



APUNTE

Protección de Suelos Hidromórficos y Restauración de Bosques Fragmentados de la Región de Aysén

Salinas, Jaime^{1*} y Luco, Carlos²

¹Investigador. Instituto Forestal. Sede Patagonia, Coyhaique. jsalinas@infor.cl

²Estudiante de Ingeniería Forestal Universidad Austral de Chile. En práctica en INFOR

* Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.551>

Recibido: 05.08.2021; Aceptado 28.08.2021

RESUMEN

La fragmentación del hábitat ha sido reconocida como una de las principales amenazas para los ecosistemas de todo el mundo. La acción del hombre es considerada como uno de las principales causas que originan la fragmentación del paisaje natural a través de la intensificación del uso del suelo para su desarrollo económico. Conocer el estado de fragmentación y transformación de un paisaje boscoso es crucial para una adecuada planificación y restauración de los territorios afectados. A pesar de su importancia, es escasa la información precisa sobre técnicas de establecimiento de plantas nativas que permitan la recuperación del paisaje y su conservación. En este trabajo se busca evaluar la variabilidad en el desempeño, en términos de supervivencia (S%), altura total (HT) y diámetro de cuello (DAC), de plantas nativas (lenga, ñirre, calafate) en relación a dos métodos de establecimiento y se estima el costo monetario del establecimiento. La plantación se realizó en una superficie de 1 ha, la densidad de plantación fue de 1.666 arb/ha, distribuidos en forma regular e irregular en el sitio. El método de plantación considero la instalación de 64 núcleos (clúster) de 20 plantas, además alrededor de cada núcleo se estableció una cantidad variable de plantas aleatoriamente dispersas (entre 4 y 8 colindantes a los núcleos). La supervivencia general de las tres especies fue alta, pasadas tres temporadas se logró un 91% y 80% de supervivencia para los métodos de plantación aleatoria (AL) y en núcleo (NU), respectivamente. Ñirre fue la especie de mejor adaptación al sitio, presentando los mayores incrementos de diámetro (INC_{DAC}) al ser plantado en forma aleatoria (2,2 mm/año) e incrementos en altura (INC_{HT}) al ser plantado en núcleo (23,5 cm/año). Este estudio proporciona antecedentes para aplicar enfoques de restauración para tres especies nativas presentes en ecosistemas alterados de la patagonia y se espera constituya un aporte a la comprensión de la resiliencia de los bosques nativos fragmentados de Aysén

Palabras clave: Recuperación, plantación en núcleos, ñirre, lenga.

SUMMARY

Habitat fragmentation has been recognized as one of the main threats to ecosystems around the world. The man action is considered as one of the main causal agents that originate the fragmentation of the natural landscape through the intensification of the use of the land for its economic development. Knowing the state of fragmentation and transformation of a forested landscape is crucial for proper planning and restoration of the affected territories. Despite its importance, there is scarce precise information on native plant establishment techniques that obtain the recovery of the landscape and its conservation status. This work seeks to evaluate the variability in performance, in terms of survival (S%), total height (HT) and neck diameter (DAC), of native plants (lenga, ñirre, calafate) in relation to two methods of establishment and the monetary cost of the establishment was estimated. The plantation was carried out on a surface area of 1 ha, the plantation density was 1,666 arb/ha, distributed in a regular and irregular way on the site. The planting method considered the installation of 64 nuclei (cluster) of 20 plants, in addition to around each nucleus a variable amount of randomly dispersed plants was established (between 4 and 8 adjacent to the nuclei). The general survival of the three species was high, after three seasons, 91% and 80% survival was achieved for the random (AL) and nucleus (NU) planting methods, respectively. Ñirre was the species with the best adaptation to the site, presenting the largest increases in diameter (INC_{DAC}) when planted randomly (2,2 mm/year) and increases in height (INC_{HT}) when planted in the nucleus (23,5 cm/year). This study provides antecedents to apply restoration approaches for three native species present in altered ecosystems of Patagonia and constitutes a contribution to the understanding of the resilience of the fragmented native forests of Aysén.

Key Words: Recovery, planting in nuclei, ñirre, lenga.

INTRODUCCIÓN

Por miles de años el ser humano y otras especies vivientes han estado en una estrecha relación con los bosques. Los humanos alteran los regímenes de perturbación de manera significativa, incrementando su escala y severidad, y reduciendo la resiliencia de los ecosistemas (Walker, 2011). Ejemplo de ello son las innumerables interacciones entre animales y plantas que ocurren en el medio natural, que responden a interacciones que provocan consecuencias positivas (facilitación), negativas (competencia) o neutras (Salinas *et al.*, 2017).

Es así como el uso intensivo de la tierra por causa de la actividad humana, asociado a la expansión agrícola y ganadera, y la explotación forestal, constituye un problema actual en el marco de la conservación de la biodiversidad, donde acciones de origen antrópico han acelerado la pérdida, fragmentación y degradación de hábitat silvestres, afectando la heterogeneidad y estructura natural del paisaje (Grez *et al.*, 2007).

La fragmentación del hábitat y la pérdida de bosques han sido reconocidas como una gran amenaza para los ecosistemas en todo el mundo (Armenteras *et al.*, 2003; Dale y Pearson, 1997; Iida y Nakashizuka, 1995; Noss, 2001). Esta fragmentación también puede tener efectos negativos en la riqueza de especies al reducir la probabilidad de una dispersión y establecimiento exitosos (Gigord *et al.*, 1999), así como al reducir la capacidad de un parche de hábitat para sostener una población residente (Iida y Nakashizuka, 1995).

Desde inicios del siglo XX, junto a los primeros vestigios de colonización del territorio aysenino, los bosques nativos fueron objeto de fuertes disturbios antrópicos. Enormes extensiones de terrenos fueron afectadas por los más grandes incendios de bosques registrados en Chile, iniciados con el fin de habilitar suelos para la agricultura y la ganadería. Se cree que alrededor de 3,5 millones de hectáreas fueron consumidas por los incendios en la región (Quintanilla *et al.*, 2008).

