

BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL SUELO CHILENO: ESTADO DEL ARTE Y AMENAZAS

Biodiversity and ecosystem services of Chilean soil: state of the art and threats

C. Marín^{1, 2*}

¹Centro de Investigación e Innovación para el Cambio Climático (CiiCC), Universidad Santo Tomás, Av Ramón Picarte 1130, 5090000 Valdivia, Chile.

²Amsterdam Institute for Life and Environment, Section Ecology & Evolution, Vrije Universiteit Amsterdam, de Boelelaan 1085, Amsterdam 1081 HV, the Netherlands.

*E-mail: cmarind@santotomas.cl

INTRODUCCIÓN: BIODIVERSIDAD DEL SUELO

El suelo ha sido definido como la interacción entre la atmósfera (clima), la biósfera (organismos), y la geósfera (corteza terrestre) (Orgiazzi et al., 2016). El suelo cumple roles fundamentales de regulación del clima y ciclos biogeoquímicos globales, y aporte aproximadamente el 95% de la alimentación global (FAO et al., 2020). El suelo es un hábitat muy diverso que alberga una gran cantidad de organismos muy diferentes, desde bacterias y hongos hasta nemátodos, lombrices de tierra y topos. Se estima que el suelo alberga un 59% de toda la biodiversidad del planeta (Anthony et al., 2023) y que un gramo de suelo sano puede contener mil millones de células bacterianas, miles y miles de especies diferentes, y hasta 200 m de hifas de hongos (FAO et al., 2020). Pese a esto, se estima que hasta el 94% de las especies de hongos y el 83% de las especies de insectos -dos de los principales grupos de organismos que habitan el suelo- no se han descrito (Antonelli et al., 2023). De forma similar, se estima que menos del 2% de las bacterias que podrían existir en el suelo, se han descrito taxonómicamente (Orgiazzi et al., 2016). La biodiversidad del suelo es un factor importante que explica y es responsable de diversas funciones y servicios ecosistémicos, como los ciclos y adquisición de nutrientes en las plantas, la productividad vegetal primaria y secundaria, la reducción de patógenos vegetales, el control de genes de resistencia a antibióticos, la regulación climática, y la producción de alimentos (Bardgett y van der Putten, 2014; Delgado-Baquerizo et al., 2020), entre otros.

Durante la última década, hay una gran cantidad de estudios globales de ecología del suelo centrados en bacterias, protistas, hongos del suelo y en específico, hongos micorrízicos, invertebrados en general, nemátodos, lombrices de tierra, isópodos, hormigas, termitas, raíces, y la comunidad general del suelo (Marín y Van der Heijden, 2020; Delgado-Baquerizo et al., 2020; Marín et al., 2022; Guerra et al., 2021, 2022; Van Nuland et al., 2025). A pesar de estos grandes avances en la ecología global del suelo, aún existen importantes brechas taxonómicas, funcionales, geográficas, y temporales (Bueno et al., 2017; Cameron et al. 2019; Guerra et al., 2020). Llenar estas brechas es crucial para la conservación y gobernanza de la biodiversidad del suelo. Además, y a diferencia de la biodiversidad aérea, no existe un monitoreo constante de la biodiversidad del suelo. Por lo tanto, como gran parte de la biodiversidad global del suelo aún no se ha descrito, ni siquiera sabemos a qué ritmo se están perdiendo estas especies desconocidas. Es urgente actuar.

A pesar de su importancia, la biodiversidad del suelo ha sido históricamente ignorada. Sin embargo, se han logrado avances en los últimos años, por ejemplo, con la publicación del primer informe mundial sobre el estado del conocimiento de la biodiversidad del suelo (FAO et al., 2020), con más de 300 científicos de todo el mundo como coautores. Recientemente, se han hecho llamados globales para la observación, cuantificación, monitoreo, y estandarización de las mediciones de biodiversidad del suelo a escala global (Parnell et al., 2025), basados en parametrizaciones existentes, como las variables

esenciales para la biodiversidad (Guerra et al., 2021). Esto es particularmente atingente, ya que globalmente, más del 70% de los “hotspots” (puntos calientes) de biodiversidad del suelo no se encuentran en áreas protegidas (Guerra et al., 2022). Algunos taxones de la biota del suelo se encuentran aún más desprotegidos, pues, menos del 10% de sus hotspots de biodiversidad se encuentran en áreas protegidas (Van Nuland et al., 2025). Así, se hace imperativo investigar, proteger, y monitorear la biodiversidad del suelo a diferentes escalas, para asegurar la supervivencia de la salud planetaria, particularmente de los agroecosistemas.

RELACIONES Y CORRELACIONES ENTRE BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL SUELO

Gran parte de la importancia de la biodiversidad del suelo recae en las funciones y servicios ecosistémicos que esta biota provee al planeta y a la humanidad. Pese a esto, una de las principales preguntas en la ecología del suelo persiste (Eisenhauer et al., 2017): ¿cómo integrar causalmente la biodiversidad del suelo y el funcionamiento de los ecosistemas a diferentes escalas espaciotemporales? Si bien, durante los últimos años, estudios a escala global han comenzado a desentrañar esta relación (Maestre et al., 2012, 2015; Delgado-Baquerizo et al., 2016, 2017, 2020; Pärtel et al., 2016; Soliveres et al., 2016; Song et al., 2017; Crowther et al., 2019), aún queda mucho trabajo por hacer en comparación con la biodiversidad sobre el suelo, donde las relaciones entre los caracteres y atributos de las comunidades vegetales y funciones ecosistémicas como la productividad, están mejor establecidas (Flynn et al., 2011; Grace et al., 2016; Liang et al., 2016; Duffy et al., 2017).

