quillaipe	1,093	0,198
	Aucar	1,030	0,168

En el caso del parámetro largo de fascículos, el valor p arrojado por la prueba estadística de Kruskal–Wallis fue de $p = 0,023$, por lo tanto, existieron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de largo de fascículos entre los distintos sectores de procedencia examinados. Al aplicar la prueba por pares de Mann–Whitney–Wilcoxon los resultados arrojaron que el área de muestreo de Quillaipe presenta diferencia estadísticamente significativa con las áreas muestrales de Los Ulmos y Quellón. Sin embargo, estas últimas no presentan diferencia significativa entre sí. Las áreas de muestreo correspondientes a El Palomar y Aucar presentaron los promedios más altos de largo de fascículos extendidos. A su vez las áreas muestrales de Quillaipe, Los Ulmos y Quellón presentaron los valores más bajos. Se observó en terreno que el nivel freático era más superficial en las áreas muestrales de Aucar y El Palomar que en Quillaipe, Los Ulmos y Quellón. Considerando esta situación es probable que la longitud de los fascículos extendidos esté influenciada por las condiciones de anegamiento y, por tanto, mayor disponibilidad de agua, en la que se encontraban los sectores cuando se extrajeron las muestras.

En el caso del parámetro largo de filidios, el valor p arrojado fue de $p = 0,011$, por lo tanto, existieron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de largo de filidios en los distintos sectores de procedencia examinados. La prueba por pares mostró que las áreas de muestreo de El Palomar y Aucar presentaron diferencia estadísticamente significativa con todos los demás sectores, incluyendo diferencias mutuas. Al igual que el parámetro de largo de fascículos, el referido al largo de filidios puede estar fuertemente influenciado por un nivel freático más superficial en ambos sectores y una menor proporción de cobertura de protección de plantas herbáceas y arbustivas sobre el musgo.

Finalmente, en el caso del parámetro ancho de filidios, el valor p arrojado fue de $p = 0,276$, por lo tanto, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de ancho de filidios en los distintos sectores de procedencia examinados.

En relación a los resultados obtenidos, y realizando un consolidado de los 3 parámetros cuantitativos evaluados, se puede mencionar que las procedencias de El Palomar y Quillaipe fueron las que presentaron las mejores características morfológicas. No obstante, las muestras de El Palomar son superiores a las de Quillaipe, principalmente en los parámetros largo de fascículos y largo de filidios. Sin embargo, el ancho de los filidios se considera uno de los parámetros más importantes desde el punto de vista de las características comerciales

del musgo, ya que un mayor ancho de filidio indica una mayor concentración de células hialinas dentro de este componente vegetal, lo que favorecería positivamente la absorción de agua, siendo este valor más elevado en las muestras obtenidas desde Quillaípe (Tabla 2).

Parámetros cualitativos evaluados

En la descripción de filidios de caulidio se apreciaron diferencias significativas, principalmente en su forma, concavidad y la coloración. Las áreas muestrales de Quillaípe, Quellón y Aucar presentaron forma de filidio espatulada, lo que conlleva mayor concavidad y menor superficie basal. En cambio, el área de El Palomar presentó forma de filidio ovalada en el ápice, lo que presenta como consecuencia una mayor superficie basal. Caso intermedio resultó el área de Los Ulmos, que presentó una mezcla de ambos tipos de filidios, en mayor proporción ovalados y en menor proporción espatulados (base muy angosta). Su concavidad fue la más alta de los cinco sectores muestreados.

En cuanto a la coloración, principalmente se diferenciaron por el engrosamiento de sus bases y bordes. En las áreas de Quellón y Quillaípe se apreció un color marrón oscuro, a su vez en las áreas de Los Ulmos, El Palomar y Aucar se observaron bases y bordes de color rojo oscuro a naranja. Cabe destacar que la coloración de los filidios va a depender en gran medida de la radiación solar a la cual se encuentra expuesta la planta. Es así como aquellas que se encuentran con una exposición plena al sol, es decir, sin un grado de cobertura de protección desarrollan un mecanismo que les permite decolorar los filidios del capítulo. Esta estrategia permite que la radiación solar que llega a las plantas se refleje por la mayor tonalidad pálida que presentan, permitiendo una menor desecación y con ello una mayor tasa de fotosíntesis en los capítulos (Van Gaalen *et al.* 2007; Fukuta *et al.* 2012), aunque también existen evidencias que indican que los cambios en la coloración del musgo obedecen a disminuciones del contenido de clorofila y de su capacidad fotosintética (Harley *et al.* 1989).

