

Incendios forestales e invasión de *Pinus radiata*: una doble amenaza para el ruil (*Nothofagus alessandrii*), especie en peligro de extinción

Autores/a:

- **Claudia Leal Medina**, estudiante de doctorado Universidad de Friburgo, Alemania; Escuela de Graduados, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- **Mauro E. González**, académico de la Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales de la Universidad Austral de Chile e Investigador del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2)
- **Mauricio Galleguillos**, académico de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Adolfo Ibáñez e investigador CR2
- **Javier Lopatín**, académico de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Adolfo Ibáñez e investigador CR2
- **Rocío Urrutia-Jalabert**, Investigadora Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad de La Frontera e investigadora CR2

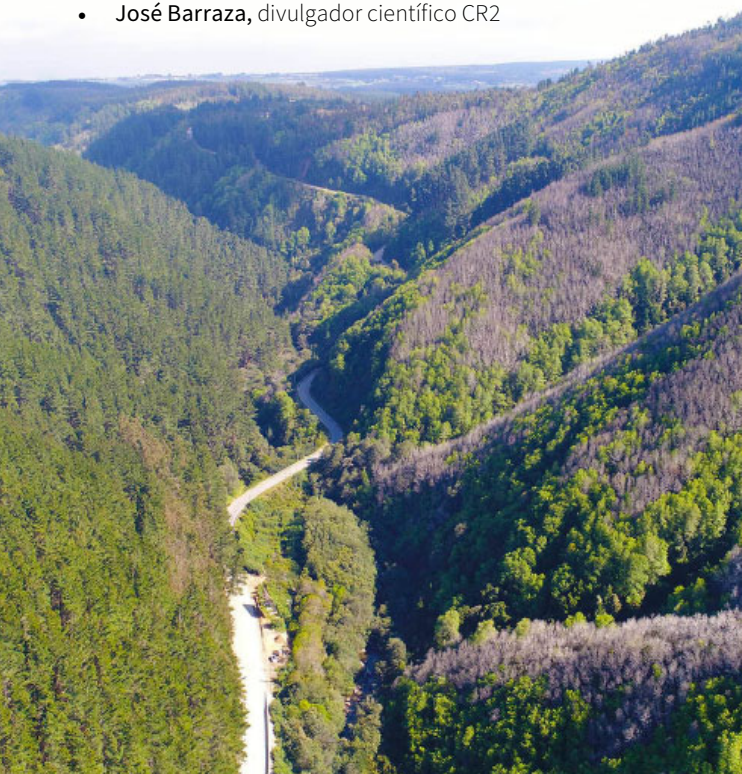
Edición:

- **José Barraza**, divulgador científico CR2

- El pino radiata (*Pinus radiata*) es una especie pionera y naturalmente adaptada a incendios de gran severidad, lo que le confiere ventajas competitivas para la colonización y crecimiento rápido postincendios.
- Luego de cinco años del megaincendio del año 2017, esta especie exótica invadió masivamente sitios quemados con alta y media severidad del bosque maulino costero, alcanzando densidades promedio de más de 9.000 individuos por hectárea.
- La invasión del pino radiata afecta significativamente la dinámica de este bosque, generando un estado de sucesión alternativa donde las especies nativas, como el ruil (*Nothofagus alessandrii*), son desplazadas, lo que podría acelerar el proceso de extinción de esta especie y llevar al colapso del ecosistema.

La pérdida de biodiversidad y degradación de ecosistemas es una problemática mundial que ocurre a gran escala y puede tener consecuencias irreversibles para la vida en nuestro planeta. Los bosques son considerados esenciales, ya que cubren casi una tercera parte de la superficie terrestre (31 %) y albergan gran parte de la biodiversidad. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de las últimas décadas, la superficie forestal sigue reduciéndose por la deforestación y degradación en todo el mundo (FAO, 2022).