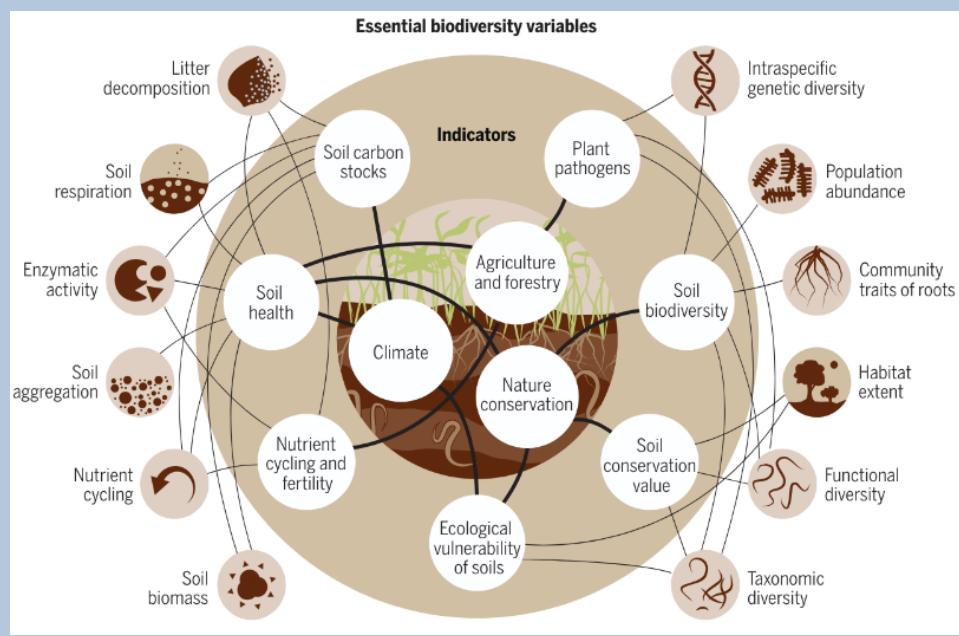
Se requieren algunas definiciones para determinar las relaciones causales entre los atributos de las comunidades microbianas del suelo y las funciones ecosistémicas (Xu et al., 2020). En primer lugar, es necesario clarificar exactamente qué se quiere decir con el término “biodiversidad”. Aunque usualmente se entiende la biodiversidad como el número de especies de una zona determinada, esta definición es simplista (Naciones Unidas, 1992; Bermúdez y Lindemann-Matthies, 2020). En la **Caja 1** se resumen distintos atributos de diversidad y formas de caracterizar la complejidad de una comunidad biológica, así como se representan las Variables Esenciales de Biodiversidad del Suelo, sugeridas por Guerra et al. (2021). Hall et al. (2018) definen tres categorías de atributos de las comunidades microbianas: procesos microbianos (ej. fijación de nitrógeno), propiedades de la comunidad microbiana (ej. relación C:N de la biomasa y abundancia de genes funcionales), y pertenencia microbiana (ej. diversidad taxonómica y filogenética, estructura de la comunidad, y redes de co-ocurrencia). En esta conceptualización, los procesos microbianos están más directamente relacionados con un *pool* (reserva) o flujo de nutrientes, mientras que los efectos de las propiedades de la comunidad y la pertenencia microbiana son más indirectos, mediados por su efecto concatenado sobre los procesos microbianos. Además de los microorganismos del suelo, esta perspectiva también debe incluir la fauna del suelo, ya que además de regular el tamaño de la población y los recursos de microorganismos (herbívoros, bacteriófagos, y fungívoros), la fauna del suelo también desempeña un papel importante en la transformación de la materia orgánica y de la hojarasca, teniendo efectos generales muy significativos en el flujo de energía, la estructura de la red, y la multifuncionalidad del ecosistema de las redes alimentarias del suelo (Potapov, 2022).

Caja 1. Panel superior: Varios atributos o formas de medir la biodiversidad en una comunidad biológica. **Panel inferior:** Variables esenciales de biodiversidad del suelo (reproducido de Guerra et al., 2021; *Science*).

Marín (2018) ha descrito a lo menos cinco métricas o atributos o formas con las que se puede describir la biodiversidad y la complejidad de una comunidad biológica:

- Diversidad taxonómica (alfa, beta, y gamma): Corresponde, típicamente, a la riqueza y abundancia de especies, y se expresa mediante índices como los de Shannon, Simpson, Simpson inverso, Berger-Parker, Pielou, Gini, entre otros, además de perfiles de Renyi y números de Chao.
- Estructura comunitaria: Considera simultáneamente a la riqueza, la abundancia, y la identidad de las especies. Se representa mediante modelos multivariados como: PCA (análisis de componentes principales) y NMDS (escalamiento multidimensional no métrico), y modelos más complejos, que pueden incluir las variables ambientales, como CCA (análisis de correspondencia canónica) y RDA (análisis de redundancia).
- Redes de interacciones: Estas redes operan bajo la siguiente lógica: si la especie A aparece siempre con la especie B, estas dos especies tienen una interacción positiva (si $r^2 > 0,75$); si la especie C nunca está presente cuando la especie D sí lo está, estas dos especies tienen una interacción negativa (competencia) (si $r^2 < -0,75$). A partir de dicha lógica, se pueden construir redes de interacciones con miles de especies. Por lo general, redes microbianas más complejas, representan suelos más resilientes, con una mayor multifuncionalidad ecosistémica (Wagg et al., 2019).
- Diversidad funcional: Métrica que representa la diversidad de funciones de una comunidad biológica. Por ejemplo: tipos y cantidad de enzimas, genes expresados, rasgos funcionales, perfiles de nutrientes consumidos, entre muchas otras.
- Diversidad filogenética: Un índice de diversidad filogenética responde a las preguntas: ¿Cuál es la relación evolutiva entre las especies de una comunidad? ¿Existen comunidades más relacionadas que otras?

Variables Esenciales de Biodiversidad del Suelo (Guerra et al., 2021):



Conceptualmente, queda claro que la aproximación de Hall et al. (2018) para relacionar distintas formas de cuantificar la biodiversidad microbiana con distintos pools de nutrientes y/o ciclos biogeoquímicos, parece ser adecuada. Tiene sentido pensar qué, atributos como la riqueza de especies estén relacionados de una forma más indirecta con procesos como el ciclo del nitrógeno (ej. nitrificación), y que los procesos de estos microorganismos tengan una relación más directa. Aun así, incluso la diversidad (alfa, beta, y gamma) de especies microbianas está relacionada de forma positiva y significativa con diferentes funciones ecosistémicas (lo que se ha denominado ‘multifuncionalidad ecosistémica’; Marín et al., 2023). En un estudio a escala global (83 sitios en los cinco continentes), Delgado-Baquerizo et al. (2020) analizaron las correlaciones entre la biodiversidad de diferentes taxones del suelo y funciones ecosistémicas como: reducción de los genes de resistencia a antibióticos, reducción de patógenos de plantas, productividad primaria neta, fósforo disponible, nitrógeno disponible, respiración del suelo, mineralización de la glucosa, degradación de azúcar, degradación de quitina, mineralización de fósforo, y degradación de lignina. Todas estas funciones fueron agregadas en un índice de multifuncionalidad ecosistémica. El resultado obtenido es contundente: a mayor biodiversidad del suelo, el índice de multifuncionalidad ecosistémica también fue mayor. Esto ocurrió tanto para la diversidad total del suelo, como para la diversidad de los distintos taxones analizados (bacterias, hongos, protistas, nemátodos, lombrices, etc.). Como era de esperarse, algunos taxones estuvieron más correlacionados con ciertas funciones (ej. hongos saprófitos con respiración del suelo y nitrógeno disponible). Este estudio demuestra, en términos generales, que una mayor biodiversidad del suelo está relacionada a una mayor cantidad e intensidad de funciones ecosistémicas del mismo.

Por su parte, Graham et al. (2016), mediante un meta-análisis de 83 estudios que investigaban los ciclos del carbón y del nitrógeno, demostraron qué, cuando estos estudios integraban alguna variable de biodiversidad y procesos microbianos a los modelos (que inicialmente tenían solo variables ambientales), el poder explicativo de estos modelos se incrementa de forma significativa. En otras palabras, es necesario e importante incluir métricas de la biodiversidad microbiana del suelo para explicar de mejor forma los ciclos de nutrientes.

