

CAPÍTULO 2

RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL A PARTIR DE TURBERAS, UNA VISIÓN DESDE LA REGIÓN DE AYSÉN, CHILE

Robert McCulloch¹ & Brian Reid¹

¹Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia, Moraleda 16, Coyhaique, Aysén.
E-mail: robert.mcculloch@ciep.cl

Resumen

Hasta la fecha, el potencial de las turberas en la región de Aysén para informar y comprender los cambios climáticos del paisaje natural y cultural del pasado, ha sido virtualmente inexplorado. Las turberas reciben en gran medida aportes atmosféricos que se van acumulando *in situ*, formando así archivos ideales para registrar los cambios climáticos y paisajísticos del pasado. El análisis de polen de testigos de turberas, respaldado por una gama de medidas lito y bioestratigráficas, proporciona una información valiosa sobre los patrones cambiantes de la vegetación a través del tiempo, a partir de los cuales pueden ser inferidos los cambios climáticos, como también los recursos cambiantes encontrados por los primeros humanos. Aquí presentamos los resultados y análisis preliminares de los cambios estratigráficos de una turbera adyacente al lago Pedro Aguirre Cerda (PAC) (45°S), en la zona central de la región de Aysén. Es evidente que la turbera PAC ha sido sensible a cambios en las precipitaciones a largo plazo, donde condiciones climáticas relativamente más secas gatillaron un aumento en la descomposición de la turba (materia orgánica) entre *ca.* 1.400 y 1.000 años atrás, hacia un acrotelmo cada vez más saturado desde *ca.* 600 años hasta el presente. Si bien esta investigación es preliminar, demuestra el potencial de las turberas de la región de Aysén para futuros análisis paleoambientales y así comprender mejor nuestro paisaje natural y cultural cambiante.

Palabras clave: humificación de la turba, humedad superficial de las turberas, análisis de polen, Patagonia, cambio climático.

INTRODUCCIÓN

En este libro, se describen los servicios ecosistémicos esenciales que las turberas proporcionan a la región de Aysén: en términos de secuestro de carbono, regulación hídrica, hábitat de una rica diversidad de flora, fauna y microorganismos (Hoyos-Santillan & Mansilla, 2021; Reid & McCulloch, 2021; Larraín & Vargas, 2021; Domínguez & Silva, 2021; Fernández, 2021; Ortiz & Domínguez, 2021; Raimilla, 2021), entre muchos otros. Sin embargo, las turberas también funcionan como archivos valiosos de entornos pasados y, por lo tanto, proporcionan una ventana sobre cómo han cambiado nuestros paisajes físicos y culturales desde la última edad de hielo. En 1916, Lennart von Post demostró que el polen sub-fósil podía ser extraído a partir de los sedimentos de las turberas y presentarse estratigráficamente para representar los cambios en la vegetación a través del tiempo. En los años setenta y ochenta, los avances en la datación por radiocarbono nos han permitido estimar con precisión cuándo y a qué velocidad se produjeron los cambios. Von Post es reconocido como el padre de la palinología (análisis de polen) a través de sus estudios pioneros sobre polen fósil conservado en turberas suecas (Mantén, 1967). La palinología ha sido el método principal durante la mayor parte del siglo XX para reconstruir los cambios ambientales en respuesta a los ciclos de las glaciaciones (glaciares) y los períodos cálidos (interglaciales) por todos los últimos 2,6 millones de años (el Cuaternario). La reconstrucción paleoambiental se basa en el principio del uniformitarianismo, es decir, el presente es la clave para comprender el pasado. A modo de explicación: imaginemos que estamos parados en un desierto cálido y seco, y excavamos y encontramos un fósil de un organismo marino. Podemos inferir que en algún momento en el pasado el sitio estaba bajo el mar, y en algún momento el mar se secó y se convirtió en un desierto. La palabra clave aquí es “inferir”, deducimos a partir de la mejor evidencia, y al reconocer que el fósil es de un organismo que puede ser encontrado en hábitats marinos y que, por lo tanto, el ambiente fue una vez un mar.

