

OPINIONES

Monitoreo permanente de bosques naturales en las áreas silvestres protegidas de Chile: una necesidad urgente.

Permanent monitoring of native forests in the protected areas of Chile:
an urgent need.

Christian Salas-Eljatib^{a,b,c,*}, Rodrigo Vargas-Gaete^{d,e}, Daniel P Soto^f, Pablo J Donoso^g

* Autor de correspondencia: ^a Universidad Mayor, Escuela de Ingeniería Forestal, Centro de Modelación y Monitoreo de Ecosistemas, Santiago, Chile, cseljatib@gmail.com.

^b Universidad de La Frontera, Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Temuco, Chile.

^c Universidad de Chile, Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza, Santiago, Chile.

^d Universidad de La Frontera, Departamento de Ciencias Forestales, Laboratorio de Ecosistemas y Bosques (EcoBos), Temuco, Chile.

^e Centro Nacional de Excelencia para la Industria de La Madera (CENAMAD), Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

^f Universidad de Aysén, Departamento de Ciencias Naturales y Tecnología, Coyhaique, Chile.

^g Universidad Austral de Chile, Instituto de Bosques y Sociedad, Valdivia, Chile.

ABSTRACT

Forest dynamics describe the change in structure and composition of forests over time, and is mainly driven by forest growth, a process resulting from size increase and mortality of trees, and recruitment of new individuals. An understanding of forest growth is essential for decision-making and research. An appropriate characterization of growth is only possible through the remeasurement of permanent sample plots over time. Although Chile has a continuous forest inventory system, it has several deficiencies which prevent the effective study of forest growth, mainly because it focuses on stand-level variables and stock estimates but lacks data for individual trees. Furthermore, access to the raw data is limited. In addition, maintaining long-term monitoring of plots to evaluate growth is difficult because of budget restrictions. These combined factors jeopardize the provision of key information regarding native forest dynamics and growth. We propose the establishment of a network of permanent sample plots in the Chilean National System of Protected Areas. Finally, we discuss a monitoring system based on this network by highlighting the advantages in terms of research, dissemination, outreach, and the ease of adding non-woody attributes.

Keywords: forest dynamics, increment, mortality, recruitment, diversity.

RESUMEN

La dinámica de los bosques se refiere al cambio en su estructura y composición en el tiempo, gobernado por su crecimiento, el cual es resultado de los procesos de incremento en tamaño, mortalidad de árboles y reclutamiento de nuevos individuos. Conocer el crecimiento de un bosque es esencial para la toma de decisiones de manejo y en investigación. Una apropiada caracterización del crecimiento de los bosques sólo es posible mediante la remediación de unidades de muestreo permanente en el tiempo. Aunque Chile tiene un sistema de inventario continuo, este posee una serie de deficiencias para el estudio efectivo del crecimiento de bosques; ya que posee un enfoque a nivel de rodal, pero no a nivel individual, y el acceso a los datos crudos es escaso. Por otro lado, los esfuerzos científicos son complejos de mantener en el largo plazo debido a las restricciones presupuestarias. Todo lo anterior configura un escenario adverso para proveer información clave y necesaria respecto al crecimiento de los ecosistemas forestales nativos. En el presente trabajo se propone el establecimiento de una red de unidades de muestreo permanente en bosques del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado de Chile. Finalmente, se discute un sistema de monitoreo basado en esta red, destacando las ventajas en términos de investigación, difusión y extensión, así como la facilidad que ofrece para agregar atributos no arbóreos.

Palabras clave: dinámica de bosques, incremento, mortalidad, reclutamiento, diversidad.