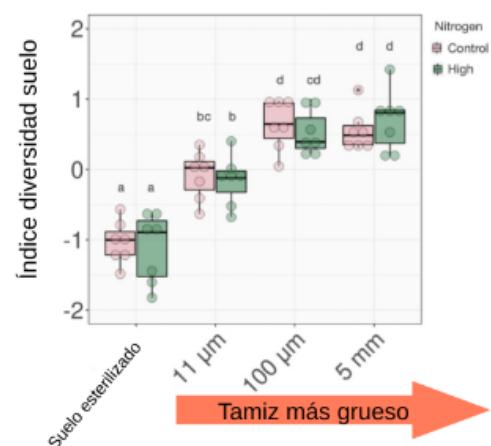
Pese a los importantes hallazgos de Graham et al. (2016), Hall et al. (2018), y Delgado-Baquerizo et al. (2020), estos se enmarcan dentro de una aproximación correlacional. Sin embargo, la evidencia de la relación positiva entre biodiversidad del suelo y funciones y servicios ecosistémicos no es solo correlacional, sino que también viene de enfoque causal, experimental. El estudio pionero de Van der Heijden et al. (1998), demostró que cuando se reduce experimentalmente la biodiversidad de hongos micorrízicos arbusculares, se reduce también la diversidad de plantas, la captura de nutrientes por las mismas, y la productividad primaria. Posteriormente, Wagg et al. (2019), experimentalmente redujeron la biodiversidad (mediante el tamizado de suelo a distintos tamaños de partícula) y la complejidad de las redes de interacciones (ver **Caja 1**), lo que resultó en una reducción de todas las funciones ecosistémicas cuantificadas y en general de toda la multifuncionalidad ecosistémica. Específicamente, Wagg et al. (2019) tamizaron el suelo utilizado a: 5, 0,25, 0,05, 0,025, y 0,01, además de tener un tratamiento con suelo esterilizado. Entre más pequeñas fueron las partículas de suelo, la complejidad de las redes de interacciones fue menor, y así mismo, funciones ecosistémicas como descomposición, captura de nitrógeno, y captura de fósforo, se redujeron de forma significativa (Wagg et al., 2019). Algo similar fue encontrado por Romero et al. (2023), en un estudio utilizando puerro, donde, suelos tamizados a menor tamaño tuvieron: una menor biodiversidad total y una menor multifuncionalidad ecosistémica, tanto en condiciones con cómo sin fertilizar (**Figura 1**).

¡No solo son correlaciones!



Soil microbial biodiversity promotes crop productivity and agro-ecosystem functioning in experimental microcosms

Fernan Romero ^{a,*}, Sarah Hilfiker ^a, Anna Edlinger ^a, Alain Held ^b, Kyle Hartman ^c, Maëva Labeyrie ^{a,b,c}, Marcel G.A. van der Heijden ^{a,b,c}
^a Plant Soil Interaction, Research Institute Agroscope, Birmensdorf, Switzerland
^b Department of Plant and Microbial Biology, University of California, Berkeley, CA, United States
^c Biogeochemistry, Joint Research Centre, Ispra, Italy, [https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.146363](http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.146363)



¡No solo son correlaciones!



Soil microbial biodiversity promotes crop productivity and agro-ecosystem functioning in experimental microcosms

Fernan Romero ^{a,*}, Sarah Hilfiker ^a, Anna Edlinger ^a, Alain Held ^b, Kyle Hartman ^c, Maëva Labeyrie ^{a,b,c}, Marcel G.A. van der Heijden ^{a,b,c}
^a Plant Soil Interaction, Research Institute Agroscope, Birmensdorf, Switzerland
^b Department of Plant and Microbial Biology, University of California, Berkeley, CA, United States
^c Biogeochemistry, Joint Research Centre, Ispra, Italy, [https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.146363](http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.146363)

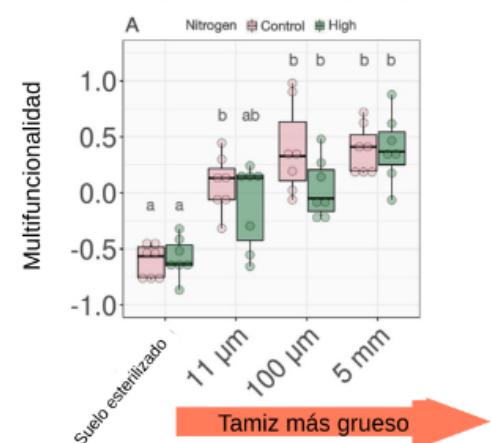


Figura 1. Relación causal entre la biodiversidad total (todos los taxones) del suelo (panel superior) y la multifuncionalidad ecosistémica (panel inferior) del suelo. Las funciones ecosistémicas consideradas en este estudio fueron: biomasa aérea, biomasa subterránea, emisión de CO₂, emisión de N₂O, recambio de nitrógeno, descomposición de hojarasca, y lixiviación de nitrógeno y fósforo. Tomado de: Romero et al. (2023).

BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL SUELO EN CHILE

Dado que el suelo alberga casi el 60% de la biodiversidad mundial (Anthony et al., 2023), contribuyendo sustancialmente a numerosas funciones y procesos ecosistémicos, es fundamental identificar los patrones de distribución de los organismos del suelo y sus funciones ecosistémicas, para apoyar sus esfuerzos de conservación y para desarrollar políticas en torno a ellos. Esto se ha analizado recientemente a escalas macroecológicas (Guerra et al., 2020), pero los análisis a escala nacional o local son escasos. En este trabajo, identificamos y analizamos los puntos ciegos de información en los datos sobre taxones de suelo y funciones ecosistémicas en Chile continental. En enero de 2021, se hizo una búsqueda bibliográfica en Web of Science (<https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science/>), de artículos publicados entre 1945 a 2020, enfocándose en 10 taxones del suelo (Bacteria, Fungi, Archaea, Oligochaeta, Acari, Collembola, Nematoda, Formicoidea, Protista, Rotifera) y cuatro funciones ecosistémicas (ciclos de nutrientes, descomposición, infiltración de agua, y respiración de suelo), de acuerdo a Guerra et al. (2020). Las siguientes palabras clave fueron utilizadas: (Chile* OR Arica) OR Parinacota OR Tarapacá OR Valparaíso OR O'Higgins OR Maule OR Ñuble OR Biobío OR Araucanía OR Aysén OR Magallanes OR Metropolitan OR Antofagasta OR (Northern AND Chile) OR (Central AND Chile) OR (Southern AND Chile) AND (soil* OR belowground) AND (*function* OR *diversity OR organism* OR biota OR animal* OR invert* OR fauna*) AND distribution AND (*mycorrhizal* OR microb* OR nematodos* OR bacteria* OR ant* OR fung* OR invertebrate* OR earthworm* OR protist* OR eukaryot* OR collembola* OR rotifer* OR Archaea OR formic* OR mite* OR termite* OR arthropod* OR respiration OR decomposition OR nitrogen cycling OR nutrient cycling OR water infiltration OR aggregate* OR bioturbation). Esta variedad de palabras clave se utilizó para captar el máximo número de artículos publicados, que a menudo utilizaban expresiones muy diferentes al referirse a las regiones administrativas de Chile, los taxones de suelo, y las funciones ecosistémicas. Se excluyeron palabras como «Los Ríos» y «Los Lagos», que se refieren a las regiones administrativas de Chile así denominadas, ya que su búsqueda conduce a estudios realizados en ríos y lagos. Se necesitó una segunda búsqueda más detallada para centrarse en el suelo de regiones geográficas específicas y los taxones o funciones de interés, utilizando (como ejemplo) las siguientes palabras clave: (Chile* OR Arica OR Parinacota OR Tarapacá OR Valparaíso OR O'Higgins OR Maule OR Ñuble OR Biobío OR Araucanía OR Aysén OR Magallanes OR Metropolitana OR Antofagasta OR (North AND Chile) OR (South AND Chile) OR Atacama AND soil* AND mycorrhizal*).

