

OPINIONES

Hacia un sistema de monitoreo ecohidrometeorológico para Chile: una propuesta científico-técnica

Towards an Ecohydrometeorological Monitoring System for Chile: A Scientific-Technical Proposal

**Francisco Balocchi ^{a*} , Cristian Salas-Eljatib ^b , M. Paulina Fernández ^{c,d} ,
Pedro Hervé-Fernández ^e , Andrés Iroumé ^f , Diego Rivera ^g , Guillermo F. Olmedo ^a ,
Jose Luis Arumí ^{h,i} , Raul Briones ^a , Pablo Ramírez de Arellano ^a, Ricardo O. Barra ^{i,j,k} **

*Autor de correspondencia: ^a Centro de Investigaciones Forestales Bioforest, Coronel, Chile,
francisco.balocchi@arauco.com

^b Universidad de Chile, Departamento de Gestión Forestal y su Medio Ambiente,
Laboratorio de Biometría y Modelación Forestal, Santiago, Chile.

^c Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía y Sistemas Naturales,
Departamento de Ecosistemas y Medio Ambiente, Santiago, Chile.

^d Pontificia Universidad Católica de Chile, Centro Nacional de Excelencia para la Industria
de la Madera (CENAMAD) - ANID BASAL FB210015, Santiago, Chile.

^e Universidad de Magallanes, Departamento de Ciencias Agropecuarias y Acuícolas,
Laboratorio de Ecohidrología, Punta Arenas, Chile.

^f Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Valdivia, Chile.

^g Universidad del Desarrollo, Facultad de Ingeniería, Santiago, Chile.

^h Universidad de Concepción, Departamento de recursos Hídricos, Chillán, Chile.

ⁱ Centro ANID Fondap, Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y Minería (CRHIAM), Concepción, Chile.

^j Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-Chile, Concepción, Chile.

^k Universidad de Concepción, Instituto Milenio de Socioecología Costera (SECOS), Santiago, Chile.

ABSTRACT

Chile, with its broad ecological and geographical diversity, faces environmental challenges that demand an integrated understanding of its ecosystems. We proposed a research approach in which catchments, as the main unit of study, were complemented by observations at different spatial scales (from individuals, plots to catchments). This model was inspired by successful international experiences that demonstrated the relevance of long-term studies and representative sites for the sustainable management of natural resources. We observed that existing efforts (public and private) were often isolated, geographically dispersed, and short in duration. In addition, the lack of methodological standardization and shared databases hindered the scientific and informative use of the information. While there were monitoring site networks in some ecosystems, these operated in a poorly coordinated manner and without a governance center to facilitate their coordination, including the integration of disciplines such as hydrology, ecology, forest sciences, social sciences, and economics—all essential to address complex environmental problems. Given the relevance of climate change in national and global discussions, we proposed a Universal Ecohydrometeorological Monitoring System (SIMUEN). The system was based on hydrometeorological units and was designed with different levels of monitoring (from individuals to catchments), all coordinated under a minimum set of essential variables and standard methodologies. In this way, we sought not only to improve the response to extreme climate events, but also to generate solid scientific foundations for the management and conservation of natural resources, ensuring the well-being of future generations.

Keywords: environmental challenges, multidisciplinary, biodiversity, water, governance.

RESUMEN

Chile, con su amplia diversidad ecológica y geográfica, enfrenta desafíos ambientales que demandan una comprensión integrada de sus ecosistemas. Propusimos un enfoque de investigación donde las cuencas, como unidad principal de estudio, se complementaban con observaciones en distintos niveles de escala (desde el individuo, parcelas hasta cuencas). Este modelo se inspiró en experiencias internacionales exitosas que demostraron la relevancia de estudios prolongados y sitios representativos para la gestión sustentable de