La deforestación y la ganadería son uno de los tantos factores de degradación del hábitat. La ganadería extensiva ha experimentado un incremento sustancial en la carga de herbívoros. Estos cambios en los niveles de carga incrementan el impacto del ganado sobre el sistema boscoso y arbóreo del lugar (Echeverría *et al.*, 2014). El constante tránsito y ramoneo por parte de ovinos, bovinos y equinos en el sector genera daños en la regeneración natural de especies autóctonas, afectando su capacidad de permanencia en el bosque y sus funciones ecosistémicas. En cuanto al ganado bovino, estos mantienen un hábito nutricional pastoreador, sin embargo, cuando la cantidad de forraje herbáceo disminuye (volviéndose una limitante para su consumo) comienzan a ramonear especies leñosas.

Lo anterior, conlleva a que individuos del género *Nothofagus*, como ñirre (*Nothofagus antártica* (G. Forst) Oerst) o lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl) Krasser), pierdan su capacidad regenerativa natural al estar en constante pérdida de biomasa vegetal y cobertura arbórea. El daño provocado por herbívoros en las zonas meristemáticas dificulta el crecimiento apical de las plantas, produciendo deformaciones y un aumento en la producción de ramas laterales. En consecuencia, la degradación del bosque, en cuanto a cantidad y calidad de las plantas, expone a la superficie del suelo ante diversos agentes erosivos, como precipitación y escorrentía superficial para el caso de los suelos hidromórficos.

En este contexto, los suelos hidromórficos son suelos que presentan excesos permanentes o prolongados de agua en su estructura durante períodos invernales, cuyo drenaje interno se ve ralentizado por causa del excedente hídrico que manifiesta. Esta condición suele darse en sitios planos, cercanos a cursos de agua o napas freáticas y con limitantes de drenaje/escurrimiento.

Son suelos con alta susceptibilidad a la erosión, si se suma una baja cobertura arbórea y tráfico constante de ganado que perjudica el desarrollo de especies que pudieran generar una estructura protectora. Para este caso, la exclusión del ganado surge como una medida para mitigar el grado de degradación del suelo, depredación de las plantas y fragmentación del bosque. Este procediendo impide el acceso animal, aplicando acciones conjuntas que integren el manejo y establecimiento de nuevas plantas, fomentando la restauración activa y pasiva de parches fragmentados que permitan revertir procesos de disturbios.

OBJETIVOS

- Evaluar la variabilidad en el desempeño, en términos de supervivencia, altura y diámetro de plantas nativas en relación a su método de plantación.
- Cuantificar los costos monetarios de la práctica de restauración de suelos hidromórficos y fragmentados.

METODOLOGIA

Área de Estudio

El área de estudio corresponde al sector Mano Negra, ubicado en la provincia de Coyhaique, situado a 30 km al norte de la ciudad de Coyhaique (capital regional), a una altura sobre el nivel del mar de 670 m, LS 45°26'34" y LW 72°00'27" (Figura 1). Este sitio se caracteriza por poseer bosques fragmentados del género *Nothofagus*, presentando individuos de lenga y ñirre en distribución aislada, que se han desarrollado en sitios de saturación hídrica (suelos hidromórficos) que ha albergado durante años una ganadería extensiva. Ambos factores han repercutido en una evidente degradación de la funcionalidad ecológica y estructura original del bosque remanente.

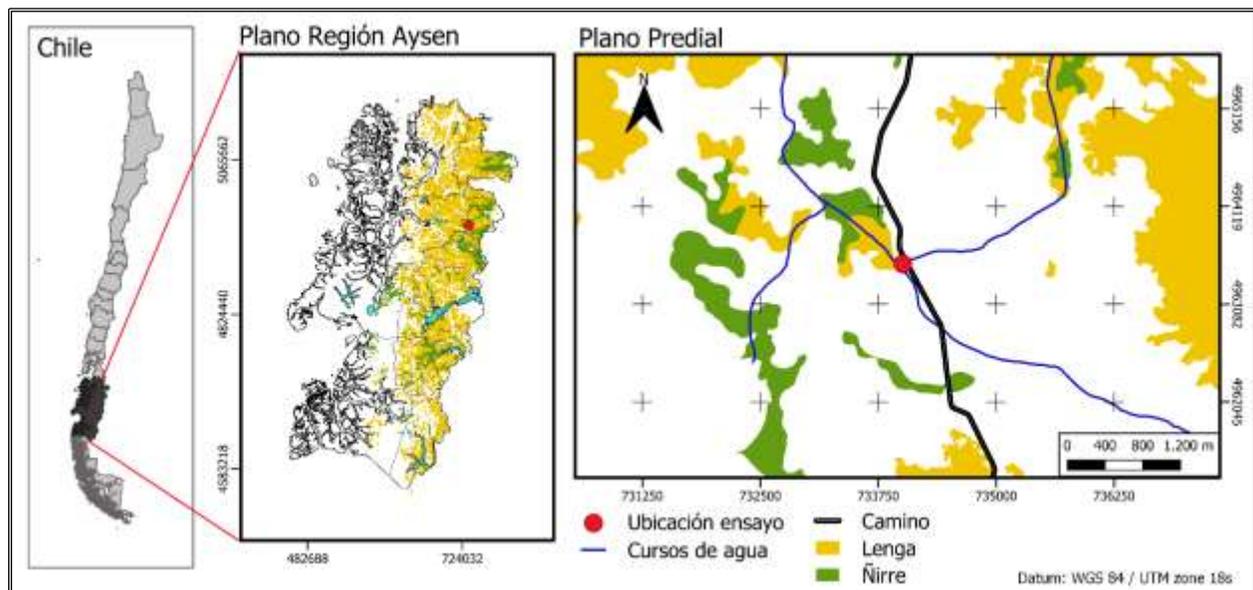


Figura 1. Ubicación General del Área de Trabajo en Sector Mano Negra, Comuna de Coyhaique, Región de Aysén, Chile.

-Relieve. El área circundante a la ubicación del ensayo posee una geografía montañosa, con valles angostos y encajonados por la Cordillera de Los Andes, estos valles han sido moldeados por la actividad glacial (Salinas *et al.*, 2018). Específicamente dentro del ensayo el terreno es plano con pendientes suaves (0-5%) en toda su superficie, condicionando la susceptibilidad del suelo al anegamiento temporal.