INTRODUCCIÓN

La dinámica de los bosques se refiere al cambio de la estructura y composición de éstos en el tiempo. Este cambio está dado por el crecimiento de los bosques, determinado por el incremento en tamaño de los árboles, la mortalidad, y el reclutamiento, o ingreso, de nuevos individuos. La cuantificación de estos procesos, permite no tan solo una mejor comprensión del funcionamiento de un ecosistema forestal, sino que también conocer los niveles de extracción máximos adecuados para el manejo sustentable, ya sea manejo coetáneo (extracción creciente en el tiempo hasta la cosecha final) o multietáneo (recuperación del volumen, o biomasa, cosechado a través de sucesivos ciclos de corta), y evitar que no se degraden o transformen en bosques con una limitada generación de bienes y servicios (Vásquez-Grandón *et al.* 2018, Soto y Puettmann 2020). Si bien existen metodologías que permiten evaluar el crecimiento a nivel individual, *e.g.* la extracción de tarugos de incremento o el análisis fustal (Salas-Eljatib 2021), la única alternativa efectiva de medición del crecimiento de un bosque es mediante la evaluación en el tiempo de unidades de muestreo permanente (UMP) donde cada árbol es enumerado y monitoreado. Por lo tanto, esto implica un estudio longitudinal, es decir, donde los individuos dentro de una UMP deben ser remedidos en el tiempo, con tal de evaluar los cambios en distintos atributos de interés. Bajo ese enfoque, las UMPs son fundamentales para cuantificar los procesos de mortalidad y reclutamiento, ambos, motores centrales de la dinámica de bosques (Franklin *et al.* 1987).

Es indudable el notable conocimiento sobre dinámica y autoecología de especies arbóreas que existe sobre los bosques nativos de Chile y Argentina, por ejemplo, refrendado en libros fundacionales como Donoso (1994, 1995, 2006), Armesto *et al.* (1995) y Veblen *et al.* (1996). Sin embargo, el conocimiento sobre la dinámica de estos bosques está fuertemente basado en el supuesto de cronosecuencia (*i.e.* sustituir espacio por tiempo), lo cual efectivamente ha permitido identificar patrones en la dinámica de bosques, pero también ha recibido diversas críticas en ecología (Johnson y Miyanishi 2008, Damgaard 2019). Por ejemplo, se ha demostrado que la trayectoria de variables de estado de bosques (*e.g.* densidad y área basal), pueden ser muy diferentes, incluso creciendo en lugares geográficos similares (Norden *et al.* 2015). Esto realza la gran incertidumbre que existe en las proyecciones del crecimiento de bosques, lo cual se acentúa aún más en el contexto actual de cambio climático. Consecuentemente, contar con estudios de largo plazo en UMPs es un pilar fundamental para la conservación y manejo de los ecosistemas forestales.

En Chile la disponibilidad de mediciones en UMP es sumamente limitada. El Estado de Chile, a través del Instituto Forestal (INFOR) lleva a cabo un sistema de inventario continuo con el objetivo de proveer estimaciones de variables de estado de bosques, para poder contar con una

idea del “stock”. Para esto INFOR realiza un modelo de muestreo sistemático en conglomerados a lo largo de todo el país, muestreando todo tipo de bosques nativos. No obstante lo anterior, el muestreo que se lleva a cabo no permite un análisis detallado del crecimiento de bosques, ya que por ejemplo, los árboles no se marcan, y no se re-visitan las mismas unidades muestrales, sino que solo algunas. En este contexto es clave aclarar que, dado que el mandato de INFOR es hacia el stock de los recursos forestales, la aproximación empleada es apropiada. Sin embargo, cuando el interés radica en responder preguntas más específicas sobre dinámica de bosques, relacionadas a patrones de crecimiento y mortalidad a nivel de individuos y por especie, este tipo de mediciones tiene fuertes limitaciones.

Datos provenientes de UMPs en bosques nativos son también escasos en investigación. Lara *et al.* (2000) compilaron los ensayos permanentes en bosque nativo de Chile, sin embargo, los datos disponibles de estos fueron sumamente escasos. Si bien existen iniciativas científicas, que mediante la articulación de proyectos financiados por el programa Fondecyt y Fondef de ANID (Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo), han permitido establecer UMPs, la sustentabilidad del monitoreo permanente está altamente amenazada por dos motivos: a) la corta duración de estos proyectos (máximo cuatro años) dificulta detectar procesos como la mortalidad de árboles o cambios generales en la dirección sucesional debido a perturbaciones, y b) en general no se fomenta el monitorear las mismas UMPs, debiendo cambiar de temáticas o tópicos para hacer atractivas las propuestas y así obtener nuevos financiamientos. Si bien se han propuesto una serie de sitios de estudio en Chile para que sean parte de la red LTSER (“Long-Term Socio-Ecological Research”) (Donoso y Zavaleta 2014), en donde se realiza un monitoreo activo, a la fecha estos son solo nueve (Frene *et al.* 2023). Con esto, no se logra cubrir la necesidad de contar con datos de diferentes tipos de bosques y condiciones de sitio. Esto es esperado, ya que el espíritu de LTSER es también otro, más orientado a generar un estudio de largo plazo en sitios de interés específicos. Todo lo anterior obedece a un patrón: que la investigación en ecología forestal se ha apoyado financieramente para periodos cortos de tiempo y en lugares específicos (Callahan 1984). Además, es clave destacar que cada sitio con UMPs debe contar con financiamiento propio y con objetivos sectoriales a nivel regional.

