

ISSN 1514-2264
ISSN 2796-8103

EFFECTOS DEL MANEJO SILVÍCOLA Y DEL AMBIENTE LUMÍNICO SOBRE LA VEGETACIÓN EN PLANTACIONES DE PINO PONDEROSA EN EL NOROESTE PATAGÓNICO

RESULTADOS PRINCIPALES TESIS DE DOCTORADO

María Melisa Rago



Publicación técnica N° 41 | Año 2021

 **CIEFAP**
Conocimiento e Innovación en Bosques Patagónicos



EFFECTOS DEL MANEJO SILVÍCOLA Y DEL AMBIENTE LUMÍNICO SOBRE LA
VEGETACIÓN EN PLANTACIONES DE PINO PONDEROSA
EN EL NOROESTE PATAGÓNICO

RESULTADOS PRINCIPALES TESIS DE DOCTORADO

María Melisa Rago



Efectos del manejo silvícola y del ambiente lumínico sobre la vegetación en plantaciones de pino ponderosa en el noroeste patagónico. Resultados principales tesis de doctorado

Publicación técnica N° 41 | ISSN 1514-2264 (impreso) ISSN 2796-8103 (en línea) | Año 2021
Editada por el Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP)

Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP)

Ruta 259 Km. 16,24 – C. C. 14
(9200) Esquel, Chubut, Argentina
Tel./Fax: +54 2945 453948 / 450175
info@ciefap.org.ar | www.ciefap.org.ar

Dirección de contacto para consultas sobre esta publicación

María Melisa Rago
E-mail: melisarago@gmail.com

EFFECTOS DEL MANEJO SILVÍCOLA Y DEL AMBIENTE LUMÍNICO SOBRE LA
VEGETACIÓN EN PLANTACIONES DE PINO PONDEROSA
EN EL NOROESTE PATAGÓNICO

RESULTADOS PRINCIPALES TESIS DE DOCTORADO

Esta publicación se basa en:

TESIS DOCTORAL: Efectos del manejo silvícola y del ambiente lumínico sobre la vegetación en plantaciones de pino ponderosa en el noroeste patagónico

Doctoranda: Lic. María Melisa Rago

Directora: Dra. María Florencia Urretavizcaya, CIEFAP-CONICET

Codirector: Dr. Guillermo Emilio Defossé, CIEMEP-CONICET

Universidad Nacional del Comahue

Centro Regional Universitario Bariloche

Bariloche, Río Negro, Argentina

12 de abril 2021

RESUMEN

La superficie forestada en el mundo, incluyendo a la región patagónica, está en aumento, lo cual conlleva diferentes consecuencias para los ecosistemas naturales. Estas consecuencias dependen de factores como el contexto ecológico, la historia de uso y el manejo forestal. Alcanzar un equilibrio entre la productividad forestal y la conservación de la biodiversidad es un objetivo cada vez más buscado en las plantaciones forestales, ya que la biodiversidad favorece la estabilidad de las plantaciones al tiempo que contribuye al mantenimiento de la estructura y las funciones de las comunidades naturales en las que se foresta. El manejo forestal es una actividad que permite controlar la estructura forestal, y por lo tanto, contribuir a mantener los recursos necesarios para la persistencia y el desarrollo de las comunidades naturales. En el noroeste patagónico las plantaciones con coníferas exóticas se han establecido desde la década del '70; primero para la producción de celulosa y particularmente desde los '90 para la producción de madera aserrable como objetivo principal. La especie más utilizada en forestaciones es el pino ponderosa (*Pinus ponderosa* P. Lawson & C. Lawson), la cual se ha establecido en zonas del ecotono y de la estepa patagónica. Si bien se cuenta con estudios que abarcan diversos aspectos de los efectos que pueden causar las plantaciones en la región, hay otros asociados especialmente a las etapas del manejo forestal que no han sido abordados en profundidad.

El objetivo de esta tesis fue evaluar los efectos que producen las plantaciones de pino ponderosa sobre las comunidades vegetales en el noroeste de Patagonia, y su relación con las etapas del manejo forestal. Para ello se evaluaron atributos de las comunidades vegetales que se desarrollan bajo el dosel de plantaciones de pino ponderosa que abarcan el rango de las estructuras forestales representativas de las plantaciones en la región. También se seleccionaron tres especies de plantas características de la comunidad natural (*Berberis microphylla* G. Forst, *Adesmia volckmannii* Phil., y *Poa ligularis* Nees ex Steud) y se estudió su crecimiento a tres niveles de irradiancia: 20 y 60% de irradiancia respecto al cielo abierto, simulando dos niveles de cobertura del dosel forestal, y 100% de irradiancia. Por otra parte, se evaluó la respuesta durante tres años consecutivos de las comunidades vegetales a alternativas del manejo de los residuos forestales generados por las prácticas de poda y raleo que habitualmente se dejan apilados o en escolleras en el suelo forestal. Las prácticas de reducción de residuos evaluadas fueron el triturado, la quema prescrita y su combinación. Por último, se analizó la potencial contribución de la vegetación en superficie y del banco de semillas del suelo a la persistencia de las comunidades vegetales en el borde e interior de plantaciones a la mitad de su ciclo de rotación.

Se encontró que las plantaciones de pino ponderosa afectaron a las comunidades vegetales naturales de la estepa y del ecotono al modificar variables que influyen directamente en el desarrollo de la vegetación como la radiación. Tanto la riqueza como la abundancia total de especies disminuyeron linealmente con variables de la estructura forestal como el área basal y la cobertura del dosel, mientras que las especies más frecuentes y los grupos según su hábito-duración y origen mostraron diferentes respuestas a la radiación que penetra el dosel arbóreo. *Berberis microphylla* y *Adesmia volckmannii* mantuvieron su productividad al 60% de irradiancia, en la cual *Adesmia volckmannii*, además, tendió a aumentarla. Por su parte *Poa ligularis* tendió a disminuir su productividad a partir del 60% de irradiancia. La respuesta general de las comunidades vegetales a tratamientos de reducción de residuos implicó la disminución de su riqueza y su abundancia, seguida por el incremento inmediato de su riqueza y la recuperación más lenta de su abundancia. Si bien las condiciones sitio-específicas influyeron significativamente en la respuesta de la vegetación, en general el triturado fue el tratamiento de reducción de residuos con el menor impacto negativo sobre la vegetación en el corto plazo. El banco de semillas del suelo estuvo conformado principalmente por hierbas anuales exóticas, mientras que en la vegetación

predominaron hierbas y arbustos perennes nativos, los cuales disminuyeron hacia el interior de las plantaciones.

Todos estos resultados contribuyen al desarrollo de pautas de manejo forestal que permitirían el mantenimiento de atributos de la comunidad vegetal natural. Mantener el estrato herbáceo-arbustivo es necesario, ya que además de constituir la estructura fundamental de la comunidad natural, las plantas actúan como fuente de propágulos. Para ello, la radiación disponible en el estrato herbáceo-arbustivo es fundamental y puede regularse mediante el manejo forestal. Mantener un rango amplio de estructuras forestales en una plantación favorecería la heterogeneidad lumínica, lo cual promovería una mayor variedad de micrositios para el desarrollo y la persistencia de las especies vegetales. En los casos donde la vegetación haya sido drásticamente disminuida por las plantaciones otros mecanismos de introducción como plantaciones o siembras de especies nativas deberían ser consideradas, ya que el banco de semillas del suelo no sería suficiente para su recuperación. Los resultados también reflejaron la importancia de las particularidades de cada sitio, incluyendo su historia de uso, en la respuesta de la comunidad vegetal a las plantaciones y su manejo forestal, con lo cual estos aspectos deben tenerse en cuenta en la selección del manejo forestal más apropiado para cada situación.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	9
OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
ÁREA DE ESTUDIO.....	14
RELACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA FORESTAL, LA RADIACIÓN SOLAR Y LA COMUNIDAD VEGETAL EN PLANTACIONES DE PINO PONDEROSA.....	16
CRECIMIENTO DE PLANTAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTEPA BAJO DISTINTOS NIVELES DE IRRADIANCIA QUE SIMULAN COBERTURAS DEL DOSEL.....	20
RESPUESTA DE LA COMUNIDAD VEGETAL AL MANEJO DE RESIDUOS FORESTALES EN PLANTACIONES DE <i>PINUS PONDEROSA</i>	26
ESTRATEGIAS PARA PERSISTIR EN LA COMUNIDAD: BANCO DE SEMILLAS DEL SUELO Y VEGETACIÓN EN PLANTACIONES DE <i>PINUS PONDEROSA</i>	33
DISCUSIÓN GENERAL.....	38
IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO FORESTAL CON VISTA HACIA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD.....	41
PUBLICACIONES ASOCIADAS A ESTA TESIS.....	45
FINANCIAMIENTO.....	45

INTRODUCCIÓN GENERAL

Alcanzar un equilibrio entre la productividad forestal y la conservación de la biodiversidad es importante, puesto que la biodiversidad cumple un rol fundamental en la estabilidad y funciones de los ecosistemas. Las plantaciones forestales cubren 131 millones de hectáreas, representando el 3% de la superficie forestal en el mundo. La mayoría de ellas se localiza en América del Sur, componiéndose casi en su totalidad de especies introducidas, y su superficie se incrementa año a año. Como todo cambio en el uso de la tierra, las plantaciones forestales impactan sobre los ecosistemas en los cuales se establecen. La biodiversidad suele disminuir bajo el dosel de las plantaciones forestales, aunque en algunos casos sus valores pueden mantenerse e incluso incrementarse. Por lo tanto, dado el incremento de la superficie forestada y las diferentes respuestas de la biodiversidad es necesario profundizar en las estrategias que permitan conservar la biodiversidad en las plantaciones forestales.

PLANTACIONES FORESTALES Y BIODIVERSIDAD

La respuesta de la biodiversidad a las plantaciones forestales depende del contexto ecológico, la historia de uso y el manejo forestal.

La transición desde un bosque nativo, un matorral o un pastizal a una plantación forestal suele provocar una disminución de la biodiversidad. Ésta es más abrupta cuando se parte de un matorral o pastizal debido a que la incorporación del componente arbóreo donde previamente no existía, provoca importantes cambios estructurales y afecta más significativamente la disponibilidad de recursos, como por ejemplo la luz. Sin embargo, las plantaciones forestales también pueden representar hábitat para algunas especies de los ecosistemas nativos que reemplazan. Por su parte, las plantaciones forestales establecidas en áreas degradadas, por ejemplo un pastizal con historia de uso ganadera, pueden mejorar las condiciones del suelo al incrementar la materia orgánica y el mantillo, suprimir el desarrollo de especies ruderales que competirían con la vegetación nativa y crear microambientes favorables para la dispersión de semillas, favoreciendo de este modo la biodiversidad. Finalmente, el manejo forestal influye en la magnitud del cambio; las plantaciones ralas pueden albergar una mayor biodiversidad que las plantaciones densas. Por lo tanto, las estrategias para conservar la biodiversidad en las plantaciones forestales deben considerar tanto aspectos particulares del sitio como del manejo forestal.

PLANTACIONES FORESTALES EN PATAGONIA

La actividad forestal con coníferas exóticas comenzó a desarrollarse en Patagonia a inicios del siglo XX. Las primeras plantaciones se realizaron en áreas de bosque nativo degradado por incendios y pastoreo, como alternativas para mitigar los procesos de erosión y desertificación causados por dichos disturbios. Dado el conocimiento existente sobre estas especies y su rápido crecimiento en la región, a partir de 1970 comenzó la plantación intensiva de coníferas exóticas promovidas mediante financiamiento del Estado Nacional (Ley 21695/77). Su objetivo inicial

fue la producción de celulosa que, al no ser apropiada ambiental, geográfica y económicamente para la región, cambió hacia la producción maderera a partir de la década del '80 acompañada por leyes provinciales y la sanción de nuevas leyes nacionales (Ley 25080/98 y subsecuentes). Además, a partir de dicho momento se ha promovido su establecimiento en áreas de ecotono y estepa patagónica. Existe un creciente interés en la conservación de la biodiversidad en estos sistemas, que se refleja en el "Proyecto Conservación de la Biodiversidad en Paisajes Productivos Forestales (GEF TF 090118)" desarrollado a partir del año 2007 por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP), en el cual se alentó a desarrollar modelos de gestión de las forestaciones, que atiendan a la conservación en los propios sistemas productivos forestales. Además, desde el año 2014 está vigente el Sistema Argentino de Certificación Forestal (CERFOAR), al cual los productores forestales pueden solicitar voluntariamente la incorporación de las tierras dedicadas a plantaciones forestales que gestionan, para lo cual deben cumplir con ciertos requisitos, entre los cuales se incluye la conservación de la diversidad biológica y las funciones ecológicas.

En términos socio-económicos, la plantación forestal con coníferas exóticas es una actividad productiva que genera fuentes de trabajo local y provee de madera, en una región que es importadora neta de este producto. Además, puede contribuir a disminuir la presión de extracción sobre el bosque nativo.

Actualmente, se plantea la posibilidad de promover plantaciones forestales para la mitigación del efecto invernadero causado por el excesivo consumo de combustibles fósiles. Asimismo, las plantaciones a densidades adecuadas permitirían el desarrollo de sistemas silvopastoriles, proveyendo retornos económicos más frecuentes y diversificados, como los derivados de la obtención de carne o lana. La superficie actualmente apta para el establecimiento de plantaciones forestales se estima en aproximadamente 2,6 millones de hectáreas (Figura 1). Sin embargo, al presente la superficie forestada es aproximadamente de 109.000 hectáreas; el 58% se encuentra en la provincia de Neuquén, el 31% en Chubut y el 11% en Río Negro. La especie más utilizada ha sido el pino ponderosa (*Pinus ponderosa* P. Lawson & C. Lawson), representando más del 80% del total. La mayoría de las plantaciones forestales de coníferas son jóvenes, encontrándose aún en la etapa de conducción silvicultural y bloques de plantaciones son en su mayoría menores de 50 ha, siendo sólo unos pocos mayores a los 4000 ha. Se puede considerar entonces que este es un momento óptimo para que la actividad se desarrolle de un modo sustentable.

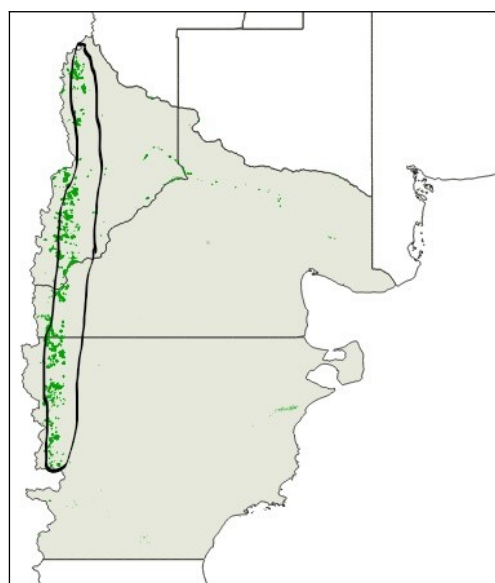


Figura 1 Plantaciones con coníferas exóticas (verde) y área apta para su establecimiento (negro) en la Patagonia Argentina.

CONTEXTO ECOLÓGICO

El área identificada como potencialmente apta para el establecimiento de plantaciones forestales en la región patagónica coincide con parte de los distritos Subandino y Occidental, ambos pertenecientes a la Provincia Fitogeográfica Patagónica, y del Ecotono Ríonegrino (Figura 2). El distrito Subandino se caracteriza por una estepa gramínea dominada por coirón blanco (*Festuca pallescens*) que se desarrolla por encima de la isohieta de los 300 mm anuales e ingresa en el sector oriental de los bosques de *Nothofagus* spp. En su límite oriental se une con el distrito Occidental en un amplio ecotono. Este distrito se caracteriza por una estepa arbustivo-gramínea dominada por coirón amargo (*Pappostipa speciosa*), coirón llama (*Pappostipa humilis*), mamuel choique (*Adesmia volckmannii*) y neneo (*Azorella prolifera*). El Ecotono Ríonegrino ocupa un paisaje de peniplanicies, entre los 300 y 600 msnm, y presenta una fisonomía intermedia entre el típico matorral del Monte y las estepas patagónicas.