La zona centro-sur de Chile es un *hotspot* de biodiversidad con una importante participación de especies endémicas, cuyo hábitat se encuentra altamente amenazado, principalmente, por cambios de uso de suelo (Echeverría *et al.*, 2006; Aguayo *et al.*, 2009; Zamorano-Elgueta *et al.*, 2015; Miranda *et al.*, 2017; Lara *et al.*, 2023). En esta zona del país, específicamente en la cordillera de la Costa de la región del Maule, el bosque maulino costero, es uno de los ecosistemas con mayor pérdida de superficie y degradación en Chile (Bustamante *et al.*, 2005; Arnold *et al.*, 2009), quedando solo escasos y pequeños remanentes de bosques jóvenes dentro de un paisaje forestal dominado por plantaciones de pino radiata (*Pinus radiata*). Estos bosques se encuentran dominados por hualo (*Nothofagus glauca*) y ruil (*Nothofagus alessandrii*), especies en categorías de conservación Vulnerable (VU) y En Peligro de Extinción (EN), respectivamente (Alaniz *et al.*, 2016; Barstow *et al.*, 2017).



El fuego ha sido un disturbio prevalente en la configuración de la estructura y composición de los bosques maulinos costeros (González *et al.*, 2022; San Martín *et al.*, 2022). Sin embargo, incendios de gran magnitud (megaincendios), como los ocurridos en el verano de 2017, bajo condiciones climáticas extremas como sequías y olas de calor (González *et al.*, 2020), han generado importantes interrogantes en torno a la resiliencia de estos bosques (Pausas, 2012).

Los bosques de *Nothofagus alessandrii* han sufrido un declive histórico de sus poblaciones, alcanzando una tasa de deforestación del 8,15 %, entre los años 1981 y 1991, lo que resultó en la pérdida de más del 50 % de estos bosques debido a la sustitución por plantaciones de *Pinus radiata* (Bustamante & Castor, 1998; Grez *et al.*, 1998). El año 2017 gran parte de este ecosistema resultó afectado por el incendio de “Las Máquinas”, donde se quemó un 34 % de los bosques nativos costeros de la región del Maule, afectando a nueve de las quince poblaciones remanentes de *N. alessandrii*. De las 314 hectáreas (ha) de bosques existentes de esta especie, 172 ha (55 %) fueron afectadas (Valencia *et al.*, 2018; Santelices *et al.*, 2022; González *et al.*, 2020), agravando seriamente su condición de “En Peligro de Extinción” (González *et al.*, 2022).

En este policy brief CR2 se destaca la preocupante situación de los bosques nativos en la región del Maule posterior a los megaincendios de 2017, donde la invasión de *P. radiata* amenaza dramáticamente la recuperación de los bosques de *N. alessandrii* y *N. glauca*, ambas especies nativas endémicas de nuestro país.

Evolución de la cubierta vegetal de los bosques remanentes de *N. alessandrii* postincendio

Utilizando imágenes satelitales de alta resolución Planet scope, se reveló una rápida recuperación de la cobertura y vigor de la vegetación en tres rodales remanentes de *N. alessandrii* después de cinco años de ocurrido el incendio. El vigor de la vegetación, representado por el índice Normalizado de Vigor Fotosintético (NDVI), mostró valores atribuibles a una vegetación densa con alta tasa fotosintética.

En los primeros años tras el megaincendio, el NDVI mostró un comportamiento diferenciado entre los rodales según la severidad del incendio, pero al final de los cinco años, los sitios mediana y severamente afectados llegaron a una condición similar de vigor respecto a aquellos con baja severidad, lo que está en concordancia con otras investigaciones realizadas a escala regional (Leal-Medina *et al.*, 2024).

Adicionalmente, se detectaron cambios importantes en el vigor de la vegetación según la estación del año. En verano, se identificó un incremento del vigor luego de dos años del incendio en sitios afectados por severidades altas y medias, lo que pone en evidencia el efectivo recubrimiento de la vegetación caducifolia típica en estos tipos de bosque. En cambio, en invierno, cuando la vegetación caducifolia pierde su follaje, los sitios afectados por severidades alta y media presentaron valores altos de NDVI durante el primer año postincendio, lo que podría asociarse al establecimiento temprano de vegetación inmediatamente después del incendio. Sin embargo, esta condición de vigor no se mantiene estable las siguientes temporadas de invierno.