los recursos naturales. Observamos que los esfuerzos existentes (públicos y privados) solían ser puntuales, geográficamente dispersos y de corta duración temporal. Además, la falta de estandarización metodológica y bases de datos compartidas dificultaba el uso científico e informativo de la información. Si bien existían redes de sitios de monitoreo en algunos ecosistemas, éstas operaban de manera poco articulada y sin un centro de gobernanza que facilitara su coordinación, incluyendo la integración de disciplinas como hidrología, ecología, ciencias forestales, ciencias sociales y economía, todas indispensables para abordar problemas ambientales complejos. Dada la relevancia del cambio climático en la discusión nacional y global, propusimos un Sistema de Monitoreo Ecohidrometeorológico Universal (SIMUEN). El sistema se fundamentó en unidades hidrometeorológicas y se planteó con distintos niveles de monitoreo (desde individuos hasta cuencas), todos coordinados bajo un set mínimo de variables esenciales y metodologías estándar. De esta manera, buscamos no solo mejorar la respuesta ante eventos climáticos extremos, sino también generar bases científicas sólidas para la gestión y conservación de los recursos naturales, asegurando el bienestar de las generaciones futuras.

Palabras clave: desafíos ambientales, multidisciplinario, biodiversidad, agua, gobernanza.

INTRODUCCION

Chile se caracteriza por una gran diversidad de vegetación, condiciones edáficas, topográficas, geológicas y climáticas que conforman un laboratorio natural con contrastes geográficos, ecológicos y sociales (Balocchi et al., 2023) frente a una gran gama de desafíos ambientales, desde la conservación de la biodiversidad hasta la gestión sostenible de los recursos naturales y sus servicios ecosistémicos que tienen una componente local pero con implicancias globales (Berasaluce et al., 2021; Sala et al., 2000). Lo anterior ofrece un escenario idóneo para la implementación de estudios de investigación a largo plazo. Un ejemplo con resultados relevantes es la red “*Experimental Forests and Ranges*” del Servicio Forestal de los Estados Unidos (Lugo et al., 2006), la cual demuestra cómo la investigación a largo plazo en sitios representativos genera hallazgos significativos para la conservación de los bosques, la gestión del agua y la adaptación al cambio climático.

Los ecosistemas chilenos han sido afectados por la actividad antrópica, lo que ha generado problemas como la fragmentación de hábitats, la degradación de suelos, la sobreexplotación de recursos y el declive de la biodiversidad (Berasaluce et al., 2021), que se ven agravados por efecto del cambio global (Vitousek, 1994). Así, la observación y monitoreo sistemáticos se vuelven esenciales para caracterizar la magnitud de las alteraciones, además de planificar fondos y orientar políticas públicas de conservación, manejo y restauración de los recursos naturales.

En Chile, existen muchos sitios de interés ecohidrológico que se estudian actualmente como la Reserva Costera Valdiviana (e.g., Lara et al., 2021) o la Senda de Darwin en Chiloé (Pérez-Quezada et al., 2024). También existen algunas Redes Locales de Sitios de Monitoreo Ecológico a Largo Plazo (LTER, por sus siglas en inglés). Por ejemplo, en relación con el bosque nativo chileno, Armesto et al. (1995) y Donoso & Zavaleta (2014) enfatizan la necesidad de contar con series temporales extensas y sitios permanentes de investigación para comprender la dinámica y resiliencia de ecosistemas naturales, pues la respuesta de los ecosistemas no siempre coincide con la duración o intensidad de la perturbación. Desde el punto de vista

hidrológico, existen dos sitios LTER públicamente disponibles (Balocchi et al., 2023). Desde el punto de vista socioambiental (LTSER, Long Term SocioEcological Sites) existen nueve sitios (Frêne et al., 2023). Ambos tipos de sitios de observación son un objeto de investigación, de educación, restauración y conservación. Los datos recolectados (meteorológicos, caudales y otros) permiten establecer modelos, identificar causas y efectos y, en última forma, prever cambios e identificar vías de mitigación, y planificación para la restauración y adaptación.

Chile enfrenta brechas y desafíos en la observación de sitios ecológicos. Se requiere la expansión y fortalecimiento, además de la implementación de estándares de ciencia abierta y colaborativa. Para ello, las comunidades (científicas/locales) deben ser parte del proceso de investigación y del manejo de los recursos naturales (Balocchi et al., 2022). Además, su relación con el medio ambiente es bidireccional: mientras que las acciones humanas afectan el medio ambiente, los cambios en el medio ambiente también impactan a las comunidades (Redman et al., 2004).