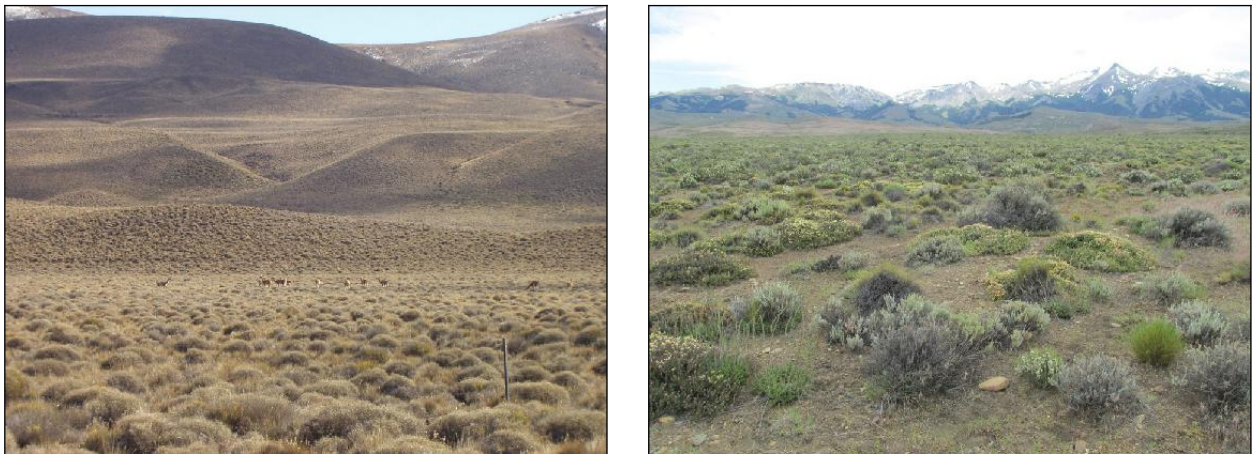


Figura 2 Vegetación característica del área potencialmente apta para el establecimiento de plantaciones forestales en la Patagonia argentina.

HISTORIA DE USO

La Patagonia ha sido utilizada para el pastoreo de ganado doméstico desde su introducción a fines del siglo XIX, llegando a situaciones de sobrepastoreo, y por lo tanto los ecosistemas presentan distintos niveles de degradación (Figura 3). El principal efecto del sobrepastoreo ha sido la reducción de la cobertura vegetal, principalmente de gramíneas palatables. Además, el sobrepastoreo ha provocado la disminución de la riqueza de especies y el reemplazo de especies dentro y entre grupos funcionales. Estos cambios han promovido el desarrollo de distintas comunidades vegetales en la Patagonia. Además, luego de los disturbios causados por el pastoreo, el viento y la precipitación han promovido procesos de erosión y deposición creando grandes áreas de suelo desnudo, que junto con la pérdida de materia orgánica, nutrientes y semillas limitan el restablecimiento de la vegetación. Dado que las forestaciones se establecen sobre estos ecosistemas degrada-



Figura 3 Uso ganadero de la estepa patagónica.

dos, es difícil determinar con certeza la comunidad prístina de referencia. En esta tesis, se utilizó el término "comunidad natural" para referirse a esta comunidad sin plantación forestal.

MANEJO FORESTAL

Dado que el objetivo actual de las plantaciones forestales es la producción maderera, el manejo forestal tradicional en la región está focalizado en la producción de materia prima aserrable de alta calidad. Un modelo de manejo propuesto para un sitio de calidad media en la región indica las siguientes intervenciones a partir de plantaciones a densidades iniciales de 1.111 plantines por hectárea: un raleo precomercial a los 10 años para disminuir la densidad inicial a 600 plantas por hectárea y favorecer el incremento en diámetro de los árboles remanentes, tres podas a los 10, 12 y 15 años para obtener madera de calidad libre de nudos, un raleo comercial a los 21 años para disminuir la densidad y otro raleo a los 27 años donde se seleccionan los 200 árboles que quedan hasta la corta final a los 35 años. Si bien este modelo (Figura 4) fue diseñado para maximizar la producción forestal, y es el tradicionalmente utilizado en la región, no tiene en cuenta el o los impactos que su aplicación podría tener sobre el ecosistema natural.

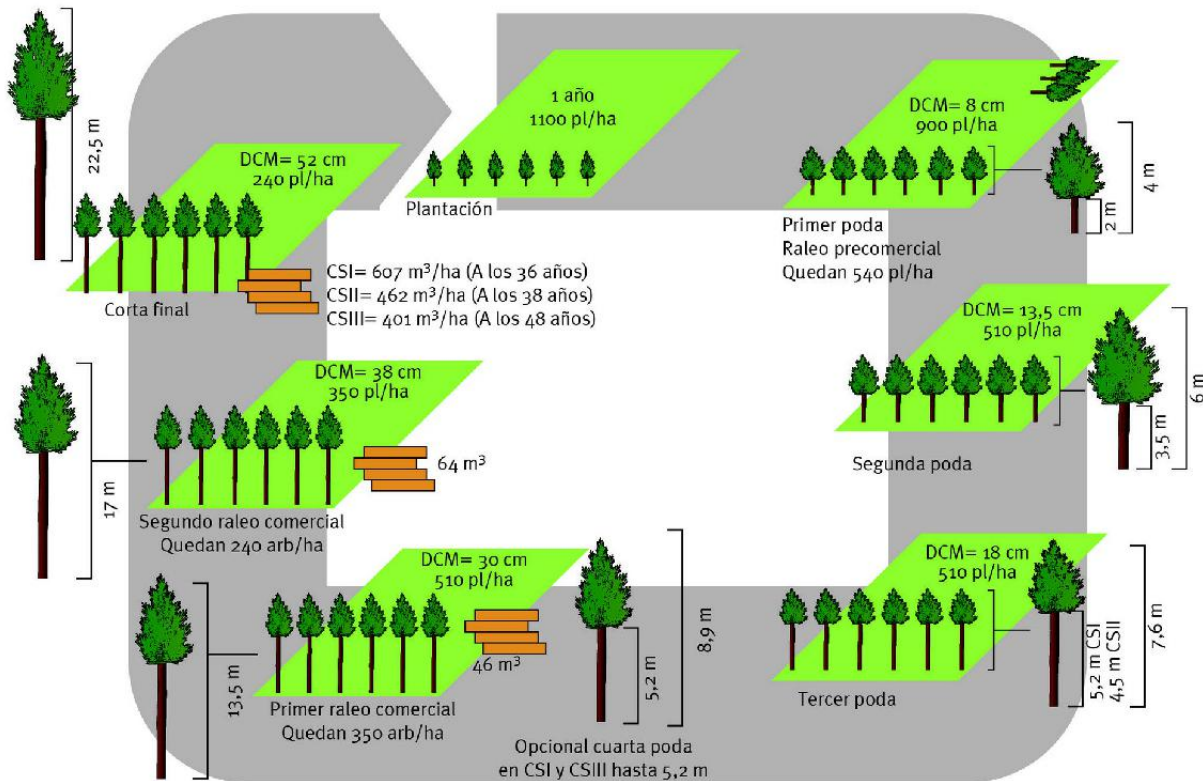


Figura 4 Esquema del manejo forestal tradicional. Tomado de Gonda, H. (2001). *Manejo de Pino Ponderosa. Modelo preliminar para plantaciones en sitios de calidad media en la Patagonia andina. Patagonia Forestal*, 3, 7–10.

IMPACTO AMBIENTAL DE LAS PLANTACIONES FORESTALES EN PATAGONIA

Las plantaciones forestales con coníferas exóticas establecidas en ambientes de bosques nativos de *Nothofagus* spp. y de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) y en la estepa patagónica han provocado, en general, una disminución en la riqueza y la abundancia de especies de la comunidad vegetal. Esta disminución ha sido más abrupta en rodales densos que en ralos, y se la atribuye principalmente a las altas coberturas del dosel y a la pérdida de heterogeneidad ambiental. Además, las plantaciones generan una capa de acículas en el suelo que afecta la germinación de semillas. Sin embargo, las plantaciones pueden contribuir a la recuperación de elementos del sistema original en sitios degradados, al excluir el ganado y generar microclimas con menor demanda hídrica. Por ejemplo, se ha documentado que *Festuca pallescens* tiene similares crecimientos en pastizales y plantaciones forestales con coberturas del dosel de hasta el 85% en el noroeste de Patagonia. Esto se atribuye a que el dosel forestal podría reducir la demanda hídrica, ya que la humedad relativa y la temperatura del aire registradas fueron similares bajo el dosel que en el pastizal, mientras que la radiación solar fue mayor en el segundo caso. Los mamíferos, las aves y los insectos también son afectados por las plantaciones forestales, variando sus respuestas de acuerdo a la estructura y la heterogeneidad vegetal. En general, en todos estos ensambles se observan disminuciones en la riqueza y la abundancia de especies cuando las plantaciones son más densas, y se ve un reemplazo en la composición específica cuando reemplazan ambientes de estepa.

Entre los factores abióticos se ha observado que las plantaciones forestales pueden impactar sobre el ambiente lumínico, el ciclo hídrico y las propiedades del suelo de los sistemas naturales en Patagonia. La radiación solar y la heterogeneidad lumínica disminuyen bajo el dosel de las plantaciones, especialmente cuando reemplazan pastizales y arbustales. Además, los residuos de las podas y raleos, cuando son dejados en el sitio, y las acículas que se acumulan sobre el suelo reducen la radiación disponible para el desarrollo de la vegetación del estrato herbáceo-arbustivo, los cuales además tienen una lenta tasa de descomposición. En cuanto al ciclo hídrico se observó que las coníferas exóticas presentan un mayor consumo de agua que el sistema que reemplazan, afectando al balance hídrico. Estas diferencias son mayores cuando las plantaciones son densas y en pastizales. Sin embargo, es posible disminuir el consumo de agua de las coníferas mediante el manejo del área foliar a través de podas y densidad de plantación. Entre las propiedades del suelo, se han detectado algunos cambios en su pH, tornándolo levemente más ácido que el suelo original. Sin embargo, el impacto de las plantaciones forestales no es unívoco, ya que depende tanto de la especie cultivada como de las características previas del sitio a forestar y del manejo de las plantaciones, por lo que aún existe un intenso debate sobre estas temáticas.

Otros impactos importantes a considerar son los procesos invasivos que puede generar la introducción de especies biológicas, la incidencia de plagas y el incremento del riesgo de incendios. Mientras que los pinos murrayana y oregón han sido identificados como invasores en áreas de estepa y cipresales, el pino ponderosa no se comporta como especie invasora. Sin embargo, las plantaciones de pino ponderosa aún son jóvenes, con lo cual su comportamiento no se conoce completamente en la región, por lo cual debe considerarse que a medida que au-

mente el área ocupada por plantaciones forestales también lo hace el riesgo de invasión. Por su parte las plantaciones no manejadas han permitido la incidencia de plagas como la avispa barrenadora de los pinos *Sirex noctilio* y la propagación de incendios catastróficos. Las plantaciones de coníferas alteran la estructura de la vegetación y la carga de combustibles, modificando el régimen de fuego de los ecosistemas en los cuales son establecidas. Entre un 2 y 3% de las plantaciones forestales en Patagonia se queman anualmente, incrementándose estos porcentajes con la edad de la plantación.

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El objetivo general de esta tesis fue evaluar los efectos que producen las plantaciones de pino ponderosa sobre las comunidades vegetales en el Noroeste de Patagonia, y su relación con las etapas del manejo forestal, para contribuir al mejoramiento y desarrollo de técnicas silvícolas que favorezcan el equilibrio entre la conservación de la biodiversidad y la productividad en paisajes productivos forestales de la Patagonia.

Para ello se abordaron cuatro objetivos específicos. El primero fue analizar las relaciones entre la estructura forestal, el ambiente lumínico y la comunidad vegetal en plantaciones de pino ponderosa bajo manejo tradicional. El segundo fue evaluar el crecimiento de tres especies nativas: calafate (*Berberis microphylla*), mamuel choique (*Adesmia volckmannii*) y coirón poa (*Poa ligularis*), bajo tres condiciones de irradiancia durante dos temporadas de crecimiento, simulando dos condiciones de dosel forestal y la condición de cielo abierto. El tercero fue estudiar la respuesta temprana de la comunidad vegetal del estrato herbáceo-arbustivo a tratamientos de reducción de residuos generados por las prácticas silvícolas de poda y raleo en plantaciones de pino ponderosa, comparada con la vegetación bajo manejo tradicional y de la comunidad natural. Los tratamientos de reducción de residuos evaluados fueron el triturado, la quema prescrita y su combinación. Y el cuarto fue comparar la vegetación y el banco de semillas del suelo en la comunidad natural y en el borde e interior de rodales aledaños de pino ponderosa, para evaluar su potencial contribución a la regeneración de la comunidad vegetal luego de intervenciones silvícolas.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localizó en el noroeste de la provincia de Chubut, Argentina. La vegetación es la típica de los distritos Subandino y Occidental de la provincia Patagónica (*ver: Introducción – Contexto ecológico*). En la región, el 85% de la composición total corresponde a especies nativas, principalmente gramíneas, hierbas y arbustos perennes, mientras que el 15% restante son especies exóticas, principalmente hierbas anuales y bienales.

El clima es Templado-Mediterráneo; los veranos son cálidos y secos, y los inviernos fríos y húmedos. Debido a esto los incendios naturales forman parte de este ecosistema, ocurriendo generalmente durante la estación seca, desde octubre a abril, especialmente entre enero y marzo.

Las plantaciones más antiguas se encuentran en áreas de bosques de coihue (*Nothofagus dombeyi*) y ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*), en donde la precipitación alcanza los 1.500 mm, y las más recientes en áreas de ecotono bosque-estepa y estepa, donde la precipitación varía entre 700 mm al oeste y 300 mm al este.

