

# Composición, estructura y diversidad de matorrales enanos de *Empetrum rubrum* en la estepa magallánica continental e insular de Chile

ERWIN DOMÍNGUEZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1907-8399>

## OPEN ACCESS

### Recibido:

11/04/2023

### Revisado:

04/07/2023

### Aceptado:

08/07/2023

### Publicado en línea:

11/08/2023

### Editor en Jefe:

Dr. Américo Montiel San Martín

ISSN 0718-686X



## RESUMEN

Los matorrales enanos de *Empetrum rubrum* en la estepa magallánica, son hábitats únicos debido a que crecen en suelos ácidos y pobres en nutrientes. El objetivo de este estudio, fue describir la vegetación y las variables ambientales que caracterizan este tipo de ambiente. Se encontraron diferencias significativas entre los murtillares continentales y los ubicados al noreste de la isla de Tierra del Fuego, en términos de riqueza de especies y diversidad. A pesar de la aparente erosión, la proporción de especies nativas fue mayor que la de especies introducidas. El hábito de crecimiento dominante en términos de cobertura fueron los subarbutos enanos de *E. rubrum* en el continente y los de *Baccharis magellanica* en la isla de Tierra del Fuego. También se encontraron siete líquenes en los murtillares. La forma de vida dominante fueron las hemicriptofitas o hierbas perennes, lo anterior indica, que estos matorrales no están bajo una severa presión antropogénica, pero si presenta niveles altos de erosión que seguramente son la consecuencia del sobrepastoreo ocurrido en el pasado. Las propiedades físico-químicas del suelo analizadas, que mostraron diferencias significativas entre los murtillares fueron N-NO<sub>3</sub>, Mg, K, Na, CICE y el limo. Por otra parte, el Análisis Correspondencia Canónica (CCA) reveló un importante gradiente del suelo, donde el pH y la materia orgánica, junto con el contenido de macronutrientes (N, P, K), determinan diferencias entre los murtillares. Finalmente, se recomienda prestar más atención a la gestión y conservación de estos matorrales, considerando que estos pueden ser afectados por el manejo antrópico, como el pastoreo, las intervenciones mineras y el déficit hídrico, como ha ocurrido en el hemisferio norte, donde han dejado el suelo desnudo.

**Palabras clave:** diversidad florística, química del suelo, Tierra del Fuego, murtillares o brezales.

# Composition, structure and diversity of dwarf shrublands of *Empetrum rubrum* in the continental and insular Magellanic steppe of Chile

## Contribución de los autores:

**ED:** Muestreo, identificación de especies, elaboración de datos, redacción general del manuscrito, análisis de la información, confección de tablas y figuras, discusión.

## Financiamiento:

Este trabajo fue realizado con el apoyo del proyecto: Monitoreo de la cubierta vegetal en instalaciones de ENAP Magallanes, No 3100096485.

## Conflicto de intereses:

El autor declara no tener conflicto de intereses.

## ABSTRACT

The dwarf shrublands of *Empetrum rubrum* in the Magellanic steppe are unique habitats due to their growth in acidic and nutrient-poor soils. The objective of this study was to describe the vegetation and environmental variables that characterize this type of environment. Significant differences were found between continental dwarf shrubs and those located northeast of Tierra del Fuego Island in terms of species richness and diversity. Despite apparent erosion, the proportion of native species was higher than that of introduced species. The dominant growth habit in terms of coverage were the dwarf shrublands of *E. rubrum* on the continent and those of *Baccharis magellanica* on Tierra del Fuego Island. Seven lichens were also found in the dwarf shrubs. The dominant life form were hemicryptophytes or perennial herbs, indicating that these shrublands are not under severe anthropogenic pressure, but do have high levels of erosion, which are likely the result of past overgrazing. The physical and chemical soil properties analyzed, which showed significant differences between the dwarf shrubs, were N-NO<sub>3</sub>, Mg, K, Na, CICE, and silt. On the other hand, Canonical Correspondence Analysis (CCA) revealed an important soil gradient, where pH and organic matter, along with the content of macronutrients (N, P, K), determine differences between the dwarf shrubs. Finally, it is recommended to pay more attention to the management and conservation of these shrublands, considering that they may be affected by anthropogenic management such as grazing, mining interventions, and water deficit, as has occurred in the northern hemisphere where they have left the soil bare.

**Key words:** floristic diversity, soil chemistry, Tierra del Fuego, murtillares or heather dwarf shrubs.

## INTRODUCCIÓN

La composición florística de cualquier área, brinda información esencial sobre la diversidad de diferentes especies y su distribución (Ali *et al.*, 2018; Bano *et al.*, 2018; Gul *et al.*, 2018). Esta información es especialmente relevante debido a la gran presión sobre la biodiversidad a nivel global, provocada por el impacto antrópico, como el cambio climático, las invasiones biológicas y la sustitución de uso del suelo (Sala *et al.* 2000; Wilson *et al.*, 2016).

Los matorrales de *Empetrum nigrum* L., o brezales (heather dwarf shrubs), han sido bien estudiados en el hemisferio norte debido a su importancia como alimento para los pueblos originarios (Lorion & Small, 2021). Además, crecen en diferentes tipos de hábitats, como suelos arenosos bien drenados (incluyendo dunas de arena), ácidos y pobres en nutrientes (incluyendo turberas) y terrenos rocosos (incluyendo escoria volcánica). Se distribuyen en climas templados a fríos (Isermann, 2005) y son indicadores de suelos pobres en nitrógeno (Ellenberg & Leuschner 2010). La diversidad de plantas vasculares en estos matorrales suele ser baja debido a los compuestos fenólicos y sus efectos alelopáticos (Zackrisson *et al.*, 1992) y por ser eficientes competidores por nutrientes en las últimas etapas de sucesión (Tybirk *et al.*, 2000). Aunque la polinización es principalmente anemófila, se propagan principalmente a través de la zoocoria (Green *et al.*, 2018). Además, un escaso número de animales se alimenta de sus hojas, a excepción de sus frutos, lo que supone otra gran ventaja en la competencia con otras especies (Tybirk *et al.*, 2000). Sin embargo, en la actualidad, estos matorrales están migrando hacia las altas latitudes en Europa como resultado del calentamiento global de la atmósfera de la Tierra (Settele *et al.*, 2014). En Alemania, por ejemplo, se han retirado hacia el norte en las últimas décadas y se han declarado en estado de "En peligro" (Floraweb, 2013).

Por otra parte, se han realizado estudios en la Patagonia de Tierra del Fuego, Argentina, que postulan que los matorrales de *Empetrum rubrum* se están expandiendo a expensas de los pastizales nativos de *Festuca gracillima* debido al pastoreo selectivo (Collantes *et al.* 1999; Cingolani, 1999). Este cambio de pastizales a matorrales se ha reconocido como un fenómeno global, que se acelerará con el cambio climático (García Criado *et al.* 2019). A esto se debe sumar, que la región de Magallanes y de la Antártica Chilena, tiene niveles de erosión severa a muy severa en torno al 10% de su superficie, la cual afecta principalmente a los matorrales de *Empetrum* ubicados en las comunas con mayores problemas: Primavera, Laguna Blanca y San Gregorio (sobre el 80% de superficie comunal) según el estudio del CIREN (2010).