En este contexto, proponemos la creación de un Sistema de Monitoreo Universal Ecohidrometeorológico Nacional (SIMUEN), basado en una estructura jerárquica de escalas -desde individuos y parcelas hasta grandes cuencas- que permita integrar e interconectar, de manera modular y optimizada, los distintos proyectos y redes de monitoreo existentes.

PROPUESTA DE SISTEMA DE MONITOREO UNIVERSAL ECOHIDROMETEOROLÓGICO NACIONAL (SIMUEN)

Esta propuesta de investigación compartida y a largo plazo ha tenido precedentes internacionales, como las redes LTER (Jones & Driscoll, 2022; Kingsland et al., 2021), NEON (National Ecological Observatory Network) (NEON, 2023) y la red de Experimental Forests and Ranges del USFS (Adams et al., 2004; Lugo et al., 2006), todas en Estados Unidos, así como la red LTERN en Australia (Turner, 2023),

Para avanzar, es indispensable fortalecer la coordinación entre instituciones y la estandarización de protocolos en torno a variables hidrometeorológicas, ecológicas y sociales.

Objetivos principales

- I Monitoreo a largo plazo: Consolidar una red de sitios con estándares comunes.
- II Ciencia abierta y ciudadana: Incorporar a la comunidad, ya que potencian la transparencia, la inclusión y el impacto social de la investigación.
- III Gestión sostenible: Facilitar la toma de decisiones basada en evidencia.

IV Respuesta a eventos extremos: Mejorar la capacidad de respuesta a eventos climáticos extremos.

ESTRUCTURA JERÁRQUICA Y VARIABLES MÍNIMAS

El SIMUEN se compone de siete niveles jerárquicos de monitoreo (Figura 1), que van desde grandes cuencas (Nivel 1) hasta individuos (Nivel 7). Siguiendo ejemplos de redes internacionales como NEON (2023) y el US LTER