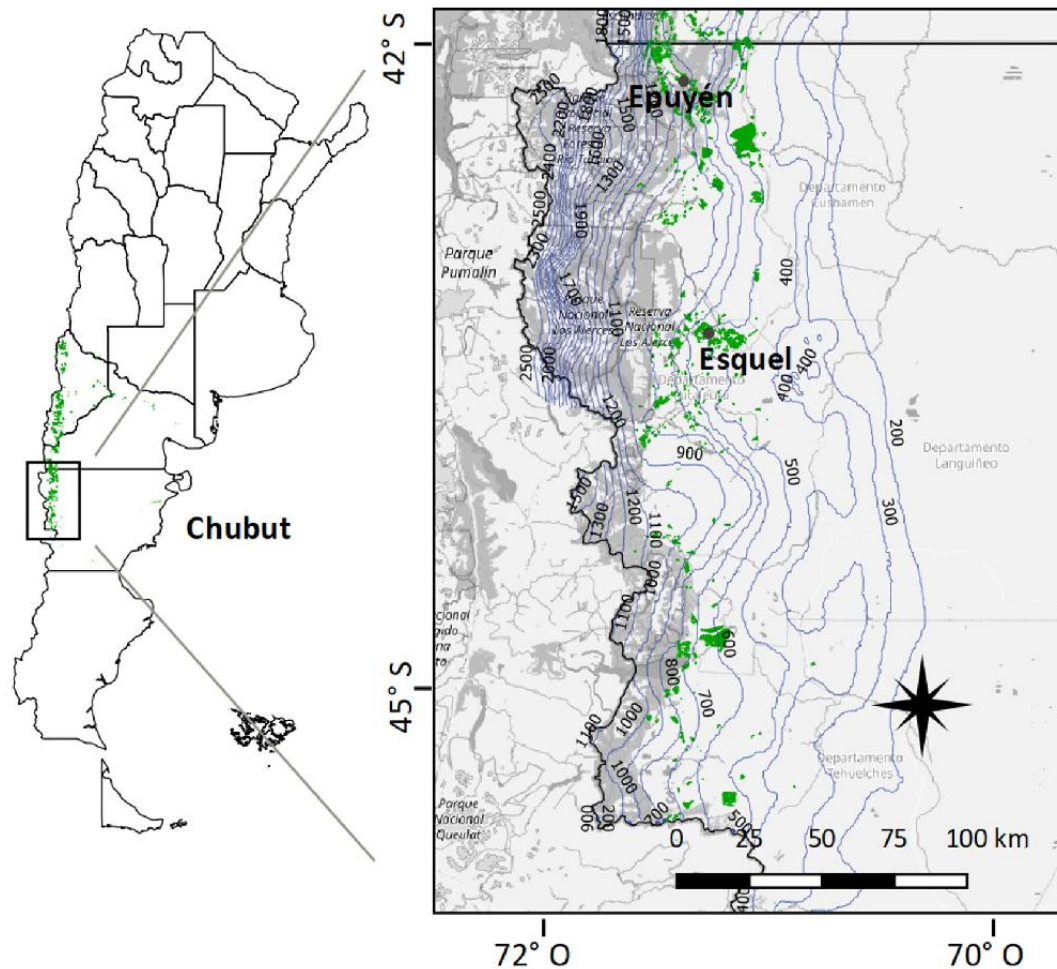


Figura 5 Ubicación de las plantaciones de pino ponderosa en el noroeste de Chubut [verde, obtenidas del inventario nacional de plantaciones forestales (CIEFAP-UCAR, 2017)]. El bosque andino-patagónico se indica en gris oscuro y la estepa patagónica en gris claro. Las líneas representan las isohietas anuales [obtenidas del geoportail idesa (IDESA, s.f.)].

RELACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA FORESTAL, LA RADIACIÓN SOLAR Y LA COMUNIDAD VEGETAL EN PLANTACIONES DE PINO PONDEROSA

En plantaciones forestales establecidas en ambientes donde naturalmente no existía un componente arbóreo, la radiación solar se convierte en el principal factor limitante de la vegetación. Su disponibilidad para el estrato herbáceo-arbustivo depende en gran medida de la composición arbórea y de la estructura del rodal. Para varias especies de coníferas la radiación que llega al sotobosque disminuye exponencialmente a medida que aumenta el área basal del rodal. En otros casos son las variables del dosel, o la combinación de distintas variables las que generan los mejores modelos predictivos.

Las especies vegetales varían en sus requerimientos lumínicos óptimos, siendo más o menos tolerantes a la sombra. Si bien existe una base genética que determina cual es la condición lumínica óptima para el desarrollo de una especie, las plantas tienen la capacidad de aclimatarse ante cambios en el ambiente lumínico. Algunas de estas respuestas pueden ser rápidas y reversibles, por ejemplo el movimiento de las hojas y la reubicación de los cloroplastos, mientras que otras se ajustan durante la morfogénesis, como el alargamiento de los entrenudos y el incremento del área foliar específica. Sin embargo, dicha capacidad puede no ser suficiente para persistir y desarrollarse en las nuevas condiciones lumínicas que generan las plantaciones forestales. Por lo tanto, es usual que la comunidad vegetal sea reemplazada por especies más tolerantes a la sombra, mientras que especies con altos requerimientos lumínicos disminuyan su presencia o abundancia.

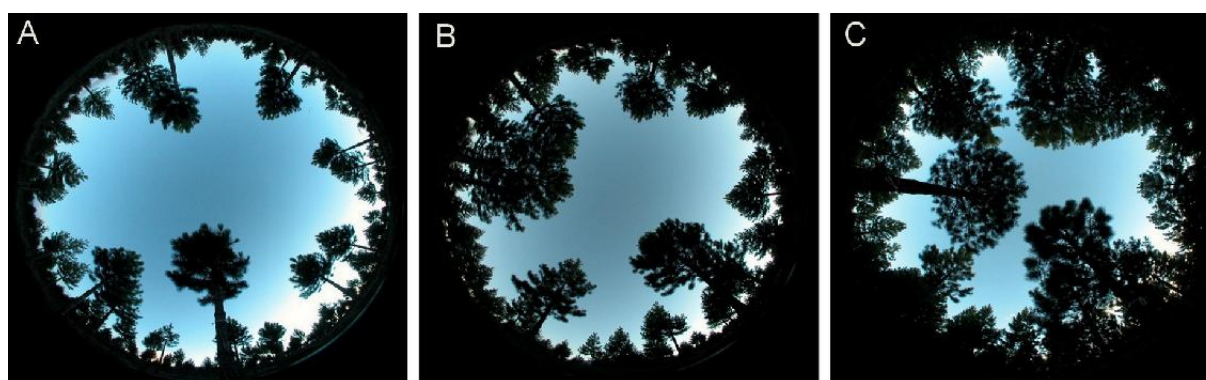
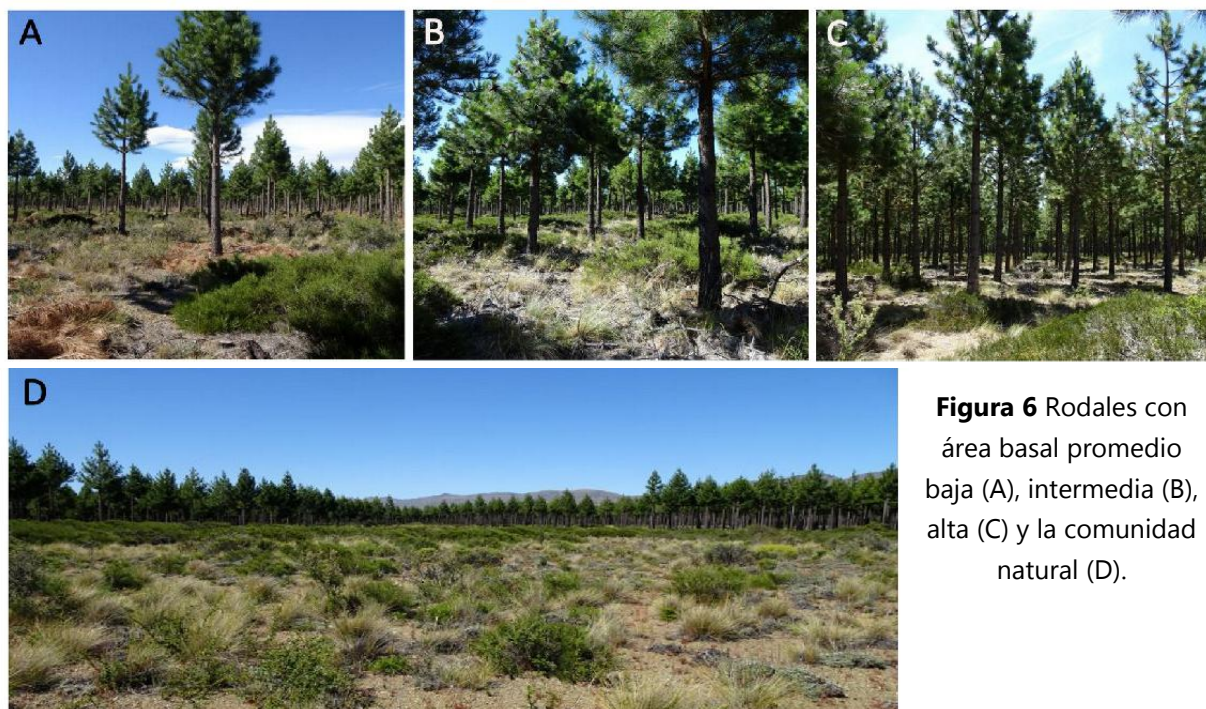
Las plantaciones forestales con coníferas exóticas en la Patagonia han provocado cambios en la comunidad vegetal (*ver: Introducción – Impacto ambiental de las plantaciones forestales en Patagonia*). Si bien estos cambios han sido más abruptos en plantaciones densas que en ralas, la cuantificación de los parámetros dasométricos de las diferentes estructuras forestales que pueden caracterizar una plantación y su relación con la comunidad vegetal del estrato herbáceo-arbustivo no ha sido exhaustivamente estudiada. Analizar y establecer relaciones entre variables de la estructura forestal, la radiación transmitida a través de diferentes estructuras forestales y atributos de la comunidad vegetal es útil para definir si variables usualmente obtenidas en inventarios forestales, como el área basal, pueden ser utilizadas para predecir el estado general de la comunidad vegetal del estrato herbáceo-arbustivo. Además, esta información es relevante para el mejoramiento de las pautas de manejo forestal que promuevan tanto la productividad forestal como la conservación de la biodiversidad.

METODOLOGÍA

Dentro del área de estudio, se seleccionaron tres sitios con una superficie forestada mayor a 100 hectáreas que presentaran manejo tradicional y un amplio rango de estructuras forestales. En cada sitio se seleccionaron sectores con área basal promedio baja (hasta $10 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), intermedia (entre 10 y $20 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), y alta (entre 20 y $35 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), y un sector cercano a la plantación con vegetación de la comunidad natural (Figura 6).

En cada sector se establecieron ocho parcelas en las cuales se obtuvieron variables de la estructura forestal (diámetro a la altura del pecho, altura de inicio de copa verde, altura total, y co-

bertura del dosel), variables del ambiente lumínico (Figura 7) mediante la obtención y procesamiento de fotografías hemisféricas (porcentaje de radiación total, directa y difusa), y variables de la comunidad vegetal (composición, riqueza y abundancia estimada como porcentaje de cobertura). También se registraron las prácticas silvícolas realizadas, la edad de plantación, la profundidad de hojarasca, y se agruparon las especies de la comunidad vegetal por su hábito-duración y origen.



Se analizaron las relaciones entre las variables de la estructura forestal y las variables del ambiente lumínico por un lado, y las relaciones de las variables de la estructura forestal y del ambiente lumínico con la riqueza y abundancia de la comunidad vegetal por otro. Para ello se utilizaron modelos lineales generales mixtos. Además, se analizaron las relaciones de la radiación solar disponible con la presencia y la abundancia de las especies agrupadas por su hábito-dura-

ción, origen y las especies más frecuentes. Para ello se utilizaron modelos lineales generalizados mixtos y correlaciones de Kendall.

RESULTADOS PRINCIPALES

Las variables de la estructura forestal que explicaron la mayor variabilidad de la radiación difusa (variable seleccionada para caracterizar el ambiente lumínico) fueron la cobertura del dosel y el área basal, las cuales explicaron el 92% de la variabilidad de la radiación difusa cuando se consideraron en conjunto (Figura 8).

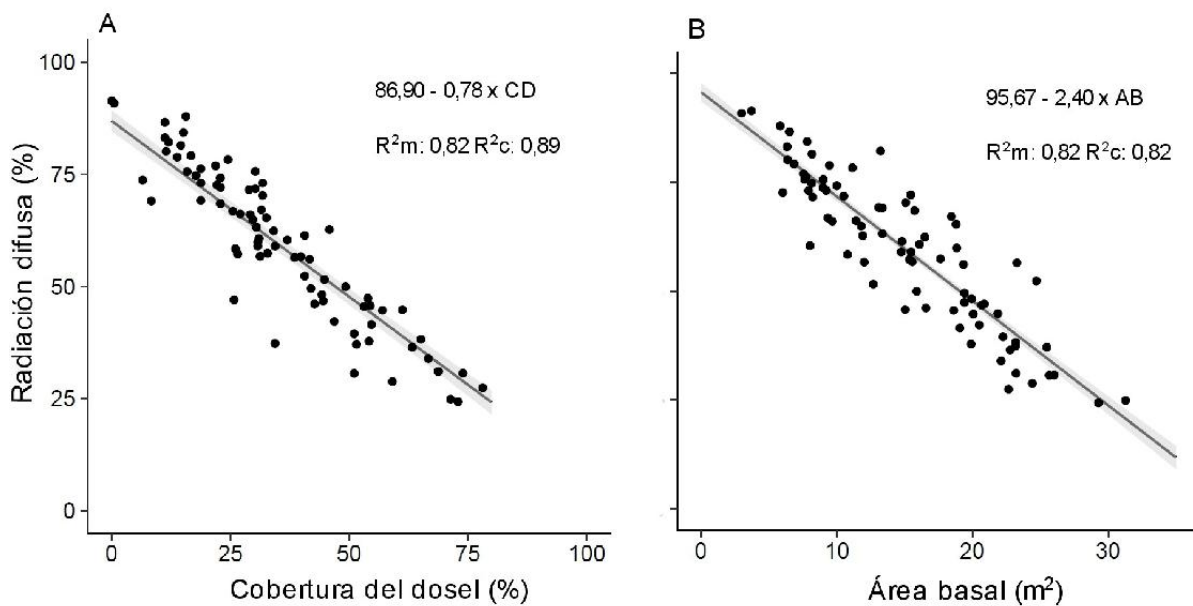


Figura 8 Porcentaje de radiación difusa en función de la cobertura del dosel (CD) (A) y del área basal (AB) (B). La línea representa la regresión lineal simple para el rango evaluado y el sombreado su intervalo de confianza.

Al considerar las variables independientemente, la radiación difusa, el área basal y la cobertura del dosel explicaron el 39, 36 y 31% de la variabilidad de la riqueza total, respectivamente, y el 36, 36 y 35% de la abundancia total, respectivamente. En todos los modelos, tanto incluyendo como excluyendo las parcelas de la comunidad natural, la regresión lineal mostró un patrón en donde la riqueza y la abundancia total disminuyeron a medida que el área basal y la cobertura del dosel se incrementaron (Figura 9).

Cuando se consideraron las variables de la estructura forestal y del ambiente lumínico en conjunto, los modelos seleccionados explicaron entre el 29 y el 53% de la variabilidad de la riqueza total, y entre el 35 y el 39% de la variabilidad de la abundancia. La radiación difusa solo fue significativa para la riqueza total en los modelos que consideraron las parcelas de plantación y comunidad natural, mientras que el área basal fue la variable más frecuente en los modelos, a la cual en algunos casos se sumó la altura de inicio de copa verde y la profundidad de hojarasca. Mientras que la altura de inicio de copa verde se relacionó positivamente con la riqueza, la profundidad de hojarasca se relacionó negativamente con la riqueza y la abundancia.

Por otro lado, se observó un incremento en la probabilidad de presencia de hierbas perennes y anuales, así como una correlación positiva de la abundancia de arbustos y hierbas perennes y anuales con la radiación difusa. Las especies más frecuentes mostraron diferentes respuestas al ambiente lumínico. Algunas de ellas mostraron una relación significativa, la cual en general fue positiva. Sin embargo, en la mayoría de los casos la variabilidad explicada por la radiación difusa fue baja, incrementándose en dos o más veces al considerar también el sitio y sector. En cuanto al origen, las nativas estuvieron presente en todas las parcelas relevadas, mientras que la probabilidad de presencia de las exóticas aumentó con la radiación difusa. Tanto la abundancia de especies nativas como de exóticas mostraron una correlación positiva con la radiación difusa.