-Hidrografía. El ensayo se encuentra inserto dentro de la cuenca hidrográfica del río Aysén, la cual en su recorrido recibe como afluentes principales al río Ñirehuao y al río Emperador Guillermo (DGA, 2004). Por el perímetro del ensayo convergen dos afluentes provenientes de quebradas de sectores montañosos aledaños, uno de estos afluentes cruza por dentro del lugar del ensayo. Ambos afluentes convergen transformándose en el estero El Turbio, a su vez este afluente desemboca en el río Emperador Guillermo.

-Clima. Esta zona corresponde a la ecorregión Templada Húmeda (Cfb) (Hepp y Stolpe, 2014), el clima es frío lluvioso con temperaturas y precipitaciones medias anuales de 8,1 °C y 1.149 mm/año (Salinas *et al.*, 2018). El mes más cálido corresponde a enero con una temperatura media de

13,7°C, máxima media de 19,5°C y una mínima media de 8,8°C. El mes más frío corresponde a julio con una temperatura media de 2,0°C, máxima media de 5,5°C, y una mínima media de -0,4°C (Hepp y Stolpe 2014).

De acuerdo a la clasificación Koeppen, el clima corresponde al Trasandino con Degradación Esteparia y se caracteriza por un volumen de precipitaciones y potencia de los vientos de gran intensidad. Los vientos promedios fluctúan entre 37 y 56 km/h, con ráfagas de 60-80 km/h en época de primavera (Salinas y Acuña, 2013).

-Vegetación. La vegetación predominante del sector es el bosque caducifolio de *Nothofagus*, asociado al Tipo Forestal Lengua. En general el recurso forestal en esta zona está constituido mayoritariamente por bosques puros de lengua, pero también bosques de ñirre en ciertos sectores más húmedos y en transición hacia zonas esteparias (Hepp y Stolpe, 2014). En relación a la vegetación arbustiva se menciona calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) y michay (*Berberis darwinii* Hook.) como los arbustos más característicos (Hepp, 1996).

Como denominador común para este sector se mencionan los grandes incendios forestales ocurridos durante la primera mitad del siglo XX los que modelaron el paisaje, causando altos niveles de degradación del bosque nativo y grandes extensiones de praderas naturalizadas donde dominan especies herbáceas de bajo crecimiento como: pasto del chanco; chinilla; siete venas; diente de león; pimpinela y trébol blanco entre otras (Hepp y Stolpe, 2014).

-Suelos. Los suelos predominantes del sector corresponden a suelos del Orden Andisols (Salinas *et al.*, 2018), son suelos derivados de cenizas volcánicas de excelentes condiciones físicas y morfológicas (CIREN, 2003). Hepp y Stolpe (2014) describen para el sector de Mano Negra suelos del suborden Udands, de lomajes suaves a ondulados, moderadamente profundos a profundos con texturas dominantes tipo franco arenoso a franco limoso, drenaje interno bueno a moderado y ligeramente ácidos.

Establecimiento del Esayo

El ensayo fue excluido de ganado mediante un cerco tradicional que aisló el perímetro considerando una superficie de 1 ha. Se realizó un enriquecimiento ecológico a través del establecimiento de plantas nativas producidas en el vivero del Instituto Forestal en la ciudad de Coyhaique.

Se utilizaron especies propias del entorno, entre ellas; *Nothofagus pumilio* (lengua), *N. antarctica* (ñirre) y *Berberis microphylla* (calafate), estas fueron instaladas bajo dos técnicas de establecimiento: plantación núcleos y plantación individual. Cada planta fue protegida individualmente (*shelter*) para evitar el daño de lagomorfos y otros agentes. Para dar cumplimiento a este propósito se planificaron las siguientes actividades:

Cerco perimetral. La construcción del cerco se efectuó para excluir del ganado doméstico del lugar donde se realizó la restauración con especies nativas. La construcción del cerco consideró la implementación de un “cerco tradicional patagón” de cuatro hebras de alambre liso o galvanizado y una hebra de alambre de púas siendo adheridos a los postes terminales por medio de grapas. Los postes se fijaron cada cinco metros, con cuatro varillas de madera o alambre entre claros.

Diseño de plantación. La plantación se realizó a una densidad de 1.666 arb/ha distribuidos en forma regular e irregular en el sitio. El método de plantación consideró un diseño espacial en núcleo según muestra la Figura 2, compuesto de cuatro bloques de 25 x 25 m, dentro de cada bloque se encuentran establecidos cuatro núcleos triangulares con un total de 20 plantas (lengua= 14; ñirre= 4 y calafate=2). Además, alrededor de cada núcleo se estableció una cantidad variable de plantas (entre 4 y 8 colindantes a los núcleos) distribuidas aleatoriamente.