En la descripción de filidios de fascículos se apreciaron diferencias significativas, principalmente en forma y concavidad. Las áreas muestrales de Los Ulmos y Quellón presentaron filidios con forma ovada. El área de Aucar presentó los filidios con forma lanceolada. Las áreas muestrales de El Palomar y Quillaípe no tenían una forma definida, se encontraron individuos con ambos tipos de forma lanceolada a ovada. La concavidad fue alta en las áreas muestrales de Los Ulmos, Quillaípe y Quellón, y media a moderada en las áreas muestrales de El Palomar y Aucar.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el ecotipo de El Palomar es el que presenta la mayor superficie basal. A su vez Quillaípe presentó filidios espatulados y con mayor concavidad. La mayor concavidad de un filidio es una buena característica comercial en el sentido de que existe una mayor superficie de absorción. No obstante, sería adecuado conocer en qué sección del filidio se produce la mayor concentración de humedad al colocar el musgo en contacto con el agua. De esta manera se definiría con base científica cuál de las dos procedencias es la más adecuada.

Desde el punto de vista de la coloración, el color marrón anaranjado presente en el musgo de El Palomar lo descalificó al compararlo con la procedencia de Quillaípe, ya que este último presenta un tipo de coloración marrón, la cual es más demandada en los comercios internacionales.

Consulta a expertos

Los resultados que arrojó la consulta a expertos indicaron una clara preferencia hacia los ecotipos de Quillaípe y de Aucar. De acuerdo a sus apreciaciones, el ecotipo de Quillaípe presenta un adecuado largo y grosor de fibra, además de una adecuada densidad de filidios por hebra, lo que le entrega mayor estabilidad a la fibra. A su vez, el resumen de comentarios hacia el ecotipo de Aucar indica que el largo de la fibra es muy adecuado, no obstante, presenta deficiencias en el grosor de la fibra a lo que se suma una baja densidad de filidios por hebra, disminuyendo de esta manera la resistencia de la fibra.

Al consultarles por una asignación de valor en base a ponderaciones que entregarían a los parámetros de largo de hebra, ancho de fibra y capacidad de absorción de agua para determinar cuál de los ecotipos presenta mejores características para su comercialización, los resultados señalan que el mayor peso lo tiene el largo de la hebra, seguido por el grosor o ancho de fibra y finalmente la capacidad de absorción de agua. Desde el punto de vista cuantitativo los resultados estandarizados de ponderaciones entregados por los expertos consultados dan por conclusión que el parámetro largo de fibra tendría un valor de ponderación entre el 40 a 45 %, el ancho de fibra entre un 30 a 35% y la capacidad de absorción de agua valores de entre un 10 a 15%. De esta manera se estableció una ponderación estandarizada final para determinar, en base a los valores de los parámetros señalados, cuál de los ecotipos sería el más apropiado para comercialización. Los valores indican una ponderación final de un 45% para el largo de fibra, 35% para el ancho de fibra y un 20% para la capacidad de absorción.

Al aplicar estas ponderaciones sobre los valores medios obtenidos para cada parámetro, los resultados arrojan que el ecotipo Aucar sería el más adecuado con un valor de 14,6; seguido de Quillaípe con un valor de 12 y más atrás El Palomar con 7,1; Los Ulmos con 7 y Quellón con 4,5. No obstante, al añadir a esta evaluación las características cualitativas asociadas principalmente al color, el ecotipo seleccionado para el proceso de masificación artificial correspondió al de Quillaípe.

Evaluación del proceso de masificación artificial

La evaluación del proceso de masificación artificial consideró tres mediciones intermedias y una al final de cada período de un año. La primera medición intermedia del primer período se realizó al quinto mes de efectuada la siembra, coincidente con el inicio en el aumento de la radiación solar y la temperatura. Los resultados obtenidos mostraron un crecimiento promedio de 2,5 cm por fibra, equivalente a un crecimiento promedio de 0,63 cm por mes, crecimiento mayor a los descritos en la literatura para *Sphagnum magellanicum* en condiciones naturales. Es así como en ensayos de restauración de turberas en la Patagonia con siembras de hebras de este musgo en humedales explotados, el crecimiento fluctuó entre 2,5 a 5,0 mm por año (Domínguez & Larraín, 2013; Domínguez, 2014), proceso extremadamente lento para alcanzar la recuperación de la turbera. Para turberas secundarias cercanas a Puerto Montt (región de Los Lagos), la evaluación del crecimiento y productividad de este musgo realizado en nueve turberas, donde se consideraron dos situaciones microtopográficas distintas, los valores de crecimiento reportados fueron de 0,22 cm/mes para los montículos y de 0,43 cm/mes para sectores planos (Díaz *et al.* 2012). De acuerdo a Schofield (2001), la tasa de crecimiento de *Sphagnum* varía ampliamente. El crecimiento es predominantemente apical e indeterminado y disminuye a medida que la altitud aumenta.