Dado el pastoreo continuo de más de 140 años, la intervención minera, y el cambio climático, se propone llevar a cabo un estudio para evaluar la composición florística, el espectro biológico, la diversidad y los parámetros ambientales del suelo en los matorrales de *Empetrum rubrum* en la estepa magallánica de Chile, tanto en el continente como en la isla de Tierra del Fuego. Los objetivos de este estudio son: 1) Evaluar la composición, estructura y diversidad de especies de la cubierta vegetal en los matorrales de *Empetrum rubrum*; 2) Comprender mejor los factores ambientales que influyen en la diversidad de estos matorrales.

Se espera que los resultados de este estudio, ayuden a mejorar la comprensión de los factores que influyen en la diversidad de la cubierta vegetal de estos matorrales, lo que puede tener implicaciones importantes, para la gestión en la conservación y restauración de estos ecosistemas en un escenario de cambio climático.

## MATERIAL Y MÉTODOS

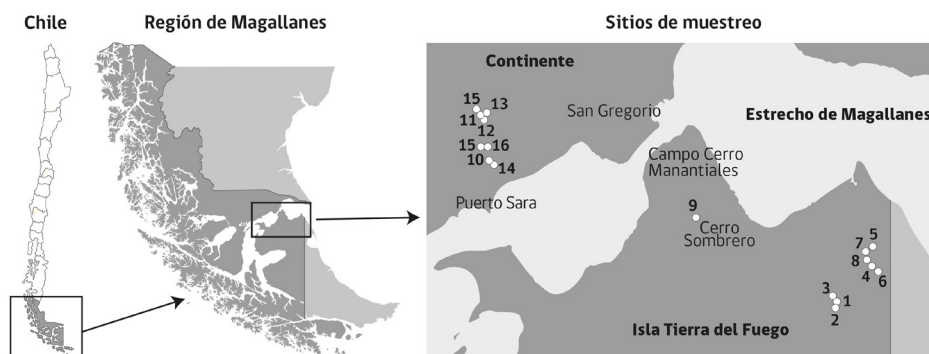
### Área de estudio

Este estudio se realizó en la parte sur continental de la Patagonia chilena incluyendo la isla de Tierra del Fuego ( $48^{\circ}36'-56^{\circ}30' S$  y  $66^{\circ}25'-75^{\circ}40' O$ ) abarcando dos comunas: San Gregorio y Primavera, las más afectadas por la erosión del suelo según CIREN (2010), ambas de uso agropecuario y minero (Fig. 1). Entre noviembre de 2021 y febrero de 2022, se evaluó un total de 16 murtillares, ubicados dentro del contexto bioclimático en la zona de estepa templada oriental de *Festuca gracillima* y *Empetrum rubrum* (piso de vegetación N°125), según la clasificación de Luebert & Pliscoff (2017). De acuerdo con Santibáñez *et al.* 2017, en el Atlas Agroclimático de Chile, se clasifica este sector en el Distrito 12-5, Villa Tehuelches, dentro del tipo Estepa fría de humedad semiárido (BSkSa), el cual no tiene condiciones agronómicas apropiadas para el desarrollo de cultivos. Collantes & Faggi (1999) describen un déficit hídrico en la estepa patagónica de septiembre a abril debido a fuertes vientos del oeste. En cuanto al relieve, el área de estudio se puede clasificar en dos tipos: tierra altas que pueden superar los 250 msnm, y tierras bajas próximas al nivel del mar 0 msnm. Los suelos de los pastizales de la región de Magallanes en el sur de Chile son de origen glaciar y fluvio-glaciar (Pisano, 1977). La mineralización de estos suelos es muy lenta, lo que implica una severa deficiencia de nitrógeno, fósforo y azufre, los valores de pH van de oeste a este desde menos de 4,8 hasta 7,7 donde la topografía favorece la humedad y la acumulación de sales (Radic-Schilling *et al.* 2021).

### Composición florística

Los sitios de estudio fueron localizados mediante imágenes satelitales, enfocadas a 16 áreas que pudieran ser identificadas fácilmente y cubrieran la máxima variabilidad de murtillares continentales e insulares. En cada sitio se realizó el muestreo de la vegetación utilizando 10 parcelas de 1 m<sup>2</sup> por sitio. Dentro de cada parcela se determinó la composición y la cobertura total de plantas vasculares, se incluyen también musgos y líquenes; además el % de suelo desnudo, piedra, heces, mantillo y muerto en pie, utilizando la escala de abundancia-cobertura de Braun-Blanquet (1979), modificada (van der Maarel, 2007). La determinación taxonómica de los taxones se realizó mediante claves y descripciones botánicas disponibles en la literatura, tomando en consideración la Flora Patagónica de INTA (Correa, 1969, 1971, 1978, 1984, 1985, 1988, 1999). La nomenclatura de las especies se basó en el Catálogo de Plantas Vasculares de Chile (Rodríguez & Marticorena, 2019). El origen geográfico se basa en la Flora Vascular del Cono Sur (<http://www.darwin.edu.ar/>) (Zuloaga *et al.* 2020). En los casos donde no fue posible asignar un nombre específico, los taxones se nombran a nivel de género (p.ej. *Festuca* spp.). Las especies introducidas fueron clasificadas como invasoras y de importancia agronómica de acuerdo a Domínguez & Santis (2021). Las categorías de amenaza asignadas fueron evaluadas según su estado de conservación de acuerdo con el Reglamento de Clasificación de Especies del Ministerio del Medio Ambiente de Chile (<https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/>). También fueron clasificados los taxones de acuerdo al hábito de crecimiento: gramínoideas (ciperáceas y juncáceas), gramíneas anuales o perennes, hierbas anuales y perennes, arbustos enanos (postrados o en cojin), arbustos medianos (erguidos), briófitas, líquenes (fruticosos y foliosos). Además, se incluyó una clasificación del espectro biológico, considerando que esta información entrega una imagen climática del área de estudio. Todas las especies de plantas registradas se

Fig. 1 Ubicación geográfica de los murtillares estudiados en el continente e isla de Tierra del Fuego.



clasificaron en diferentes clases de formas de vida utilizando el método de Raunkiaer (1934). La elevación y la posición geográfica de cada sitio se registró mediante GPS Map 64x Garmin.

### Análisis de suelo

De cada sitio de muestreo se tomaron muestras aleatorias para la determinación de la densidad aparente ( $\text{gr cm}^{-1}$ ) y otras tres muestras aleatorias para un análisis químico y de textura. La profundidad de muestreo fue de 0 a 15 cm, tanto para la densidad aparente, como para la textura y las muestras de análisis químico. Cada muestra se recolectó utilizando núcleos metálicos estandarizados (6 cm de diámetro, 10 cm de altura,  $283 \text{ cm}^3$  de volumen). Las muestras de densidad aparente fueron debidamente separadas y etiquetadas, mientras que las otras muestras de cada sitio, para el análisis textural y químico, se mezclaron para obtener una muestra compuesta. La densidad aparente se determinó por el método del cilindro, para lo cual las muestras individuales se secaron en estufa durante 48 h a  $105^\circ\text{C}$ . La porosidad del suelo se determinó utilizando el supuesto de densidad real del suelo correspondiente entre  $1,05$  a  $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ . Posteriormente, se tomaron las muestras de suelo para análisis de laboratorio de los horizontes de la capa superior del suelo (0 – 15 cm). Las muestras se analizaron en el laboratorio de suelos del INIA Quilamapu. Se determinaron los siguientes parámetros: pH en  $\text{H}_2\text{O}$ , pH en  $\text{CaCl}_2$ , % Materia Orgánica, capacidad de intercambio catiónico (CEC, en  $\text{mmol/g}$ ), N disponible ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ , en  $\text{mg/kg}$ ), P intercambiable ( $\text{PO}_4^{3-}$ , en  $\text{mg/kg}$ ), cuatro cationes básicos principales ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , todos en  $\text{cmol/kg}$ ; y  $\text{K}^+$ , en  $\text{mg/kg}$ ), Al intercambiable (en  $\text{cmol/kg}$ ), S ( $\text{SO}_4^{2-}$ , en  $\text{mg/kg}$ ), B (en  $\text{mg/kg}$ ) y micronutrientes (Cu, Zn, Mn, Fe, todos en  $\text{mg/kg}$ ). Los datos ambientales están en Tabla 2.