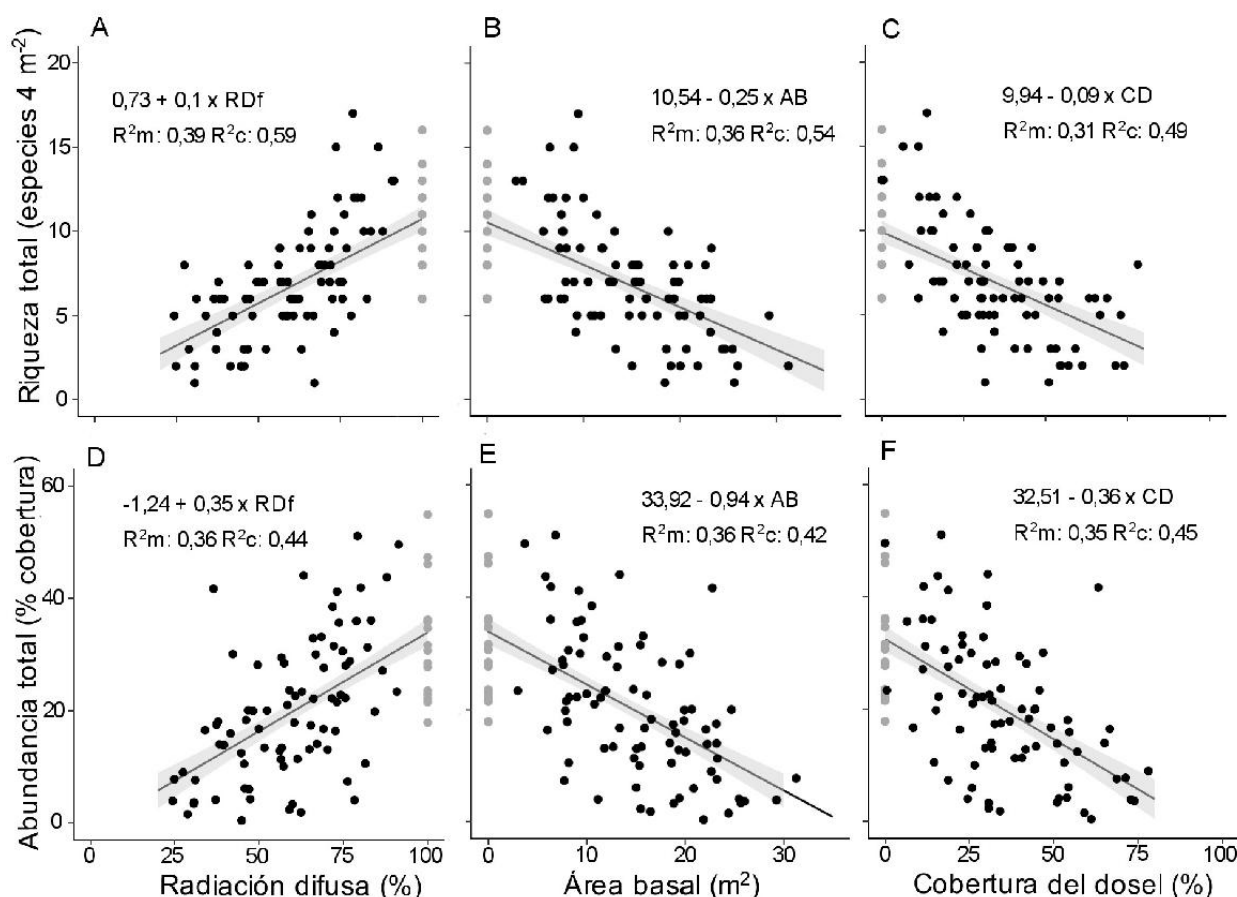


Figura 9 Riqueza total (A, B, C) y abundancia total (D, E, F) en función de la radiación difusa (RDf), el área basal (AB) y la cobertura del dosel (CD). Los círculos negros indican las parcelas dentro de las plantaciones y los círculos grises las parcelas de la comunidad natural. Las líneas representan las regresiones lineales simples en el rango correspondiente, y el sombreado su intervalo de confianza.

CONCLUSIONES

Este estudio contribuye a la comprensión de algunos cambios que suceden en la comunidad vegetal en el rango de estructuras forestales de plantaciones de pino ponderosa localizadas en el noroeste de Patagonia bajo el esquema de manejo forestal tradicional. La riqueza y la abundancia de la comunidad vegetal disminuyeron linealmente a medida que la radiación solar disponible disminuyó y el área basal y la cobertura del dosel aumentaron. Las especies nativas predominaron en todo el gradiente lumínico y las especies agrupadas por su hábito-duración y ori-

gen, así como las especies más frecuentes mostraron diferentes respuestas en su probabilidad de presencia y abundancia con la radiación solar disponible bajo el dosel arbóreo. Estos resultados sugieren que variables de la estructura forestal fáciles de medir, como el área basal, serían útiles para estimar la riqueza y la abundancia de la comunidad vegetal presente en el estrato herbáceo-arbustivo. Por lo tanto, serían útiles para establecer las estructuras forestales a promover, dependiendo de los niveles de riqueza y abundancia que se busque conservar. Esto podría implicar reducir los niveles de área basal y cobertura del dosel actualmente promovidos por el esquema de manejo forestal tradicional. Menores densidades iniciales, raleos y podas más frecuentes e intensas, y el manejo de los residuos forestales podrían mejorar los atributos de la comunidad vegetal. Alternativamente, dado que estas recomendaciones podrían reducir la productividad forestal, sería plausible promover diferentes estructuras forestales con diferentes niveles de radiación solar, tanto a nivel de rodal como de paisaje, para balancear la productividad forestal y la conservación de la biodiversidad.

CRECIMIENTO DE PLANTAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTEPA BAJO DISTINTOS NIVELES DE IRRADIANCIA QUE SIMULAN COBERTURAS DEL DOSEL

La disponibilidad lumínica bajo el dosel forestal determina en gran medida la capacidad de persistencia y desarrollo de las plantas del estrato herbáceo-arbustivo. Las respuestas de las especies vegetales ante cambios en el ambiente pueden, en ciertos casos, favorecer su aclimatación. Una respuesta frecuente es el cambio en la asignación de recursos a hojas, tallos y raíces, la cual puede explicarse por la teoría del "equilibrio funcional". Dicha teoría predice que cuando la disponibilidad de recursos aéreos, como luz y CO₂, es baja, la planta asigna más carbono a las hojas, mientras que si la disponibilidad de recursos subterráneos, como agua y nutrientes, es baja, la planta asigna más carbono a las raíces, favoreciendo que la planta mantenga una mayor captura del recurso más limitante. Muchos caracteres morfológicos también se modifican ante cambios en el ambiente lumínico, por ejemplo, el área foliar específica, es decir el área de una hoja en función de su peso seco o espesor, aumenta ante una disminución en la radiación para maximizar la captura de luz. También ocurren cambios en algunos caracteres fisiológicos como la tasa respiratoria y el punto de compensación lumínico, los cuales suelen disminuir ante una disminución de la radiación, y en caracteres del desarrollo reproductivo, como la expresión de sexos en plantas monoicas y la fenología.

Para evaluar la respuesta de las plantas a cambios en la disponibilidad de recursos, el análisis de crecimiento vegetal es una técnica que permite estimar parámetros de procesos fundamentales de los cuales depende la persistencia y el crecimiento de las plantas en una comunidad. La tasa de crecimiento relativo (TCR) es la medida principal del análisis de crecimiento y se define como el incremento de biomasa por unidad de biomasa y tiempo. La TCR puede descomponerse en la razón de área foliar (RAF), la cual a su vez puede descomponerse en la proporción de área foliar y el área foliar específica, y la tasa de asimilación neta (TAN). La RAF es la relación entre el área foliar y el peso total de la planta y constituye el componente morfológico de la TCR. La TAN es la tasa de incremento en el peso de la planta por unidad de área foliar y constituye el componente fisiológico de la TCR. La productividad de las plantas usualmente se estima me-

dian­te la pro­duc­ción de bio­masa, cuya va­ria­ción en­tre plan­tas so­me­ti­das a dis­tin­tas irra­dian­cias es un buen in­di­ca­dor de la ca­pa­ci­dad de to­le­ran­cia a la so­m­bra de las es­pe­cies. La res­pues­ta re­pro­duc­ti­va, si bien ha si­do me­nos es­tu­di­ada, es tam­bién un buen in­di­ca­dor de la pro­duc­ti­vi­dad ve­ge­tal.

En las zo­nas abier­tas de eco­sis­te­mas ári­dos y se­mi­ári­dos, como su­ce­de en las plan­ta­cio­nes fo­res­ta­les de pi­no pon­de­ro­sa ac­tu­al­men­te pro­mo­vi­das en Pa­ta­go­nia, la ra­di­a­ción so­lar no es un re­curso li­mi­tan­te, aun­que, por el con­tra­rio, pue­de en ocasio­nes ser tan­ta que se pro­duce fo­toi­nhi­bi­ción, es decir pro­ce­sos mo­le­cu­la­res an­te el ex­ce­so de luz que con­ducen a una re­duc­ción de la fo­to­sínte­sis. La so­m­bra que ge­ne­ra el do­sel de la plan­ta­ción po­dría en­ton­ces ser be­ne­fi­cio­sa al re­ducir la fo­toi­nhi­bi­ción, ademas del so­bre­ca­len­ta­mien­to y la trans­pi­ra­ción ex­ce­si­va que pue­den pre­sen­tar las plan­tas de la es­te­pa. Sin em­bar­go, la so­m­bra tam­bién pue­de li­mi­tar la fo­to­sínte­sis y el cre­ci­mien­to de las plan­tas. Co­no­cer la res­pues­ta tan­to en pro­duc­ti­vi­dad como en otros ca­rac­te­res fe­no­tó­pi­cos (e.g. TCR y sus co­m­ponen­tes mor­fo­lógico y fi­si­oló­gi­co) de las es­pe­cies ve­ge­ta­les de la es­te­pa so­me­ti­das a dis­tin­tos ni­ve­les de irra­dian­cia con­tri­buye a de­finir pau­tas de ma­ne­jo de la plan­ta­ción que per­mitan la per­sis­ten­cia y el cre­ci­mien­to de las plan­tas de la co­mu­ni­dad na­tu­ral.

METODOLOGÍA

Se se­lec­cio­na­ron tres es­pe­cies ca­rac­te­rís­ti­cas de la es­te­pa pa­ta­góni­ca en la cual se es­ta­ble­cen las plan­ta­cio­nes fo­res­ta­les: *Berberis microphylla* (Berberidaceae), *Adesmia volckmannii* (Fabaceae) y *Poa ligularis* (Poaceae) (Figura 10).

Mien­tras que *Berberis microphylla* (ca­la­fa­te) y *Adesmia volckmannii* (ma­muel choi­que) pre­do­mi­nan en el dis­tri­to Oc­ci­den­tal de la pro­vin­cia Pa­ta­góni­ca, *Poa ligularis* (coi­rón poa) es muy fre­cuen­te y pro­ba­ble­men­te ha­ya si­do una de las gra­mi­neas más abun­dan­tes pre­vio al so­bre­pas­to­reo en la re­gión. *Berberis microphylla* es un ar­bus­to siem­pre­verde, es­pi­no­so, que pue­de al­can­zar los 3 m de al­tu­ra. Se des­ta­ca por el va­lor nu­tri­cio­nal de sus ba­yas, con ele­va­do con­te­ni­do de hi­dra­tos de car­bo­no, áci­dos or­gá­ni­cos y com­pues­tos fe­nó­li­cos que le con­fi­eren al­ta ca­pa­ci­dad an­ti­oxi­dan­te. Esta es­pe­cie es am­pli­amen­te uti­li­za­da por las co­mu­ni­da­des ru­ra­les, tan­to en ali­men­tos como en me­di­ci­nas y otros usos, y con­sti­tuye un re­curso ali­men­ti­cio para la fa­una sil­ves­tre. *Adesmia volckmannii* es un ar­bus­to ca­du­ci­fo­lio, es­pi­no­so, que pue­de al­can­zar 1,5 m de al­tu­ra. Es el ar­bus­to le­gu­mi­no­so más con­spi­cua de la es­te­pa pa­ta­góni­ca, y se es­ti­ma cum­ple un rol cen­tral en la fi­ja­ción de ni­tró­ge­no at­mos­férico. Ademas, estas dos es­pe­cies son im­por­tan­tes re­cursos le­ñeros, de­bi­do a sus ca­rac­te­rís­ti­cas com­bus­ti­bles. *Poa ligularis* es una gra­mi­nea pe­ren­ne ces­pi­to­sa, que con­sti­tuye un re­curso for­ra­jero muy im­por­tan­te para el ga­na­do do­més­ti­co y pre­sen­ta una gran to­le­ran­cia a la se­quí­a. De­bi­do a to­das las fun­cio­nes y los ser­vi­cios eco­sis­te­mí­cos que estas es­pe­cies cum­plen, es im­por­tan­te su ma­nten­i­mien­to en las áreas con plan­ta­cio­nes fo­res­ta­les.

Para e­va­lu­ar el cre­ci­mien­to de las es­pe­cies a dis­tin­tos ni­ve­les de irra­dian­cia, se in­staló un en­sa­yo de vi­ve­ro ba­jo con­di­cio­nes se­mi con­tro­la­das. Se es­ta­ble­cie­ron tres ni­ve­les de irra­dian­cia: 20% de irra­dian­cia (IR ba­ja), 60% de irra­dian­cia (IR me­dia) y 100% de irra­dian­cia (IR al­ta), si­mu­lan­do con­di­cio­nes de do­sel den­so, ra­lo, y sin do­sel, res­pec­ti­va­men­te (Figura 11). Las plan­tas de

cada especie, con un año de edad, se distribuyeron en seis estructuras (repeticiones) por tratamiento y permanecieron bajo las condiciones asignadas durante dos años.

Al inicio del ensayo y en distintos momentos durante las dos temporadas crecimiento (mediados y fines), se realizaron cinco muestreos destructivos. En cada momento se obtuvieron el peso seco de las fracciones hojas, tallo y raíz, y el área foliar específica. Se compararon los caracteres registrados entre tratamientos de irradiancia, independientemente para cada especie y en cada momento evaluado. Además, para los cinco intervalos de tiempo definidos entre los sucesivos momentos de muestreo se analizaron las variaciones en la tasa de crecimiento relativo y sus componentes, para cada especie. Por otra parte, durante la segunda temporada de crecimiento, se registraron y compararon la presencia y cantidad de estructuras reproductivas entre los tratamientos en plantas de *Adesmia volckmannii* y de *Poa ligularis*. Para todos estos análisis se utilizaron modelos lineales generales mixtos.



Figura 10 *Berberis microphylla* (izquierda), *Adesmia volckmannii* (centro) y *Poa ligularis* (derecha)



Figura 11 Estructuras para los tratamientos de irradiancia baja (A), media (B) y alta (C).

RESULTADOS PRINCIPALES

Las tres especies analizadas respondieron de manera diferente a los niveles de irradiancia evaluados, si bien en términos generales su productividad fue similar entre irradiancias del 60 al 100%. Luego de dos temporadas de crecimiento, tanto *Berberis microphylla* (Figuras 12 y 13) como *Adesmia volckmannii* (Figuras 14 y 15) mostraron una menor biomasa total al 20% de irradiancia, que se correspondió con cambios en la asignación de biomasa, área foliar específica y razón de área foliar. Al 20% de irradiancia ambas especies presentaron una menor fracción de raíz así como una mayor fracción de hojas, en el caso de *Berberis microphylla*, y una mayor fracción de tallo, en el caso de *Adesmia volckmannii*. El área foliar específica y la razón de área foliar fueron mayores al 20% de irradiancia para las dos especies.