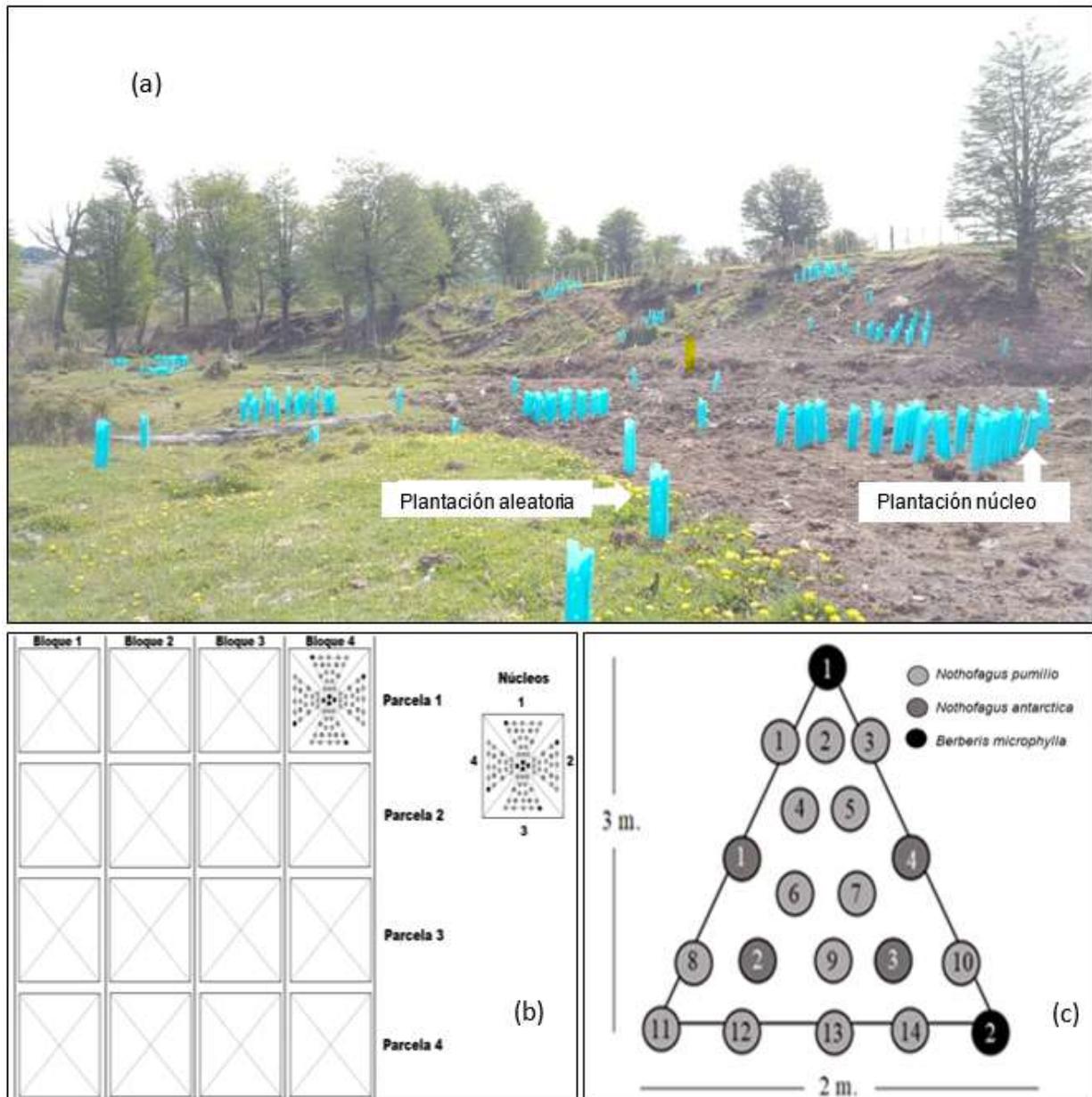


Figura 2. Imagen de Ubicación del Ensayo de Bosque Fragmentado (A), Diseño Espacial del Ensayo (B), Número, Especie y Ubicación Espacial de las Plantas Dentro del Núcleo (C).

Para la plantación se priorizaron aquellos sitios despejados sin presencia de una cobertura de dosel continua, que son los sectores donde se requiere el establecimiento de una nueva cobertura. Otro aspecto considerado en el establecimiento es la utilización de legados biológicos, esto es estructuras orgánicas remanentes de incendios como arbustos, troncos grandes muertos en pie o en el suelo y/o árboles vivos aislados o bordes de fragmentos boscosos aislados (Franklin, 1990; Vidal *et al.*, 2015). Cada planta está provista de un tutor de pvc y de un protector *shelter* de polipropileno (protección contra lagomorfos, radiación directa y viento).

Evaluación del Ensayo

En cada núcleo se evaluó un registro temporal de las variables de supervivencia (%), diámetro altura al cuello (mm) y altura total (m) para un total de cuatro repeticiones. Por medio de placas identificadoras metálicas instaladas en cada planta, se mantiene un registro específico de las variables mencionadas para cada individuo anualmente.

Costo Monetario de la Práctica de Establecimiento

Se realizó un análisis de costos de cada actividad relacionada al establecimiento en una superficie de 1 ha. Para esto se utilizaron registros y planillas Excel detallando los ítems de materiales, insumos y mano de obra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento y Supervivencia

En términos generales y logrando evaluar el ensayo cuatro temporadas, los porcentajes de supervivencia fueron altos para todas las especies en ambos tratamientos. La mayor supervivencia se registró bajo el método de plantación aleatoria. En este método las plantas se establecieron utilizando legados biológicos, que según Vidal *et al.* (2015) pueden ayudar a incrementar la sobrevivencia de las plantas mediante protección por semi-sombra, captura y retención de humedad, protección contra el ramoneo, entre otros factores facilitadores. Algo similar indican Gobbi *et al.* (2008), quienes mencionan que a nivel de micrositio la mayor supervivencia se registró bajo la cobertura intermedia de arbustos nodriza. Este método obtuvo durante las tres primeras temporadas (2018 – 2020) una supervivencia mayor a 95%, logrando una supervivencia de 91% después de tres años. Mientras que la supervivencia al cuarto año de las plantas establecidas en núcleo fue de un 80% (Figura 3). Otro factor incidente en la exitosa supervivencia de las plantas, es el uso de refugios (*shelter* individual), que pueden mejorar la temperatura del aire, la radiación, la humedad relativa, el vapor de déficit de presión (VPD), concentración de CO₂ y el viento dentro de ellos, lo que reduce la evapotranspiración (Bergez y Dupraz, 2009; Jiménez *et al.*, 2005; Navarro-Cerrillo *et al.*, 2005; Puértolas *et al.*, 2003).

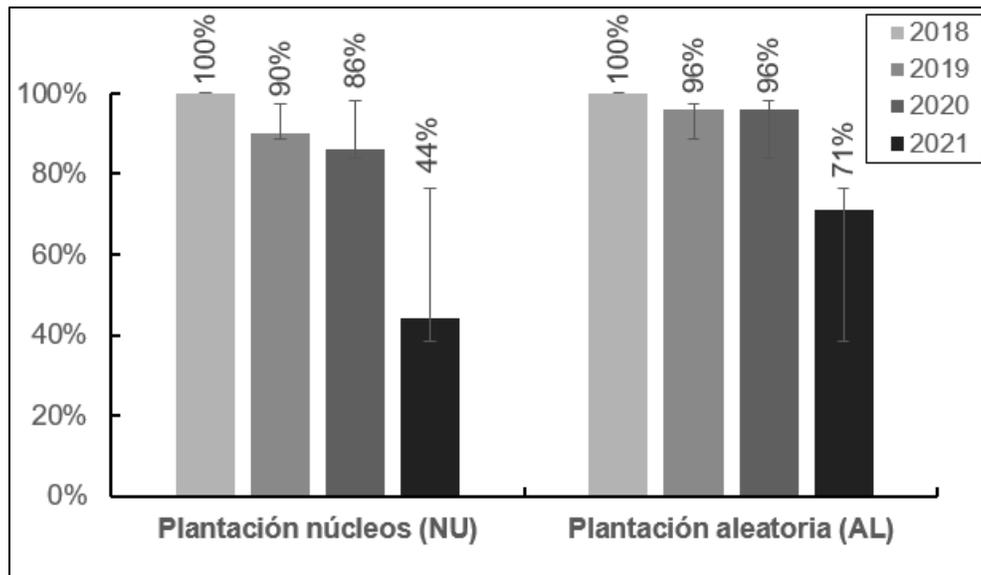


Figura 3. Supervivencia General de Plantas Nativas Establecidas en Forma Aleatoria y en Núcleo.