Dadas las dificultades enunciadas respecto a estudios longitudinales en bosques naturales en Chile, y debido que un sistema a nivel país resulta un ejercicio monetariamente muy difícil de alcanzar, el objetivo del presente trabajo es sugerir un sistema de muestreo permanente del crecimiento de los bosques naturales centrado en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) de Chile. Para cumplir este objetivo, en este artículo se proveen definiciones y conceptos, se entregan aspectos metodológicos mínimos, y se destacan las ventajas y potencialidades futuras del monitoreo propuesto.

DESARROLLO Y SUGERENCIAS

Conceptualización. Aunque intuitivamente se entienden algunos de los términos empleados, se cree importante reafirmar algunos conceptos. Un atributo de un elemento de una población en estadística se le conoce como variable. El *crecimiento* para una variable de estado Y , ya sea a nivel de árbol, plántula, o bosque, requiere su medición en un tiempo t , es decir, Y_t (Salas-Eljatib *et al.* 2021). Variables de estado de interés pueden ser continuas, como la biomasa y el carbono, pero también pueden ser categóricas, como la especie, o si ocurrió la mortalidad de un individuo en un periodo de tiempo $\Delta t = t - t_0$, donde t_0 es el tiempo inicial del periodo. Para calcular una *tasa de crecimiento*, por ejemplo $\Delta Y / \Delta t$, es necesario contar no tan solo con y_t , sino también con esta variable al inicio del periodo, *i.e.* y_0 , ya que el *incremento* ΔY se define por la diferencia $Y_t - Y_0$. Dada la definición anterior, sólo con al menos dos mediciones en el tiempo es posible calcular una tasa de crecimiento o de cambio.

La medición de una variable en el tiempo para un elemento de la población da origen a un estudio longitudinal. En este tipo de estudios, se da una estructura jerárquica que es natural en cualquier ecosistema forestal. Por ejemplo, existen árboles que se encuentran dentro de una UMP que se ha medido en distintos tiempos. Además, esta UMP se establece dentro de un rodal que corresponde a una unidad geográfica vegetacional con cierta homogeneidad en estructura y composición, que es parte de un bosque, en un sitio específico. Esta estructura de datos, por cierto, permite análisis a distintas escalas, pero hace necesario considerarla al momento de establecer modelos estadísticos que den pie a estos análisis. Los datos longitudinales, permiten entonces contar con una serie de tiempo para el elemento muestral medido. Esto implica, por ejemplo, que no solo se puede conocer el cambio del diámetro de un árbol dentro de una parcela, sino que también la densidad de la regeneración en cada una de las subparcelas que se midieron dentro de una UMP.

Propuesta metodológica. En cada unidad del SNASPE, se propone establecer como mínimo entre tres a cinco UMP para cada tipo forestal (Donoso 1981) contenido en ella. Indudablemente, también se podrían aplicar otras metodologías para seleccionar los ecosistemas forestales a muestrear, como por ejemplo la aplicada por Pliscoff y Fuentes-Castillo (2011). La distribución y selección de rodales, así como otros aspectos más técnicos, están fuera del propósito del presente trabajo, pero pueden fundamentarse en aspectos estadísticos (Gregoire y Valentine 2008) y del plan de manejo de la propia unidad. Se propone el uso de UMP de superficie fija de al menos 1.000 m², en donde se registren todos los individuos vivos y muertos en pie, con un diámetro a la altura del pecho (d) mayor o igual a 5 cm. Cada árbol se marca mediante pintura o una etiqueta metálica (o de otro material duradero) con su

correspondiente número, y una cinta de pintura que indica dónde se debe posicionar la huincha diamétrica para la medición del d . Las variables a registrar en todos los individuos pueden ser las clásicas (*e.g.* especie, dominancia) y otras más específicas se miden solo en una submuestra de estos (*e.g.* altura total y de comienzo de copa). Aquellos individuos que no alcanzan las dimensiones de árboles se miden en parcelas de regeneración, o subparcelas, distribuidas dentro de la UMP. Además, se propone medir la ubicación espacial de cada uno de los árboles y cuantificar las especies vasculares. Además, se pueden registrar una serie de otras características, como por ejemplo el material leñoso muerto y características edáficas, sin embargo, las de árboles, regeneración, y cobertura de especies vasculares constituyen la base mínima sobre la cual se puede agregar más información.