Desde entonces, la ciencia de la reconstrucción de ambientes pasados (Ciencia Cuaternaria) ha avanzado a medida que se explora el valor de diferentes archivos sub-fósiles, incluidos los coleópteros (escarabajos), las diatomeas (algas unicelulares), los espeleotemas (estalactitas y estalagmitas), los corales y la química de los sedimentos. Cada fósil o proceso sedimentario es un *proxy* de ambientes pasados, y algunos tienen una mejor precisión para reconstruir temperatura y/o precipitación que otros. Cada *proxy* tiene ventajas y desventajas

para reconstruir los ambientes pasados. Por ejemplo, los escarabajos responden rápidamente a los cambios ambientales en virtud de poder moverse, pero pocos se conservan intactos y son microfósiles, por lo tanto, se requiere grandes muestras para obtener una imagen representativa del pasado. Por esta razón, el análisis de polen sigue siendo la técnica más poderosa para reconstruir el cambio de paisaje (Tipping, 1994). El polen, en virtud de su ubicuidad y su característica de microfósil, se puede encontrar en turberas y sedimentos lacustres, los cuales pueden proporcionar registros continuos de cambios ambientales desde testigos extensos (Fig. 1). La desventaja del análisis de los granos de polen es que lleva un tiempo considerable de microscopía para poder identificar los taxones del polen a nivel de familia, géneros o especies. Durante los siglos XX y XXI, se han obtenido registros de polen de la mayoría de los ambientes de la Tierra, pero las condiciones anaeróbicas y ácidas de las turberas proporcionan las condiciones ideales para preservar mejor el polen durante miles de años. Por esta razón, el análisis de polen se originó históricamente en Fenno-Escandinavia y se extendió al norte de Europa y América del Norte, y solo recientemente se han obtenido registros de polen de los sitios tropicales, sudamericanos, africanos y australasianos.



Fig. 1. Extracción de testigos de sedimentos utilizando un barreno tipo ruso desde una turbera cubierta de juncos y hierbas en Trapananda, región de Aysén.

La Ciencia Cuaternaria sigue siendo una disciplina relativamente nueva en Chile, y en la región de Aysén son particularmente escasos los registros de polen disponibles. Los registros de polen existentes, en su mayoría, se han obtenido de lagos en península de Taitao (Lumley & Switsur, 1993), valle Chacabuco (Villa-Martínez *et al.* 2012), provincia de Coyhaique (Moreno *et al.* 2019) y del archipiélago de los Chonos (Haberle & Bennett, 2004). Los sedimentos de los lagos proporcionan excelentes registros de alta resolución (número de muestras por número de años) de los cambios ambientales dentro de cuencas hidrográficas. Sin embargo, el aporte de polen de *Nothofagus* tiende a dominar los registros de polen, excluyendo taxones de plantas herbáceas más diversas, y esto limita cualquier inferencia útil sobre los cambios climáticos y de paisaje del pasado (McCulloch *et al.* 2019). Actualmente, aún no es posible identificar el polen de *Nothofagus* a nivel de especie, pero se agrupa en dos tipos: i) tipo *Nothofagus dombeyi* (incluye *N. antarctica*, *N. dombeyi*, *N. betuloides* y *N. pumilio*), y ii) tipo *Nothofagus obliqua* (incluye *N. obliqua*, *N. glauca* y *N. alpina*).

Hasta la fecha, hay pocos registros de polen que se han obtenido de turberas en la región de Aysén. De Porras *et al.* (2014) presentaron un registro de polen de 13.000 años cal. AP¹ de Mallín El Embudo, en el valle del río Cisnes (~44°S). Iglesias *et al.* (2018) obtuvieron una reconstrucción de la historia vegetacional y de incendios que abarca los últimos 9.600 años cal. AP de Mallín Casanova, cerca de la ciudad de Tortel, en la zona de selva templada del sur de Aysén (~47°S). Por último, una extensa turbera dentro de las morrenas glaciales que bordean el lago Pollux en la provincia de Coyhaique fue perforada, y se obtuvo un testigo excepcionalmente extenso de 14 metros de profundidad, que abarca los últimos ca. 18.000 años cal. AP (antes del presente) (Markgraf *et al.* 2007) (Fig. 2).

¹ Los años radiocarbónicos se calibran (cal.) para convertirlos a años calendario antes del presente. La curva de descomposición de radiocarbono fue interrumpida por las pruebas de armas nucleares atmosféricas en la década de 1960 y más allá y, por lo tanto, 1950 se considera el año 0, es decir, 'presente'. El núcleo PAC se muestreó en 2020 y, por lo tanto, la parte superior está fechada como -70 años cal. AP.