Cuando se analizó la supervivencia por especie en forma general, ñirre fue la especie con mejor supervivencia (98%), seguida de lenga y calafate con 82 y 75%, respectivamente. En relación al método

de plantación utilizado, ñirre nuevamente es la especie de mejor adaptación al sitio, presentando un 100% de supervivencia cuando fue plantado en forma aleatoria. Esto se repitió durante los tres primeros años de la plantación en núcleo, sin embargo, la cuarta temporada la supervivencia disminuyó a 88%. Lengua logró mayor supervivencia cuando fue plantada en forma aleatoria, presentando un 100% durante las tres temporadas iniciales, para reducir a un 55% en el año 2021, producto de el anegamiento hídrico ocurrido en un sector del ensayo, lo que confirma lo evaluado por Martínez Pastur *et al.* (2011) quienes determinan crecimientos desfavorables para lengua en suelos con alto contenido de humedad. Esta especie se comportó diferente cuando fue plantada en núcleo, ya que después de la primera temporada se inició un proceso de mortalidad que redujo la supervivencia a 88% (2019), 84% (2020) y 63% (2021). Calafate a diferencia de ñirre y lengua, presentó mejor comportamiento al ser plantado en núcleo que en forma aleatoria. A través de este método, en la temporada 2021 obtuvo solo un 50% de supervivencia, mientras que al ser plantado en núcleo la supervivencia fue mayor (75%). Estos valores de supervivencia contrastan con los mencionados por (Jara, 2013) quien indica que para plantaciones con lengua ubicadas cercanas a Coyhaique y Cochrane se determinaron valores de supervivencia 45% y 20%, respectivamente, al segundo año de establecimiento. En ambas situaciones la causa principal de la alta mortalidad fue el daño causado por animales (lagomorfos) lo que justifica la necesidad de protección individual de las plantas en la región.

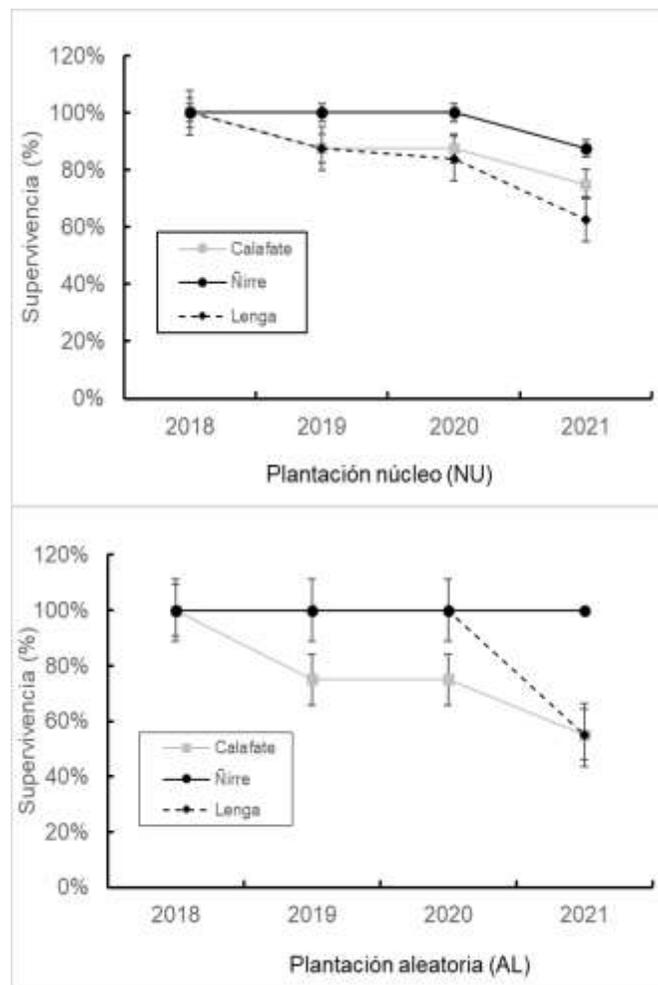


Figura 4. Variación Temporal de la Supervivencia de Especies Nativas Según Metodo de Plantación.

La evaluación de las variables de crecimiento reveló que todas las especies se adaptaron al sitio, presentando incrementos de su crecimiento en DAC y altura total.

En el Cuadro 1 se muestra el resumen de los parámetros de crecimiento de las plantas evaluadas bajo los dos métodos de plantación, además, se muestra un indicador porcentual de crecimiento con los individuos vivos al final del periodo. Este se elaboró con la media de la variación porcentual de cada planta durante marzo del 2019 a enero del 2021.

Cuadro 1. Parámetros de Crecimiento y Supervivencia de Plantas Nativas Establecidas en Núcleos y Aleatoria.