La evaluación del crecimiento en condiciones controladas se considera exitosa, pues el registro incluye gran parte del período invernal, ya que en condiciones naturales este período no es favorable para el desarrollo del musgo, debido al menor nivel de radiación solar. Para Tapia (2008), la mayor tasa de crecimiento en turberas secundarias de la provincia de Llanquihue ocurrió entre los meses de enero a marzo.

Antes de realizar la primera cosecha, se registró una nueva medición del crecimiento de las fibras con el fin de conocer el comportamiento de la producción luego del período estival. Los resultados del crecimiento fueron

mucho mejores que los obtenidos inicialmente, corroborando de esta manera lo señalado por Tapia (2008). Se apreció un notable desarrollo de los capítulos del musgo con una mayor elongación de caulidios y filidios, mostrándose más alargados y engrosados, lo que fortalece la fibra. El color verde intenso del musgo en los meses de enero y febrero contrasta con la tonalidad marrón que presenta en el mes de marzo, debido al efecto de la malla sombreadora.

Los registros de desarrollo para esta medición indican un crecimiento acumulado promedio de 4,5 cm en un período de 9 meses, con valores de hasta 5 cm en este período. Estos registros indican un crecimiento promedio mensual desde 0,5 a 0,55 cm/mes, lo que reafirma las mediciones anteriores y dan cuenta de una muy buena tasa de crecimiento en condiciones controladas del musgo *S. magellanicum*.

Los resultados del crecimiento obtenidos en el primer período productivo de 1 año se presentan en las Figs. 5 y 6.

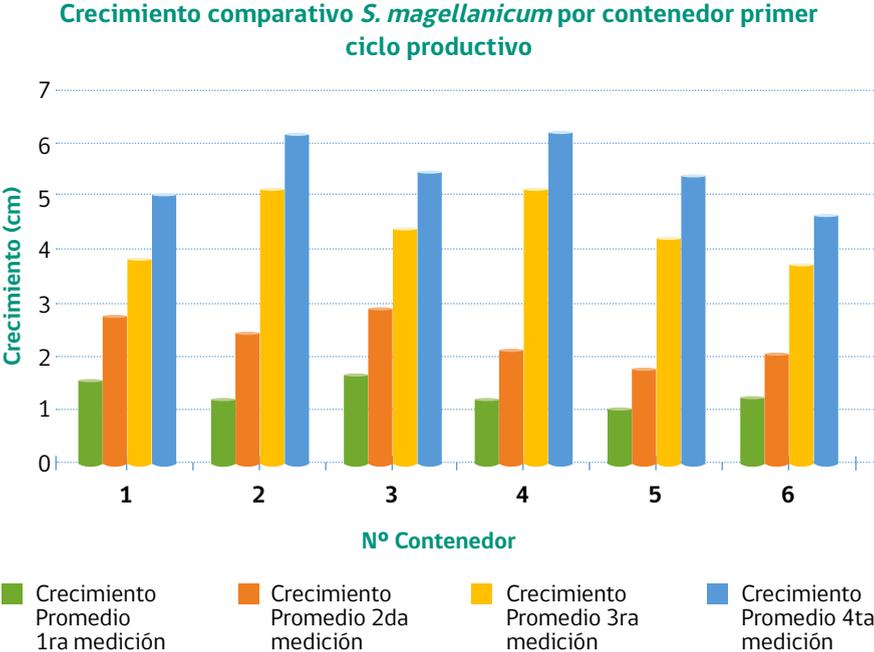


Fig. 5. Gráfico de barras con los niveles de crecimiento en longitud de la fibra del musgo *S. magellanicum* en condiciones de crecimiento artificial durante el primer ciclo productivo.