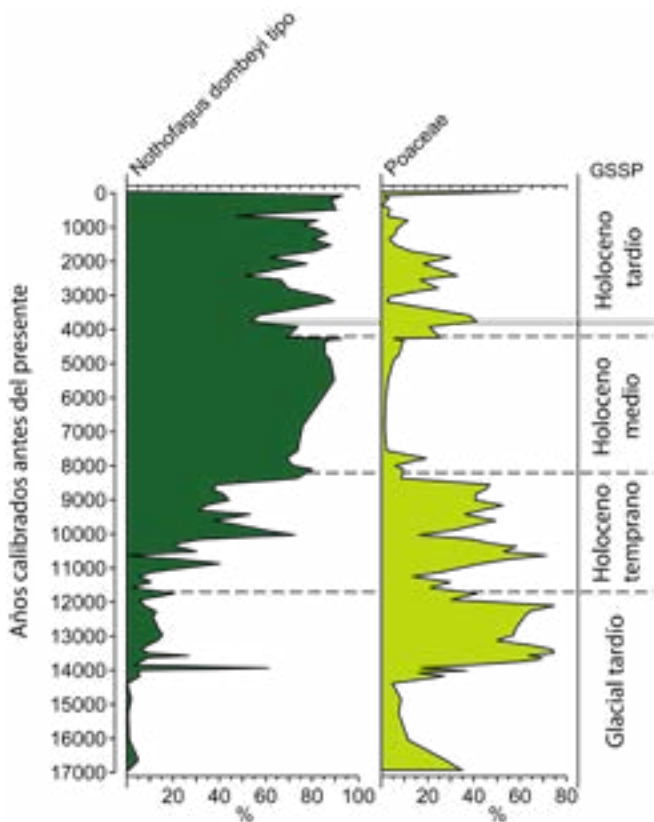


Fig. 2. Diagrama de porcentajes de polen que muestra el tipo *Nothofagus dombeyi* tipo y Poaceae (gramíneas) de Mallín Pollux, extraído de Markgraf *et al.* (2007). GSSP = Sección estratotipo y punto de límite global (por su sigla en inglés, GSSP) (Walker *et al.* 2019).

El registro obtenido de Mallín Pollux indica un paisaje relativamente sin árboles después de la edad de hielo (glacial tardío), hasta que un clima más cálido permitió la propagación inicial del bosque de *Nothofagus*. Durante el Holoceno temprano (ca. 11.700 - 8.200 años cal. AP) se aprecia un cambio a una marcada contracción del bosque en respuesta a condiciones más secas, que favorecen la vegetación de estepa y mayor actividad de incendios. No fue sino hasta mediados del Holoceno, cuando se desarrollaron condiciones climáticas más húmedas que permitieron el desarrollo del bosque cerrado. El Holoceno tardío se caracterizó por una mayor estacionalidad -que condujo a una mayor variabilidad climática- y por la creciente influencia de El Niño-Oscilación del Sur (por su sigla en inglés, ENSO) (McCulloch *et al.* 2020), esto probablemente provocado a repetidas

contracciones y expansiones del bosque en Mallín Pollux durante los últimos ~ 4.000 años.

Para mejorar nuestra comprensión de los ambientes del pasado, los científicos del Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP) se han asociado con investigadores del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) para monitorear los ecosistemas actuales, la dinámica hidrológica y el estado de los nutrientes (más ampliamente descrito por Reid & McCulloch (2021)) de turberas en la región de Aysén. Como parte de esta investigación, también se han tomado muestras de la turbera Pedro Aguirre Cerda para obtener un registro más extenso del cambio ambiental y aquí presentamos algunos resultados preliminares.

METODOLOGÍA

Descripción del sitio de estudio y muestreo

La turbera Pedro Aguirre Cerda (PAC) (45°01´S; 72°07´O) se encuentra localizada en el margen norte del lago Pedro Aguirre Cerda, que desemboca en el río Mañihuales, en las cabeceras de la cuenca del río Aysén (Fig. 3). La turbera dominada por el musgo *Sphagnum* se encuentra a una altura de 274 metros sobre el nivel del mar (Fig. 4). El paisaje circundante está dominado por un bosque mixto de *Nothofagus*, de hoja perenne y caducifolio, que ha sido fuertemente afectado por incendios forestales y tala durante el siglo XX. Se obtuvo un testigo continuo de turba (534 cm, hasta una base impenetrable) utilizando un barreno tipo ruso de sección D, de 50 cm de largo (55 mm de diámetro) (Jowsey, 1966). Los testigos extraídos fueron transferidos a secciones de tubos plásticos cortados longitudinalmente y sellados en polietileno tubular para su traslado y almacenamiento en el laboratorio del CIEP.