Especie	2019			2020			2021			Variación	
	DAC (mm)	HT (cm)	S (%)	DAC (mm)	HT (cm)	S (%)	DAC (mm)	HT (cm)	S (%)	DAC (%)	HT (%)
Nirre (NU)	3,8 ± 1,4	31,9 ± 3,6	100	4,6 ± 0,9	60,2 ± 18,5	100	7 ± 2,3	78,8 ± 19,1	88	+118	+167
Lenga (NU)	4,8 ± 0,8	31,3 ± 4,4	88	5,3 ± 0,5	40,1 ± 7,5	84	6,7 ± 1,1	58,6 ± 8,1	63	+31,5	+76,8
Calafate (NU)	3,0 ± 1,0	24,1 ± 5,1	88	3,3 ± 1,5	36,5 ± 12	88	3,4 ± 1,4	45,8 ± 10,5	75	+1,2	+116,3
Nirre (AL)	3,3 ± 0,7	39,8 ± 13,1	100	4,9 ± 1	67,2 ± 28,5	100	7,6 ± 2,5	78,6 ± 28,7	100	+138,7	+99,4
Lenga (AL)	4,6 ± 1	35,3 ± 8,6	100	5,1 ± 0,8	39,7 ± 18,8	100	7,2 ± 1	66,7 ± 8,6	55	+48,3	+82,7
Calafate (AL)	3 ± 1,3	26,7 ± 7,7	75	3,6 ± 1,5	27,5 ± 7,9	75	2,3 ± 0,6	38 ± 7,1	50	-1,1	+26,7

NU= núcleo; AL= aleatoria; DAC= diámetro de cuello. HT= altura total. S= supervivencia.

En relación al incremento en DAC, lenga y ñirre presentaron interesantes crecimientos a través del tiempo. El ñirre plantado en forma aleatoria fue el que más incrementó su diámetro en las temporadas de evaluación, desde $3,3 \pm 0,7$ mm (2019) hasta llegar a $7,6 \pm 2,5$ mm (2021), lo que es un 130% de incremento durante dos temporadas.

Esta misma especie establecida en núcleo presentó un 84% de incremento en DAC durante las temporadas 2019 - 2021. Los incrementos medios para ñirre fueron de 2,2 mm/año y 1,6 mm/año para los métodos disperso y núcleo, respectivamente.

Las plantas de lenga establecidas en forma aleatoria presentaron incrementos anuales en DAC de 1,3 mm/año los que disminuyeron a 1,0 mm/año al ser plantados en núcleo.

Para calafate hubo incrementos inferiores en relación a las otras especies. Esto se explica debido a que este tipo de plantas arbustivas generalmente posee roturas del tallo principal (daño mecánico, siendo los tallos secundarios los que adquieren dominancia causando diferencias en las mediciones durante una temporada a la otra.

El máximo incremento para calafate fue de 0,6 mm durante el año 2019 a 2020, a través del método de plantación aleatoria, sin embargo, en la tercera temporada hubo una variación negativa de -36% producto de quiebre de ápices.

En relación a la altura total las tres especies mantienen crecimientos positivos a través del tiempo de evaluación, siendo ñirre la especie que presentó un mayor incremento promedio en altura con 23,5 cm/año para el método de plantación en núcleo y 19,4 cm/año en el método de plantación aleatoria.

En la especie lenga, ambos métodos de plantación presentan crecimientos en altura importantes, siendo el método de plantación aleatoria aquel que optimiza el crecimiento en altura con 15,7 cm/año en comparación con los 13,7 cm/año del método de plantación en núcleo.

Finalmente, se encontró un menor crecimiento en altura en calafate, presentando incrementos anuales de 5,7 y 10,9 cm/año para los métodos de plantación en núcleo y aleatoria, respectivamente.

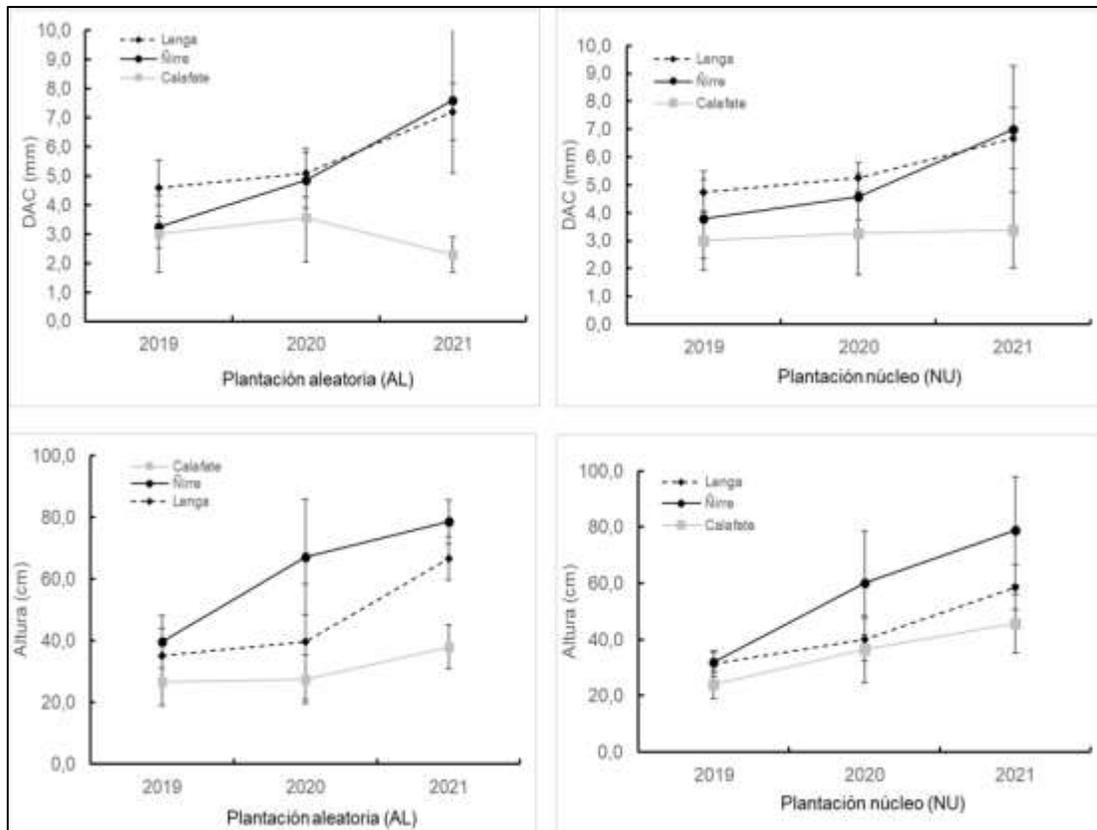


Figura 5. Variación Temporal del DAC y Altura Total de Especies Nativas Según Metodo de Plantación.

Costos de la Restauración

Se determinó el costo de restauración con tres especies nativas a una densidad de 1.666 arb/ha, establecidas en núcleos (77% del total) y de forma individual (23% del total). Las especies fueron lenga, ñirre y calafate.