Se obtuvieron un total de 741 sitios de muestreo de 239 artículos: en el 49,25% de estos sitios, se estudió únicamente la biodiversidad del suelo, mientras que este porcentaje fue del 32,65% para las funciones ecosistémicas (**Figura 2**). En el 18,10% de los sitios, se estudiaron conjuntamente tanto la biodiversidad del suelo como las funciones ecosistémicas (**Figura 2**), un porcentaje sorprendentemente alto en comparación con los estudios a escala global (Guerra et al., 2020). De lejos, las bacterias/hongos y el ciclo de nutrientes fueron los taxones y funciones más investigados, respectivamente. Varios taxones de suelo (Acarí, Collembola, Nematoda, Formicoidea, Protista, Rotifera) estuvieron representados por solo unos pocos sitios de muestreo concentrados en regiones específicas de Chile. Lugares como la región central (Regiones administrativas Metropolitana y de Valparaíso), el desierto de Atacama (norte del país), y los bosques templados Valdivianos (Regiones administrativas de La Araucanía, Los Ríos, y Los Lagos) presentan la mayoría de los estudios sobre hongos, bacterias y ciclo de nutrientes del suelo, lo que refleja los intereses históricos de grupos de investigación bien establecidos.

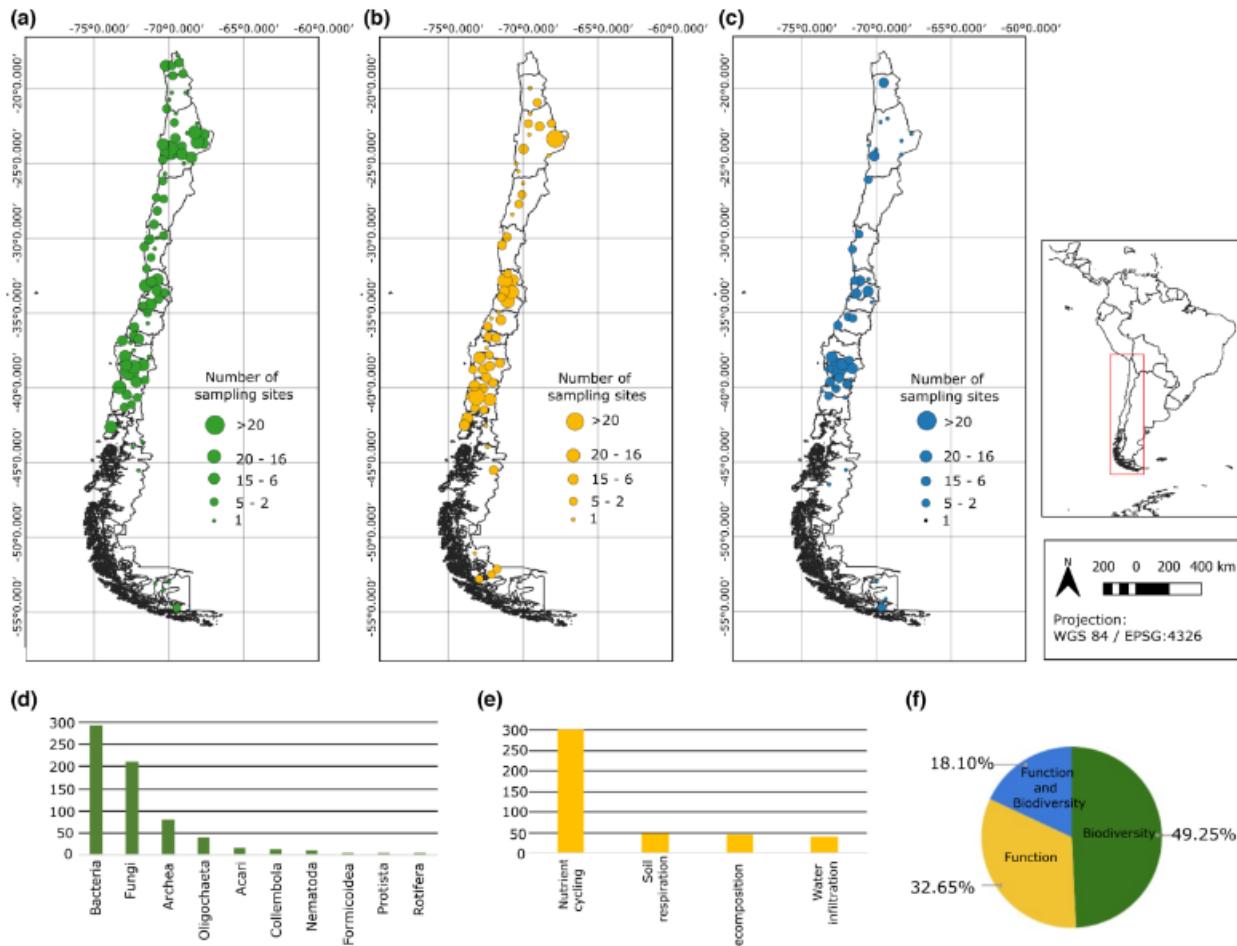


Figura 2. Distribución de sitios de muestreo para taxones de suelo y funciones ecosistémicas en Chile continental. (a) Sitios de muestreo de biodiversidad del suelo. (b) Sitios de muestreo de funciones ecosistémicas del suelo. (c) Sitios de muestreo donde se estudiaron conjuntamente la biodiversidad del suelo y las funciones ecosistémicas. (d) Número de sitios de muestreo por taxón de suelo. (e) Número de sitios de muestreo por función ecosistémica del suelo. (f) Porcentajes de sitios de muestreo que investigan la biodiversidad del suelo, las funciones ecosistémicas y ambas. El tamaño de los círculos se basa en una cuadricula de 50 km. Tomado de Marín et al. (2022).

Con base en esta investigación, estamos identificando las causas de los puntos ciegos de los datos e invitando a la comunidad de ecología del suelo chilena a proponer ideas sobre cómo llenarlos, especialmente apuntando a taxones de suelo y funciones de ecosistemas menos estudiados en regiones desatendidas de Chile. La **Figura 3** representa los vacíos de información y sitios donde se ha concentrado la investigación de biodiversidad/funciones ecosistémicas del suelo, mientras que la **Figura 4** señala el aumento de la productividad científica en este tema durante los últimos años.