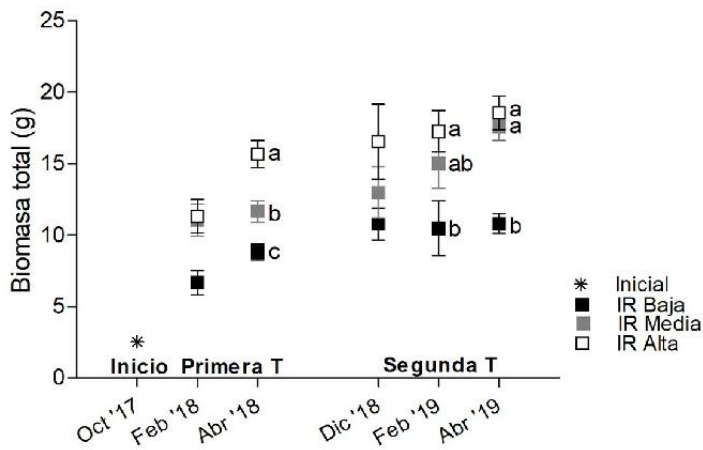


Figura 12 Biomasa total de *Berberis microphylla* para los tratamientos de irradiación en cada momento analizado. Letras diferentes indican diferencias significativas para cada momento analizado.



Figura 13 Plantas de *Berberis microphylla* correspondientes a los tratamientos de irradiación baja (A), media (B) y alta (C) en abril de 2019.

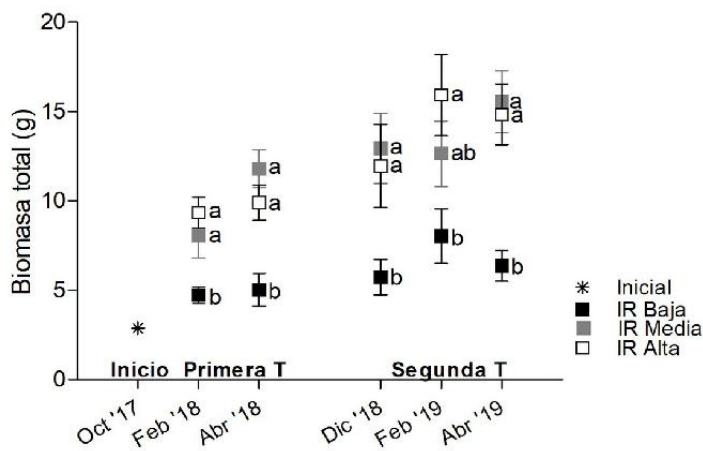


Figura 14 Biomasa total de *Adesmia volckmannii* para los tratamientos de irradiación en cada momento analizado. Letras diferentes indican diferencias significativas para cada momento analizado.

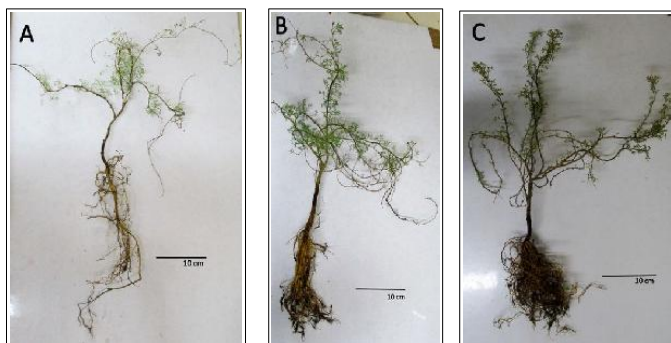


Figura 15 Plantas de *Adesmia volckmannii* correspondientes a los tratamientos de irradiación baja (A), media (B) y alta (C) en abril de 2019.

Por otro lado, *Poa ligularis* mostró una tendencia a disminuir su biomasa total a irradiancias menores al 60% y mostró una menor fracción de raíz y una mayor fracción de hojas o tallo, así como mayor área foliar específica y razón de área foliar, a irradiancias del 20%, en algunos de los momentos evaluados.

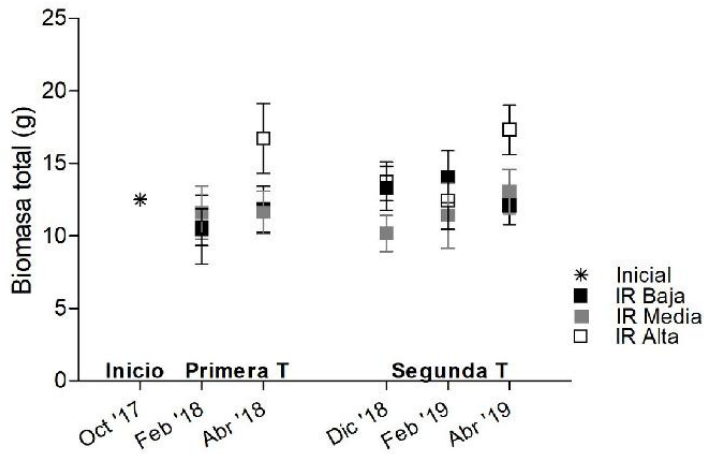


Figura 16 Biomasa total de *Poa ligularis* para los tratamientos de irradiación en cada momento analizado. Letras diferentes indican diferencias significativas para cada momento analizado.



Figura 17 Plantas de *Poa ligularis* correspondientes a los tratamientos de irradiación baja (A), media (B) y alta (C) en abril de 2019.

Además, tanto *Adesmia volckmannii* (Figura 18) como *Poa ligularis* (Figura 19) presentaron un menor número de estructuras reproductivas al 20% de irradiación. En el caso de *Adesmia volckmannii* las flores surgen a partir de espigas, las cuales también fueron menos numerosas en las plantas sometidas al 20% de irradiación.

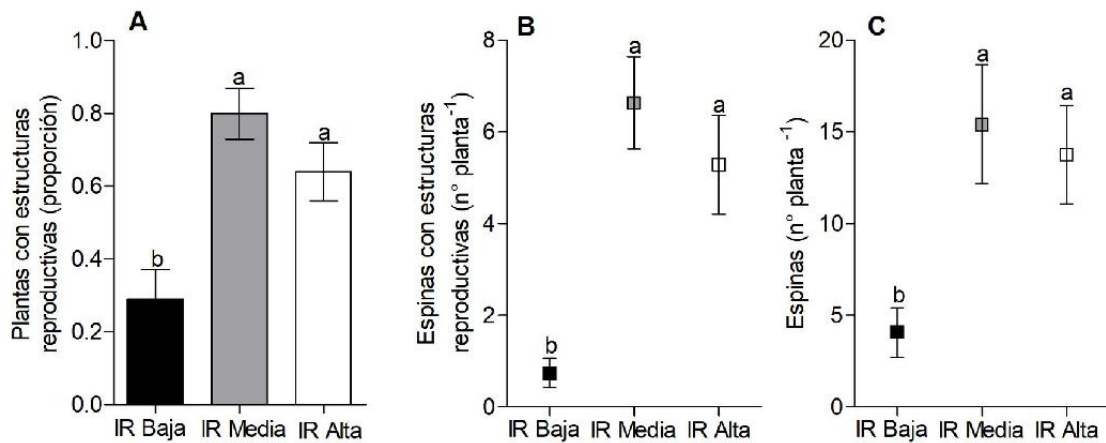


Figura 18 Proporción de plantas de *Adesmia volckmannii* en estadio reproductivo (A) y desarrollo de estructuras reproductivas en espinas (B) en los tratamientos de irradiancia (IR baja, IR media e IR alta) para la segunda temporada de crecimiento, y cantidad de espinas (C). Letras diferentes indican diferencias significativas para la variable correspondiente entre tratamientos.

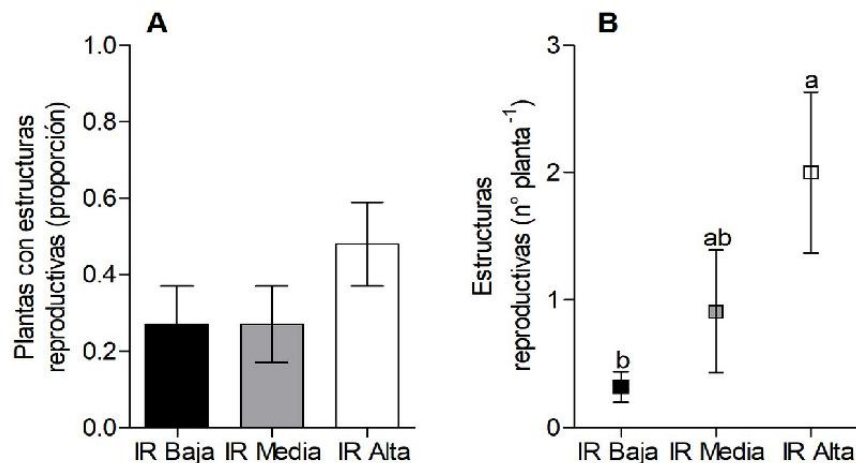


Figura 19 Proporción de plantas de *Poa ligularis* en estadio reproductivo (A) y desarrollo de estructuras reproductivas (B) en los tratamientos de irradiancia (IR baja, IR media e IR alta) para la segunda temporada de crecimiento. Letras diferentes indican diferencias significativas para la variable correspondiente entre tratamientos.

CONCLUSIONES

Las especies vegetales contribuyen de manera diferente a las funciones de los ecosistemas (e.g., constituyendo el alimento o el refugio de otras especies, contribuyendo a procesos como el ciclo de nutrientes, etc), por lo tanto, la persistencia y el desarrollo de distintas especies bajo el dosel de plantaciones forestales es relevante. Este estudio demuestra que tres especies características de la comunidad natural de la estepa patagónica responden a la reducción de la radiación solar logrando mantener sus niveles de productividad hasta ciertos niveles de irradiancia. Mientras que *Berberis microphylla* y *Adesmia volckmannii* mantienen su productividad al 60% de irradiancia, *Adesmia volckmannii*, además, tiende a aumentarla. Por su parte, *Poa ligularis* tiende a disminuir su productividad a partir del 60% de irradiancia. Además, las tres especies responden a la reducción de la irradiancia con un aumento en caracteres que le permitirían ma-

ximizar la captura de luz, como son el área foliar específica, la razón de área foliar, y en algunos casos la fracción de hojas. Estos resultados sugieren que las tres especies analizadas presentan cierta tolerancia a la sombra que las favorecería para desarrollarse bajo diferentes niveles de cobertura del dosel de plantaciones forestales. Por lo tanto, el manejo de las plantaciones forestales debe focalizarse en el manejo de la luz, logrando alcanzar una heterogeneidad lumínica que permita el desarrollo de las distintas especies. Finalmente, evaluar cómo responden otras especies que habitan en la estepa patagónica a la disminución de la radiación solar, e incluir niveles de irradiancia intermedios entre el 60 y el 20%, aportaría información relevante para definir con mayor precisión los niveles de radiación que deberían mantenerse en las plantaciones forestales para favorecer la persistencia y el desarrollo de distintas especies de la comunidad natural.

RESPUESTA DE LA COMUNIDAD VEGETAL AL MANEJO DE RESIDUOS FORESTALES EN PLANTACIONES DE *PINUS PONDEROSA*

La poda y el raleo son prácticas silvícolas que incrementan la disponibilidad de recursos como la luz y la humedad, promoviendo el desarrollo del estrato herbáceo-arbustivo en plantaciones forestales. Estas prácticas, además, mejoran la calidad de la madera, ya que limitan el desarrollo de nudos y favorecen el incremento en diámetro del tronco. Sin embargo, los residuos forestales que generan usualmente se dejan sobre el suelo, donde pueden impedir el normal crecimiento de la vegetación al sombrearla y cubrirla, y además crean una capa de combustible que puede incrementar el riesgo y la intensidad del fuego, con el consecuente daño para la vegetación. Por lo tanto, el manejo de los residuos forestales podría contribuir a conservar la biodiversidad en las plantaciones forestales.

Los tratamientos de reducción de residuos más utilizados incluyen la quema prescrita y el triturado. La quema prescrita consiste en la aplicación planificada de fuego bajo condiciones controladas. El triturado consiste en la reducción del tamaño del material leñoso, vivo o muerto, y su concentración en una capa densa sobre el suelo forestal. Los tratamientos mecánicos como el triturado deben ser considerados cuando la aplicación de quemas es peligroso, por ejemplo cerca de pueblos y otros asentamientos, o en combinación con quemas prescritas.

El manejo de los residuos forestales puede tener diferentes efectos en la comunidad vegetal del estrato herbáceo-arbustivo. El raleo seguido de quemas prescritas usualmente resulta en un incremento inmediato de la riqueza de especies, con una alta proporción de exóticas, y en una disminución de la cobertura vegetal. Si bien el triturado genera una capa densa de combustible en el suelo forestal que puede actuar como una barrera para la germinación y el desarrollo de la vegetación, los pastos y las hierbas usualmente recuperan su cobertura luego del triturado. Manejos de residuos subsecuentes, como quemas prescritas, pueden favorecer el establecimiento de especies al liberar recursos y espacio mediante la exposición del suelo mineral. Sin embargo, el tiempo de residencia del fuego y la profundidad de llama pueden incrementarse debido a la densidad de la capa de combustible, incrementando la temperatura del suelo, con el consecuente daño a los organismos del suelo. Por lo tanto, la elección de la técnica más apropiada para el manejo de los residuos debe basarse en la integridad del ecosistema.

Las características de la vegetación natural de un ambiente y su condición antes del manejo de los residuos forestales pueden ser condicionantes de la respuesta de la vegetación luego de su implementación. En el caso de la estepa Patagónica, el fuego es un disturbio importante para la estructura y las funciones de las comunidades vegetales. Los incendios naturales en esta región usualmente ocurren durante la estación seca, desde octubre a abril, especialmente entre enero y marzo. Además, se estima que los incendios ocurren cada nueve años a escala de paisaje y cada 11 a 24 años a escala de comunidad. Muchas especies de esta región son rebrotantes y otras forman bancos de semillas persistentes, lo cual favorece su capacidad de resiliencia ante el fuego. Podría esperarse entonces que la comunidad vegetal natural responda mediante el rebrote y la germinación desde el banco de semillas a la implementación de quemas prescriptas y triturado en las plantaciones forestales. Sin embargo, la comunidad natural se encuentra modificada por las plantaciones forestales, las cuales generalmente reducen su riqueza y abundancia, y modifican su estructura en magnitudes que dependen del contexto ecológico y de la estructura forestal que se logre con el manejo forestal. Además, la estepa patagónica presenta distintos niveles de deterioro estructural debido al sobrepastoreo al que ha estado sometida desde la introducción del ganado doméstico a fines del siglo XIX (*ver Introducción – Historia de uso*). Por lo tanto, si la comunidad vegetal del estrato herbáceo-arbustivo en las plantaciones forestales ya se encuentra alterada respecto a su condición prístina, la adición de fuego o el triturado podría resultar en diferentes comunidades.

Debido a que las plantaciones con pino ponderosa en Patagonia se encuentran en su primera rotación y los residuos forestales son comúnmente apilados en montículos o escolleras sobre el suelo forestal, el conocimiento sobre el efecto de distintos tratamientos de reducción de residuos sobre los regímenes de fuego y la comunidad vegetal es aún escaso. Sin embargo, ese conocimiento es necesario para definir pautas para la continuidad de la implementación de tratamientos de reducción de residuos en las plantaciones forestales en Patagonia. Este trabajo, por tanto, se orienta a evaluar los efectos de dicha implementación en la comunidad vegetal del estrato herbáceo-arbustivo de las plantaciones forestales en el noroeste del Chubut.