Cambios en la composición y estructura de los bosques de *N. alessandrii* postincendio

Los datos colectados en terreno mostraron un cambio importante en la composición y estructura de la vegetación postincendio asociado al proceso de recuperación de *N. alessandrii* y la invasión de *Pinus radiata*.

a. Invasión de *Pinus radiata*

Los análisis revelaron una relación directa entre la severidad del incendio y el grado de invasión por *P. radiata*. En sitios con alta severidad, la densidad media de esta especie alcanzó los 9.760 individuos por hectárea cinco años después del incendio (Cuadro 1, Figura 1). Este patrón sugiere que la vegetación original ha experimentado cambios drásticos en su composición y estructura, debido tanto a la propia mortalidad del dosel arbóreo, como a la alta densidad de la especie invasora. Así, el proceso natural de recuperación del ecosistema está siendo fuertemente afectado producto de la intensa competencia por recursos críticos en etapas tempranas de desarrollo del bosque.

Severidad	N° parcelas	Promedio	Mínimo	Máximo
Alta	6	9762,9	4420,9	18789,1
Media	7	9062,9	1105,2	19894,3
Baja	5	1657,8	1105,2	2210,4

Cuadro 1. Densidad de plántulas (menores a 2 metros de altura) y brinzales (diámetro menor a 5 cm y altura mayor a 2 metros de altura) de *Pinus radiata* por parcela. Nótese que, en la severidad media y alta, el número máximo de individuos alcanzó cerca de 20.000 por hectárea.



Figura 1. Invasión de *P. radiata* en bosques remanentes de *N. alessandrii*.

b. Regeneración postfuego de *N. alessandrii*

Cinco años después de los incendios, *N. alessandrii* se estableció tanto vía regeneración vegetativa como por semillas (Figura 2). Los individuos adultos en áreas severamente afectadas por el fuego lograron generar rebrotes desde la base del tronco (Figura 3), y algunos de los individuos adultos sobrevivientes pudieron producir semillas, las cuales germinaron, demostrando la resiliencia y capacidad de adaptación al fuego del ruil.