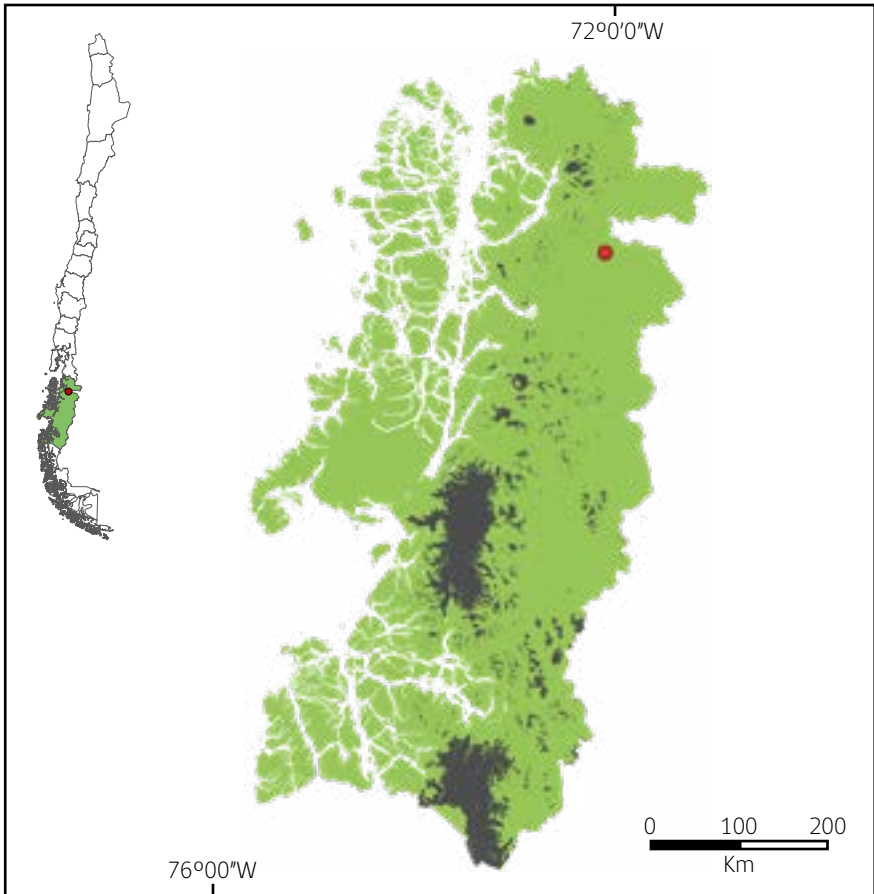


Fig. 3. Lago Pedro Aguirre Cerda y la turbera adyacente. El sitio desde donde se extrajo el testigo está indicado por el círculo pequeño de color rojo.

MÉTODOS DE LABORATORIO

Para proporcionar un registro de bioproduktividad y contenido orgánico, se calcinaron muestras contiguas de 2 cm de profundidad en un horno de mufla a 550°C durante 4 horas, para permitir el cálculo del porcentaje de pérdida por ignición (LOI₅₅₀). El grado de humificación de la turba, como indicador de la humedad superficial de la turbera (HST), se estimó utilizando el método colorimétrico de extracción alcalina modificado de Blackford (1993). En condiciones más secas, la turba se oxida más, la tasa de acumulación es más

lenta y aumenta el material húmico. Cuanto mayor es el contenido húmico, más oscura es la solución de extracto y menores son los valores de transmitancia. Por lo tanto, los valores de porcentaje de transmitancia más bajos (%T) indican condiciones de acumulación de turba más secas, mientras que los valores de porcentaje de transmitancia más altos indican condiciones más húmedas.



Fig. 4. Turbera Pedro Aguirre Cerda exclusivamente dominada por el musgo *Sphagnum*, Mañihuales, Aysén.

Se tomaron submuestras contiguas de 2 cm³ del testigo, las cuales secaron en un horno a 80°C durante 48 horas, luego se molieron usando un moledor pequeño con cuchillas giratorias. Se colocaron submuestras de 0,2 g en tubos de centrífuga de 50 ml y se añadieron 50 ml de NaOH al 8% (p/v) a cada muestra, posteriormente los tubos se colocaron en un baño de agua hirviendo durante 60 minutos y revolviendo intermitentemente. Las muestras se centrifugaron a 3.000 r.p.m. durante 5 minutos, posteriormente se extrae una alícuota de 0,5 ml y se transfiere a una cubeta de 10 mm con 2,5 ml de agua destilada. Las cubetas se analizaron en un espectrofotómetro y el porcentaje de transmitancia se midió a 540 nm. Este método permitió analizar lotes de 20 muestras en menos de 30 minutos desde la extracción del baño de agua hirviendo, y así minimizar cualquier decoloración de la solución (cf. Blackford, 1993).