Cada unidad de muestreo permite el acoplamiento futuro de capas de información. Si bien el enfoque propuesto tiene su base en el componente arbóreo, ya que se implementa en ecosistemas forestales, permite fácilmente agregar otros componentes bióticos y abióticos a ser monitoreados. Dentro de los primeros está la fauna (especialmente mamíferos y aves), insectos y hongos; y de los segundos, variables edáficas y climáticas. El monitoreo del suelo y del clima debe ser una parte esencial del sistema de monitoreo propuesto, para así emplear esta información en el entendimiento de los efectos del cambio climático en la dinámica de los bosques. Dependiendo del nivel de complejidad que se le quiera o pueda otorgar al sistema, se pueden implementar diferentes enfoques. Por ejemplo, Rozzi *et al.* (1994) proponen un enfoque jerárquico de atributos (*i.e.* composición, estructura y función) y niveles de organización (*i.e.* genético, población, comunidad-ecosistema, paisaje) para el análisis de la biodiversidad en los bosques nativos, que podría servir de referencia al respecto.

El sistema de monitoreo propuesto estará basado en los datos recolectados en la red de UMPs. Este sistema deberá partir en base a claros protocolos de establecimiento, medición y remediación. Respecto a la caracterización de cada UMP, se deben definir claramente los modelos dendrométricos empleados para la estimación de variables a nivel individual y agregado (*e.g.* índices de diversidad). El sistema, además del reporte formal de metodología de procesamiento y resultados, alojará los datos bases medidos a cada nivel de detalle (*e.g.* árbol, regeneración, plantas vasculares) dentro de la UMP. Estos datos estarán disponibles en formatos simples de archivos, que permitirán su libre uso.

El sistema de muestreo que se propone en unidades del SNASPE, estará siempre bajo la protección del Estado. De esta forma, se evitaría el perder cualquier esfuerzo que se podría suscitar al establecer una UMP en un terreno privado. Según la experiencia de los autores, no es aislado observar que aunque al momento del establecimiento un propietario pueda estar comprometido con la conservación y mantención del bosque, luego de pasado un periodo de tiempo, las necesidades personales, las condiciones del

mercado, y otros factores hacen que la propiedad se pueda vender, e incluso pudiendo cambiar su uso del suelo. De esta forma entonces, se asegura el fundamental propósito de largo plazo de este tipo de estudios, así como un cuidado constante en el tiempo, ya que las unidades del SNASPE cuentan con personal que patrulla constantemente y así contribuye a su potencial mantención en el largo plazo.

El sistema de monitoreo propuesto tiene una serie de ventajas. Además de la propiedad del terreno donde se establecen las UMPs y el personal que colabora en el cuidado de estas, existen otras ventajas entre las cuales destacan:

- (a) contribuir a la difusión del conocimiento al poder ser visitadas por diversos actores, como propietarios, políticos, estudiantes, científicos, turistas, entre otros;
- (b) fomentar la colaboración entre instituciones y personas (e.g. ir agregando capas de datos de diferentes disciplinas);
- (c) integrarse a esfuerzos internacionales que se llevan a cabo hoy en día;
- (d) proveer bases cuantitativas de dinámica de bosques para el desarrollo de análisis multidisciplinarios;
- (e) estandarizar la toma de datos en áreas protegidas, contribuyendo con información para la toma de decisiones desde el Estado a los distintos territorios y sus complejidades (ambientales y socioculturales), y
- (f) contribuir a la transparencia en el uso de datos para fines científicos que puedan contribuir a la toma de decisiones estratégicas desde el Estado.