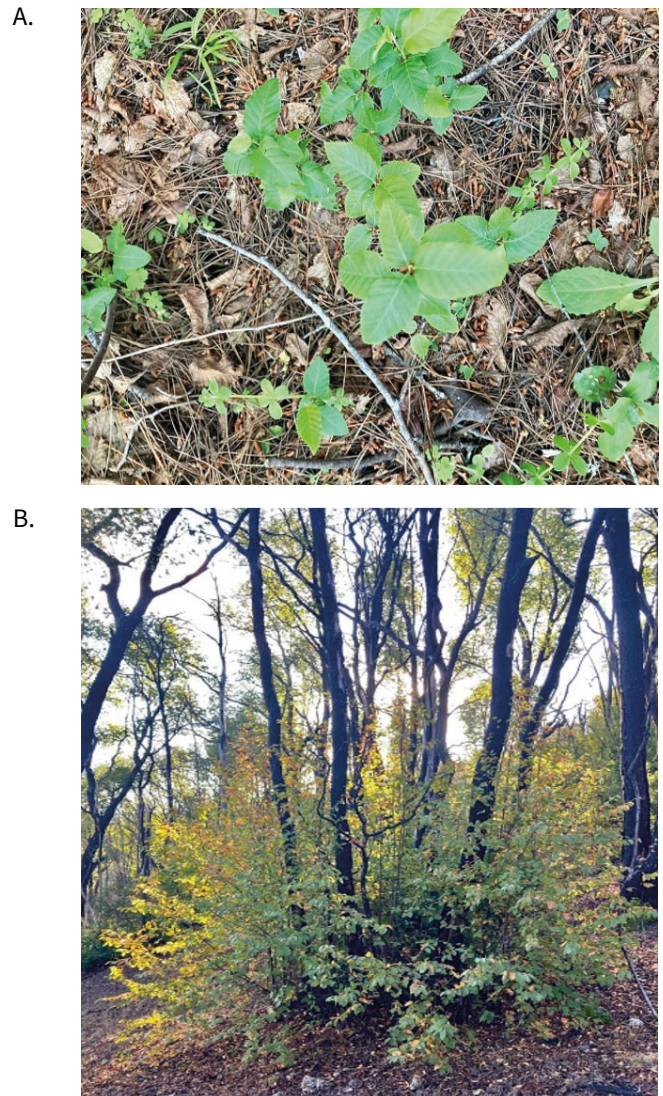


Figura 2. Tipos de regeneración postfuego de *N. alessandrii*: (A) por semillas y (B) reproducción mediante regeneración vegetativa.

El 70 % de los árboles de *N. alessandrii* en áreas afectadas por incendios de media y alta severidad presentaron reproducción vegetativa. Esta capacidad le ha permitido recuperarse de daños severos generados por el fuego y otras perturbaciones antrópicas.

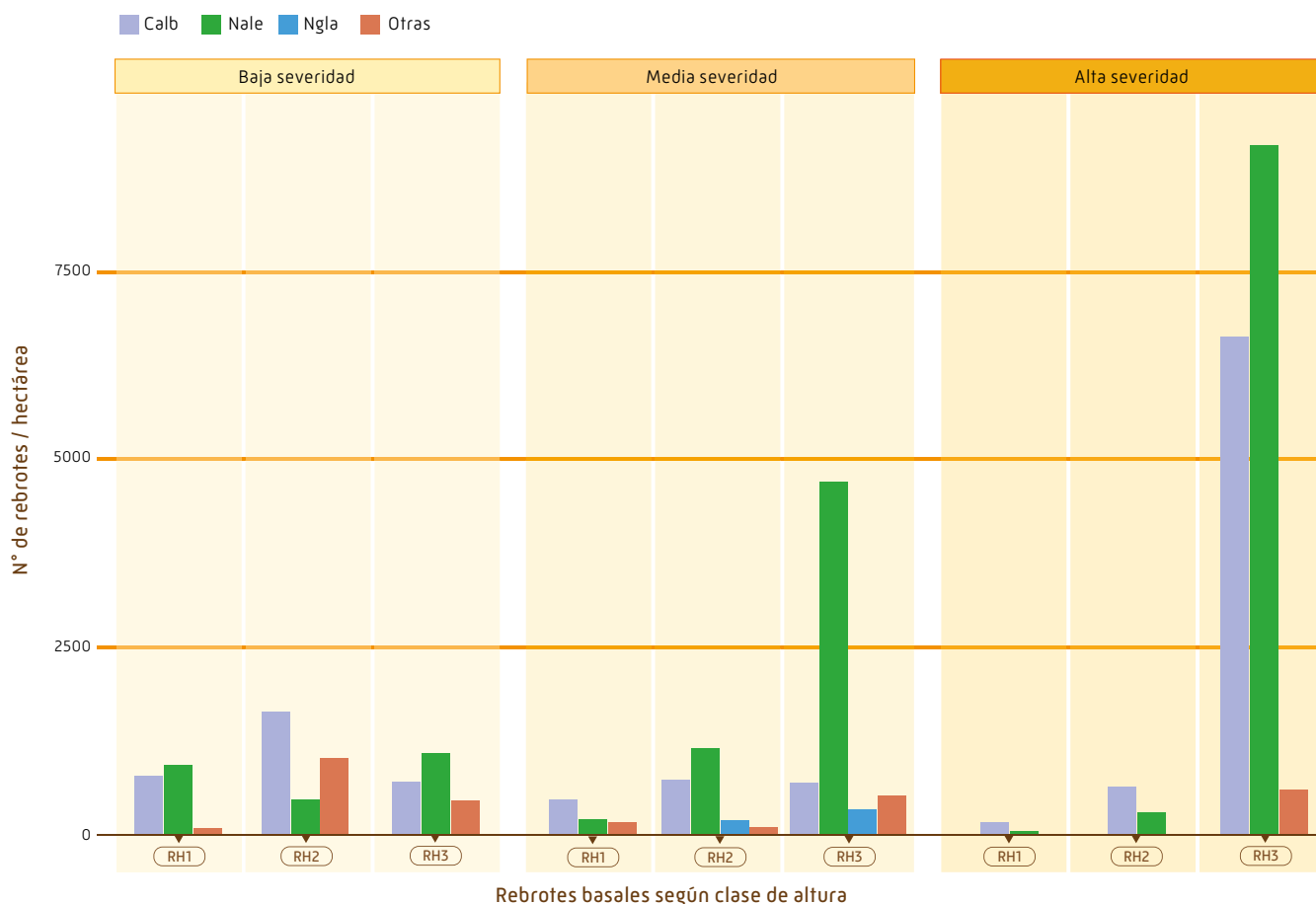
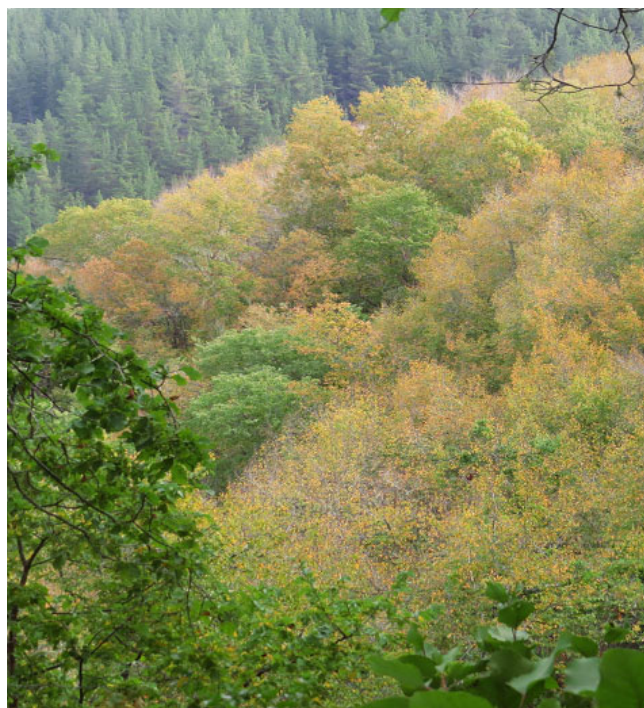