CRONOLOGÍA

Cinco muestras de materia orgánica (turba) fueron datadas por radiocarbono mediante espectrometría de masas con acelerador (por su sigla en inglés, AMS) en el Centro de Estudios de Isótopos Aplicados, Universidad de Georgia (Tabla 1). A todas las muestras, antes de ser datadas, se les aplicó un tratamiento ácido/alcalino/ácido para eliminar el carbonato de la muestra. Las edades radiocarbónicas mediante AMS fueron calibradas a años calendario mediante el programa Calib ver.7.10 (Stuiver & Reimer, 1993) e la curva de calibración SH13 (Hogg *et al.* 2013). Además, se utilizó el paquete de estadística Bayesiana rbacon v2.4.2 (Blaauw & Christen, 2011) para construir un modelo de profundidad-edad, estas fechas calibradas fueron utilizadas para conocer las edades a través del perfil estratigráfico (Fig. 5).

Tabla 1. Edades radiocarbónicas, rangos de edades calibradas y edades medias ponderadas para el registro de la turbera Pedro Aguirre Cerda.

Código de laboratorio	Profundidad (cm)	Material	¹⁴ C años (1σ)	Rango de edades calibradas (años AP) (95.4%)*	Rango de edades wma (años AP) (95%)**
UGAMS44455	133,5	Bulk	840 ± 20	677 - 736	671 (724) 869
UGAMS44454	233,5	Bulk	2.090 ± 20	1.932 - 2.084	1.895 (2.008) 2.135
UGAMS44453	333,5	Bulk	3.160 ± 20	3.241 - 3.395	3.176 (3.331) 3.474
UGAMS44452	434,5	Bulk	7.180 ± 25	7.875 - 8.015	7.392 (7.839) 8.074
UGAMS44451	533,5	Bulk	8.810 ± 25	9.614 - 9.907	9.534 (9.808) 10.135

* Rangos de edades calibradas utilizando Calib ver.7.10 (Stuiver & Reimer, 1993) y la curva de calibración SH13 (Hogg *et al.* 2013).

** Intervalo de probabilidad de edades calibradas y edades medias ponderadas (por su sigla en inglés, wma) usando el programa de estadística Bayesiana rbacon (Blaauw & Christen, 2011).

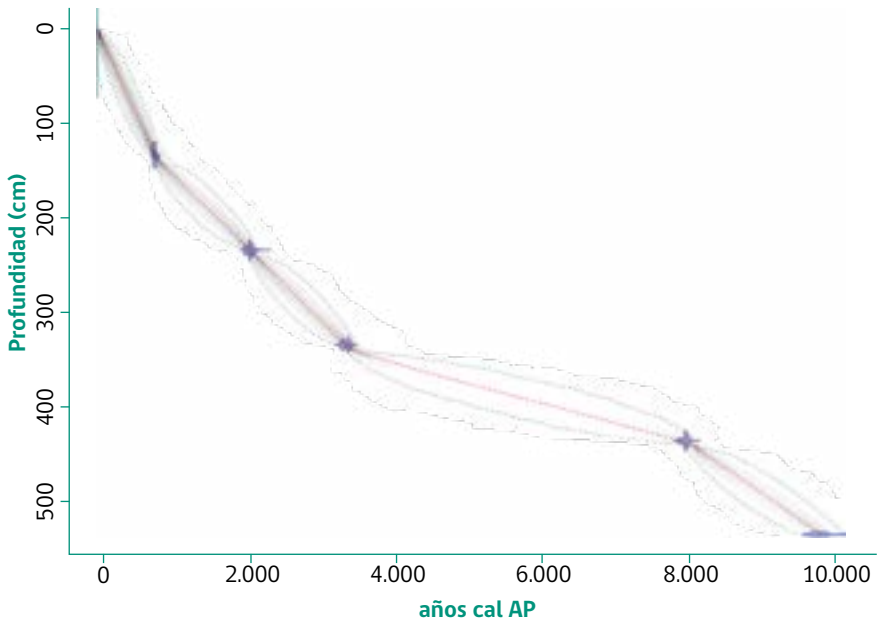
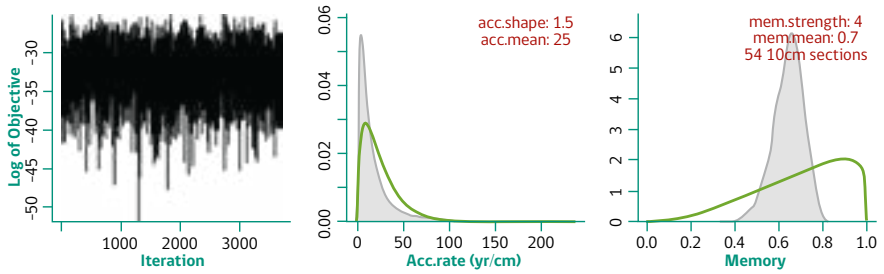