### Análisis de los datos

Con el fin de determinar los patrones emergentes de la diversidad florística entre los murtillares, se analizó el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y Equidad de Pielou ( $J'$ ) (Caso & Gil, 1988; Jost, 2018). A partir de esta información se realizó la prueba de Kruskal-Wallis con la corrección de Bonferroni, para detectar diferencias entre murtillares ubicados en el continente e isla de Tierra del Fuego, debido a que los datos no mostraron distribución normal (prueba de Shapiro-Wilk). Posteriormente, los datos de las coberturas de las especies se transformaron a  $\ln(a+1)$  y las variables ambientales por la expresión  $\sqrt{2} * \text{Pi}$ , para compensar las desviaciones provocadas por valores muy bajos y altos, según las recomendaciones de ter Braak (1995). Luego para evitar la multicolinealidad por variables pares fuertemente correlacionadas o redundantes en la matriz ambiental, fueron identificadas a través de un análisis de correlación de Spearman. Como resultado, fueron seleccionadas 8 variables (pH, N, P, K, Al, %MO y % Arena) que se incluyeron en el Análisis Correspondencia Canónica (CCA, por sus siglas en inglés) con el fin de inferir las

relaciones existentes entre las abundancias de las especies con las gradientes ambientales del suelo seleccionadas. Se realizó la prueba de permutación de Monte Carlo ( $p < 0,05$ ) basada en 9999 permutaciones aleatorias, para evaluar la significación estadística de las relaciones entre las especies y los factores ambientales. Luego, para probar las diferencias entre los grupos formados se realizó un ANOSIM (Clarke & Green, 1988) utilizando el índice de similaridad de Dice, bajo la hipótesis nula de que no hay diferencias en la composición florística entre los dos grupos. Finalmente, para determinar la contribución de las especies en la estructuración de los grupos, se realizó un análisis SIMPER (Clarke, 1993), de modo de indicar cuantitativamente qué especies vegetales explican las diferencias entre grupos. Los análisis, tanto univariados como multivariados, se realizaron con el programa PAST (Palaeontological Statistics) v 4.0 (Hammer *et al.* 2001) y con el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.* 2011).

## RESULTADOS

Se registró para los murtillares un total de 73 taxones y 65 especies, que pertenecen a 23 familias y 45 géneros, de las cuales 58 son nativas y 7 introducidas. Las plantas vasculares en total en este estudio estuvieron representadas por 58 especies, distribuidas en las siguientes Clases: 38 Magnoliopsidas, 19 Liliopsidas y 1 Lycopodiopsida. Las familias con el mayor número de especies fueron Asteraceae con 14 y 13 Poaceae. La gran mayoría de las familias, presentó un número reducido de especies (1- 6). Para entender la dinámica de vegetación presente en el área de estudio, se realizó una clasificación de los especímenes identificados según su origen. De las 65 especies registradas, 57 son nativas y 7 introducidas. El hábito de crecimiento está representado por 43 hierbas perennes, 10 subarborescentes, 3 arbustos, 2 hierbas anuales, y 7 líquenes: 2 de talo folioso (*Pseudocyphellaria freycinetii* y *Pseudocyphellaria endochrysa*) y 5 de talo fruticoso (*Hypogymnia lugubris*, *Cetraria aculeata*, *Cetraria islandica*, *Thamnolia vermicularis* y *Sphaerophorus globosus*). Además, a nivel de género se registraron 8 taxones los cuales corresponden a 3 hierbas perennes (*Alopecurus* sp., *Draba* sp., *Phleum* sp.), 1 briofito (*Syntrichia* sp.), 2 líquenes fruticosos (*Cladonia* sp. y *Usnea* sp.) y 2 líquenes foliosos (*Peltigera* sp. y *Pseudocyphellaria* sp.), ambos forman parte de la costra biológica del suelo. Según el sistema de clasificación de formas de vida de Raunkiaer, las Hemicriptofitas fueron las especies de plantas dominantes con 43 miembros (74% de la vegetación total), seguidas por Caméfitas (10 especies, 17%), Nanofanerófitas (3 especies, 5%) y terófitas (2 especies, 3%) Tabla 3. De acuerdo con el Inventario Nacional de Especies del Ministerio del Medio Ambiente (2021), en la zona de estudio no se encontraron plantas vasculares con problemas de conservación. Pero se reporta la presencia de la especie *Austrolycopodium alboffii* (Sinónimo = *Lycopodium alboffii*) clasificada como de Preocupación Menor (LC) de acuerdo al Decreto Supremo N°38/2015 proceso 11°) y se reporta la presencia de *Taraxacum gilliesii* y *Adesmia salicornioides* en murtillares, ambas especies endémicas de la Patagonia austral.

La riqueza específica estimada (S) para los murtillares en el continente fue de  $5,58 \pm 7,78$  (promedio  $\pm$  D.E) para 80 parcelas de  $1 \text{ m}^2$ , la cobertura vegetal (%) fue de  $75,08 \pm 6,25$  y el porcentaje de suelo desnudo fue de  $24,92 \pm 6,25$  (Tabla 1). La diversidad mediante el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) fue de  $0,93 \pm 0,14$  (promedio  $\pm$  D.E) y el índice de Equidad de Pielou ( $J'$ ) fue de  $0,56 \pm 0,04$  (promedio  $\pm$  D.E). Por otra parte, la riqueza específica estimada (S) para los murtillares en la isla de Tierra del Fuego fue de  $7,43 \pm 0,73$  (promedio  $\pm$  D.E) para 80 parcelas de  $1 \text{ m}^2$ , la cobertura vegetal fue de  $67,91 \pm 4,85$  y porcentaje de suelo desnudo (%) fue de  $32,09 \pm 4,85$ . La diversidad mediante el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) fue de  $1,11 \pm 0,15$  (promedio  $\pm$  D.E) y el índice de Equidad de Pielou ( $J'$ ) fue de  $0,57 \pm 0,07$  (promedio  $\pm$  D.E) (Tabla 1).

Tabla 1. Promedio ( $\pm$  DE) de los parámetros comunitarios de biodiversidad: riqueza de especies (S), cobertura vegetal (%), Suelo desnudo (%), índice de Shannon-Wiener (H') e índice de Pielou (J') para los murtillares ubicados en el continente e isla de Tierra del Fuego.

Letras minúsculas distintas representan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Parámetros comunitarios	Continente	Isla
Riqueza de especies (S)	5,58 $\pm$ 7,78 <sup>a</sup>	7,43 $\pm$ 0,73 <sup>b</sup>
Cobertura vegetal (%)	75,08 $\pm$ 6,25 <sup>a</sup>	67,91 $\pm$ 4,85 <sup>b</sup>
Suelo desnudo (%)	24,92 $\pm$ 6,25 <sup>a</sup>	32,09 $\pm$ 4,85 <sup>b</sup>
Shannon -Wiener (H')	0,93 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	1,11 $\pm$ 0,15 <sup>b</sup>
Pielou (J')	0,56 $\pm$ 0,04	0,57 $\pm$ 0,07

Las propiedades físico-químicas del suelo analizadas, que mostraron diferencias significativas fueron: N-NO<sub>3</sub>, Mg, K, Na, CICE y el limo entre murtillares continentales y los ubicados al noreste de la isla de Tierra del Fuego. Por otra parte, las otras variables no mostraron diferencias significativas (Tabla 2).