	Foco del monitoreo	Variables sugeridas	
Nivel 1	Cuenca: Monitoreo de grandes regiones que abarque procesos generales de una cuenca completa, incluyendo variabilidad hidrológica, climática, calidad del agua y cambios de uso de suelo	Biofísicas - Precipitación - Temperatura - Caudal cursos de agua - Calidad de agua (indicadores fisicoquímicos básicos) Sociales - Caracterización demográfica - Leyes, planes de ordenación, programas vinculantes	Escala >21,000 km ²
Nivel 2	Subcuenca: Monitoreo de subcuencas dentro de una cuenca principal, enfocándose en procesos más específicos que influyen en el comportamiento de la cuenca principal	Biofísicas - Caudales - Precipitación y temperatura local - Cobertura y cambio de uso de suelo - Parámetros de calidad de agua (pH, conductividad, turbidez) - Índices de vegetación (e.g.; NDVI, EVI) - Variables hidrometeorológicas (temp. del agua, etc.) Sociales - Caracterización de actores locales - Proyectos de desarrollo (infraestructura, riego)	Escala 0.07 a 24,000 km ²
Nivel 3	Subsubcuenca: Monitoreo de grandes ecosistemas o paisajes, analizando la dinámica ecológica y las interacciones entre diferentes componentes del ecosistema. Mayor integración de variables hidrometeorológicas y ecológicas a gran escala.	Biofísicas - Balance hídrico y caudal - Redes pluviométricas de alta resolución - Cobertura detallada (cartografía local) - Estado de vegetación y biodiversidad - Calidad de agua - Especies clave Sociales - Percepción ciudadana/comunitaria - Conflictos socioambientales (denuncias, prensa local) - Participación de organizaciones locales	Escala 0.004 a 14,200 km ²
Nivel 4	Microcuencas de monitoreo: Monitoreo de caudales (y aguas subterráneas) y precipitación, análisis de la dinámica de los ecosistemas a menor escala y evaluación de perturbaciones ecológicas y efectos sobre la calidad del agua.	Biofísicas - Caudal continuo en la salida de la microcuenca - Estaciones meteorológicas (precipitación, temp., HR) - Calidad de agua (pH, conductividad, nutrientes principales) - Caracterización de la vegetación (inventarios locales) - Transectos de suelo y cobertura vegetal Sociales - Uso local del agua (pequeña agricultura, consumo humano) - Percepción comunitaria sobre disponibilidad hídrica - Mecanismos de gobernanza local (juntas de vigilancia)	Escala < 1,000 km ²
Nivel 5	Sitios y/o estaciones de monitoreo: Monitoreo de sitios específicos o estaciones que representan diferentes ecosistemas a menor escala, permitiendo un análisis más detallado de los procesos ecohidrológicos y las perturbaciones locales.	Biofísicas - Datos meteorológicos in situ - Medidas de humedad del suelo - Variables de vegetación (biomasa, composición) - Medición de flujo en manantiales o cursos de agua muy pequeños - Calidad del agua en puntos locales Sociales - Actividades productivas locales - Valoración del ecosistema por actores locales - Conflictos o acuerdos de manejo - Rol de la comunidad en la conservación	Escala m ² a hectáreas
Nivel 6	Unidad muestral: Unidades muestrales de superficie fija donde se realizan experimentos controlados sobre procesos ecohidrológicos específicos.	Biofísicas - Muestreo detallado de vegetación - Monitoreo de humedad del suelo (sensores) - Temperatura del aire/suelo - Ensayos de manipulación - Evapotranspiración - Muestreo de suelos (rizosfera) Sociales - Registro de intervenciones/prácticas de manejo - Participación de comunidades locales - Integración de saberes tradicionales	Escala < 1,000 m ² m ²
Nivel 7	Individuos y pequeñas parcelas: Monitoreo a nivel de individuos o proceso específico, analizando procesos muy particulares como la fotosíntesis, la evapotranspiración de especies y otros procesos ecofisiológicos, y jerarquías respectivas, para evaluar variables a un nivel más detallado.	Biofísicas - Variables de plantas - Incremento individual (DAP, altura, biomasa) - Análisis de savia o flujos internos - Radiación fotosintéticamente activa (PAR) Sociales - Contribución de actores locales - Percepción de valor cultural/medicinal de plantas - Registros de usos tradicionales - Educación ambiental	Escala Individuo o proceso

Figura 1. Propuesta de niveles jerárquicos, descripción, escala y variables mínimas (biofísicas y sociales) del SIMUEN.

Proposal of hierarchical levels, description, scale, and minimum variables (biophysical and social) of SIMUEN.

(Callahan, 1984), se busca unificar criterios en la medición de variables clave como caudal, precipitación, temperatura del aire, cobertura vegetal, uso de suelo, variables edáficas, variables fisicoquímicas del agua, además de componentes sociales y culturales (manejo local, gobernanza del agua, percepción comunitaria, entre otras). Para asegurar la comparabilidad de datos, es aconsejable que los sitios adopten protocolos de instrumentación y capacitación como NEON y USFS Experimental Forests and Ranges, donde el equipamiento, la escala temporal y los procedimientos de muestreo se estandarizan (Adams et al., 2004; Creed et al., 2014; Lugo et al., 2006).

MONITOREO, EXPERIMENTACIÓN Y CIENCIA CIUDADANA

El SIMUEN se centra en la observación sistemática de muchos sitios donde se pueden desarrollar experimentos (por ejemplo, cambios de cobertura forestal, restauración ecológica, fertilización, etc.). Este enfoque experimental es clave en distintas redes (Callahan, 1984; Jones & Nelson, 2021; Kingsland et al., 2021; Arora et al., 2023; Kopp et al., 2023). Se propone aprovechar iniciativas de divulgación y programas de educación ambiental, integrando el conocimiento local y tradicional en los análisis (Redman et al., 2004).