Crecimiento comparativo *S. magellanicum* por contenedor primer ciclo productivo

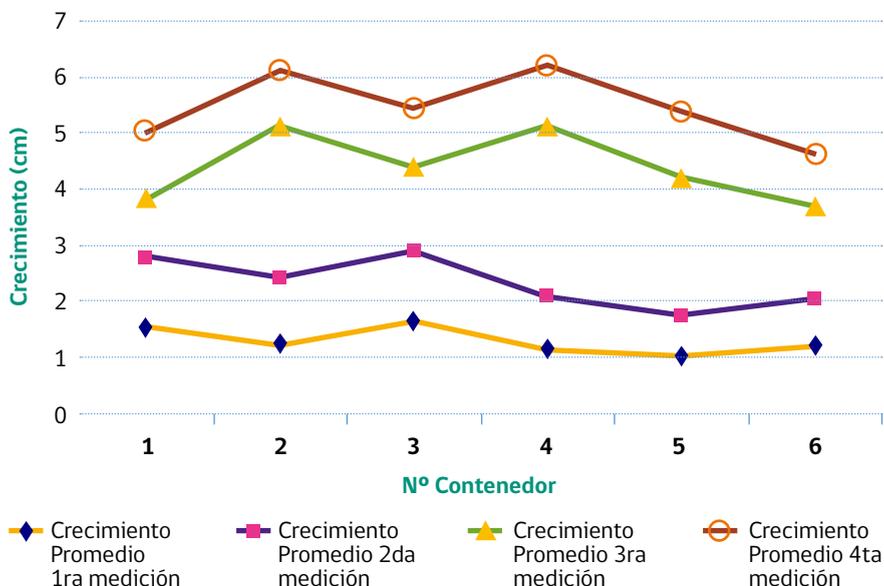


Fig. 6. Gráfico de tendencia con los niveles de crecimiento en longitud de la fibra del musgo *S. magellanicum* en condiciones de crecimiento artificial durante el primer ciclo productivo.

En ambas figuras se observa que los niveles de crecimiento del musgo son muy positivos, los que alcanzaron un promedio de 5,46 cm al final del primer ciclo productivo de 1 año, equivalente a un crecimiento promedio mensual de 0,46 cm. Este fue levemente superior al documentado para turberas antropogénicas en la región de Los Lagos, donde se indican niveles de crecimiento de 5,16 cm/año (Díaz *et al.* 2012), y muy superior a los registrados para turberas naturales de la región de Magallanes, donde los valores promedio de crecimiento anual son de 0,5 cm (Domínguez, 2014).

Se cosecharon 50 kg en peso fresco del musgo lo que consideró sólo la mitad de la superficie de cada contenedor de acuerdo al sistema de cosecha indicado en la metodología. Luego del secado en tendal el musgo cosechado fue pesado alcanzando 4 kg. Este rendimiento en biomasa es bastante auspicioso al compararlo con turberas naturales donde se ha descrito que para un volumen de 50 kg de musgo cosechado se obtienen sólo 2 kg de musgo seco (Domínguez, 2014).

El segundo ciclo productivo culminó con la cosecha realizada a fines del mes de junio de 2016. Antes de realizar la cosecha se registraron crecimientos de las hebras cercanos a los 10 cm promedio durante el año que se mantuvo el musgo dentro de los contenedores, es decir, un crecimiento de 0,83 cm/mes (Fig. 7).