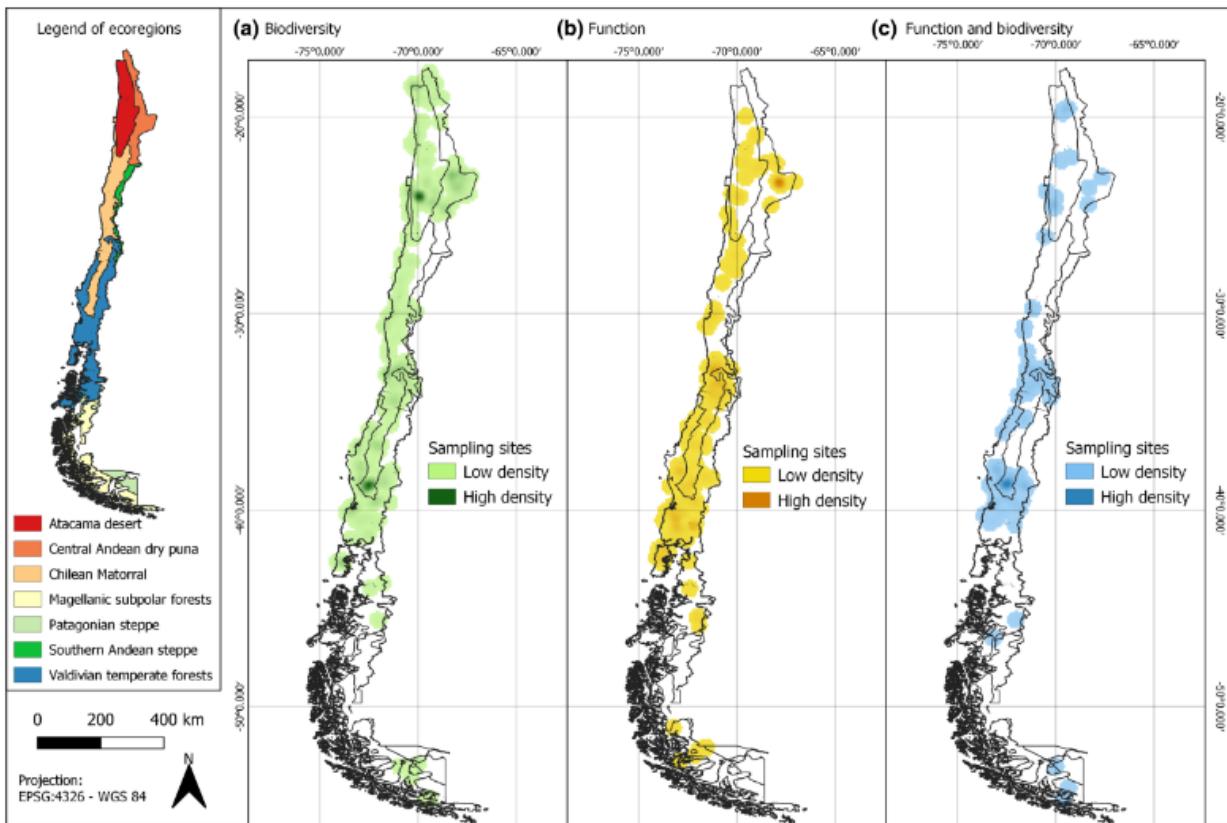


Figura 3. Mapa de calor de la distribución del muestreo en las ecorregiones de Chile continental (cuadrícula de 2 km). (a) Sitios de muestreo de la biodiversidad del suelo. (b) Sitios de muestreo de las funciones del ecosistema del suelo. c. Sitios de muestreo de la biodiversidad del suelo y las funciones del ecosistema. Tomado de Marín et al. (2022).

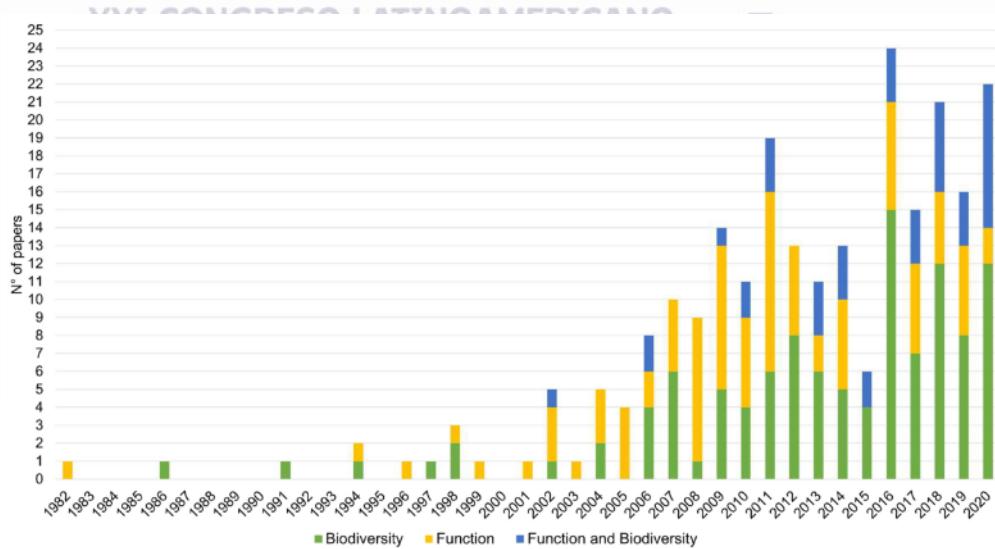


Figura 4. Número de artículos publicados en Web of Science para Chile continental que abordan la biodiversidad del suelo (verde), las funciones ecosistémicas (amarillo) y ambas investigadas conjuntamente (azul). La búsqueda en Web of Science se realizó para el período 1945-2020, pero el primer estudio aparece en 1982. Tomado de Marín et al. (2022).

Finalmente, la Figura 5 presenta las instituciones nacionales que mayores contribuciones han realizado a la investigación de biodiversidad y funciones ecosistémicas del suelo en Chile.