Propiedades	Unidades	Continente	Isla	valor $p$
pH-H <sub>2</sub> O		5,3 $\pm$ 0,24	5,44 $\pm$ 0,20	0,234
pH-CaCl <sub>2</sub>		4,40 $\pm$ 0,21	4,48 $\pm$ 0,18	0,441
P-Olsen	mg/kg	5,69 $\pm$ 20,1	5,25 $\pm$ 1,17	0,729
S-SO <sub>4</sub>	mg/kg	3,10 $\pm$ 0,98	2,74 $\pm$ 3,54	0,0581
Zn	mg/kg	1,3 $\pm$ 1,35	1,71 $\pm$ 11,54	0,573
Fe	mg/kg	289,04 $\pm$ 97,95	408,16 $\pm$ 129,55	0,104
Mn	mg/kg	5,07 $\pm$ 6,66	3,79 $\pm$ 4,15	0,72
N-NO <sub>3</sub>	mg/kg	6,11 $\pm$ 8,88	0,08 $\pm$ 0,04	0,0104
N-NH <sub>4</sub>	mg/kg	4,52 $\pm$ 1,17	4,45 $\pm$ 1,75	0,5737
N	mg/kg	10,62 $\pm$ 9,05	4,53 $\pm$ 1,74	0,1049
Cu	mg/kg	0,3 $\pm$ 0,14	0,24 $\pm$ 0,17	0,3823
Ca	cmol/kg	4 $\pm$ 1,95	4,36 $\pm$ 1,32	0,72
Mg	cmol/kg	1,67 $\pm$ 0,64	3,22 $\pm$ 0,82	0,0006
K	cmol/kg	158,91 $\pm$ 64,77	345,73 $\pm$ 80,89	0,0002
Na	cmol/kg	0,38 $\pm$ 0,07	0,95 $\pm$ 0,48	0,0011
Al	cmol/kg	1,95 $\pm$ 0,95	1,15 $\pm$ 0,66	0,083
CICE	cmol/kg	8,39 $\pm$ 2,07	10,56 $\pm$ 1,43	0,0499
D Ap.	g cm <sup>-3</sup>	0,77 $\pm$ 0,18	0,82 $\pm$ 0,06	0,5358
M.O.	%	11,18 $\pm$ 4,23	15,89 $\pm$ 4,67	0,065
SAT Al	%	27,01 $\pm$ 15,63	12,59 $\pm$ 9,92	0,083
Arcilla	%	22,04 $\pm$ 5,02	22,65 $\pm$ 4,44	0,878
Limo	%	29,40 $\pm$ 3,97	36,36 $\pm$ 9,07	0,0281
Arena	%	48,56 $\pm$ 6,63	40,99 $\pm$ 12,16	0,065
Espacio poroso	%	69,51 $\pm$ 7,54	64,26 $\pm$ 3,29	0,1605

Tabla 2. Promedio ( $\pm$  DE) de los parámetros de las principales propiedades físico-químicas del suelo en los diferentes murtillares ubicados en el continente e isla de Tierra del Fuego.

Números en negrita representan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).







Los resultados obtenidos con el ANOSIM, sumado al índice de Dice, proporcionaron diferencias significativas entre los murtillares continentales y los estudiados en la isla de Tierra del Fuego ( $R= 0,76$ ;  $p = 0,0002$ ). Luego se identificaron los taxones que más contribuyeron a estas diferencias mediante el análisis SIMPER (Tabla 3). Diferentes especies de plantas son las que contribuyeron de manera más significativa tanto a la similitud dentro de cada grupo como en la disimilaridad. Para los murtillares continentales nueve especies son las que más contribuyen a la similitud dentro del mismo grupo con más del 72% de la cobertura promedio, ellas son: *Empetrum rubrum* (42,6%), *Festuca gracillima* var. *gracillima* (13,2%), *Azorella lycopodioides* (4,87%), *Gaultheria pumila* (3,36%), *Chilotrimum diffusum* (2,43%), *Berberis microphylla* (1,79%), *Acaena magellanica* (1,81%), *Bolax gummifera* (1,09%) y *Berberis empetrifolia* (0,85%) (Tabla 3). En cambio, en los murtillares en la isla de Tierra del Fuego, las especies que más contribuyeron a la similitud dentro de este grupo fueron: *Empetrum rubrum* (37,2%), *Baccharis magellanica* (Lam.) Pers (9,12%), *Festuca gracillima* var. *gracillima* (6,89%), *Azorella lycopodioides* Gaudich. (1,07%), *Gaultheria pumila* (0,375%), *Chilotrimum diffusum* (2,38%), *Hieracium pilosella* subsp. *euronotum* (2,13%), *Berberis microphylla* (0,936%), *Acaena magellanica* (0,0825%), *Hypogymnia lugubris* (1,48%), *Bolax gummifera* (0,688%), *Cetraria aculeata* (0,863%) y *Taraxacum officinale* (0,834).

Taxón y especies	Origen	Forma de vida	Hábito	Cobertura promedio Isla	Cobertura Promedio Continente
<i>Empetrum rubrum</i> Vahl ex Willd.	Nativa	Caméfito	Subarbusto	<b>37,2</b>	<b>42,6</b>
<i>Baccharis magellanica</i> (Lam.) Pers	Nativa	Caméfito	Subarbusto	<b>9,12</b>	0,01
<i>Festuca gracillima</i> Hook.f. var. <i>gracillima</i>	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	<b>6,89</b>	<b>13,2</b>
<i>Azorella lycopodioides</i> Gaudich.	Nativa	Caméfito	Subarbusto	1,07	<b>4,87</b>
<i>Gaultheria pumila</i> (L.f.) D.J. Middleton	Nativa	Caméfito	Subarbusto	0,375	<b>3,36</b>
<i>Chilotrimum diffusum</i> (G. Forst.) Kuntze	Nativa	Nanofanerófita	Arbusto	2,38	<b>2,43</b>
<i>Hieracium pilosella</i> L. subsp. <i>euronotum</i> Nägeli & Peter	Introducida	Hemicriptófita	Hierba perenne	2,13	0
<i>Berberis microphylla</i> G. Forst.	Nativa	Nanofanerofita	Arbusto	0,936	<b>1,79</b>

Tabla 3. Taxón y especies que contribuyen a diferenciar la composición florística de los murtillares estudiados (continentales e insular de Tierra del Fuego) de acuerdo al análisis SIMPER. Las especies que contribuyen principalmente (en porcentaje) a cada grupo están marcadas en negrita.