METODOLOGÍA

Dentro del área de estudio se seleccionaron cinco rodales con plantaciones de pino ponderosa, cuatro de ellos localizados en la estepa y uno en un área correspondiente a bosque nativo. En cada plantación, se delimitó un área de una hectárea en la cual se implementaron cuatro repeticiones (en parcelas de 144 m²) para cada uno de los cuatro tratamientos de residuos: la práctica tradicional de apilado de residuos en el suelo forestal (control) y tres tratamientos de reducción de residuos, triturado, quema prescripta y triturado seguido por quema prescripta. Además, en las cuatro plantaciones localizadas en la estepa, se delimitó un área adyacente con vegetación de la comunidad natural, en la cual se seleccionaron cuatro parcelas de 144 m² para evaluar la comunidad natural. El triturado se implementó en invierno, entre julio y octubre, usando un tractor al cual se le acopló un cabezal con cuchillas para triturar. La quema prescripta se implementó en primavera, entre octubre y noviembre, luego de la estación húmeda, tanto en las parcelas de quema prescripta como en las de triturado/quema prescripta, mediante la técnica de fuego en retroceso.

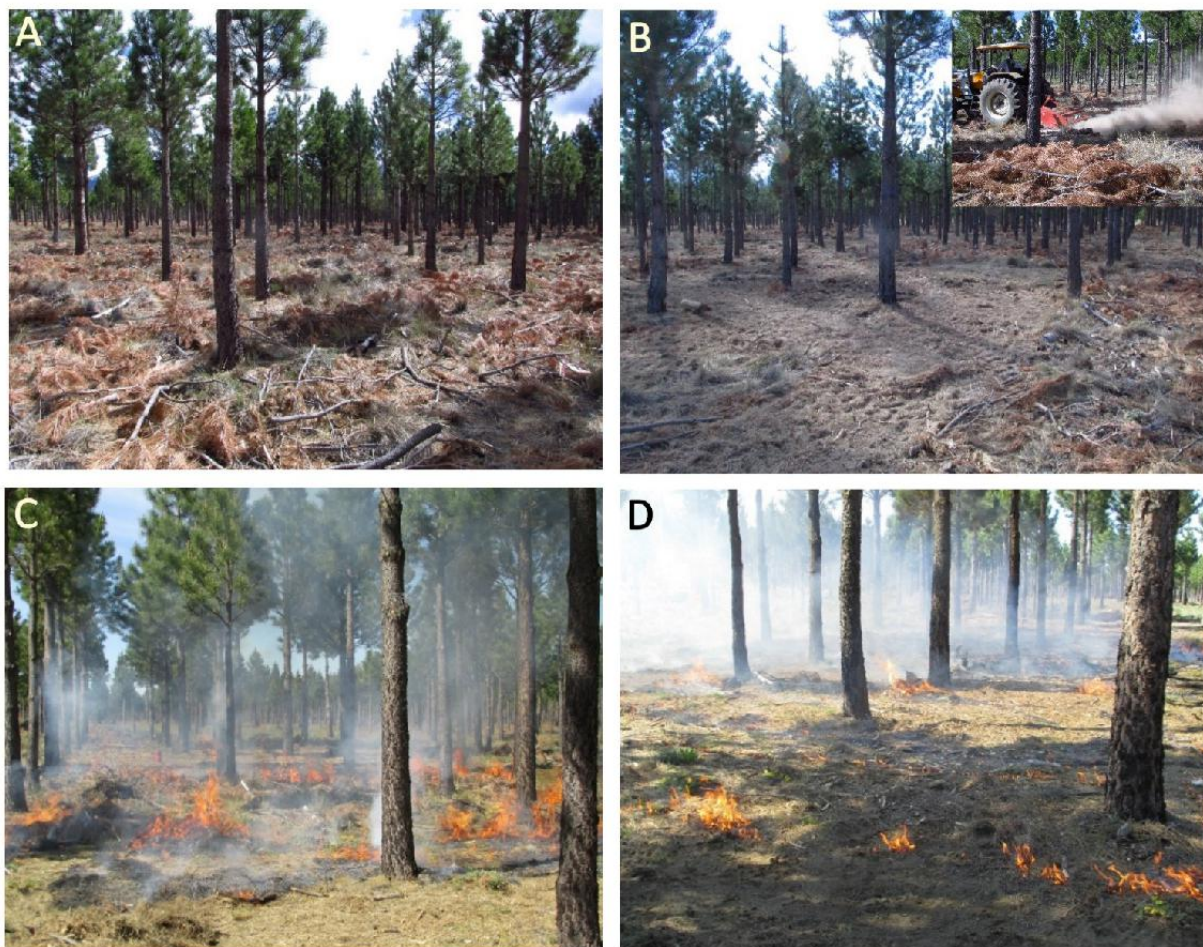


Figura 20 Tratamientos de residuos: Residuos apilados sobre el suelo (control) (A), triturado (B), quema prescrita (C), y triturado más quema prescrita (D).

En cada parcela se estableció una parcela permanente de 4 m² en la cual se registraron variables de la comunidad vegetal (composición, riqueza y abundancia estimada como porcentaje de cobertura) durante tres años consecutivos luego de la implementación de los tratamientos de reducción de residuos. Las especies se agruparon por su hábito-duración y origen. Además, en cada parcela permanente se estimó el porcentaje de cobertura de residuos, clasificados en conos y ramas, y hojarasca (incluyendo las ramas pequeñas trituradas en los tratamientos de triturado y triturado/quema prescrita), y de suelo desnudo. En cada plantación se realizó una descripción de su estructura forestal, manejo silvícola y de las características e historia de uso del sitio. Además, se contó con datos de la biomasa inicial de los residuos generados por las prácticas de poda y raleo realizadas previamente a la implementación de los tratamientos de reducción de residuos.

Se analizó la evolución inicial de la comunidad vegetal, en términos de riqueza, abundancia y composición, a los tratamientos de reducción de residuos forestales, y luego de tres años de su implementación, comparado con la práctica tradicional de apilado de residuos en el suelo forestal y con la comunidad natural. Para ello se utilizaron modelos lineales mixtos e índices de similitud (Jaccard y Bray-Curtis). Se determinó si la respuesta de la comunidad vegetal fue similar entre tratamientos de residuos en sitios que presentaron diferentes condiciones de sitio, mediante

escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) y análisis de redundancia (RDA). Además, se analizó la variación de la cobertura de residuos y de suelo desnudo entre tratamientos de residuos luego de la reducción de los mismos, mediante análisis de la varianza.

RESULTADOS PRINCIPALES

La riqueza alcanzó valores similares en la mayoría de los tratamientos de residuos el primer año luego de la reducción de residuos, mientras que la abundancia se incrementó gradualmente en todos los tratamientos de reducción de residuos. En general, el mayor aumento de la abundancia ocurrió en el triturado. Luego de tres años, la riqueza (Figura 21) alcanzó valores similares a la comunidad natural en la mayoría de los tratamientos, con aproximadamente 9 especies.4m⁻², mientras que la abundancia (Figura 22), con aproximadamente 40% en la comunidad natural, sólo alcanzó valores entre el 5 y el 25% en los tratamientos de residuos. En la plantación del sitio 4, la riqueza fue menor a 2 especies 4m⁻² y la abundancia menor a 1% de cobertura antes de la implementación de reducción de residuos, y no se detectó ningún cambio significativo luego de ella. Por esta razón, no se realizó ningún análisis estadístico en este sitio para comparar la respuesta de la riqueza y la abundancia entre tratamientos de residuos y tiempo desde su implementación.

En cuanto al origen, la comunidad natural en los sitios 1, 2 y 3 tuvo mayor proporción de riqueza y abundancia de nativas que de exóticas (Figuras 21 y 22). Sin embargo, en el sitio 3 dicha proporción fue cercana a 1, mientras que en el sitio 5 la proporción de exóticas fue mayor en todos los tratamientos con reducción de residuos. Esto podría estar asociado con que en los sitios 1 y 2 hubo exclusión ganadera desde la instalación de las plantaciones, mientras que el sitio 3 presentó signos de pastoreo intenso y el sitio 5 se correspondió con remanentes de un bosque de *Austrocedrus chilensis*, el cual se quemó en 1987 y fue pastoreado por al menos 10 años antes de la realización de este estudio. En cuanto al hábito-duración, tanto la proporción de riqueza como de abundancia varió entre y dentro de los sitios. En general, los hábito-duración predominantes en la comunidad natural tuvieron menor proporción en los tratamientos de residuos, en todos los sitios. Por ejemplo, la proporción de la abundancia de arbustos fue mayor en la comunidad natural, seguido por el control, y luego por los tratamientos de reducción de residuos, en el sitio 2. Un patrón similar se encontró para las hierbas perennes en el sitio 3, y para las gramíneas perennes en el sitio 1. En cuanto a las hierbas y gramíneas anuales, estos grupos tuvieron mayor proporción de abundancia en los sitios 3 y 5, correspondiéndose principalmente con especies exóticas.

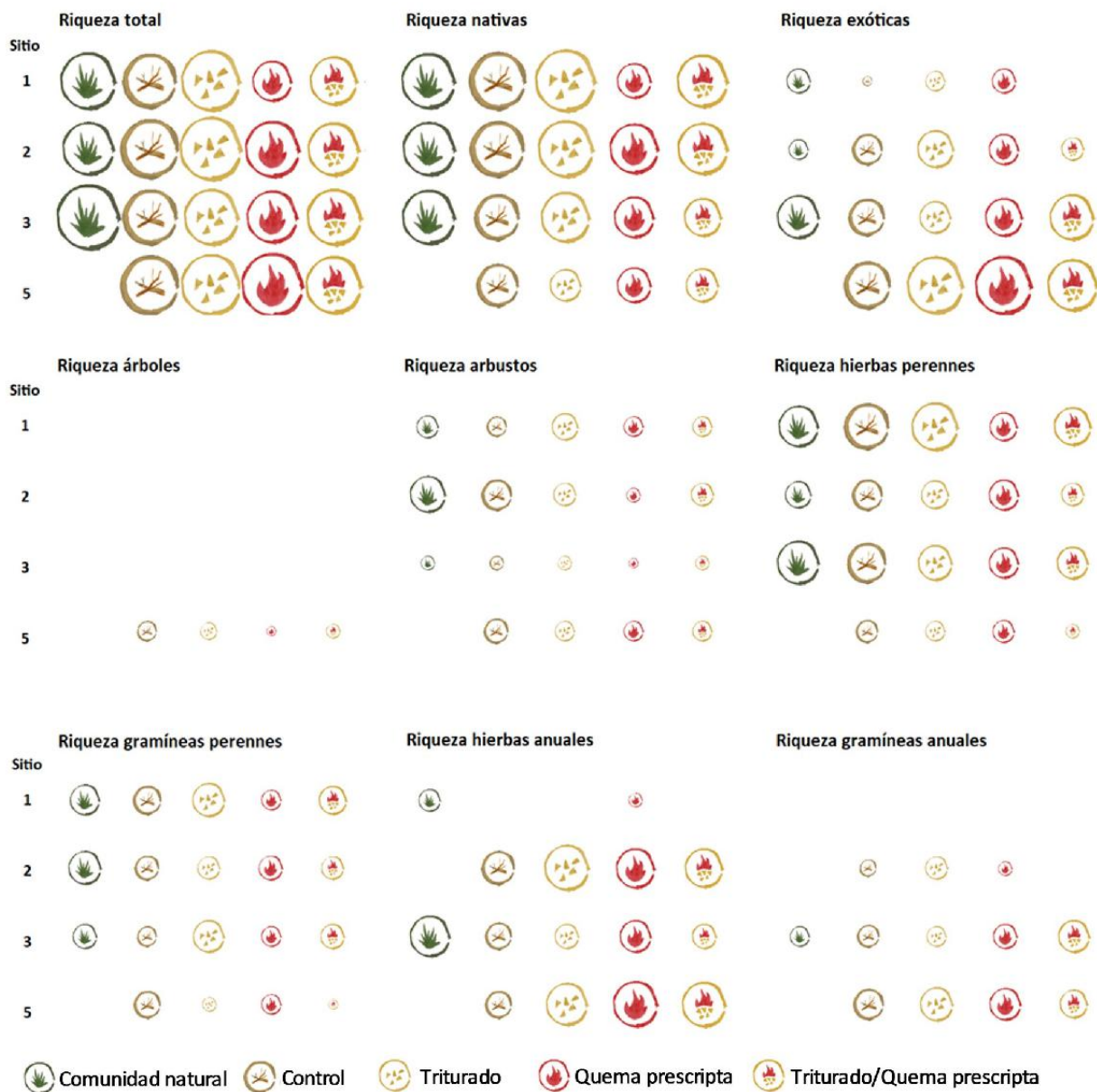


Figura 21 Representación de la riqueza total, y por origen y hábito-duración, en la comunidad natural y tratamientos de residuos para el último año de muestreo en cada sitio de estudio. El tamaño del ícono corresponde al valor medio de la variable (variando entre 0,25 y 11,5 especies 4m⁻²) para cada tratamiento.

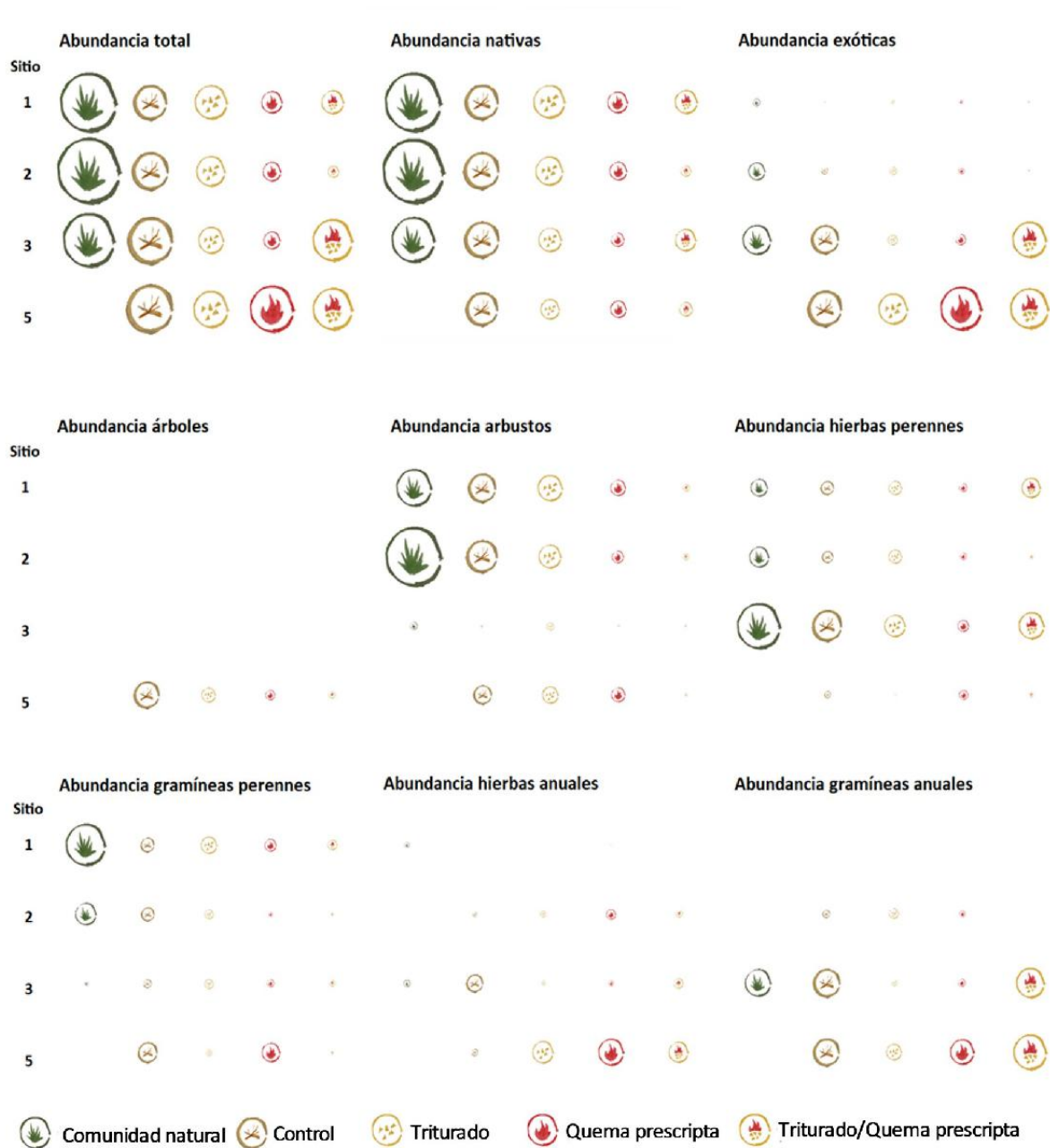


Figura 22 Representación de la abundancia total, y por origen y hábito-duración, en la comunidad natural y tratamientos de residuos para el último año de muestreo en cada sitio de estudio. El tamaño del ícono corresponde al valor medio de la variable (variando entre 0,5 y 50,75% de cobertura) para cada tratamiento.