Figura 3. Densidad de regeneración vegetativa de distintas especies: Calb (*Cryptocarya alba* o peumo), Nale (*N. Alessandrii* o ruil), Ngla (*N. glauca* o hualo) y otras especies, según clase de altura: menor a 50 centímetros (RH1), entre 50 y 200 centímetros (RH2) y mayor a 200 centímetros (RH3) en incendios de severidad baja media y alta, a cinco años del incendio.

Por otro lado, la regeneración por semillas solo se registró en sitios de baja y mediana severidad. Este mecanismo de regeneración es crucial para la dispersión y diversidad genética de las nuevas generaciones de plantas, y, por tanto, es clave para la conservación y capacidad de adaptación de estas poblaciones en peligro de extinción (San Martín, 2022; Santelices *et al.*, 2023). Si bien se registró la presencia de plántulas de semillas de *N. alessandrii*, su establecimiento exitoso estará restringido o amenazado por la alta densidad de *Pinus radiata*, producto de la fuerte competencia por recursos como luz, agua y nutrientes en las primeras etapas de desarrollo del bosque (San Martín, 2022).

Un aspecto clave para el establecimiento de la regeneración por semillas es la presencia de árboles adultos semilleros, los cuales fueron registrados solo en sitios de severidad media y baja. En sitios de severidades altas, el fuego causó la muerte de gran parte los árboles adultos, y, por tanto, se presume que hubo escasa disponibilidad de semillas dentro de los rodales severamente quemados (González *et al.*, 2022).