<i>Acaena magellanica</i> (Lam.) Vahl	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,0825	<b>1,81</b>
<i>Hypogymnia lugubris</i> (Pers.) Krog	Nativa		Liquen fruticoso	1,48	0,00375
<i>Bolax gummifera</i> (Lam.) Spreng.	Nativa	Caméfitas	Subarbusto	0,688	<b>1,09</b>
<i>Berberis empetrifolia</i> Lam.	Nativa	Caméfitas	Subarbusto	0,0288	<b>0,854</b>
<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	Introducida	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,834	0,0413
<i>Acaena pinnatifida</i> Ruiz & Pav.	Introducida	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,8	0
<i>Cetraria aculeata</i> (Schreb.) Fr.	Nativa		Liquen fruticoso	0,863	0,01
<i>Azorella monantha</i> Clos	Nativa	Caméfitas	Subarbusto	0,676	0,0288
<i>Avenella flexuosa</i> (L.) Drejer	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,0963	0,674
<i>Poa pratensis</i> L. subsp. <i>pratensis</i>	Introducida	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,475	0,00375
<i>Pseudocyphellaria freycinetii</i> (Delise) Malme.	Nativa		Liquen folioso	0,605	0,413
<i>Acaena poeppigiana</i> Gay	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,337	0,284
<i>Syntrichia</i> sp.	Nativa		Briófitas	0,284	0,14
<i>Anthoxanthum pusillum</i> (Hack. Ex Dusén) Veldkamp	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,238	0,00625
<i>Adesmia pumila</i> Hook.f.	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,236	0,005
<i>Austrolycopodium alboffii</i> (Rolleri) Holub	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,0788	0,246
<i>Usnea</i> sp.	Nativa		Liquen fruticoso	0,225	0
<i>Perezia recurvata</i> (Vahl) Less. subsp. <i>recurvata</i>	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,21	0

<i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.	Nativa		Liquen fruticoso	0,154	0,0638
<i>Rytidosperma virescens</i> (E. Desv.) Nicora	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,179	0
<i>Pseudocyphellaria</i> sp.	Nativa		Liquen folioso	0	0,169
<i>Hordeum pubiflorum</i> Hook.f. subsp. <i>pubiflorum</i>	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,149	0
<i>Hypochaeris incana</i> (Hook. & Arn.) Macloskie var. <i>incana</i>	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,144	0,045
<i>Perezia pilifera</i> (D. Don) Hook. & Arn.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,075	0,171
<i>Luzula alopecurus</i> Desv.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0	0,111
<i>Deschampsia patula</i> (Phil.) Pilg. ex Skottsbo.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0	0,104
<i>Festuca pyrogea</i> Speg.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0	0,104
<i>Gaultheria mucronata</i> (L.f.) Hook. & Arn.	Nativa	Nanofanerófitas	Arbusto	0	0,0963
<i>Thamnia vermicularis</i> (Sw.) Schaer.	Nativa		Liquen fruticoso	0,0913	0
<i>Senecio magellanicus</i> Hook. & Arn.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,0188	0,0625
<i>Adesmia lotoides</i> Hook.f.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,0713	0
<i>Poa spiciformis</i> (Steud.) Hauman & Parodi var. <i>spiciformis</i>	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,0625	0
<i>Rumex acetosella</i> L.	Introducida	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,0738	0,0163
<i>Peltigera</i> sp.	Nativa		Liquen folioso	0,045	0,0213

<i>Cladonia</i> sp.	Nativa		Liquen fruticoso	0,06	0
<i>Colobanthus subulatus</i> (d'Urv.) Hook.f.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,055	0,01
<i>Pseudocyphellaria endochrysa</i> (Delise) Vain.	Nativa		Liquen folioso	0,0475	0
<i>Adesmia salicornioides</i> Speg.	Nativa	Caméfitas	Subarbusto	0,045	0
<i>Erigeron patagonicus</i> Phil.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,0025	0,0425
<i>Carex acaulis</i> d'Urv.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,0263	0,0163
<i>Primula magellanica</i> Lehm.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,00375	0,035
<i>Aira caryophylla</i> L.	Introducida	Terófitas	Hierba anual	0,0263	0,01
<i>Senecio alloephyllus</i> O. Hoffm.	Nativa	Caméfitas	Subarbusto	0,0275	0,01
<i>Azorella fuegiana</i> Speg.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,0275	0
<i>Arjona patagonica</i> Hombr. & Jacq. ex Decne.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,025	0,00625
<i>Cerastium arvense</i> L.	Introducida	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,0263	0,0188
<i>Aira praecox</i> L.	Introducida	Terófitas	Hierba anual	0,0263	0
<i>Senecio miser</i> Hook.f.	Nativa	Caméfitas	Subarbusto	0,0213	0
<i>Sphaerophorus globosus</i> (Huds.) Vain.	Nativa		Liquen fruticoso	0,0025	0,02
<i>Taraxacum gilliesii</i> Hook. & Arn.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0	0,0213
<i>Carex gayana</i> E. Desv. var. <i>gayana</i>	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0	0,0188
<i>Armeria maritima</i> (Mill.) Willd.	Nativa	Hemicriptófitas	Hierba perenne	0,0188	0

<i>Acaena lucida</i> (Aiton) Vahl.	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,00625	0,01
<i>Oxalis enneaphylla</i> Cav.	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,005	0,01
<i>Elymus</i> <i>magellanicus</i> (E. Desv.) A. Löve	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,005	0,01
<i>Leucheria hahnii</i> Franch.	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,0075	0
<i>Trisetum spicatum</i> (L.) K. Richt. subsp. <i>cumingii</i> (Nees ex Steud.) Finot	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0	0,005
<i>Viola maculata</i> Cav. var. <i>maculata</i>	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,005	0
<i>Thlaspi</i> <i>magellanicum</i> Comm. ex Poir	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,005	0
<i>Antennaria</i> <i>chilensis</i> J. Remy var. <i>magellanica</i> (Sch. Bip.) Reiche	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0	0,00375
<i>Phleum</i> sp.	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,00375	0
<i>Alopecurus</i> sp.	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,00375	0
<i>Draba</i> sp.	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,00375	0
<i>Carex magellanica</i> Lam.	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,0025	0
<i>Olsynium biflorum</i> (Thunb.) Goldblatt	Nativa	Hemicriptófita	Hierba perenne	0,0025	0
Total				69,89365	75,08175

## DISCUSIÓN

Actualmente, existe una gran presión sobre la biodiversidad debido al impacto antrópico, directo como el pastoreo y las intervenciones mineras, e indirecto como el cambio climático, junto al cambio de uso de suelo. Sin duda, estos últimos se consideran las principales causas de la pérdida de biodiversidad y degradación de ecosistemas (Sala *et al.* 2000; Wilson *et al.*, 2016). Los estudios realizados en Tierra del Fuego, Argentina, sobre murtillares al nivel del mar, han revelado que estas comunidades son muy diferentes de todas las demás de las estepas de América del Sur, debido a que se desarrollan en suelos de baja fertilidad y en suelos ácidos (Collantes *et al.* 1989). Este estudio ha permitido interpretar la intrincada estructura de estos matorrales a una mayor escala espacial, encontrándose diferencias significativas entre los murtillares continentales ubicados al noreste de la península de Brunswick respecto a los ubicados al noreste de la isla de Tierra del Fuego. Estos últimos se han caracterizado por presentar una mayor riqueza de especies y diversidad de acuerdo con el índice de Shannon  $H' = 1,11$  (Tabla 1). Sin embargo, este valor fue menor a lo obtenido por Collantes *et al.* (1999) para los murtillares de alta cobertura y ácidos, los que tuvieron un valor  $H'$  entre 1,27 a 1,12. Sin embargo, presentaron una menor cobertura vegetal, 27% menos al compararlos con los murtillares húmedos y un 2% menos con los xéricos murtillares reportados por Collantes *et al.* (1989). Por otro lado, el porcentaje de suelo desnudo determinado en este estudio, es mayor a lo reportado por Collantes *et al.* (1999) y se ajusta a lo clasificación de riesgo de erosión según tipología de uso del suelo, para los murtillares (CIREN, 2010).