La similitud de la composición específica fue baja entre tratamientos y la comunidad natural en todos los sitios (Índice de Bray–Curtis 0,1–0,6). Además, la ordenación del NMDS indicó que, entre sitios, el sitio 5 fue el más disimilar, y que los tratamientos de residuos fueron más similares entre sí que con la comunidad natural en cada sitio (Figura 23 A). La composición de la comunidad vegetal se correlacionó positivamente con la precipitación anual y la biomasa residual inicial. Además, en los sitios con menor precipitación y biomasa residual inicial, predominaron las especies nativas, y el triturado tuvo el menor impacto negativo en la recuperación inicial de la vegetación. En los sitios con mayor proporción de especies exóticas, la recuperación de la vegetación estuvo dirigida por las exóticas en todos los tratamientos de reducción de residuos (Figura 23 B).

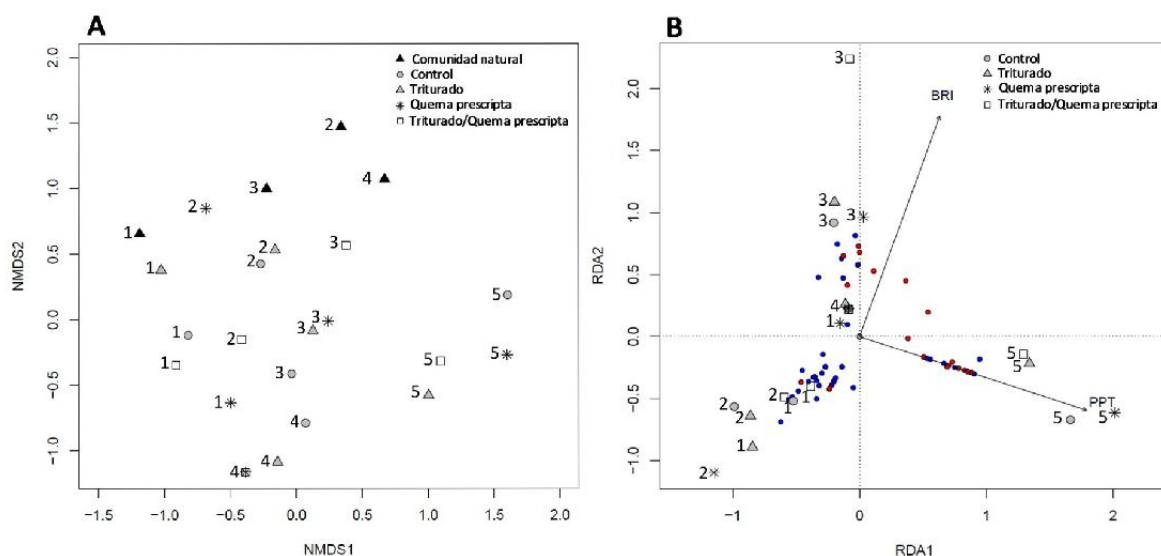


Figura 23 Primer plano dimensional del escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) de la vegetación tres años luego de la implementación de los tratamientos de reducción de residuos y de la comunidad natural en todos los sitios (1, 2, 3, 4 y 5) en un diseño factorial de dos vías (tratamiento de residuos y comunidad natural x sitios); estrés = 0,19 (A). Biplot del primer y segundo eje de la ordenación del análisis de redundancia (RDA) de la vegetación tres años luego de la implementación de los tratamientos de reducción de residuos en todos los sitios. Los círculos representan las especies, indicando las nativas en azul y las exóticas en rojo. Las variables exploratorias significativas son precipitación anual (PPT) y biomasa residual inicial (BRI). La variabilidad explicada por el primer eje es 9,75% y la explicada por el segundo eje es 5,25% (B).

El porcentaje de cobertura de residuos de conos y ramas sólo disminuyeron significativamente cuando su cobertura inicial fue mayor al 20%, y la cobertura de hojarasca retomó valores iniciales al segundo año luego de la reducción de los residuos.

CONCLUSIONES

El manejo de los residuos generados por las podas y los raleos en las plantaciones forestales es fundamental si se busca un equilibrio entre la productividad forestal y la conservación de la biodiversidad. Los residuos forestales que son apilados sobre el suelo en plantaciones forestales generan una capa que sombrea a la vegetación del estrato herbáceo-arbustivo y, además, au-

mentan el riesgo e intensidad de incendios, lo que podría conllevar pérdidas productivas y un efecto más severo para la recuperación de la vegetación. Este estudio demuestra que la capacidad de recuperación de la vegetación luego de tratamientos de reducción de residuos forestales depende tanto de los tratamientos implementados como de las condiciones previas de la vegetación y las características del sitio. Si bien en el corto plazo ninguno de los tres tratamientos de reducción de residuos evaluados (triturado, quema prescripta y triturado seguido de quema) mejoraría la condición de la vegetación del estrato herbáceo-arbustivo, el triturado sería el tratamiento con el menor impacto negativo sobre la vegetación. La riqueza se recuperó, en general, en todos los tratamientos de reducción de residuos, aunque en aquellos que involucraron fuego hubo una demora y las nativas no alcanzaron a recuperarse en el corto plazo. Además, los resultados de este estudio sugieren que el origen de las especies, que se asocia con la historia y uso del sitio, tendría un rol importante en la recuperación de la abundancia vegetal en los distintos tratamientos de reducción de residuos. Mientras la abundancia de nativas se recuperó en el triturado en sitios con aproximadamente 15 años de exclusión ganadera, la abundancia de exóticas aumentó en los tratamientos que involucraron fuego en los sitios con uso ganadero o degradación por fuego. Por lo tanto, al momento de seleccionar el tratamiento de reducción de residuos a implementar se deben considerar aspectos referentes a la condición de la vegetación y características del sitio. Finalmente, este estudio abre nuevas interrogantes, por ejemplo, respecto al momento de implementación de los tratamientos de reducción de residuos, ya que la capacidad de recuperación de la vegetación podría depender de su estado al momento de la implementación de los tratamientos, y la frecuencia de implementación que permita la recuperación de la vegetación. Este estudio aporta información relevante que, al ir complementándose con nuevos estudios, permitirá mejorar las pautas que manejo de los residuos forestales para lograr un equilibrio entre la productividad forestal y la conservación de la biodiversidad en plantaciones forestales del noroeste patagónico.

ESTRATEGIAS PARA PERSISTIR EN LA COMUNIDAD: BANCO DE SEMILLAS DEL SUELO Y VEGETACIÓN EN PLANTACIONES DE *PINUS PONDEROSA*

La persistencia y la recuperación de plantas vasculares dependen de sus estrategias reproductivas y de la disponibilidad de propágulos. Algunas especies perennes se reproducen mediante yemas vegetativas y generalmente no forman bancos de semillas persistentes. Estas especies necesitan mantenerse en la vegetación en superficie para persistir en la comunidad, mientras que las especies anuales dependen de sus semillas. Cuando un disturbio ocurre, la composición y la abundancia del banco de semillas son importantes para predecir la potencial revegetación natural de la comunidad. Las plantaciones con coníferas generalmente afectan la vegetación en superficie y también el banco de semillas del suelo el cual decrece en tamaño a medida que la plantación crece en edad. El banco de semillas del suelo en plantaciones forestales suele estar conformado principalmente por hierbas anuales, las cuales en general son exóticas, y sólo algunas nativas. Esto implica que, si bien algunas especies pueden recuperarse a partir del banco de semillas del suelo, otros mecanismos son requeridos para su recuperación. Ade-

más, ya que en plantaciones forestales una gran proporción de especies exóticas conforman el banco de semillas, la futura vegetación podría contener una alta proporción de especies no deseables.

Los mecanismos para recuperar las especies afectadas por las plantaciones deberían considerarse desde la planificación de las plantaciones, especialmente si se conoce previamente cuáles son las especies que podrían ser afectadas en la vegetación en superficie y cuáles podrían estar presentes o ausentes en el banco de semillas del suelo. La lluvia de semillas es un mecanismo particularmente importante para aquellas especies que desaparecen luego de la plantación tanto en la vegetación en superficie como en el banco de semillas del suelo. Por esta razón, la presencia de recursos cercanos que contengan especies deseables es fundamental. La dispersión por viento depende de la distancia desde la fuente y de algunas condiciones ambientales. Por ejemplo, las semillas raramente se dispersan más allá de los 5 m desde el borde en bosques densos, mientras que pueden alcanzar más de 30 m en bosques ralos. Además, el tamaño de la plantación y la creación de espacios abiertos dentro de ésta deberían considerarse para permitir que los propágulos se dispersen en la plantación desde la vegetación cercana. Otras prácticas como la siembra y la plantación de especies afectadas son posibles alternativas. En todos los casos, el conocimiento de los requerimientos para la producción de semillas, dispersión y establecimiento tanto de las especies deseables como no deseables es necesario.

La vegetación en superficie y el banco de semillas del suelo han sido estudiados en la estepa patagónica para evaluar los efectos del pastoreo. En la vegetación en superficie puede haber un incremento de la cobertura de arbustos y una reducción de los pastos y de las hierbas perennes en áreas con alta presión ganadera, comparado con áreas donde el ganado es excluido. En ambas áreas, el banco de semillas del suelo está conformado principalmente por hierbas, habiendo una marcada reducción de los pastos perennes en áreas pastoreadas. En áreas sin pastoreo o en áreas afectadas por fuego, se ha detectado una baja similitud entre la composición de especies de la vegetación y el banco de semillas. Sin embargo, el banco de semillas del suelo no ha sido estudiado en plantaciones de coníferas, donde podría tener un rol fundamental en la restauración de la vegetación luego de las prácticas de poda y raleo. Además, esta información es relevante, ya que muchas plantaciones forestales en la Patagonia argentina están alcanzando la primera rotación y posiblemente se realice la reforestación de los predios luego de la corta final.

METODOLOGÍA

Dentro del área de estudio se seleccionaron tres sitios con plantaciones de pino ponderosa que abarcaran al menos 30 hectáreas. Se escogieron rodales con diámetro cuadrático medio mayor a 25 cm, ya que los mismos serían próximamente raleados, según el modelo de manejo tradicional. En cada rodal seleccionado se realizó una descripción de su estructura forestal, manejo silvícola y de las características e historia de uso del sitio. En cada sitio se delimitaron tres sectores: comunidad natural, borde (los primeros 10 m de plantaciones desde uno de sus bordes) e interior (al menos a 50 m desde los bordes de la plantación). En cada sector se estableció una unidad experimental de 250 m² dividida en cinco parcelas de 50 m², obteniéndose un total de 45 parcelas rectangulares.

En cada parcela se registró la vegetación en superficie (vegetación, desde ahora en más) y el banco de semillas del suelo (banco de semillas, desde ahora en más). Para evaluar la vegetación, en diciembre de 2016 se registraron todas las especies de plantas presentes en cada parcela rectangular y se estimó la abundancia como porcentaje de cobertura aérea de cada especie en un cuadro de 1 m² colocado tres veces en cada parcela. Para evaluar el banco de semillas, se tomaron muestras del suelo en dos oportunidades. La primera en abril de 2016, durante el otoño, luego de la dispersión, y la segunda en septiembre de 2016, al finalizar el invierno, luego de la estratificación natural. En cada momento se tomaron cinco muestras de suelo por parcela rectangular utilizando un sacabocado de 10 cm de diámetro para muestrear los primeros 5 cm de suelo mineral. Cuando hubo hojarasca, la misma se muestreó separadamente del suelo mineral, pero se consideró como parte de la misma muestra. Se utilizó el método de germinación, para el cual se colocó cada muestra de suelo sobre 1 cm de arena volcánica esterilizada en una bandeja dentro de una bolsa plástica de 30 µm, y se dispusieron en una cámara de crecimiento inmediatamente luego de los muestreos de abril y septiembre. La cámara de crecimiento se mantuvo con temperaturas entre 20 °C y 25 °C, y 16 horas de luz. Durante cuatro meses las muestras se regaron para mantener las condiciones de humedad, y se removió el suelo al segundo y tercer mes para reiniciar la germinación. Se evaluó la emergencia de plántulas semanalmente, eliminándose las plántulas identificadas de las bandejas. Las especies se agruparon por su hábito-duración y origen.

Se compararon la riqueza y la abundancia total, según el origen y según el hábito-duración de las especies, así como la composición de la comunidad vegetal presente en la vegetación y en el banco de semillas, entre la comunidad natural, el borde de la plantación y su interior. Para ellos se utilizaron modelos lineales generalizados mixtos y análisis de la varianza multivariados permutacionales utilizando matrices de distancia (PERMANOVA). Además, se analizó la similitud entre la composición de especies de la vegetación y del banco de semillas en el borde de la plantación, en su interior, y en la comunidad natural, mediante un escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS).

RESULTADOS PRINCIPALES

En la vegetación se registraron 69 especies, pertenecientes a 27 familias. La mayoría se correspondieron con hierbas perennes nativas y la especie que predominó en abundancia en los tres sectores fue el arbusto nativo *Discaria articulata*. La riqueza decreció gradualmente desde la comunidad natural hacia el interior de la plantación, siendo las nativas y las hierbas perennes los grupos más afectados (Figura 24 A). En cuanto a la abundancia, las nativas conformaron el 90% y los arbustos el 65% de la cobertura total de la comunidad natural. Ambos grupos disminuyeron desde la comunidad natural hacia el interior de la plantación (Figura 24 B). Por su parte, el pino ponderosa también estuvo presente en el estrato herbáceo-arbustivo con una abundancia menor a 0,05% de cobertura en el borde y 0,1% de cobertura en el interior de las plantaciones.

El tamaño del banco de semillas fluctuó en todos los sectores entre las muestras de abril (otoño) y septiembre (primavera), con los valores más bajos en septiembre para todos. Los grupos que predominaron tanto en riqueza como en abundancia, fueron hierbas exóticas y anuales. Las especies más abundantes, con más de 100 plántulas emergidas, fueron *Myosotis stricta*,

Draba verna, *Festuca myuros*, *Cardamine hirsuta*, *Crepis capillaris*, *Holcus lanatus*, *Holosteum umbellatum* y *Rumex acetosella*. No se detectaron diferencias significativas en riqueza y abundancia entre sectores (Figura 24 C y D). Por su parte, el pino ponderosa presentó una abundancia de 11,04 (3,49) y 41,61 (9) plántulas m⁻² (error estándar) en el borde e interior de las plantaciones, respectivamente.