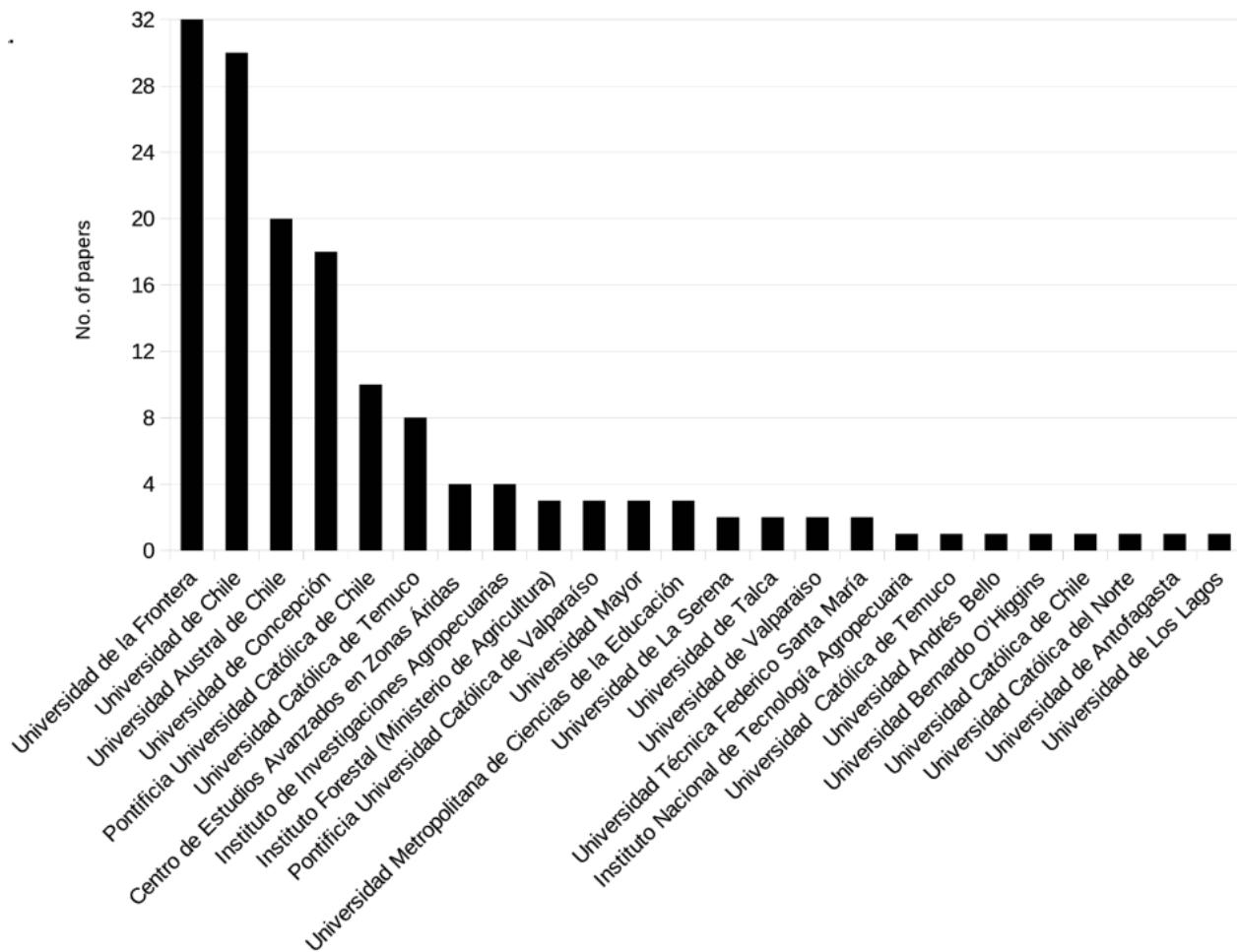


Figura 5. Afiliaciones de los primeros autores de los 239 artículos científicos analizados en Marín et al. (2022). Tomado de Marín et al. (2022).

Ahora, con una visión más clara de cuáles son las brechas geográficas (todas las regiones de Chile, excepto la zona central, y partes del desierto de Atacama y los bosques templados Valdivianos), taxonómicas (todos los taxones del suelo, excepto bacterias y hongos, en las regiones mencionadas) y funcionales (todas las funciones del ecosistema del suelo, excepto el ciclo de nutrientes, en las regiones mencionadas) de la ecología del suelo en Chile, podemos hacer un llamado a la acción. En primer lugar, necesitamos alimentar la base de datos construida a partir de esta revisión, ya que algunos estudios sobre la biodiversidad del suelo y/o las funciones del ecosistema en Chile continental podrían no haberse incluido. En segundo lugar, necesitamos extraer, analizar, y modelar los datos brutos contenidos en estos y futuros artículos, para poder realizar predicciones (es decir, dónde debería ser mayor la biodiversidad del suelo de ciertos taxones) y probar dichas predicciones con financiamiento competitivo. En tercer lugar, como comunidad chilena de ecología del suelo, existe la necesidad de generar datos y colaboraciones abiertas, lo cual está actualmente en curso con iniciativas globales como Soil BON (Guerra et al., 2021; Potapov et al., 2022), que ofrece protocolos de muestreo estandarizados y métodos

químicos y moleculares para comunidades microbianas y de macroorganismos del suelo. Esta iniciativa ya cuenta con participantes de instituciones chilenas, pero dada su escala global, creo que, dentro del país, necesitamos desarrollar nuestro propio esfuerzo nacional, asociando a diferentes universidades e investigadores y solicitando financiamiento a través de oportunidades especiales que ofrece la agencia nacional en Chile (ANID), como los Institutos Milenio. En cuarto lugar, necesitamos una mayor integración entre los investigadores que estudian la biodiversidad del suelo y quienes estudian las funciones de los ecosistemas edáficos (biólogos y agrónomos, o biólogos y geólogos). Y en quinto lugar, necesitamos una legislación específica para la biodiversidad del suelo en sí (Marín y Van der Heijden, 2021), además de su importancia para el funcionamiento de los ecosistemas, la restauración del suelo y la producción de alimentos, para conservar dicha biodiversidad (Guerra et al., 2021). Idealmente, los puntos críticos de biodiversidad subterránea podrían servir como criterio para definir las áreas de conservación.

AMENAZAS A LA BIODIVERSIDAD DEL SUELO

Para finalizar, es importante destacar algunos factores que amenazan la biodiversidad del suelo (Figura 6), así como acciones que se pueden tomar para evitar su pérdida (Figura 7).



Figura 6. Factores que contribuyen a la pérdida de la biodiversidad del suelo. Crédito: Alianza Mundial por el Suelo, FAO. Link: <https://www.fao.org/world-soil-day/about-wsd/campaign-materials/es/>



Figura 7. Acciones que se pueden tomar para frenar la pérdida de la biodiversidad del suelo.
Crédito: Alianza Mundial por el Suelo, FAO. Link: <https://www.fao.org/world-soil-day/about-wsd/campaign-materials/es/>

CONCLUSIONES

En conclusión, queda demostrado que la biodiversidad del suelo es fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres. La evidencia de esto proviene tanto de aproximaciones correlacionales como estudios y meta-análisis a escala global, como de experimentos manipulativos, que demuestran una relación causal entre la biodiversidad de múltiples taxones del suelo y una pléthora de funciones y servicios ecosistémicos. Pese a esto, no hemos descrito la inmensa mayoría (>90%) de la biodiversidad del suelo, y la mayoría de sus hotspots de biodiversidad se encuentran desprotegidos. Así, acciones de monitoreo, protección, medición, y conservación de la biodiversidad del suelo se hacen urgentes, a todas las escalas. En Chile, sabemos que existen brechas geográficas (todas las regiones de Chile, excepto la zona central, y partes del desierto de Atacama y los bosques templados Valdivianos), taxonómicas (todos los taxones del suelo, excepto bacterias y hongos, en las regiones mencionadas) y funcionales (todas las funciones del ecosistema del suelo, excepto el ciclo de nutrientes, en las regiones mencionadas) de la ecología del suelo. Estas brechas deben ser atendidas por diferentes entes e instituciones, con el fin de establecer políticas públicas que permitan tomar acciones para conservar los hotspots de biodiversidad y tomar acciones para frenar la pérdida de biodiversidad del suelo en el país. El suelo está vivo y esta vida es fundamental para todo nuestro planeta. Es hora de protegerlo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a ANID + Convocatoria Nacional Subvención a Instalación en la Academia, Convocatoria Año 2021 + Folio No. SA77210019, y Proyecto Fondecyt Regular N° 1240186 (ANID, Convocatoria 2024).