Fig. 5. Modelo Bayesiano de profundidad-edad utilizando el paquete estadístico rbacon (Blaauw & Christen, 2011). La línea roja punteada indica la edad media ponderada a través de la curva, la distribución de probabilidad de cada fecha radiocarbónica se muestra en color azul. El sombreado gris marca el rango de probabilidad del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo Bayesiano de profundidad-edad indica que el inicio de la acumulación de materia orgánica en la turbera PAC ocurrió *ca.* 9.800 años cal. AP (Fig. 5), probablemente en algún momento después del cese del gran drenaje de agua producto del deshielo glacial a través del valle del río Mañihuales durante la terminación de la última edad de hielo. Nuestros análisis paleoambientales preliminares se extienden a 1.600 años cal. AP e indican la acumulación de turba, pero con capas minerales sustanciales (~5 cm de espesor) *ca.* 1.500, 1.000 y 600 años cal.



AP (Fig. 6). Las capas minerales contienen partículas de tefra, pero son de una litología mixta, lo que sugiere quizás que son depósitos de inundación, en lugar de capas claramente definidas producto de una depositación aérea de la tefra. Un análisis petrológico y de tamaño de partícula adicional ayudará a confirmar los orígenes de las capas minerales.

Los datos de humificación sugieren que las condiciones más secas prevalecieron entre *ca.* 1.400 y 1.100 años cal. AP (HST reducida), lo cual condujo a una acumulación de turba más lenta (Fig. 6). Después de *ca.* 1.000 y hasta *ca.* 650 años cal. AP, hubo un aumento en el porcentaje de transmitancia que sugiere un cambio a condiciones más húmedas en la superficie de la turbera. También hubo más variabilidad en la HST, sugiriendo cambios climáticos relativamente a pequeña escala. Después de *ca.* 600 años cal. AP hubo una tendencia a aumentar la HST hasta el presente. Sin embargo, debemos ser cautos al interpretar las señales de humificación del acrotelmo, ya que la turba no ha tenido tiempo suficiente para descomponerse en relación con el clima prevaleciente. Dicho esto, el nivel freático se encuentra muy elevado, cercano a la superficie de la turbera PAC.