A pesar de la aparente degradación de los murtillares, la proporción de especies nativas siempre fue mayor, solo fue registrado un total de 7 especies de plantas vasculares introducidas, de las cuales 5 son clasificadas como invasoras (*Aira praecox*, *Cerastium arvense*, *Rumex acetosella*, *Taraxacum officinale* y *Hieracium pilosella*) y 2 clasificadas como naturalizadas (*Aira caryophyllea* y *Poa pratensis*), siendo *Poa pratensis* una especie con valor agronómico para la actividad ganadera junto a *Taraxacum officinale* (Dominguez & Santis, 2021). La escasa presencia de especies introducidas sugiere que los murtillares no parecen estar severamente perturbados por la ganadería o por la industria minera, al comparar las listas de especies introducidas reportadas por los trabajos de Collantes *et al.* (1989) y Collantes *et al.* (1999) para Tierra del Fuego. Sin embargo, se debe destacar que se hallaron más especies introducidas en la isla (7 especies) que en el continente (5 especies, Tabla 3), esto se ajusta a que las islas tienen niveles más altos de invasión (Lonsdale, 1999). Sin embargo, la isla de Tierra del Fuego puede ser considerada una gran isla continental, la que exhibe patrones similares a un continente, ya que no se aprecia el efecto de una baja riqueza de especies nativas, quizás esto se deba a que Tierra del Fuego estuvo conectada al continente en un pasado geológico muy reciente. Así como, las islas del Mediterráneo en Europa, que comparten muchas especies con zonas adyacentes del continente y donde la heterogeneidad insular y la presión del propágulo pueden ser de mayor importancia (Vilà *et al.* 2010).

El hábito de crecimiento dominante en términos de cobertura fueron los subarbustos enanos de *Empetrum rubrum* principalmente en el continente, seguidos por los subarbustos de *Baccharis magellanica* sólo presentes en la isla de Tierra del Fuego. Llama la atención en este estudio la presencia de un alto número de hierbas perennes (43), considerando que *E. rubrum* libera compuestos fenólicos del follaje al suelo, lo que causa interferencia química y supresión de

otras especies de plantas (Wardle *et al.* 1998), reduciendo la productividad como la biodiversidad (Blanco, 2007). También fueron hallados siete líquenes en los murtillares, siendo éstos frecuentes, pero no abundantes. Entre estos organismos se encuentran especies cosmopolitas, las que son piezas clave en ecosistemas áridos, actuando como semillero de plantas vasculares y como estabilizador del suelo, reduciendo la pérdida de nutrientes y el desbordamiento de agua, que junto con las bacterias se conocen como costras biológicas del suelo o biocostras (Concostrina-Zubiri *et al.*, 2019). Otra función de estos organismos es que pueden fijar nitrógeno atmosférico y aumentar el contenido de nitrógeno del suelo hasta en un 70%, lo que lo hace disponible para las plantas, musgos, hongos y para otras comunidades microbianas del suelo (Gholamhosseinian *et al.* 2020).

Para una mejor interpretación de las condiciones climáticas de un ecosistema, se ha evaluado las características fisonómicas como indicadores de la interacción biótica del hábitat. Según Raunkiaer (1934), el clima y el hábitat de un área se caracterizan por la forma de vida y el espectro biológico de ésta, aunque la proporción de formas de vida puede alterarse debido a perturbaciones biológicas o antrópicas. La vegetación general de la región de estudio está dominada por las hemicriptófitas con 43 especies que representan el 74% de la vegetación total. Sin embargo, estas especies presentan una escasa cobertura, sin duda el predominio de las hemicriptófitas muestra que los murtillares están actuando como un área de protección para esta forma de vida, quizás esto se deba a que los ganaderos tratan de evitar el pastoreo en murtillares, debido a la creencia instalada que matorrales tienen un escaso valor forrajero para las ovejas (Posse *et al.* 1996). Sin embargo, tiene valor forrajero para la fauna de herbívoros nativos (e.g., zorros y gansos silvestres) (Dominguez & Pauchard, 2012), los que han encontrado una fuente de alimento libre de competencia. Siendo responsables de la dispersión de semillas, como ha sido descrito para los matorrales enanos de *Empetrum* en Groenlandia (Green *et al.* 2018). En la zona de estudio no se encontraron plantas vasculares con problemas de conservación. Sin embargo, se reporta la presencia de la especie *Austrolycopodium alboffi* (Rolleri) Holub, clasificada como de Preocupación Menor (LC) de acuerdo al Decreto Supremo N°38/2015 proceso 11° de acuerdo con el Inventario Nacional de Especies del Ministerio del Medio Ambiente de Chile. Este helecho se encuentra presente en el continente y en la isla de Tierra del Fuego y contribuye en la estructura total de los murtillares con 0,3%, no es una especie frecuente ni abundante. Se recomienda evaluar su respuesta al cambio climático, específicamente al déficit hídrico que está afectando principalmente a la estepa magallánica. Otra especie hallada en este estudio es *Taraxacum gilliesii* nativa de la Cordillera de Los Andes (Muiño & Prina, 2006), presente en pastizales Chile en las regiones de Aysén y Magallanes (Dominguez & Silva, 2021). Este hallazgo es el primer reporte de su presencia en matorrales de *Empetrum*. También es importante destacar la presencia de *Adesmia salicornioides* una especie rara en términos de frecuencia y abundancia en los murtillares en Tierra del Fuego.

Los resultados CCA indicaron que la vegetación de murtillares continental y la insular de Tierra del Fuego ocuparon diferentes zonas dentro del espacio de ordenación, segregándose en dos grupos respecto a las variables ambientales de suelo, siendo el Potasio (K), Materia Orgánica (% MO) y la Densidad Aparente (D Apa) las principales propiedades responsables de la diversidad de los murtillares de Tierra del Fuego. El contenido promedio de Potasio (K) fue muy superior al promedio descrito por Radic-Schilling *et al.*, (2021) para los murtillares en Magallanes. Por otra parte, la Materia Orgánica (% MO) en murtillares, en este estudio, fue un 50% menos de lo reportado para estudios realizados en Chile (Valle *et al.* 2015; Radic-Schilling *et al.*, 2021). Por



otra parte, el aumento de la densidad aparente (D Apa), debe atribuirse al pisoteo de animales, como ha sido descrito por Posse (1997), Collantes *et al.* (1999), Borrelli & Oliva (2001), Mendoza *et al.* (2011). Por el contrario, en los murtillares continentales, los vectores más importantes fueron Arena (% Arena), pH, Calcio (Ca), Nitrógeno (N) y el Fósforo (P). Estos resultados se ajustan a lo descrito por Collantes *et al.* (1999) para los murtillares de Tierra del Fuego que se caracterizan por una textura gruesa y por su acidez. Así como a los procesos de eutrofización de los pastizales en la estepa en Tierra del Fuego causada por el pastoreo (Posse, 1997) y a los resultados en marismas pastoreadas continentales del mar de Wadden (Bakker *et al.* 2020). No obstante, al existir una mayor cantidad de N y P en el suelo, no se encontró una mayor riqueza de especies, esto puede deberse al menor porcentaje de materia orgánica reportada y a las tasas de mineralización de N, que son demasiado pequeñas para suministrar suficiente N para las hierbas perennes, ubicadas en la capa superior del suelo de los murtillares continentales (Posse & Mendoza, 1995). Por otra parte, se debe considerar que cuando el pH del suelo es ácido, la absorción de fósforo de las plantas es difícil, al estar menos disponible, por lo cual eso también puede ser una explicación de no encontrar una mayor riqueza de especies. Además, la hojarasca de las plantas de *Empetrum rubrum* apenas se descompone debido al alto contenido de compuestos fenólicos como batatasin III (Wardle *et al.* 1998). Es sustancial profundizar los conocimientos en relación a las propiedades del suelo y la composición de especies vegetales en comunidades de matorrales de *Empetrum*, hoy estos arbustos están avanzando hacia el Ártico en el hemisferio norte, como respuesta a su sensibilidad a la sequía (Hein *et al.* 2021). Seguramente estos cambios también afectarán a estos matorrales en el Cono Sur de América, considerando que la región más austral de Chile ha sido declarada en situación de emergencia agrícola por déficit hídrico el 13 de enero de 2023, por el Ministerio de Agricultura.