REFERENCIAS

- ANTHONY, M. A., BENDER, S. F., & VAN DER HEIJDEN, M. G. (2023). Enumerating soil biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(33), e2304663120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2304663120>
- ANTONELLI, A., FRY, C., SMITH, R.J., EDEN, J., GOVAERTS, R.H.A., KERSEY, P., ET AL. (2023). *State of the World's Plants and Fungi* 2023. Royal Botanic Gardens, Kew. DOI: <https://doi.org/10.34885/wnwn-6s63>
- BARDGETT, R. D., & VAN DER PUTTEN, W. H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515(7528), 505-511. <https://doi.org/10.1038/nature13855>
- BERMUDEZ, G. M., & LINDEMANN-MATTHIES, P. (2020). "What matters is species richness"—high school students' understanding of the components of biodiversity. *Research in Science Education*, 50(6), 2159-2187. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9767-y>
- BUENO, C.G., MARÍN, C., SILVA-FLORES, P., AGUILERA, P., GODOY, R. (2017). Think globally, research locally: emerging opportunities for mycorrhizal research in South America. *New Phytologist*, 215(4), 1306-1309. <https://doi.org/10.1111/nph.14709>
- CAMERON, E. K., MARTINS, I. S., LAVELLE, P., MATHIEU, J., TEDERSOO, L., BAHRAM, M., ET AL. (2019). Global mismatches in aboveground and belowground biodiversity. *Conservation Biology*, 33(5), 1187- 1192. <https://doi.org/10.1111/cobi.13311>
- CROWTHER, T. W., VAN DEN HOOGEN, J., WAN, J., MAYES, M. A., KEISER, A. D., MO, L., ET AL. (2019). The global soil community and its influence on biogeochemistry. *Science*, 365(6455), eaav0550. <https://doi.org/10.1126/science.aav0550>
- DELGADO-BAQUERIZO, M., BISSETT, A., ELDRIDGE, D. J., MAESTRE, F. T., HE, J. Z., WANG, J. T., ET AL. (2017). Palaeoclimate explains a unique proportion of the global variation in soil bacterial communities. *Nature Ecology & Evolution*, 1(9), 1339-1347. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0259-7>
- DELGADO-BAQUERIZO, M., MAESTRE, F. T., REICH, P. B., JEFFRIES, T. C., GAITAN, J. J., ENCINAR, D., ET AL. (2016). Microbial diversity drives multifunctionality in terrestrial ecosystems. *Nature Communications*, 7(1), 10541. <https://doi.org/10.1038/ncomms10541>
- DELGADO-BAQUERIZO, M., REICH, P. B., TRIVEDI, C., ELDRIDGE, D. J., ABADES, S., ALFARO, F. D., ET AL. (2020). Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nature Ecology & Evolution*, 4(2), 210-220. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1084-y>
- DUFFY, J. E., GODWIN, C. M., & CARDINALE, B. J. (2017). Biodiversity effects in the wild are common and as strong as key drivers of productivity. *Nature*, 549(7671), 261-264. <https://doi.org/10.1038/nature23886>
- EISENHAUER, N., ANTUNES, P. M., BENNETT, A. E., BIRKHOFER, K., BISSETT, A., BOWKER, M. A., ET AL. (2017). Priorities for research in soil ecology. *Pedobiologia*, 63, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2017.05.003>
- FAO, ITPS, GSBI, SCBD, EC. (2020). *State of knowledge of soil biodiversity – Status, challenges and potentialities, Report 2020*. Rome, FAO. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb1928en>

- FLYNN, D. F., MIROTCHNICK, N., JAIN, M., PALMER, M. I., & NAEEM, S. (2011). Functional and phylogenetic diversity as predictors of biodiversity–ecosystem-function relationships. *Ecology*, 92(8), 1573-1581. <https://doi.org/10.1890/10-1245.1>
- GRACE, J. B., ANDERSON, T. M., SEABLOOM, E. W., BORER, E. T., ADLER, P. B., HARPOLE, W. S., ET AL. (2016). Integrative modelling reveals mechanisms linking productivity and plant species richness. *Nature*, 529(7586), 390-393. <https://doi.org/10.1038/nature16524>
- GRAHAM, E. B., KNELMAN, J. E., SCHINDLBACHER, A., SICILIANO, S., BREULMANN, M., YANNARELL, A., ET AL. (2016). Microbes as engines of ecosystem function: when does community structure enhance predictions of ecosystem processes?. *Frontiers in Microbiology*, 7, 214. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00214>
- GUERRA, C. A., BARDGETT, R. D., CAON, L., CROWTHER, T. W., DELGADO-BAQUERIZO, M., MONTANARELLA, L., NAVARRO, L. M., ORGIAZZI, A., ET AL. (2021). Tracking, targeting, and conserving soil biodiversity: A monitoring and indicator system can inform policy. *Science*, 371(6526), 239–241. <https://doi.org/10.1126/science.abd7926>
- GUERRA, C. A., BERDUGO, M., ELDRIDGE, D. J., EISENHAUER, N., SINGH, B. K., CUI, H., ET AL. (2022). Global hotspots for soil nature conservation. *Nature*, 610(7933), 693-698. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05292-x>
- HALL, E. K., BERNHARDT, E. S., BIER, R. L., BRADFORD, M. A., BOOT, C. M., COTNER, J. B., ET AL. (2018). Understanding how microbiomes influence the systems they inhabit. *Nature Microbiology*, 3(9), 977-982. <https://doi.org/10.1038/s41564-018-0201-z>
- LIANG, J., CROWTHER, T. W., PICARD, N., WISER, S., ZHOU, M., ALBERTI, G., ET AL. (2016). Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science*, 354(6309), aaf8957. <https://doi.org/10.1126/science.aaf8957>
- MAESTRE, F. T., DELGADO-BAQUERIZO, M., JEFFRIES, T. C., ELDRIDGE, D. J., OCHOA, V., GOZALO, B., ET AL. (2015). Increasing aridity reduces soil microbial diversity and abundance in global drylands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(51), 15684-15689. <https://doi.org/10.1073/pnas.1516684112>
- MAESTRE, F. T., QUERO, J. L., GOTELLI, N. J., ESCUDERO, A., OCHOA, V., DELGADO-BAQUERIZO, M., ET AL. (2012). Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science*, 335(6065), 214-218. <https://doi.org/10.1126/science.1215442>
- MARÍN, C. (2018). Conceptos fundamentales en ecología de hongos del suelo: una propuesta pedagógica y de divulgación. *Boletín Micológico*, 33(1), 32-56. <http://dx.doi.org/10.22370/bolmicol.2018.33.1.1168>
- MARÍN, C., BUENO, C.G., WANG, J., KOKKORIS, V. (2023). Editorial: Biodiversity and Ecosystem-level Function of the Rhizosphere. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1278662. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1278662>
- MARÍN, C., RUBIO, J., GODOY, R. (2022). Chilean blind spots in soil biodiversity and ecosystem function research. *Austral Ecology*, 47(7), 1372-1381. <https://doi.org/10.1111/aec.13232>
- MARÍN, C., VAN DER HEIJDEN, M. A. G. (2021). Editorial: lets legislate on soil biodiversity! *IMS Newsletter*, 2(2), 2-5.
- MARÍN, C., VAN DER HEIJDEN, M. G. A. (2020). Global soil biodiversity, ecosystem multifunctionality, and the mycorrhizal symbiosis. *IMS Newsletter*, 1(3), 8-11.
- NACIONES UNIDAS. (1992). *Convention on biological diversity*. Treaty Collection, 79.
- ORGIAZZI, A., BARDGETT, R. D., BARRIOS, E., BEHAN-PELLETIER, V., BRIONES, M. J. I., CHOTTE, J. L., ET AL. (2016). *Global Soil Biodiversity Atlas*. (EUR). European Union. DOI: <https://doi.org/10.2788/2613>