IDEAS DE EXPANSIÓN Y DESARROLLO FUTURO DEL SISTEMA

- **Financiamiento público y privado:** Se propone aumentar la inversión para investigación de largo plazo. Se sugiere la implementación de mecanismos competitivos y de financiamiento basal a través de ANID o consorcios público-privados. Por ejemplo, un “matching fund” podría ser una alternativa interesante, por cada peso público invertido, el sector privado también invierte un peso.
- **Colaboraciones internacionales:** Se propone fortalecer lazos con redes como NEON, USFS Experimental Forests and Ranges, y la US LTER, que han desarrollado protocolos de estandarización y gobernanza (Hobbie et al., 2003; Franklin et al., 1990).
- **Integración con universidades e institutos y la comunidad:** Se propone establecer centros de investigación o núcleos universitarios en diversas zonas ecohidrometeorológicas de Chile, (Adams et al., 2004; Balocchi et al., 2023) e implementar mecanismos de ciencia ciudadana y comités locales de gestión para fortalecer la participación comunitaria.
- **Tecnología y digitalización:** Se propone emplear sensores remotos, drones y plataformas digitales para integrar datos en repositorios ab-

iertos como Ecosistemas Forestales y Agua del Instituto Forestal de Chile (2024), Sistema de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos de Chile (SIMEF) (Ministerio de Agricultura de Chile, 2024), o incluso plataformas internacionales como el Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science (2024) (CUAHSI HydroClient).

- **Diversificación de sitios:** Se debe asegurar que la red cubra diversos ecosistemas, integrando experimentos de restauración, silvicultura y manejo de cuencas y aprovechar la red de Parques Nacionales y Reservas Naturales de Chile.
- **Políticas públicas y gobernanza:** Se propone crear un órgano coordinador responsable de la gestión de la red SIMUEN y que asegure su sostenibilidad financiera a largo plazo.
- **Formación de capacidades:** Se debe fomentar programas de posgrado y capacitación en monitoreo ambiental y ciencia de datos, expandiéndolos a instituciones de educación escolar y la comunidad.

ELEMENTOS DE GOBERNANZA Y FACTIBILIDAD

La experiencia internacional muestra que sin un marco de gobernanza claro y mecanismos de financiamiento estable, la iniciativa puede fragmentarse. Para el éxito del SIMUEN se propone:

- La creación de un consorcio o secretaría técnica permanente, integrado por instituciones públicas y privadas.
- La estandarización de metodologías y promover para la medición de variables mínimas compartidas, de manera similar al protocolo de NEON (NEON, 2023).
- Propuesta de fases de implementación:
 1. Fase Piloto (1-2 años): Selección de sitios existentes con protocolos homogéneos.
 2. Fase de Expansión (3-5 años): Incorporación gradual de sitios, con financiamiento basal y cofinanciamiento.
 3. Fase de Consolidación (5-10 años): Creación de un repositorio de datos integrado y abierto, con informes periódicos y capacitación continua.
- Compromiso con la apertura de datos y la ciencia abierta, propiciando que la comunidad científica y las autoridades tengan acceso a información abierta, actualizada y sistemática (Jones & Driscoll, 2022).

Se proponen cuatro grandes temas de investigación: (1) gestión hídrica y eventos extremos para asegurar recursos hídricos y responder a sequías o inundaciones;

(2) la biodiversidad y la resiliencia de los ecosistemas, clave para conservar especies y procesos ecológicos, incluyendo el suelo, ante perturbaciones crecientes; (3) dimensión socio-ecológica y gobernanza; y (4) cambio climático y las soluciones basadas en la naturaleza. Estos temas permiten un monitoreo holístico y de largo plazo, integrando datos biofísicos y sociales para la toma de decisiones.

CONCLUSIÓN

El SIMUEN en Chile ofrece una oportunidad única para integrar disciplinas científicas, comunidades locales y tomadores de decisiones en un espacio colaborativo de monitoreo a largo plazo. Al unificar criterios, metodologías y plataformas de datos, y contemplar componentes sociales y experimentos diversos, el SIMUEN mejoraría la respuesta frente a eventos extremos y los impactos del cambio global, brindando información clave para la toma de decisiones en conservación y uso sostenible de los recursos naturales.

El SIMUEN podría posicionar a Chile como líder en la investigación ecohidrológica de largo plazo en América Latina.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

FB concepción y redacción del borrador inicial, CSE redacción, corrección y revisión del manuscrito, MPF, PH-F, GO, AI, DR, JLA y RO redacción y edición del manuscrito.