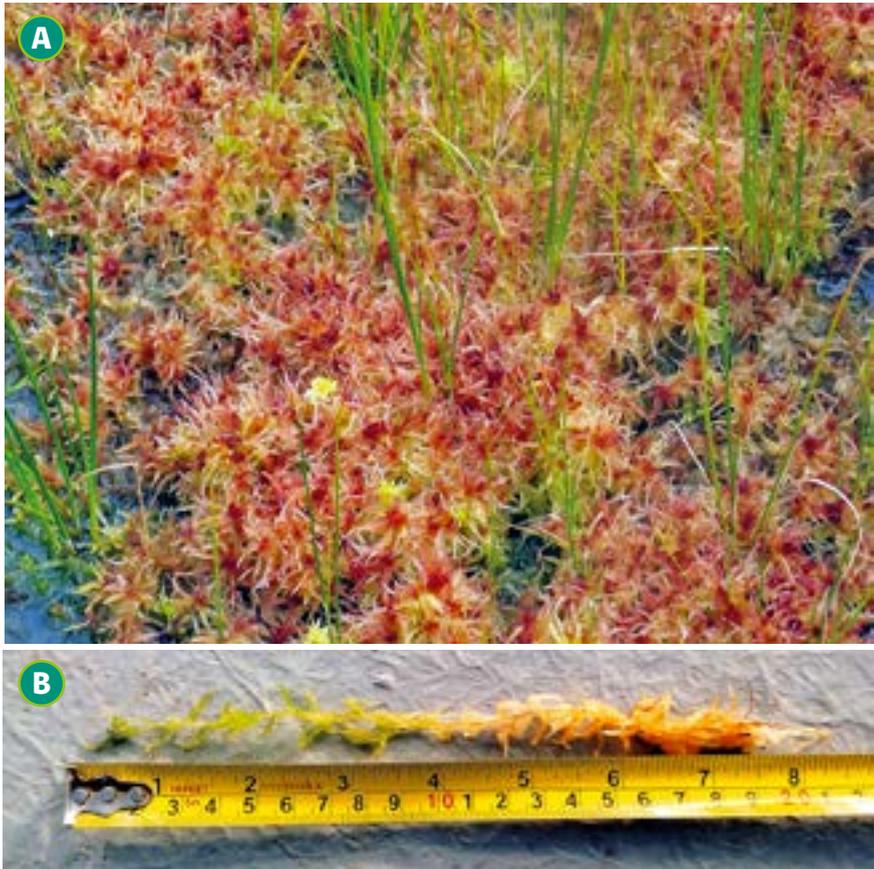


Fig. 7. A) Estado del musgo en los contenedores antes de la segunda cosecha y **B)** Crecimiento del musgo medido antes de la segunda cosecha.

Los resultados del crecimiento obtenidos en el segundo período productivo de 1 año se presentan en las Figs. 8 y 9.

En el segundo período productivo los crecimientos aumentaron, llegando a niveles promedio de 9,3 e incluso 9,8 cm de crecimiento en longitud de la fibra, lo que da cuenta de un aumento en la productividad del sistema artificial. Esta

situación indica un crecimiento promedio de 0,78 cm/mes, lo que se considera muy favorable en comparación con los niveles de crecimiento naturales del musgo en turberas antropogénicas. Dentro de este período se realizaron las mismas mediciones en relación al tiempo de ejecución y metodología de toma de muestras que las realizadas en el primer ciclo.

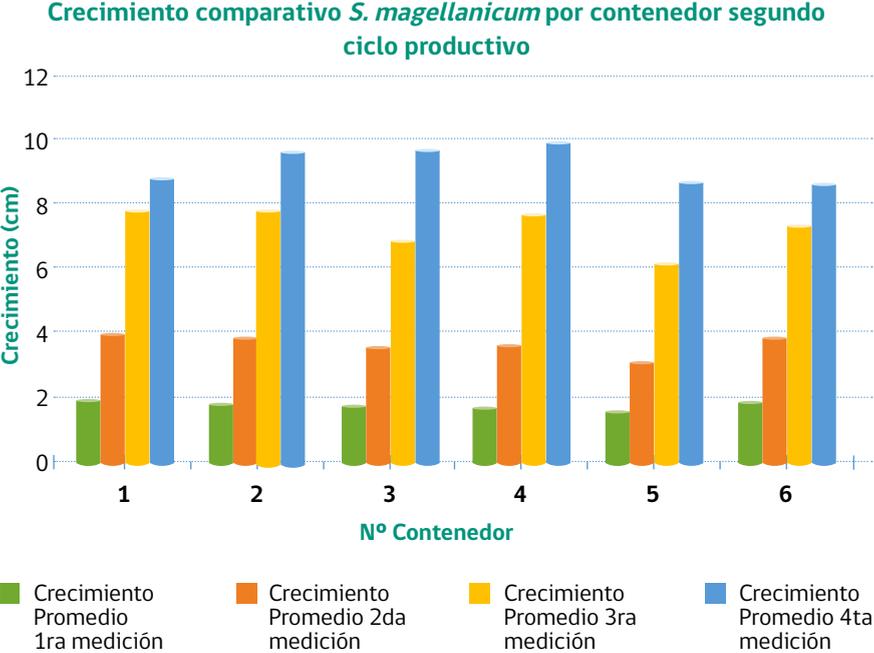


Fig. 8. Gráfico de barras con los niveles de crecimiento en longitud de la fibra del musgo *S. magellanicum* en condiciones de crecimiento artificial durante el segundo ciclo productivo.