## CONCLUSIONES

Este estudio reveló diferencias significativas entre los murtillares continentales y los ubicados al noreste de la isla de Tierra del Fuego, en términos de riqueza de especies y diversidad. A pesar de la aparente degradación de los murtillares, la proporción de especies nativas fue mayor que las especies introducidas, y sólo se registró un total de 7 especies de plantas vasculares introducidas. El hábito de crecimiento dominante en términos de cobertura fueron los subarbustos enanos de *Empetrum rubrum* en el continente y los subarbustos de *Baccharis magellanica* en la isla de Tierra del Fuego. También se encontraron siete líquenes en los murtillares. El predominio de hemicriptófitas o hierbas perennes, indica que el área de estudio no está bajo una severa presión antropogénica, pero sí presenta niveles altos de erosión que probablemente sean la consecuencia del sobrepastoreo ocurrido en el pasado y las intervenciones mineras. Por lo tanto, se recomienda que se preste más atención a la gestión y conservación de los matorrales enanos de *Empetrum rubrum* en el escenario actual de cambio climático, relacionado con el déficit hídrico.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a quienes colaboraron con el trabajo de campo (Ángel Suárez y Joaquín Romo), tabulación de datos (Eric Navarro, Mariana Alarcón y Milenka Seguich) y por los valiosos comentarios sobre los borradores del manuscrito.

## LITERATURA CITADA

- Ali, S., Zeb, U., Lei, W., Khan, H., Shehzad, K., Khan, H. & Ullah, I. (2018). Floristic inventory and ecological characterization the village Sherpao, District Charsadda, Khyber Pakhtunkhwa-Pakistan. *Acta Ecologica Sinica*, 38: 329–333. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2017.12.004>
- Bakker, J. P., Schrama, M., Esselink, P., Daniels, P., Bholá, N., Nolte, S., Vries, de, Y., Veeneklaas, R., & Stock, M. (2020). Long-term effects of sheep grazing in various densities on marsh properties and vegetation dynamics in two different salt-marsh zones. *Estuaries and coasts*, 43 (2): 298-315. <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00680-5>
- Bano, S., Khan, S. M., Alam, J., Alqarawi, A. A., Abd\_Allah, E. F.,... & Hashem, A. (2018). Eco-floristic studies of native plants of the Beer Hills along the Indus River in the districts Haripur and Abbottabad, Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25: 801–810. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.02.009>
- Blanco, J.A. (2007). The representation of allelopathy in ecosystem-level forest models. *Ecological Modelling*, 209, 65–77.
- Borrelli, P. & Oliva, G. (2001). Efecto de los animales sobre los pastizales. En: P. Borrelli, & G. Oliva, (Eds.), *Ganadería ovina sustentable en la Patagonia Austral* (pp. 99-128). Estación Experimental Agropecuaria de Santa Cruz. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Braun-Blanquet, J. (1979). Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Blume Ediciones.
- Caso, C. & Gil, M.A. (1988). The gini-simpson index of diversity: estimation in the stratified sampling. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 17: 2981-2995.
- Cingolani, A. M. (1999). *Efectos de cien años de pastoreo ovino sobre la vegetación y los suelos de la isla de Tierra del Fuego*. [Tesis de doctorado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires].
- CIREN. (2010). *Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Región de Magallanes y Antártica Chilena. Síntesis de Resultados – diciembre 2010*. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación No 153. Pp. 50.
- Clarke, K.R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of change in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18: 117-143.
- Clarke, K.R., & Green, R.H. (1988). Statistical design and analysis for a 'biological effects' study. *Marine Ecology Progress Series*, 46: 213-226.
- Collantes, M. & Faggi, A.M. (1999). *Los humedales del sur de Sudamérica* (pp. 15-25). En A. I. Malvárez (Ed.), *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. UNESCO.
- Collantes, M.B., Anchorena, J. & Korembliit, G. (1989). A soil nutrient gradient in Magellanic *Empetrum* heathlands. *Vegetatio*, 80 (2): 183-193.
- Collantes, M., Anchorena, J. & Cingolani, A., (1999). The steppes of Tierra del Fuego: floristic and growth form patterns controlled by soil fertility and moisture. *Plant Ecology*, 140: 61-75.
- Concostrina-Zubiri, L., Arenas, J.M., Martínez, I. & Escudero, A. (2019). Unassisted establishment of biological soil crusts on dryland road slopes. *Ecology*, 19: 39–51. <https://doi.org/10.5194/we-19-39-2019>.
- Correa, M. N. (1969, 1971, 1978, 1984, 1985, 1988, 1999). Flora Patagónica I-VIII. Colección Científica INTA.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2011). InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com>. Arkansas
- Dominguez, E. & Pauchard, A. (2012). Ten Years of Exclusion from Grazing Increase Native Plant Diversity in the Austral Patagonian Steppe. (pp 59–81). En: J. Arévalo (Ed.), *Grazing Ecology: Vegetation and Soil Impact*. Nova Science Publishers Inc.
- Dominguez, E. & Santis, P. (2021). Plantas naturalizadas e introducidas de la región de Magallanes, asociadas a la actividad silvoagropecuaria y áreas protegidas: atributos de vida, distribución y estatus de invasión. *Chloris Chilensis*, 24 (2): 21-47. URL: <http://www.chlorischile.cl>.
- Dominguez, E. & Silva, F. (2021). *Taraxacum gilliesii* Hook. & Arn. (Asteraceae), nuevo registro para su área de distribución en Chile. *Anales Instituto Patagonia* (Chile): 49 (7), 1-3. <http://dx.doi.org/10.22352/alp202149007>.