Para llevar a cabo la implementación del sistema de monitoreo propuesto, existen diferentes aproximaciones, sin embargo, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), actual garante del Estado en el resguardo del SNASPE de Chile, ya ha articulado esfuerzos metodológicos semejantes en envergadura. Por ejemplo, la CONAF mandató a un investigador destacado en el área de geomática de la Universidad Austral de Chile a coordinar el monitoreo de la superficie de bosques nativos de Chile, llamado “Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile”, el cual se ha llevado a cabo exitosamente por los últimos 20 años. Otras implementaciones de esfuerzos de mayor envergadura, pero similares al aquí propuesto, se han desarrollado en Alemania, China, Estados Unidos y México (LaBau *et al.* 2007, Zhao *et al.* 2014).

Se debe continuar la remediación de estas unidades, independiente de los avances tecnológicos. En la actualidad existen alternativas remotas que permiten caracterizar bosques (e.g. basadas en sensores LiDAR) en inventarios forestales, donde se mezclan mediciones de terreno y otras derivadas de sensores remotos, para realizar estimaciones de variables de estado y así caracterizar los stocks. Sin embargo, el sistema propuesto no es de un inventario, sino que busca proveer datos bases con los cuales incluso en el futuro se puedan validar alternativas metodológicas com-

binadas. Es por esto que la premisa es siempre medir en terreno cada uno de los individuos muestreados en la UMP, es decir, mantener la remediación en terreno. Esto, pese a que implica mantener un sistema de mayor costo que uno remoto es, sin embargo, algo urgente. Por ejemplo, Pelz y Kohnle (2012) indican que las UMPs establecidas en Alemania en el siglo XIX se continúan remediando en la actualidad. La permanente colecta de datos a nivel individual en terreno debe ser mandatorio, a pesar de los implacables avances tecnológicos.

Finalmente, si bien lo propuesto se centra en bosques del SNASPE, esto podría corresponder a una primera etapa, y se podría extender también a áreas silvestres protegidas privadas legalmente reconocidas en Chile, como también a santuarios de la naturaleza, y a predios de propiedad pública de interés, como por ejemplo aquellos administrados por el Ministerio de Bienes Nacionales. De la misma forma, la idea general de monitoreo permanente en áreas protegidas puede ser extendida a otras formaciones vegetales distintas a los bosques, como las xerofíticas. En cualquier caso, el sistema de monitoreo propuesto requiere el compromiso presupuestario permanente del Gobierno de Chile para asegurar la mantención en el tiempo de este.

CONCLUSIONES

Un sistema de monitoreo permanente de bosques naturales es parte de la infraestructura mínima de datos que un país debería tener, considerando que estos ecosistemas proveen bienes y servicios críticos en un mundo sujeto al cambio global. Se propone basar este monitoreo en bosques del SNASPE, con los beneficios asociados que esto conlleva; (a) propiedad del terreno, (b) cuidado permanente, y (c) proveer una plataforma ideal para la investigación e innovación multidisciplinaria. Además, el análisis de los datos que emanen desde este sistema de monitoreo podría contribuir en diversos aspectos, tanto científicos, de manejo para adaptación a cambios globales, así como de educación ambiental y difusión.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

CS-E concibió la idea y preparó el primer borrador. CS-E, RV-G, DPS y PJD revisaron y escribieron el manuscrito.

REFERENCIAS

- Armesto 1990. Estudios a largo plazo: una prioridad para la investigación ecológica de hoy. *Revista Chilena de Historia Natural* 63:7-9.
- Armesto J, C Villagrán, MK Arroyo (Eds). 1995. *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 469 p.
- Callahan JT. 1984. Long-term ecological research. *BioScience* 34(6): 363-367. DOI: <https://doi.org/10.2307/1309727>
- Damgaard C. 2019. A critique of the space-for-time substitution practice in community ecology. *Trends in Ecology and*