Crecimiento comparativo *S. magellanicum* por contenedor segundo ciclo productivo

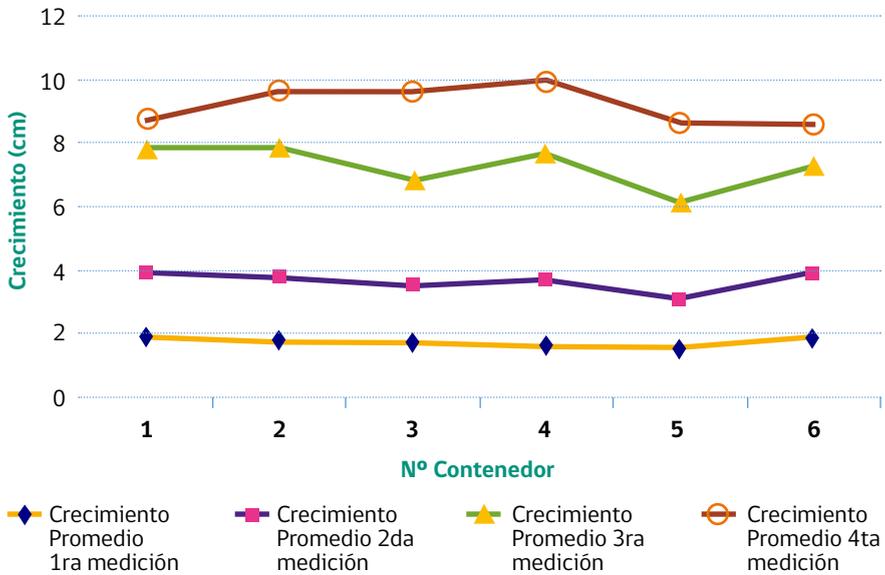


Fig. 9. Gráfico de tendencia con los niveles de crecimiento en longitud de la fibra del musgo *S. magellanicum* en condiciones de crecimiento artificial durante el segundo ciclo productivo.

Para la segunda cosecha el valor de peso fresco de musgo obtenido fue de 55 kg por contenedor en promedio, aumentando la productividad al comparar este parámetro con la primera cosecha. Al igual que en la cosecha inicial, el musgo fue trasladado al tendal para su secado. El peso promedio seco por contenedor fue de 4,5 kg, o sea, 0,5 kg más que el peso con respecto al primer ciclo productivo, lo que demuestra la posibilidad de generar un rendimiento sostenido durante períodos sucesivos de producción.

Sin duda la opción de masificar ecotipos morfológicamente superiores destinados a la producción comercial o a la restauración de turberas degradadas se transforma en una posibilidad real y comprobada para abordar estos desafíos. No obstante, es necesario generar alternativas en las cuales el proceso de masificación pueda realizarse sobre la base de menores costos asociados a la infraestructura a través de un sistema de producción artesanal.

Los resultados generados en esta experiencia representan un punto de partida que necesariamente debe ser complementado con mayores antecedentes obtenidos a partir de nuevas e innovadoras experiencias en el proceso de masificación, una mayor investigación *in situ* y a nivel de laboratorio para conocer qué otros factores tienen mayor influencia en un mayor desarrollo del musgo y en un menor tiempo de rotación.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos durante la ejecución de esta iniciativa dan cuenta de una exitosa producción artificial del musgo de turbera *Sphagnum magellanicum* Brid. bajo condiciones controladas, lo que se manifiesta en que los niveles de crecimiento longitudinal de las fibras del musgo alcanzaron un promedio de 0,46 cm por mes para la primera temporada y de 0,78 cm por mes para la segunda temporada, valores que superan en un 6% y 80% respectivamente los antecedentes de crecimiento registrados en turberas naturales secundarias ubicadas en la región de Los Lagos. No obstante, este mayor crecimiento longitudinal no fue acompañado por un mayor desarrollo en el grosor de las fibras, lo que perjudicó la obtención de mayores volúmenes de biomasa y con ello el peso seco final de la producción por temporada.



Mediante los procedimientos de masificación artificial implementados en esta iniciativa fue posible demostrar que es viable generar una producción sostenida de este recurso en el tiempo, aumentando incluso las tasas de crecimiento en temporadas sucesivas y acortando los tiempos de rotación al compararlo con la respuesta del musgo en ambientes naturales.