- Ellenberg, H., & Leuschner, C. (2010). Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer sicht, 6. völlig neu bearbeitete und stark erweiterte Auflage. Eugen Ulmer.
- Floraweb (2013). *Empetrum nigrum* L. <http://www.floraweb.de/webkarten/karte.html?taxnr=2105>. Consultado el 20 de enero de 2023
- García Criado, M., Meyers-Smith, I.H., Bjorkman, A.D., Lehmann, C.E.R. & Stevens, N. (2019). Woody plant encroachment intensifies under climate change across tundra and savanna biomes. *Global Ecology and Biogeography*, 29, 925–943. <https://doi.org/10.1111/geb.13072>
- Gholamhosseinian, A., Sepehr, A. & Emadodin, I. (2020). The effects of biocrusts on soil parameters in a semi-arid pediment at north-eastern Iran. *Revista De Geomorfología*, 22 (1): 5-19. <https://doi.org/10.21094/rg.2020.094>.
- Green, A.J., Lovas-Kiss, Á., Stroud, R.A., Tierney, N. & Fox, A.D. (2018). Plant dispersal by Canada geese in Arctic Greenland. *Polar Research*, 37: 1, <https://doi.org/10.1080/17518369.2018.1508268>
- Gul, B., Ahmad, I., Khan, H., Zeb, U., & Ullah, H. (2018). Floristic inventory of wild plants of Peshawar university campus. *Acta Ecologica Sinica*, 38: 375–380. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.04.005>
- Hammer, Ø., Harper, D., & Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 (1): 1-9.
- Hein, N., Merkelbach, J., Zech, K. & Weiers, S. (2021). Drought sensitivity of *Empetrum nigrum* shrub growth at the species' southern lowland distribution range margin. *Plant Ecology*, 222: 305–321. <https://doi.org/10.1007/s11258-020-01107-z>
- IPCC (2022). Cambio Climático 2022: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [H.-O. Pörtner, DC Roberts, M. Tignor, ES Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Prensa de la Universidad de Cambridge. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE. UU., 3056 págs., <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Isermann, M. (2005). pH del suelo y diversidad de especies en dunas costeras. *Ecología vegetal*, 178: 111–120.
- Jost, L. (2018). What do we mean by diversity? The path towards quantification. *Métode Science Studies Journal*, 9: 55–61.
- Lonsdale, W.M. (1999). Global patterns of plant invasions and the of invasibility. *Ecology*, 80: 1522–1536. <https://doi.org/10.2307/176544>
- Lorion, J. & Small, E. (2021). Crowberry (*Empetrum*): A Chief Arctic Traditional Indigenous Fruit in Need of Economic and Ecological Management, *The Botanical Review*, 87: 259–310. <https://doi.org/10.1007/s12229-021-09248-0>
- Luebert, F. & Pliscoff, P. (2017). <https://www.ide.cl/index.php/flora-y-fauna/item/1524-pisos-vegetacionales-luebert-pliscoff-2017>
- Mendoza, R., Cabello, M., Anchorena, J., García, I. & Marbán, L. (2011). Soil parameters and host plants associated with arbuscular mycorrhizas in the grazed Magellanic steppe of Tierra del Fuego. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 140: 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.004>
- Muiño, W.A., & Prina, A.O. (2006). *Taraxacum gilliesii* Hook. & Arn. (Asteraceae), nuevo registro para su área de distribución en Argentina. *Revista Facultad Agronomía – UNLPam*, 7 (2): 51-53.
- Pisano, E. (1977). Fitogeografía de Fuego-Patagonia Chilena. I. Comunidades vegetales entre las latitudes 52° S y 56° S. *Anales del Instituto de la Patagonia*, Punta Arenas Chile, 8: 121-250.
- Posse, G. (1997). *Interacción a nivel de comunidad entre la heterogeneidad de la vegetación y el pastoreo ovino en la Estepa Magallánica*. Ph.D. [Thesis. Buenos Aires University, Buenos Aires, Argentina].
- Posse, G. & Mendoza, R.E. (1995). Yield response curves of *Dactylis glomerata* L. to addition of phosphorus, nitrogen, potassium, and lime on an xeric heath soil of Tierra del Fuego. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26, 3-4: 631-642. <https://doi.org/10.1080/00103629509369323>
- Posse, G., J. Anchorena & Collantes, M.B. (1996). Seasonal diets of sheep in the steppe region of Tierra del Fuego, Argentina. *Journal Range Management*, 49 (1): 24-30.

- Radic-Schilling, S., Corti, P., Muñoz-Arriagada, R., Butorovic, N., & Sánchez-Jardón, L. (2021). Ecosistemas de estepa en la Patagonia chilena: Distribución, clima, biodiversidad y amenazas para su manejo sostenible (pp. 223-255). En: C.C., Castilla, J.J., Armesto, & M.J., Martínez-Harms, (Eds.), *Conservación en la Patagonia chilena: Evaluación del conocimiento, oportunidades y desafíos*. Ediciones Universidad Católica.
- Raunkiaer, C. (1934). *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*; Being the collected Papers of C. Raunkiaer.
- Rodríguez, R., & Marticorena, A. (Eds.). (2019). *Catálogo de las plantas vasculares de Chile*. Universidad de Concepción.
- Sala, O. E., Chapin, F. S. III, Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., ... Wall, D.H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287: 1770–1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- Santibáñez, F., Santibáñez, P., Caroca, C. & González, P. (2017). Atlas agroclimático de Chile. Estado actual y tendencias del clima. Tomo VI: Regiones de Aysén y Magallanes. <http://www.agrimed.cl/atlas/tomo6.html>
- Settele, J., Scholes, R., Betts, R., Bunn, S., Leadley, P., Nepstad, D., Overpeck, J.T., & Taboada, M.A. (2014). Terrestrial and inland water systems. In: C.B., Field, V.R., Barros, D.J., Dokken, K.J., Mach, M.D., Mastrandrea, T.E., Bilir, M., Chatterjee, K.L., Ebi, Y.O., Estrada, R.C., Genova, B., Girma, E.S., Kissel, A.N., Levy, S., MacCracken, P.R., Mastrandrea, & L.L. White, (Eds), *Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability* (pp. 271–359). Cambridge University Press.
- ter Braak, C.J.F. (1995). Ordination. In: R.H.G., Jongman, C.J.F., ter Braak, & O.F.R., van Tongeren, (Eds.), *Data Analysis in Community and Landscape Ecology* (pp. 91-173). Cambridge University Press. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511525575.007>
- Tybirk, K., Nilsson, M.C., Michelsen, A., Kristensen, H.L., Shevtsova, A., Tune Strandberg, M., Johansson, M., Nielsen, K.E., Riis-Nielsen, T., Strandberg, B., & Johnsen, L.B. (2000). Nordic Empetrum Dominated Ecosystems: Function and Susceptibility to Environmental Changes, *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29 (2): 90-97, <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.2.90>
- Valle, S., Radic, S., & Casanova, M. (2015). Suelos asociados a tres comunidades vegetales de pastoreo importantes en Patagonia sur. *Revista Agro Sur*, 43 (2): 89-99.
- van der Maarel, E. (2007). Transformation of cover-abundance values for appropriate numerical treatment Alternatives to the proposals by Podani. *Journal of Vegetation Science*: 18 (5), 767-770.
- Vilà, M., Pino, J., Montero, A. & Font, X. (2010). Are island plant communities more invaded than their mainland counterparts? *Journal of Vegetation Science*, 21 (3): 438–446. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.01166.x>
- Wardle, D.A., Nilsson, M.C., Gallet, C. & Zackrisson, O. (1998). An ecosystem-level perspective of allelopathy. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 73: 305–319.
- Wilson, M.C., Chen, X.Y., Corlett, R.T., Didham, R.K., Ding, P., Holt, R.D.,... & Yu, M. (2016). Habitat fragmentation and biodiversity conservation: key findings and future challenges. *Landscape Ecology*: 31, 219–227. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0312-3>
- Zackrisson, O. & Nilsson, M.-C. (1992). Allelopathic effects by *Empetrum* hermaphroditum on seed germination of two boreal tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 22: 1210–1319. <https://doi.org/10.1139/x92-174>
- Zuloaga, F., Morrone, O., & Belgrano, M. (2020). Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur. Versión base de datos en sitio web del Instituto Darwinion, Argentina. URL: <http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/FA.asp>: marzo 20, 2023

Apéndice: Afiliación declara por cada uno de los autores

Número afiliación	Nombre de la institución y/o organización Afiliación
1	Instituto de Investigaciones Agropecuarias – INIA, ✉ <a href="mailto:edominguez@inia.cl">edominguez@inia.cl</a>
Autor	Afiliación
E. Domínguez	1