AGRADECIMIENTOS

MPF agradece al proyecto “Decision Support for the Supply of Ecosystem Services under Global Change”, DecisionES, H2020-MSCA-RISE-2020, grant ID:101007950. PH-F agradece al proyecto ANID “Subvención a la Instalación en la Academia, 2022 N° 85220121”. FB y AI agradecen al proyecto Fondecyt Regular 1240314 “Forest fires induced changes in water and sediment connectivity and routing in forested catchments”.

FINANCIAMIENTO

Proyectos “Decision Support for the Supply of Ecosystem Services under Global Change, DecisionES, H2020-MSCA-RISE-2020, grant ID:101007950”, ANID “Subvención a la Instalación en la Academia, 2022 N° 85220121” y Fondecyt Regular “1240314 Forest fires induced changes in water and sediment connectivity and routing in forested catchments”.

REFERENCIAS

Adams, M.B., Loughry, L., & Plaugher, L. 2004. Experimental Forests and Ranges of the USDA Forest Service. General Technical Report NE-321, Northeastern Research Station, USDA Forest Service.

Armesto J. J. 1995. Fundamentos y necesidades para un programa de estudios de largo plazo de ecología en Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 68, 5–11. http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1995/1/Editorial_1995a.pdf

Arora, B., Kuppel, S., Wellen, C., Oswald, C., Groh, J., Payandi-Rolland, D., Stegen, J. and Coffinet, S., 2023. Building Cross-Site and Cross-Network collaborations in critical zone science. *Journal of Hydrology*, 618, p.129248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129248>

Balocchi, F., Galleguillos, M., Rivera, D., Stehr, A., Arumi, J.L., Pizarro, R., Garcia-Chevesich, P., Iroumé, A., Armesto, J.J., Hervé-Fernández, P., Oyarzún, C., Barria, P., Little, C., Mancilla, G., Yezpe, S., Rodríguez, R., White, D., Silberstein, R., Neary, D., and Ramirez de Arellano, P. 2023. Forest hydrology in Chile: Past, present, and future. *Journal of Hydrology*, 616, p.128681. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128681>

Balocchi, F., Arumi, J.L., & Iroumé, A. 2022. Inter-institutional cooperation to develop a new forest hydrological approach to support sustainable forestry in Chile. *Bosque*, 43(2), 95–99. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002022000200095>

Berasaluce, M., Diaz-Sieffer, P., Rodríguez-Díaz, P., Mena-Carascos, M., Ibarra, J.T., Celis-Díez, J.L., & Mondaca, P. 2021. Social-Environmental Conflicts in Chile: Is There Any Potential for an Ecological Constitution? *Sustainability*, 13, 12701. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132212701>

Callahan, J.T. 1984. Long-term ecological research. *BioScience*, 34(6), 363–367. DOI: <https://doi.org/10.2307/1309727>

Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science. (2024). CUAHSI HydroClient. Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science. <https://www.cuahsi.org/>

Creed, I.F., Spargo, A.T., Jones, J.A., Buttle, J.M., Adams, M.B., Beall, F.D., Booth, E., Campbell, J., Clow, D., Elder, K., Green, M., Grimm, N., Miniati, C., Ramlal, P., Saha, A., Sebestyen, S., Spittlehouse, D., Sterling, S., Williams, M., Winkler, R. & Yao, H. (2014). Changing forest water yields in response to climate warming: Results from long-term experimental watershed sites across North America. *Global Change Biology*, 20(10), 3191–3208. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12615>

Donoso, P.J. & Zavaleta, J.C., 2014. Preliminary proposal to incorporate new sites for long-term socio-ecological research into the Chilean Itser network. *Revista Bosque*, 35(3), 459–465. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002014000300021>

Franklin, J.F., Bledsoe, C.S., & Callahan, J.T. 1990. Contributions of the long-term ecological research program. *BioScience*, 40(7), 509–523. DOI: <https://doi.org/10.2307/1311319>