La masificación sostenible del musgo *Sphagnum magellanicum* debe considerar un monitoreo permanente de los factores que condicionan su crecimiento. Dentro de éstos, la cantidad de agua disponible para el musgo y la mantención de rangos en ciertos parámetros físicos y químicos de este elemento tales como el pH, son claves en el desarrollo de *Sphagnum*. A ello se suman los niveles de radiación y de temperatura, especialmente en la época estival, los cuales son necesarios de monitorear permanentemente.

La creciente y sostenida demanda internacional por el musgo *Sphagnum magellanicum* Brid. ha traído como consecuencia una indiscriminada actividad extractiva, principalmente en la región de Los Lagos, situación que está generando significativos impactos ambientales y sociales, y un progresivo deterioro en la calidad del musgo que se comercializa. Por tanto, se hace necesario el resguardo y la generación de políticas de sustentabilidad de los ecosistemas de turbera y un reglamento que entregue las normativas y directrices necesarias para realizar una extracción sustentable del recurso, lo cual impactará positivamente en la mantención del rol ecológico que estas áreas cumplen a nivel global y la gran diversidad de servicios ecosistémicos que entregan a nivel local.

BIBLIOGRAFÍA

Campeau, S., & Rochefort, L. (1996). *Sphagnum* regeneration on bare peat surfaces: field and greenhouse experiments. *Journal Applied of Ecology*, 33, 599-608.

Carrillo, R., & Pacheco, P. (2017). Manual de

producción artificial del musgo *Sphagnum magellanicum* Brid. Proyecto PYT-0087-2012 financiado por la Fundación para la Innovación Agraria y ejecutado por la Universidad de La Frontera. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 124 p.

- De Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R.,... van Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1, 50-61.
- Díaz, M.F., Larraín, J., Zegers, G., & Tapia, C. (2008). Caracterización florística e hidrológica de turberas de la Isla Grande de Chiloé, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 81, 455-468.
- Díaz, M.F., Tapia, C., Jiménez, P., & Bacigalupe, L. (2012). *Sphagnum magellanicum* growth and productivity in Chilean anthropogenic peatland. *Revista Chilena de Historia Natural*, 85, 513-518.
- Díaz, M.F., Silva, W., & León, C.A. (2015). Características de los ecosistemas de turberas, factores que influyen en su formación y tipos. En E. Domínguez & D. Vega-Valdés (eds.), *Funciones y servicios ecosistémicos de las turberas en Magallanes* (pp. 27-39). Colección libros INIA N°33. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Kampenaik. Punta Arenas, Chile. 334 p.
- Díaz, M.F., & Silva, W. (2018). Antecedentes generales sobre las turberas en el sur de Chile. En C. Oberpaur, M.F. Díaz & C. León (eds.), *Turberas de Sphagnum de Chiloé, ¿Cómo hacer un uso sustentable?* (pp. 15-32). 1ª edición. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Santo Tomás. 120 pp.
- Domínguez, E. (2014). *Manual de buenas prácticas para el uso sostenido del musgo Sphagnum magellanicum en Magallanes, Chile*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Kampenaik. Punta Arenas, Chile. Boletín INIA N°276. 113 pp.
- Domínguez, E., & Larraín, J. (2013). *Sphagnum magellanicum* (pompón): El musgo de la turbera. *Tierra Adentro*, 102, 21-24.
- Domínguez, E., & Vega-Valdés, D. (eds.) (2015). *Funciones y servicios ecosistémicos de las turberas en Magallanes*. Colección libros INIA N°33. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Kampenaik. Punta Arenas, Chile. 334 p.
- Fukuta, E., Sasaki, A., & Nakatsubo, T. (2012). Microclimate and production of peat moss *Sphagnum palustre* L. in the warm-temperate zone. *Plant Species Biology*, 27, 110-118.
- Grand-Clement, E., Anderson, K., Smith, D., Luscombe, D., Gatis, N., Ross, M., & Brazier, R. (2013). Evaluating ecosystem goods and services after restoration of marginal upland peatland in South-West England. *Journal of Applied Ecology*, 50, 324-334.
- Günther, A., Jurasinski, G., Albrecht, K., Gaudig, G., Krebs, M. and Glatzel, S. (2018). Greenhouse gas balance of an establishing *Sphagnum* culture on a former bog grassland in Germany. *Mires and Peat*, 20, 1-16.
- Harley, P.C., Tenhunen, J.D., Murray, K.J., & Beyers, J. (1989). Irradiance and temperature effects on photosynthesis of tussock tundra *Sphagnum* mosses from the foothills of the Philip Smith Mountains, Alaska. *Oecologia*, 79, 251-259.
- Kimmel, K., & Mander, Ü. (2010). Ecosystem services of peatlands: Implications for restoration. *Progress in Physical Geography*, 34(4), 491-514.
- Kleinebecker, T., Hölzel, N., & Vogel, A. (2010). Patterns and gradients of diversity in South Patagonian ombrotrophic peat bogs. *Austral Ecology*, 35, 1-12.
- León, C., Oliván, G., & Fuertes, E. (2012). Turberas esfagnosas de Chiloé (Chile) y su problemática ambiental. *Boletín de la Sociedad Española de Briología*, 38-39, 29-40.