- PARNELL, J. J., DE RUITER, P., GUERRA, C., MONTANARELLA, L., EUGENIO, N. R., FERREIRA, T., ... & BROWN, G. G. (2025). Combining science and policy for a unified global soil biodiversity observatory. *Nature Ecology & Evolution*, 9, 1302–1306. <https://doi.org/10.1038/s41559-025-02754-z>
- PÄRTEL, M., BENNETT, J. A., & ZOBEL, M. (2016). Macroecology of biodiversity: disentangling local and regional effects. *New Phytologist*, 211(2), 404-410. <https://doi.org/10.1111/nph.13943>
- POTAPOV, A. M. (2022). Multifunctionality of belowground food webs: resource, size and spatial energy channels. *Biological Reviews*, 97(4), 1691-1711. <https://doi.org/10.1111/brv.12857>
- POTAPOV, A. M., BARNES, A. D., BRIONES, M. J. I., CAMERON, E. K., TANG, C. H. A., EISENHAUER, N., ET AL. (2022). Global monitoring of soil animal communities using a common methodology. *Soil Organisms*, 94(1), 55-68. <https://doi.org/10.25674/so94iss1id178>
- ROMERO, F., HILFIKER, S., EDLINGER, A., HELD, A., HARTMAN, K., LABOYRIE, M., & VAN DER HEIJDEN, M. G. (2023). Soil microbial biodiversity promotes crop productivity and agro-ecosystem functioning in experimental microcosms. *Science of The Total Environment*, 885, 163683. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163683>
- SOLIVERES, S., VAN DER PLAS, F., MANNING, P., PRATI, D., GOSSNER, M. M., RENNER, S. C., ET AL. (2016). Biodiversity at multiple trophic levels is needed for ecosystem multifunctionality. *Nature*, 536(7617), 456-459. <https://doi.org/10.1038/nature19092>
- SONG, D., PAN, K., TARIQ, A., SUN, F., LI, Z., SUN, X., ET AL. (2017). Large-scale patterns of distribution and diversity of terrestrial nematodes. *Applied Soil Ecology*, 114, 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.02.013>
- VAN DER HEIJDEN, M. G., KLIRONOMOS, J. N., URSIC, M., MOUTOGLIS, P., STREITWOLF-ENGEL, R., BOLLER, T., ET AL. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396(6706), 69-72. <https://doi.org/10.1038/23932>
- VAN NULAND, M. E., AVERILL, C., STEWART, J. D., PRYLUTSKYI, O., CORRALES, A., VAN GALEN, L. G., ET AL. (2025). Global hotspots of mycorrhizal fungal richness are poorly protected. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09277-4>
- WAGG, C., SCHLAEPPPI, K., BANNERJEE, S., KURAMAE, E. E., & VAN DER HEIJDEN, M. G. (2019). Fungal-bacterial diversity and microbiome complexity predict ecosystem functioning. *Nature Communications*, 10(1), 4841. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12798-y>
- XU, X., WANG, N., LIPSON, D., SINSABAUGH, R., SCHIMEL, J., HE, L., ET AL. (2020). Microbial macroecology: In search of mechanisms governing microbial biogeographic patterns. *Global Ecology and Biogeography*, 29(11), 1870-1886. <https://doi.org/10.1111/geb.13162>



LIBRO

XXI Congreso Latinoamericano de Buiatría 2025

Desafíos de la Buiatría frente al Cambio Climático
Los nuevos escenarios



Puerto Varas, Chile - 25 y 26 de Septiembre 2025

ORGANIZAN



Sociedad Chilena de Buiatría
MIEMBRO DE LA ASOCIACIÓN MUNDIAL DE BUIATRÍA



LIBRO

XXI CONGRESO LATINOAMERICANO DE

BUIATRÍA 2025

Puerto Varas, Chile 25 y 26 de Septiembre de 2025

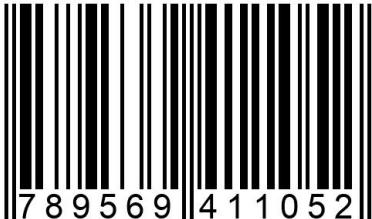
Libro XXI Congreso Latinoamericano de Buiatría 2025

Trabajos originales y conferencias

© Editores: F. Lanuza, R. Arancibia, F. Ulloa, A. Velásquez, D. Cartes, E. Paredes, F. Pino, L. Hervé, M. Contreras, M. Salgado, P. Gädicke, P. Sepúlveda, R Chihuailaf.

Impresión Digital: F. Lanuza, R. Arancibia, F. Ulloa

ISBN: 978-956-9411-05-2



A standard 1D barcode representing the ISBN number 978-956-9411-05-2. The barcode is composed of vertical black bars of varying widths on a white background.

9 789569 411052

Se autoriza la reproducción parcial de la información que aparece en esta publicación siempre y cuando se cite esta publicación como fuente y autores correspondientes.

LIBRO

XXI CONGRESO LATINOAMERICANO DE

BUIATRÍA 2025

Puerto Varas, Chile 25 y 26 de Septiembre de 2025



Sociedad Chilena de Buiatría
MIEMBRO DE LA ASOCIACION MUNDIAL DE BUIATRIA



DIRECTIVA SOCIEDAD CHILENA DE BUIATRÍA AG 2022-2025

Presidenta: Ángela Rendel K.

Vicepresidenta: Gabriela Yévenes L.

Secretaria: Alejandra Viedma C.

Tesorero: Felipe Pino S.

Directores: Francisco Lanuza A., Ricardo Merino G.,

Richard Arancibia B. y Carla Otundo C., Fernando Ulloa O.

DIRECTIVA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE BUIATRÍA 2023-2027

Presidente: Francisco Lanuza A., Chile

Primer Vicepresidente: Ramiro Oballe M., Perú

Segundo Vicepresidente: Dr. Marcelo Almeida., Ecuador

Secretario: José Borkert V., Chile

COMITÉ ORGANIZADOR

Presidenta : Ángela Rendel K.

Vicepresidenta : Gabriela Yévenes L.

Secretaria : Alejandra Viedma C.

Tesorero : Felipe Pino S.

Vocales: Ricardo Merino G., Francisco Lanuza A., Carla Otundo C., Richard Arancibia B., Fernando Ulloa O.

AUSPICIADORES

Oro



Plata



Bronce



PATROCINADORES



COMITÉ CIENTÍFICO

Francisco Lanuza A., Presidente Asociación Latinoamericana de Buiatría

Richard Arancibia B., Universidad de Chile

Ana Velásquez M., Universidad Católica Temuco

Miguel Salgado A., Universidad Austral de Chile

María Angélica Contreras T., Universidad Santo Tomás

Paula Gädicke L., Universidad de Concepción

Pilar Sepúlveda V., Universidad Austral de Chile

Enrique Paredes H., Universidad Austral de Chile

Daniel Cartes., Universidad de Chile

Luis Pablo Hervé C., Lewyt College of Veterinary Medicine

Long Island University, New York, USA.

Ricardo Chihuailaf V., Universidad Austral de Chile

Felipe Pino S., SOCHIBU AG

José Borkert V., (hasta diciembre 2024)., SOCHIBU AG