Es importante considerar que en el costo de cerco solo consideró un 50% del perímetro, debido a que ya existía un cerco establecido, situación que es muy común en gran parte de los predios del sur austral de Chile.

Cuadro 2. Parámetros Generales Considerados para la Estimación de Costos.

Ubicación	Especies	Plantas (N°)	Shelter (N°)	Cerco* (m)	Tipo de Cerco
Sector Mano Negra, comuna de Coyhaique	Lenga	1.166	1.666	200	<i>Cerco tradicional patagón</i> 4 hebras de alambre liso 1 hebra de alambre de púas Postes cada 5 m Varillas entre claros a 1 m
	Ñirre	333			
	Calafate	167			

*Considera solo el 50% de la construcción del cerco.

-Mano de Obra. Instalación de cerco perimetral: Se construyó un cerco “tradicional patagón”, constituido por cuatro hebras de alambre liso o galvanizado y una hebra de alambre de púas, siendo adheridos a los postes terminales por medio de grapas.

Los postes se fijaron cada cinco metros, con cuatro varillas de madera o alambre entre claros distanciadas a 1 m.

Plantación: La plantación se realizó en una superficie de 1 ha, la densidad de plantación fue de 1.666 arb/ha, distribuidos en núcleo y en forma aleatoria.

El método de plantación considero la instalación de 64 núcleos de 20 plantas (lenga= 14; ñirre= 4 y calafate=2). Además, alrededor de cada núcleo se estableció una cantidad variable de plantas distribuidas aleatoriamente (entre 4 y 8 colindantes a los núcleos).

Instalación de protector individual: Cada planta fue protegida individualmente (*shelter* de polipropileno) para evitar el daño de lagomorfos y otros agentes. Para fijar el *shelter* se utilizó un tubo de PVC conduit C3 de 25mm x 50 cm.

-Otros. El ítem otros considera la estimación de costos de los elementos de protección personal, la alimentación, insumos y herramientas que son utilizadas directamente en la faena de establecimiento y construcción de cerco.

Para la estimación de los costos de cada sub ítem se consideraron valores de mercado regional.

Cuadro 3. Estructura de Costos de Mano de Obra.

Labores	Unidad	Personas (N°)	Cantidad (N°)	Unidad (\$)	Valor (\$/ha)	Valor (UTM/ha)
Plantación (1.666 pl/ha)	jornadas	1	7	15.000	105.000	2,0
Instalación protector individual	jornadas	1	8	15.000	120.000	2,3
Instalación de cerco*	metro lineal	1	200	4.514	902.800	17,4
Total					1.127.800	21,7

* Considera solo el 50% de la construcción del cerco.

Cuadro 4. Estructura de Otros Ítems.

Labores	Detalle	Valor (\$/ha)	Valor (UTM/ha)
Plantación (1.666 pl/ha)	Elementos protección personal	4.992,0	0,10
	Alimentación	35.000,0	0,67
	Insumos	666.539,4	12,82
	Herramientas	344,6	0,01
Instalación de protector individual	Elementos protección personal	26.980,0	0,52
	Alimentación	35.000,0	0,67
	Insumos	906.304,0	17,43
	Herramientas	45.860,0	0,88
Total		1.721.020,0	35,1

Cuadro 5. Costo Total.

Item	Valor (\$/ha)	Valor (UTM/ha)
Mano de Obra	1.127.800	21,7
Otros Ítems	1.721.020	35,1
Total	2.848.820	56,8

CONCLUSIONES

Se obtuvo una alta supervivencia general del ensayo para las tres especies nativas y los dos métodos de plantación evaluados. La mejor respuesta se registró bajo el método de plantación aleatorio utilizando legados biológicos, con un 90% de supervivencia en tres temporadas. A nivel de especie, ñirre es la

especie con mejor adaptación al sitio, presentando un 100% de supervivencia al ser plantado en forma aleatoria y un 97% cuando fue plantada en núcleo.

Se determinó que ñirre es la especie que presentó mayores incrementos DAC y altura, mostrándose como una especie de gran potencial de adaptación en estas condiciones de sitio perturbadas. Lenga evidenció altas mortalidades de individuos dentro de condiciones específicas de micrositio asociadas al anegamiento hídrico temporal, factor a tomar en cuenta en intervenciones futuras.

La utilización de protectores shelter de polipropileno fueron de gran efectividad para evitar por completo la herbivoría por parte de liebres.

En relación a los costos de establecimiento, se determinó un costo total de M\$2.848/ha, los que se pueden reducir aplicando una estrategia mixta pasiva-activa de restauración, basada en regeneración natural y de tocón, complementada con plantación a baja densidad. Los ítems que presentaron los más altos valores son los relacionados al control de la herbivoría (cerco y protector individual), los que representan más del 60% del costo total.

En función de los resultados obtenidos y considerando que la plantación se realizó en un sitio marginal de la propiedad predial, se considera que la plantación para protección de suelos hidromórficos y restauración de bosques fragmentados con especies nativas pueden ser una estrategia apropiada para la recuperación parcial de áreas degradadas.

La presente investigación se espera constituya un aporte importante a la comprensión de la resiliencia de los bosques nativos fragmentados por disturbios, materia escasamente estudiada en el país. A la vez, el estudio proporciona antecedentes para aplicar enfoques de restauración para tres especies nativas presentes en ecosistemas alterados de la Patagonia.

RECONOCIMIENTOS

INFOR y los autores de esta publicación agradecen al Ministerio de Agricultura de Chile, por el apoyo financiero que permite la investigación de mediano y largo plazo en temáticas ligadas a la restauración de ecosistemas forestales patagónicos de Chile. Se agradece a los técnicos de INFOR Bernardo Acuña y Exequiel Díaz por su apoyo en las mediciones de terreno.