- Evolution* 34(5): 416-421. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.01.013>
- Donoso C. 1981. Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Investigación y Desarrollo Forestal (CONAF/PNUD/FAO), Documento de Trabajo N°. 38 (Publicación FAO), Santiago, Chile. 82 p.
- Donoso C. 1994. Ecología Forestal. El Bosque y su Medio Ambiente. 4ta edición. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 369 p.
- Donoso C. 1995. Bosques templados de Chile y Argentina: Variación, estructura y dinámica. 3ra edición. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 484 p.
- Donoso C (Ed). 2006. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Valdivia, Chile. Marisa Cuneo Ediciones. 678 p.
- Donoso PJ, JC Zavaleta. 2014. Propuesta preliminar de incorporación de nuevos sitios de investigaciones socio-ecológicas de largo plazo en la Red LTSER de Chile. *Bosque* 35(3): 459-465. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002014000300021>.
- Gregoire TG, HT Valentine. 2008. Sampling Strategies for Natural Resources and the Environment. New York, USA. Chapman & Hall/CRC. 474 p.
- Franklin JF, HH Shugart, ME Harmon. 1987. Tree death as an ecological process. *BioScience* 37(8): 550-556. DOI: <https://doi.org/10.2307/1310665>
- Frêne C, JJ Armesto, RF Nespolo, A Gaxiola, SA Navarrete, A Troncoso, A Muñoz, LJ Corcuera. 2023. Chilean long-term Socio-Ecological Research Network: progresses and challenges towards improving stewardship of unique ecosystems. *Revista Chilena de Historia Natural* 96:1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40693-023-00114-4>
- Johnson EA, K Miyanishi. 2008. Testing the assumptions of chronosequences in succession. *Ecology Letters* 11(5): 419-431. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01173.x>
- LaBau VJ, JT Bones, NP Kingsley, HG Lund, WB Smith. 2007. A history of the forest survey in the United States: 1830 - 2004. FS-877. Washington, DC, USA. Department of Agriculture, Forest Service. 82 p.
- Lara A, C Echeverría, C Donoso. 2000. Guía de Ensayos Silviculturales Permanentes en los Bosques Nativos de Chile. Santiago, Chile. LOM Ediciones. 244 p.
- Norden N, HA Angarita, F Bongers, M Martínez-Ramos, I Granzow-de la Cerda, M van Breugel, E Lebrija-Trejos, JA Meave, J Vandermeer, GB Williamson, B Finegan, R Mesquita, RL Chazdon. 2015. Successional dynamics in Neotropical forests are as uncertain as they are predictable. *PNAS* 112(26): 8013-8018. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1500403112>
- Pliscoff P, T Fuentes-Castillo. 2011. Representativeness of terrestrial ecosystems in Chile's protected area system. *Environmental Conservation* 38 (3): 303-311. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0376892911000208>
- Pelz DR, U Kohnle. 2012. Forest observational studies in Germany. In: Zhao XH, Zhang CY, Gadow K eds. Forest Observational Studies. Proceedings of an International Workshop at Beijing Forestry University. p. 109-124.
- Rozzi R, JJ Armesto, J Figueroa. 1994. Biodiversidad y conservación de los bosques nativos de Chile: una aproximación jerárquica. *Bosque* 15(2): 55-64. DOI: <https://doi.org/10.4206/bosque.1994.v15n2-09>
- Salas-Eljatib C, AR Weiskittel. 2020. On studying the patterns of individual-based tree mortality in natural forests: a modelling analysis. *Forest Ecology and Management* 475: 118369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118369>
- Salas-Eljatib C. 2021. A new algorithm for reconstructing tree height growth with stem analysis data. *Methods in Ecology and Evolution* 12(10): 2008-2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13616>
- Salas-Eljatib C, L Mehtatalo, TG Gregoire, DP Soto, R Vargas-Gaete. 2021. Growth equations in forest research: mathematical basis and model similarities. *Current Forestry Reports* 7(4): 230-244. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00145-8>
- Soto DP, KJ Puettmann. 2020. Merging multiple equilibrium models and adaptive cycle theory in forest ecosystems: implications for managing succession. *Current Forestry Reports* 6(4): 282-293. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00128-1>.
- Vásquez-Grandón A, PJ Donoso, V Gerding. 2018. Forest degradation: when is a forest degraded? *Forests* 9: 726. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9110726>.
- Veblen TT, RS Hill, J Read (Eds). 1996. The Ecology and Biogeography of *Nothofagus* Forests. New Haven, USA. Yale University Press. 428 p.
- Zhao X, J Corral-Rivas, C Zhang, H Temesgen, K Gadow. 2014. Forest observational studies-an essential infrastructure for sustainable use of natural resources. *Forest Ecosystems* 1:8. DOI: <https://doi.org/10.1186/2197-5620-1-8>

Recibido: 29.09.22

Aceptado: 16.12.22