León, C.A., Oliván, G., Larraín, J., Vargas, R., & Fuertes, E. (2014). Bryophytes and lichens in peatlands and *Tepualia stipularis* forest of Isla Grande de Chiloé-Chile. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 7(1), 1-9.

Martin-Ortega, J., Allott, T., Glenk, K., & Schaafsma, M. (2014). Valuing water quality improvements from peatland restoration: Evidence and challenges. *Ecosystem Services*, 9, 34-43.

Murray, K.R., Borkenhagen, A.K., Cooper, D.J. and Strack, M. (2017). Growing season carbon gas exchange from peatlands used as a source of vegetation donor material for restoration. *Wetlands Ecology Management*, 25, 501-515.

Oberpaur, C., Díaz, M.F., & Castillo, N. (2018). Recolección sustentable de musgo *Sphagnum* en turberas y pomponales de la región de Los Lagos. En C. Oberpaur, M.F. Díaz, & C. León (eds.), *Turberas de Sphagnum de Chiloé, ¿Cómo hacer un uso sustentable?* 1ª edición. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Santo Tomás. 120 pp.

Quinty, F., & Rochefort, L. (2003). *Peatland Restoration Guide*. Second Edn. Canadian *Sphagnum* Peat Moss Association and New Brunswick Department of Natural Resources and Energy.

Schlatter, R., & Schlatter, J. (2004). Los turbales de Chile. En D. Blanco & V. De la Balze (eds.), *Los turbales de la Patagonia. Bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad* (pp.75-80). Publicación N°19, Wetlands International - América del Sur. Buenos Aires, Argentina. 149 pp.

Schofield, W.D. (2001). *Introduction to Bryology*. The Blackburn Press, Caldwell, NJ. 431 pp.

Secretaría de la Convención de Ramsar (2004). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)*, 3a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar. Gland, Suiza.

Tapia, C. (2008). *Crecimiento y productividad*

del musgo Sphagnum magellanicum Brid. en turberas secundarias de la provincia de Llanquihue, Chile. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 74 pp.

Turetsky, M., Bencoter, B., Page, S., Rein, G., van der Werf, G., & Watts, A. (2015). Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. *Nature Geoscience*, 8, 11-14.

Valenzuela, J., & Schlatter, J. (2004). Las turberas de la Isla Chiloé (Xa Región, Chile): aspectos sobre usos y estado de conservación. En D. Blanco & V. De la Balze (eds.), *Los turbales de la Patagonia. Bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad* (pp. 87-92). Publicación N°19, Wetlands International - América del Sur. Buenos Aires, Argentina. 149 pp.

Van Gaalen, K.E., Flanagan, L., & Peddle, D.R. (2007). Photosynthesis, chlorophyll fluorescence and spectral reflectance in *Sphagnum* moss at varying water contents. *Oecologia*, 153(1), 19-28.

Webster, K.L., Bhatti, J.S., Thompson, D.K., Nelson, S.A., Shaw, C.H., Bona, K.A., Haynes, S.L., & Kurz, W.A. (2018). Spatially-Integrated estimates of net ecosystem exchange and methane fluxes from Canadian peatland. *Carbon Balance and Management*, 13, 16.

Wichmann, S., Prager, A. & Gaudig, G. (2017). Establishing *Sphagnum* cultures on bog grassland, cut-over bogs, and floating mats: procedures, costs and area potential in Germany. *Mires and Peat*, 20, 1-19.

Xu, J., Morris, P.J., Liu, J., & Holden, J. (2018). PEATMAP: Refining estimates of global peatland distribution based on a meta-analysis. *Catena*, 160, 134-140.

Zegers, G., Larraín, J., Díaz, M., & Armesto, J.J. (2006). Impacto ecológico y social de la explotación de pomponales y turberas de *Sphagnum* en la Isla Grande de Chiloé. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 22, 28-34.