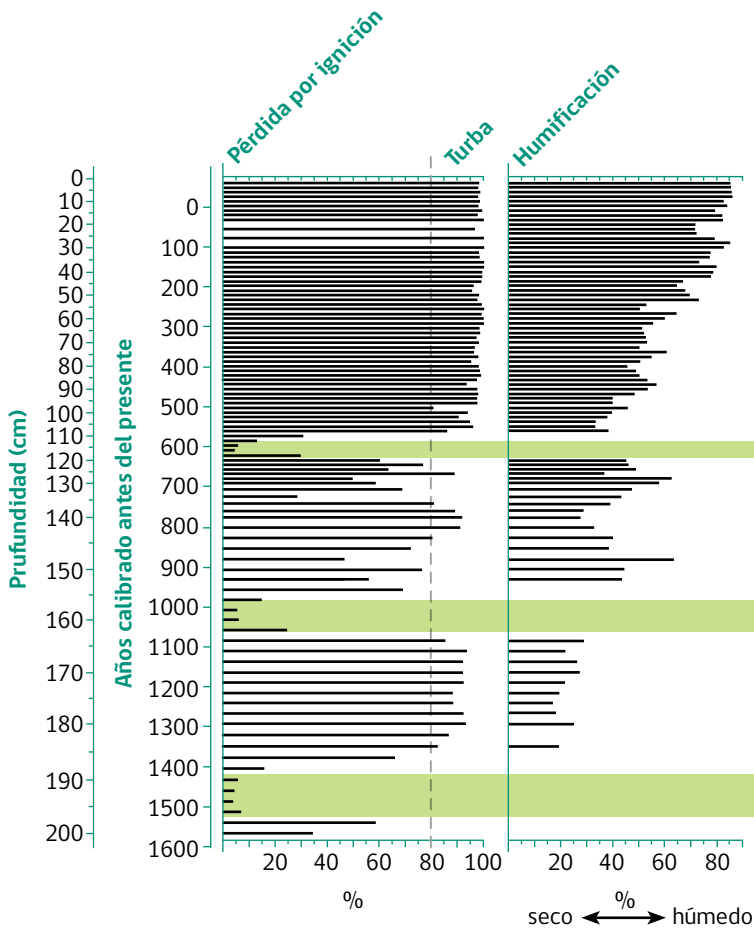


Fig. 6. Pérdida por ignición (LOI_{550}) y humificación de la turbera Pedro Aguirre Cerda. El eje-Y de edad se basa en el modelo de profundidad de edad que se muestra en la Fig. 5. Las barras grises indican capas minerales.

CONCLUSIÓN

Con nuestra reconstrucción paleoambiental a pequeña escala proporcionada a través de este estudio, hemos podido demostrar el potencial que tienen las turberas de la región de Aysén para registrar el ambiente cambiante. Cuando se combina con la arqueología, esta información también proporciona una ventana al mundo que encontraron los primeros cazadores-recolectores que

colonizaron la región y los recursos que estaban disponibles para ellos. A partir de la reconstrucción de la vegetación, utilizando testigos de turba, podremos inferir los cambios climáticos pasados y comprender cuándo y qué tan rápido ocurrieron dichos cambios. Esta evidencia nos permite identificar eventos climáticos extremos, como la aridez durante el Holoceno temprano, y así obtener información valiosa sobre cómo los ecosistemas pueden ser sensibles o resistentes a tales eventos. Por lo tanto, la pérdida de turberas no solamente tiene consecuencias trágicas para los ecosistemas y el almacenamiento de carbono, sino que también representa una pérdida de nuestra historia ambiental y cultural.

AGRADECIMIENTOS

Robert McCulloch es apoyado por el Programa Regional R17A10002 ANID, Chile. El estudio paleoambiental de la turbera Pedro Aguirre Cerda fue respaldado por FIC-R. Agradecemos a Sebastián Alfaro y Mary McCulloch por su ayuda con el muestreo de turba. Claudia Mansilla proporcionó la Fig. 3.



BIBLIOGRAFÍA

- Blaauw, M., & Christen, J. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 6, 457-474. <https://doi.org/10.1214/ba/1339616472>
- Blackford, J. (1993). Peat bogs as sources of proxy climatic data: past approaches and future research. In: Chambers F.M. (Ed.) *Climate Change and Human Impact on the Landscape*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-010-9176-3_5
- De Porras, M., Maldonado, A., Quintana, F., Martel-Cea, A., Reyes, O., & Méndez, C. (2014). Environmental and climatic changes in Central Chilean Patagonia since the Late Glacial (Mallín El Embudo, 44° S). *Climate of the Past*, 10, 1063-1078. <https://doi.org/10.5194/cp-10-1063-2014>
- Domínguez, E., & Silva, F. (2021). Flora y vegetación de turberas de *Sphagnum* en la región de Aysén, Chile. Cap. 8 p. 193 - 231. En: Domínguez, E. y 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 Tamel Aike, Chile. Coyhaique, 344 pp.
- Fernández, L.D. (2021). Amebas tecadas (protistas) de las turberas de la región de Aysén, Chile. Cap. 6 p. 133 - 159. En: Domínguez, E. y 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 Tamel Aike, Chile. Coyhaique, 344 pp.
- Haberle, S. G., & Bennett, K. D. (2004). Post-glacial formation and dynamics of North Patagonian Rainforest in the Chonos Archipelago, Southern Chile. *Quaternary Science Reviews*, 23(23), 2433-2452. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.03.001>
- Hogg, A. G., Hua, Q., Blackwell, P. G., Niu, M., Buck, C. E., Guilderson, T. P., & Zimmerman, S. R. H. (2013). SHCal13 Southern Hemisphere Calibration, 0-50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4), 1889-1903. https://doi.org/DOI:10.2458/azu_js_rc.55.16783
- Hoyos-Santillan, J., & Mansilla, C. A. (2021). Dinámica de carbono en turberas de la Patagonia chilena. Cap. 3 p. 64 - 89. En: E. Domínguez, y M.P. Martínez (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 Tamel Aike, Chile. Coyhaique, 344 pp.
- Iglesias, V., Haberle, S. G., Holz, A., & Whitlock, C. (2018). Holocene Dynamics of Temperate Rainforests in West-Central Patagonia. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fevo.2017.00177>
- Jowsey, P. C. (1966). An improved peat sampler. *New Phytologist*, 65(2), 245-248. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1966.tb06356.x>
- Larraín, J., & Vargas, R. (2021). Briófitos y líquenes en las turberas de *Sphagnum* de la región de Aysén, Chile. Cap. 7 p. 161 - 191. En: E. Domínguez, y M.P. Martínez (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 Tamel Aike, Chile. Coyhaique, 344 pp.
- Lumley, S. H., & Switsur, R. (1993). Late quaternary chronology of the Taitao Peninsula, southern Chile. *Journal of Quaternary Science*, 8(2), 161-165. <https://doi.org/10.1002/jqs.3390080208>
- Manten, A. A. (1967). Lennart Von Post and the foundation of modern palynology. *Review of Palaeobotany and Palynology*,