Recomendaciones

La invasión de *Pinus radiata* en los bosques de *Nothofagus alessandrii* reduce la resiliencia de estos ecosistemas nativos, degradándolos de manera irreversible. La dominancia de esta especie exótica altera significativamente la dinámica del bosque, generando un estado de sucesión alternativa donde las especies nativas son desplazadas por las exóticas. Esta modificación de la estructura y composición del bosque puede llevar a la extinción de esta especie y al colapso general del bosque maulino. Por tanto, las principales recomendaciones son:

- **Monitoreo y Control de especies invasoras:** Implementar programas de monitoreo y control de *Pinus radiata* en áreas afectadas por incendios, priorizando ecosistemas fuertemente amenazados, como los bosques maulinos dominados por *N. alessandrii* y *N. glauca*. Es fundamental contar con un sistema de detección temprana de invasiones biológicas en áreas quemadas, mediante monitoreo satelital o muestreos de campo que puedan cuantificar las invasiones tempranamente. Por otro lado, se requiere fortalecer normativas que apunten a la corresponsabilidad de las empresas forestales para prevenir y controlar la expansión de especies invasoras en los bosques maulinos y otros ecosistemas de alto valor ecológico.
- **Restauración ecológica:** Diseñar e implementar planes de restauración ecológica que incluyan el control de especies invasoras, y la reforestación o enriquecimiento con especies nativas en categorías de conservación como ruil (*N. alessandrii*) y hualo (*N. glauca*). La generación de alianzas entre agencias públicas, empresas forestales, comunidades locales y organizaciones no gubernamentales (ONG) es clave para implementar estrategias efectivas de restauración a escala de paisaje.
- **Participación ciudadana y educación ambiental:** Fomentar la participación de las comunidades locales en programas de restauración y capacitarlas sobre el reconocimiento de las especies en categorías de conservación y el control de especies invasoras es fundamental para la incentivar la conservación de los bosques de ruil. Además, fomentar iniciativas económicas sostenibles basadas en la conservación del bosque maulino, como el turismo, podrían favorecer la mayor protección y conservación de esta especie en peligro de extinción.