Frêne, C., Armesto, J.J., Nespolo, R.F., Gaxiola, A., Navarrete, S.A., Troncoso, A., Muñoz, A. and Corcuera, L.J., 2023. Chilean long-term Socio-Ecological Research Network: progress and challenges towards improving stewardship of unique ecosystems: Red Chilena de Investigación Socio-Ecológica de Largo Plazo: Avances y desafíos para el manejo responsable de ecosistemas únicos. *Revista Chilena de Historia Natural*, 96(1). DOI: <https://doi.org/10.1186/s40693-023-00114-4>

Hobbie, J.E., Carpenter, S.R., Grimm, N.B., Gosz, J.R., & Seastedt, T.R. 2003. The US long term ecological research program. *BioScience*, 53(1), 21–32. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0021:TULTER\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0021:TULTER]2.0.CO;2)

Instituto Forestal de Chile. (2024). Ecosistemas Forestales y Agua. Instituto Forestal de Chile. <https://bosquesyagua.infor.cl/>

- Jones, J. & Nelson, M.P. 2021. Long-term dynamics of the LTER program: Evolving definitions and composition. En Waide, R. B., & Kingsland, S. E. (Eds.), *The Challenges of Long Term Ecological Research: A Historical Analysis* (pp. 55–79). Springer.
- Jones, J.A. y Driscoll, C.T. 2022. Long-term ecological research on ecosystem responses to climate change. *BioScience*, 72(9), 814–826. DOI: <https://doi.org/10.1093/biosci/biac021>
- Kingsland, S.E., Franklin, J.F., & Waide, R.B. 2021. The Origins, Early Aspects, and Development of the Long Term Ecological Research Program. En Waide, R. B., & Kingsland, S. E. (Eds.), *The challenges of long term ecological research: A historical analysis* (pp. 23-54). Springer.
- Kopp, M., Alving, D., Blackman, T., Kaye, M., Duncan, J., & Kaye, J. 2023. Critical zone perspectives for managing changing forests. *Forest Ecology and Management*, 528, 120627. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120627>
- Lara, A., Jones, J., Little, C., & Vergara, N. 2021. Streamflow response to native forest restoration in former Eucalyptus plantations in south central Chile. *Hydrological Processes*, 35(8), e14270. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.14270>
- Lugo, A.E., Swanson, F.J., González, O.R., Adams, M.B., Palik, B., Thill, R.E., Brockway, D.G., Kern, C., Woodsmith, R. and Musselman, R., 2006. Long-term research at the USDA Forest Service's Experimental Forests and Ranges. *BioScience*, 56(1), 39-48. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)056\[0039:LRATUF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)056[0039:LRATUF]2.0.CO;2)
- Ministerio de Agricultura de Chile. (2024). Sistema de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos de Chile (SIMEF).
- Ministerio de Agricultura de Chile. <https://simef.minagri.gob.cl/>
- NEON 2023. About National Ecological Observatory Network. <https://www.neonscience.org/> (Consultado: marzo 05, 2024)
- Perez-Quezada, J.F., Trejo, D., Lopatin, J., Aguilera, D., Osborne, B., Galleguillos, M., Zattera, L., Celis-Diez, J.L. and Armesto, J.J., 2024. Comparison of carbon and water fluxes and the drivers of ecosystem water use efficiency in a temperate rainforest and a peatland in southern South America. *Biogeosciences*, 21(5), 1371-1389. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-21-1371-2024>
- Redman, C.L., Grove, J.M., & Kuby, L.H. 2004. Integrating social science into the long-term ecological research (LTER) network: social dimensions of ecological change and ecological dimensions of social change. *Ecosystems*, 7, 161–171. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10021-003-0215-z>
- Sala, O.E., Stuart Chapin, F.I.I.I., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A. and Leemans, R., 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287(5459), 1770-1774. DOI: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.287.5459.1770>
- Turner, J. 2023. Perspectives: long term forest ecosystem studies in Eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 549, 121456. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121456>
- Vitousek, P. M. 1994. Beyond Global Warming: Ecology and Global Change. *Ecology*, 75(7), 1861–1876. DOI: <https://doi.org/10.2307/1941591>

Recibido: 15.08.2024

Aceptado: 12.04.2025