1(1), 11-22. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(67\)90105-4](https://doi.org/10.1016/0034-6667(67)90105-4)

Markgraf, V., Whitlock, C., & Haberle, S. (2007). Vegetation and fire history during the last 18,000 cal yr B.P. in Southern Patagonia: Mallín Pollux, Coyhaique, Province Aysén (45°41'30" S, 71°50'30" W, 640 m elevation). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 254(3), 492-507. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.07.008>

McCulloch, R. D., Mansilla, C. A., Morello, F., De Pol-Holz, R., San Román, M., Tisdall, E., & Torres, J. (2019). Late glacial and Holocene landscape change and rapid climate and coastal impacts in the Canal Beagle, southernmost Patagonia. *Journal of Quaternary Science*, 34(8), 674-684. <https://doi.org/10.1002/jqs.3167>

McCulloch, R. D., Blaikie, J., Jacob, B., Mansilla, C. A., Morello, F., De Pol-Holz, R., ... Torres, J. (2020). Late glacial and Holocene climate variability, southernmost Patagonia. *Quaternary Science Reviews*, 229, 106-131. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.106131>

Moreno, P. I., Simi, E., Villa-Martínez, R. P., & Vilanova, I. (2019). Early arboreal colonization, postglacial resilience of deciduous *Nothofagus* forests, and the Southern Westerly Wind influence in central-east Andean Patagonia. *Quaternary Science Reviews*, 218, 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.06.004>

Ortiz, J.C. & Domínguez, E. (2021). Anfibios de las turberas de *Sphagnum* de la región de Aysén, Chile. Cap. 9 p. 233 - 247. En: E. Domínguez, y M.P. Martínez (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 Tamel Aike, Chile. Coyhaique, 344 pp.

Raimilla, V. (2021). Aves de las turberas de la región de Aysén, Chile. Cap. 10 p. 251 - 273. En: E. Domínguez, y M.P. Martínez (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 Tamel Aike, Chile. Coyhaique, 344 pp.

Reid, B., & McCulloch, R. (2021). Hidrología de una turbera de *Sphagnum* en la Patagonia chilena. Cap. 5 p. 111 - 131. En: E. Domínguez, y M.P. Martínez (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 Tamel Aike, Chile. Coyhaique, 344 pp.

Stuiver, M., & Reimer, P. J. (1993). Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program. *Radiocarbon*, 35(1), 215-230. https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.35.1561

Tipping, R. (1994). The form and the fate of Scotland's woodlands. *Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland*, 124, 1-54. <http://journals.socantscot.org/index.php/psas/article/view/9485>

Villa-Martínez, R., Moreno, P. I., & Valenzuela, M. A. (2012). Deglacial and postglacial vegetation changes on the eastern slopes of the central Patagonian Andes (47°S). *Quaternary Science Reviews*, 32, 86-99. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.11.008>

Walker, M., Head, M. J., Lowe, J., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H., ... Weiss, H. (2019). Subdividing the Holocene Series/Epoch: formalization of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes. *Journal of Quaternary Science*, 34(3), 173-186. <https://doi.org/10.1002/jqs.3097>