Referencias

- Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G., & Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX: Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista chilena de historia natural*, 82(3), 361-374. <https://www.scielo.cl/pdf/rchnat/v82n3/art04.pdf>
- Alaniz, A. J., Galleguillos, M., & Perez-Quezada, J. F. (2016). Assessment of quality of input data used to classify ecosystems according to the IUCN Red List methodology: The case of the central Chile hotspot. *Biological Conservation*, 204, 378-385. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.038>
- Arnold, F., Sepúlveda, C., Martín, J., Boshier, D., Penailillo, P., Lander, T., Garrido, P., Harris, S., & Hawthorne, W. (2009). *Propuesta de una estrategia de conservación para los bosques nativos de la subregion costera del Maule*. <https://doi.org/10.13140/2.1.4928.4802>
- Barstow, M., Echeverría, C., Baldwin, H., & Rivers, M. C. (2017). *Nothofagus alessandrii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: E. T32033A2808995.
- Bustamante, R. O., & Castor, C. (1998). The decline of an endangered temperate ecosystem: The ruil (*Nothofagus alessandrii*) forest in central Chile. *Biodiversity & Conservation*, 7(12), 1607-1626. <https://doi.org/10.1023/A:1008856912888>
- Bustamante, R. O., Simonetti, J. A., Grez, A. A., & San Martín, J. (2005). Fragmentación y dinámica de regeneración del bosque maulino: Diagnóstico actual y perspectivas futuras. *Historia, biodiversidad y ecología de los bosques costeros de Chile*, 555-564.
- Echeverría, C., Coomes, D., Salas, J., Rey-Benayas, J. M., Lara, A., & Newton, A. (2006). Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests. *Biological Conservation*, 130(4), 481-494. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.01.017>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2022). *El estado de los bosques del mundo 2022: Vías forestales hacia la recuperación verde y la creación de economías inclusivas, resilientes y sostenibles*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9360es>
- González, M. E., Galleguillos, M., Lopatin, J., Leal, C., Becerra-Rodas, C., Lara, A., & Martín, J. S. (2022). Surviving in a hostile landscape: *Nothofagus alessandrii* remnant forests threatened by mega-fires and exotic pine invasion in the coastal range of central Chile. *Oryx*, 57(2), 228-238. <https://doi.org/10.1017/S0030605322000102>
- González, M.E., Sapiains, R., Gómez-González, S., Garreaud, R., Miranda, A., Galleguillos, M., Jacques, M., Pauchard, A., Hoyos, J., Cordero, L., Vásquez, F., Lara, A., Aldunce, P., Delgado, V., Arriagada, Ugarte, A.M., Sepúlveda, A., Farías, L., García, R., Rondanelli, R.J., Ponce, R., Vargas, F., Rojas, M., Boisier, J.P., C., Carrasco, Little, C., Osses, M., Zamorano, C., Díaz-Hormazábal, I., Ceballos, A., Guerra, E., Moncada, M., Castillo, I. (2020). *Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, (ANID/FONDAP/15110009), 84 pp. Disponible en <https://www.cr2.cl/incendios/>
- Grez, A., Bustamante, R., Simonetti, J., & Fahrig, L. (1998). *Landscape ecology, deforestation, and forest fragmentation: The case of the ruil forest in Chile. Landscape Ecology as a Tool for Sustainable Development in Latin America*. (electronic book).
- Lara, A., Urrutia-Jalabert, R., Miranda, A., González, M., & Zamorano-Elgueta, C. (2023). Bosques Nativos. En: *Informe País: Estado del medio ambiente y del patrimonio natural 2022* (pp. 3-96).
- Leal-Medina, C., Lopatin, J., Contreras, A., González, M. E., & Galleguillos, M. (2024). Post-fire *Pinus radiata* invasion in a threatened biodiversity hotspot forest: A multi-scale Remote Sensing Assessment. *Forest Ecology and Management*, 561, 121861. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121861>
- Leal-Medina, C. (2023). Respuesta temprana postfuego de los bosques de *Nothofagus alessandrii*: Influencia de la severidad e invasión de *Pinus radiata*. Tesis de magister. Universidad Austral de Chile. Valdivia.
- Miranda, A., Altamirano, A., Cayuela, L., Lara, A., & González, M. (2017). Native forest loss in the Chilean biodiversity hotspot: Revealing the evidence. *Regional Environmental Change*, 17(1), 285-297. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2009000300004>
- Pausas, J. G. 2012. *Incendios forestales. Una visión desde la ecología*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España). <https://digital.csic.es/handle/10261/56575>
- San Martín, A. (2022). *Los bosques relictos de ruil: Ecología, biodiversidad, conservación y restauración*. El Sur Impresores.
- Santelices-Moya, R., Cabrera-Ariza, A., Silva-Flores, P., Navarro-Cerrillo, R. M., Santelices-Moya, R., Cabrera-Ariza, A., Silva-Flores, P., & Navarro-Cerrillo, R. M. (2022). Assessment of a wildfire in the remaining *Nothofagus alessandrii* forests, an endangered species of Chile, based on satellite Sentinel-2 images. *International journal of agriculture and natural resources*, 49(2), 85-96. <http://dx.doi.org/10.7764/ijanr.v49i2.2337>

- Santelices-Moya, R., Cabrera-Ariza, A., Silva-Flores, P., & Ramos-Campos, P. (2023). Variación intraespecífica en *Nothofagus alessandrii* una especie endémica en peligro de extinción de los bosques mediterráneos de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 44(2), 315-327. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002023000200315>
- Valencia, D., Saavedra, J., Brull, J., & Santelices, R. (2018). Severidad del daño causado por los incendios forestales en los bosques remanentes de *Nothofagus alessandrii* Espinosa en la Región del Maule de Chile. *Gayana. Botánica*, 75(1), 531-534. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432018000100531>
- Zamorano-Elgueta, C., Benayas, J. M. R., Cayuela, L., Hantson, S., & Armenteras, D. 2015. Native forest replacement by exotic plantations in southern Chile (1985–2011) and partial compensation by natural regeneration. *Forest Ecology and Management*, 345, 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.02.025>