REFERENCIAS

- Armenteras, D., Gast, F. & Villareal, H. (2003). Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation*, 113. Pp: 245-256. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00359-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00359-2)
- Bergez, J.F. & Dupraz, C. (2009). Radiación y microclima térmico en refugio de árboles. *Agric Forest Meteorol.*, 149. Pp: 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.08.003>
- CIREN. (2003). Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Centro de Información de Recursos Naturales. Estudio agrológico X Región. 360 p.
- Dale, V.H. & Pearson, S.M. (1997). Quantifying habitat fragmentation due to land use change in Amazonia. In: Laurance, W. & Bierregaard, R. (Eds). *Tropical Forest Remnants*. The University of Chicago Press. Chicago, USA. Pp: 400-414.
- DGA. (2004). Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Aysén. Dirección General de Aguas y CADE-IDEPE Consultores en Ingeniería. 131 p.
- Echeverría, D., von Müller, A., Hansen, N. & Bava. J. (2014). Efecto del ramoneo bovino en renovales de *Nothofagus antarctica* en Chubut, Argentina, en relación con la carga ganadera y la altura de las plantas. *Bosque*, 35(3): 357-368. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002014000300010>
- Franklin, J.F. (1990). Biological legacies: A critical management concept from Mt. St. Helens. Presented at the Transactions of the Fifty-fifth North American Wildlife and Natural resources Conference, Wildlife Management Institute, Denver, CO. Washington, DC.

- Gigord, L., Picot, F. & Shykoff, J. (1999). Effects of habitat fragmentation on *Dombeya acutangula* (Sterculiaceae), a native tree on La Réunion (Indian Ocean). *Biological Conservation*, 88. Pp: 43-51. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(98\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(98)00092-5)
- Gobbi, M., Varela, S. & Pablos, L. (2008). Plantación de *Nothofagus pumilio* como técnica de recuperación post incendio. *Eco – Nothofagus*. Segunda Reunión sobre los Bosques de *Nothofagus* en Argentina. Esquel, Chubut, Argentina.
- Grez, A., Simonetti, J. & Bustamante, R. (2007). Biodiversidad en ambientes fragmentados de Chile: Patrones y procesos en diferentes escalas. In: Jaña, R., Celis, J., Gutiérrez, A., Cornelius, C. & Armesto, J. *Diversidad en bosques fragmentados de Chiloé: ¿Son todos los fragmentos iguales?* Editorial Universitaria. Santiago. Pp: 159-189. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202007000200009>
- Hepp, C. (1996). Praderas en la zona Austral: XI Región (Aysén). En: *Praderas para Chile*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA. Santiago. Pp: 623-638.
- Hepp, C. & Stolpe, N.B. (2014). Caracterización y propiedades de los suelos de la Patagonia occidental (Aysén). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro de Investigación INIA Tamel Aike. Coyhaique, Chile. 160 p.
- Iida, S. & Nakashizuka, T. (1995). Forest fragmentation and its effect on species diversity in sub-urban coppice forests in Japan. *Forest Ecology & Management*, 73. Pp: 197-210. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)03484-E](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)03484-E)
- Jara, C. (2013). Evaluación del crecimiento y del daño por herbivoría en una plantación inicial de *Nothofagus antarctica* (G. forst) Oerst. y *Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oerst en la provincial de Palena, X región. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad de Chile, Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza. Santiago. 64 p.
- Jiménez, M.N., Navarro, F.B., Ripoll, M.A., Bocio, I. & De Simón, E. (2005). Efecto de los tubos de refugio sobre el establecimiento y crecimiento de plántulas de *Juniperus thurifera* L. (Cupressaceae) en medio semiárido mediterráneo. *Ann Forest Sci.*, 62. Pp: 717-725. <https://doi.org/10.1051/forest:2005062>
- Martínez Pastur, G., Lencinas, M., Soler, R., Ivancich, H., Peri, P., Moretto, A., Hernandez, L. & Lindstrom, I. (2011). Plasticidad ecofisiológica de *Nothofagus pumilio* frente a combinaciones de niveles de luz y humedad en el suelo. *Ecología Austral*, 21. Pp: 301-315.
- Navarro-Cerrillo, R.M. Fragueiro, B., Ceaceros, C., Del Campo, A. & De Prado, R. 2005. Establecimiento de *Quercus ilex* subsp. *ballota* [Desf.] Samp. utilizando diferentes estrategias de malezas en el sur de España. *Ecol. Eng.* 25. Pp: 332-342. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.06.002>
- Noss, R.F. (2001). Forest fragmentation in the southern rocky mountains. *Landscape Ecology*, 16. Pp: 371-372. <https://doi.org/10.1023/A:1011138900309>
- Puértolas, J., Gil, L. & Pardos, J.A. (2003). Efectos del estado nutricional y el tamaño de las plántulas en el rendimiento en el campo de *Pinus halepensis* sembradas en antiguas tierras cultivables de la cuenca mediterránea. *Silvicultura*, 76. Pp: 159-168.
- Quintanilla, V. (2008). Estado de recuperación del bosque nativo en una cuenca nordpatagónica de Chile, perturbada por grandes fuegos acaecidos 50 años atrás (44°-45° S). *Revista de Geografía Norte Grande*, 39. Pp: 73-92. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022008000100006>
- Salinas, J.; Inostroza, P. & Acuña, B. (2018). Evaluación del costo y rendimiento del manejo bajo un criterio silvopastoral de una plantación de *Pinus ponderosa* Douglas ex Lawson en Coyhaique, Región de Aysén, Chile. *Ciencia & Investigación Forestal*, 24(2): 25-40. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2018.495>
- Salinas, J., Peri, P.L., Hepp, C. & Acuña, B. (2017). Sistemas Silvopastorales en Bosques de Ñirre (*Nothofagus antarctica* (G. Forst) Oerst) de la Región de Aysén. Instituto Forestal, Chile. Documento de Divulgación N° 43. 60 p.
- Salinas, J. & Acuña, B. (2013). Conversión de plantaciones forestales a sistemas silvopastorales en la Región de Aysén. *Ciencia & Investigación Forestal*, 19(1): 61-72. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2013.400>
- Vidal, O.J., Aguayo, M., Niculcar, R., Bahamonde, N., Radic, S., San Martín, C., Kusch, A. *et al.* (2015). Plantas invasoras en el Parque Nacional Torres del Paine (Magallanes, Chile): Estado del arte, distribución post-fuego e implicancias en restauración ecológica. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 43(1): 75-96. <https://doi.org/10.4067/S0718-686X2015000100006>

Walker, L.R. (2011). Integration of the study of natural and anthropogenic disturbances using severity gradients. *Austral Ecology*, 36. Pp: 916–922. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2011.02238.x>