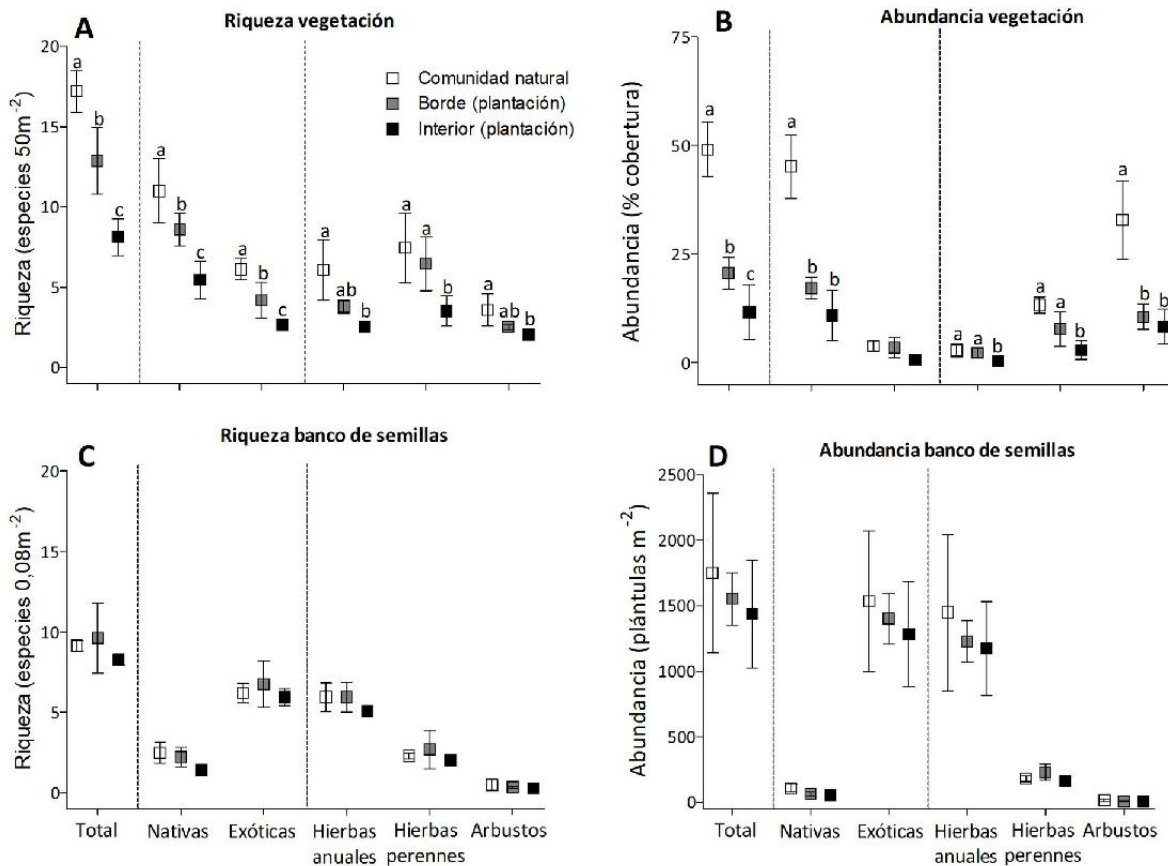


Figura 24 Riqueza y abundancia para cada sector en la vegetación (A, B) y en el banco de semillas (C, D). Riqueza y abundancia total (izquierda), por origen (centro), y por hábito-duración (derecha). Los valores son las medias y las barras el error estándar. Letras diferente indican diferencias significativas para la variable respuesta entre sectores ($p < 0,05$).

La composición de especies entre la vegetación y el banco de semillas fue diferente para cada sector en todos los sitios estudiados. En general, las hierbas perennes y los arbustos predominaron en la vegetación, y las hierbas anuales en el banco de semillas (Figura 25).

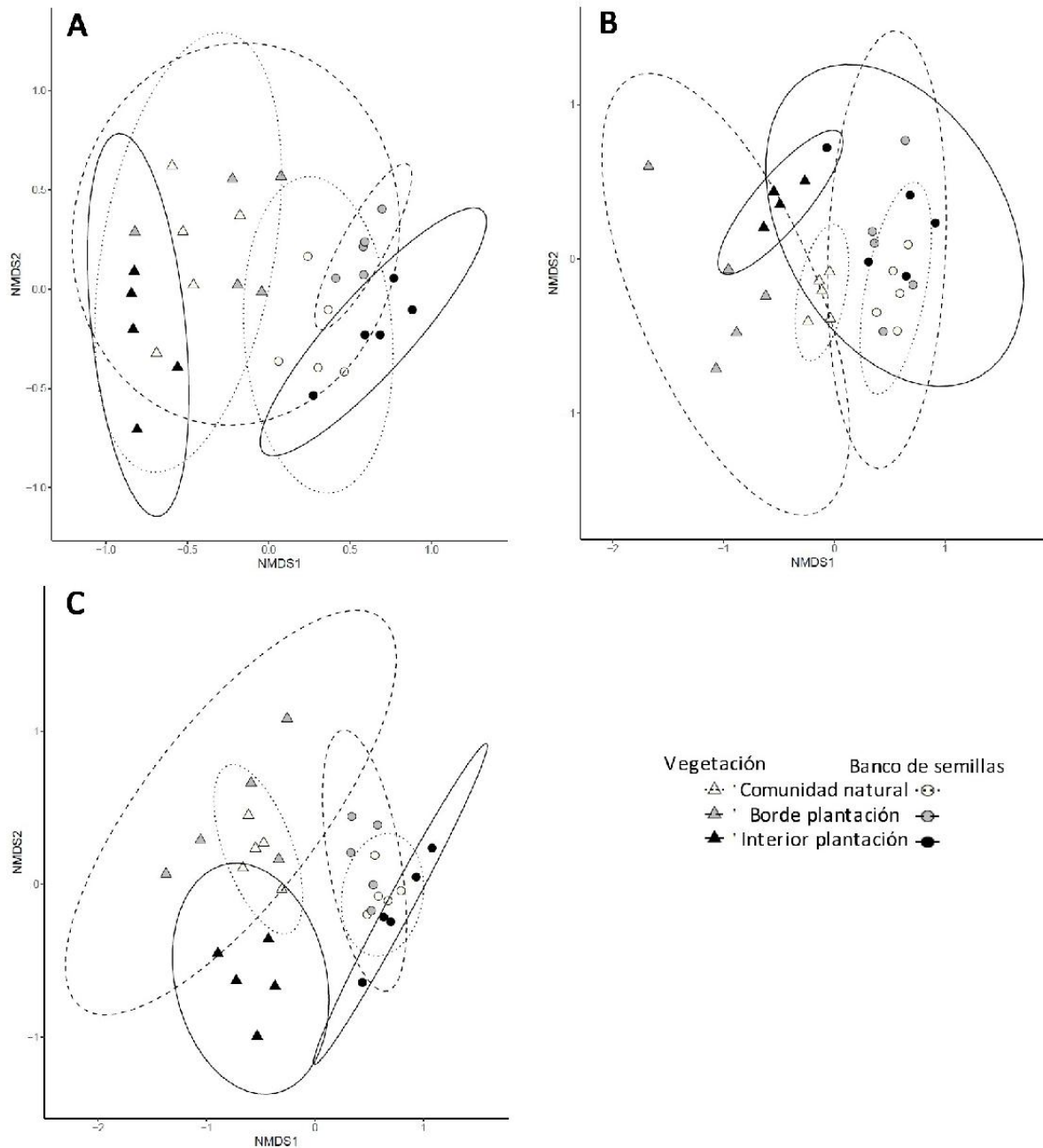


Figura 25 Primer plano factorial del escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) de la vegetación y el banco de semillas en cada sector para el sitio 1 (A, estrés = 0,18), sitio 2 (B, estrés = 0,13), y sitio 3 (C, estrés = 0,13). La ordenación está basada en la presencia de especies, mediante la distancia de Bray, con elipses de confianza del 95%.

CONCLUSIONES

Las plantaciones forestales impactan sobre la comunidad natural donde se establecen, por lo tanto, la capacidad de recuperación de la vegetación luego de prácticas silvícolas, como las podas, los raleos, o la tala final, es importante para mantener el equilibrio entre la productividad forestal y la conservación de la biodiversidad. Este estudio demuestra que las plantaciones forestales de pino ponderosa en el noroeste de Chubut a mitad de su ciclo de rotación reducen la

riqueza y la abundancia de la comunidad natural, la cual se compone principalmente de especies perennes nativas, aunque no tienen un efecto significativo sobre el banco de semillas del suelo. La presencia de especies nativas en el banco de semillas sugiere que éste cumpliría un rol importante en la revegetación del estrato herbáceo-arbustivo. Sin embargo, dado que en las plantaciones forestales el banco de semillas está compuesto principalmente por especies exóticas anuales, su aporte no sería suficiente para restaurar aquellas especies de la vegetación que han sido disminuidas por las plantaciones. Además, la presencia y la abundancia de especies exóticas en el banco de semillas, incluido el pino ponderosa, sugiere que si estas especies emergen luego de las prácticas silvícolas, la comunidad natural podría sufrir importantes cambios. Por lo tanto, la persistencia de la vegetación en pie durante todo el ciclo forestal, así como la disponibilidad de propágulos cercanos para la revegetación son fundamentales para que la comunidad vegetal pueda persistir. Además, este estudio advierte sobre la necesidad de avanzar en el estudio de las características de las especies nativas, para promover su cultivo para posibles planes de restauración, y de exóticas, para posibles estrategias de control.

DISCUSIÓN GENERAL

Durante las últimas dos décadas la posibilidad de conservar la biodiversidad en plantaciones forestales se ha debatido intensamente, debido al incremento de la superficie con plantaciones forestales establecidas y sus potenciales efectos, positivos y negativos, sobre la biodiversidad y funciones ecosistémicas. A nivel nacional y regional se ha estudiado el efecto de las plantaciones forestales con coníferas exóticas sobre distintos atributos de los ecosistemas naturales, a partir de los cuales han surgido algunas propuestas de manejo que contribuyen a la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, debido a que la actividad forestal en la Patagonia argentina es relativamente reciente, con la mayoría de las plantaciones en etapa de conducción silvicultural y que hasta la fecha se han focalizado principalmente en la producción maderera, aún hay aspectos que necesitan dilucidarse para promover la conservación de la biodiversidad en las plantaciones forestales. En este trabajo se evaluaron atributos de la comunidad vegetal que se desarrolla bajo el dosel de plantaciones de pino ponderosa abarcando el rango de estructuras forestales representativas de las plantaciones en el noroeste de la provincia del Chubut. También se seleccionaron tres especies de plantas características de la comunidad natural y se estudió su crecimiento a tres niveles de irradiancia. Por otra parte, se evaluó la respuesta temprana de la comunidad vegetal a alternativas del manejo de los residuos forestales generados por prácticas de poda y raleo. Por último, se analizó la potencial contribución de la vegetación y el banco de semillas del suelo a la persistencia de la comunidad vegetal en plantaciones en la mitad de su ciclo de rotación.

Las comunidades vegetales naturales del noroeste patagónico están dominadas por especies nativas perennes, mientras que las especies exóticas son principalmente anuales y bienales, representando el 85 y el 15%, respectivamente. Esta predominancia de especies nativas perennes se registró en las comunidades naturales evaluadas y se mantuvo en las comunidades del estrato herbáceo-arbustivo en las plantaciones estudiadas, indicando que las especies nativas consti-

tuyen la vegetación predominante bajo el dosel arbóreo de las plantaciones. Sin embargo, los valores de riqueza y abundancia total disminuyeron con la disminución de la radiación difusa, y con el incremento del área basal y de la cobertura del dosel de las estructuras forestales, y lo hicieron en una relación lineal.

La disminución de la riqueza detectada en función de la radiación y de las estructuras forestales no implica necesariamente la desaparición de especies bajo la plantación, pero sí una disminución en la frecuencia de ocurrencia de ellas que si se sostiene en el tiempo podría conllevar a extinciones locales.

Esta disminución en la frecuencia de especies se observó en todos los grupos según el hábito-duración de las especies, aunque particularmente en las hierbas perennes y anuales. En el caso de las hierbas perennes, se observó que se trataba principalmente de hierbas perennes nativas con baja abundancia en la comunidad natural, las cuales además no se registraron en el banco de semillas del suelo. En cambio, las hierbas anuales fueron principalmente especies exóticas que disminuyeron su presencia bajo el dosel arbóreo, ya que presentan altos requerimientos lumínicos; sin embargo, persisten en el banco de semillas y podrían germinar si las condiciones microambientales las favorecen.

El agotamiento de especies nativas con baja abundancia, así como la revegetación de especies exóticas que persisten en el banco de semillas del suelo, incluso la propia regeneración de pino ponderosa son aspectos a considerar en el manejo de las plantaciones de coníferas donde se busca mantener un equilibrio con la biodiversidad.

Bajo el dosel arbóreo de las plantaciones, especialmente aquellas que se establecen en zonas donde la vegetación predominante son pastizales y matorrales, la radiación solar es uno de los factores más limitantes para el desarrollo de la vegetación. Además de la disminución lineal de la abundancia de especies, medida como porcentaje de cobertura aérea, con la disminución de la radiación en las estructuras forestales, se detectó una menor acumulación de biomasa en las especies arbustivas *Berberis microphylla* y *Adesmia volckmannii* creciendo al 20% de irradiancia, y una tendencia a menor acumulación de biomasa en la gramínea *Poa ligularis* a irradiancias menores del 60%. También se detectó un cambio en la asignación de biomasa en las plantas sometidas al 20% de irradiancia, con una mayor proporción aérea que subterránea.

La disminución de la abundancia de las especies creciendo bajo el dosel arbóreo podría estar implicando no sólo una menor biomasa subterránea, sino además una menor proporción en esta fracción, lo cual podría afectar la capacidad de rebrote de las especies al disminuir sus reservas de carbono. Esta característica cobra especial relevancia para la recuperación de la vegetación luego de la implementación de prácticas de reducción de residuos forestales.

En la estepa patagónica, el fuego es un disturbio importante para la estructura y las funciones de las comunidades vegetales. Por lo tanto, se esperaría que las prácticas de reducción de

residuos forestales, como el triturado y las quemas prescriptas, no representen alteraciones muy severas para la recuperación de la comunidad vegetal. En las tres alternativas de reducción de residuos forestales generados por las prácticas de poda y raleo evaluadas (triturado, quemas prescriptas y su combinación), se observó que mientras la recuperación de la riqueza de especies fue temprana, la recuperación de la abundancia, medida como porcentaje de cobertura aérea, fue más lenta o no llegó a recuperarse en los tres años analizados. Además de la posible menor capacidad de rebrote dada por la menor abundancia vegetal bajo el dosel arbóreo, la estación en la que se implementaron los tratamientos pudo haber afectado la recuperación de la comunidad vegetal. Mientras que los triturados se realizaron en invierno o principio de primavera, cuando las plantas están en su período de reposo o comenzando a activarse, las quemas prescriptas se realizaron en primavera, cuando las plantas están en su período de crecimiento. Esto podría explicar la aparente mayor severidad de las quemas prescriptas sobre la recuperación de la comunidad vegetal y la tendencia general a que la vegetación se recupere y presente una mayor similitud composicional con la comunidad natural luego del triturado. El manejo de los residuos forestales es muy importante, tanto para liberar espacio y recursos para el desarrollo de la comunidad vegetal, como para reducir el riesgo y la intensidad de incendios. La recuperación de la riqueza y la tendencia de recuperación de la abundancia luego de la implementación de técnicas de reducción de residuos, sugieren que es factible realizar estas prácticas en las plantaciones de pino ponderosa en la estepa Patagónica manteniendo un equilibrio con la comunidad vegetal. Sin embargo, más estudios son necesarios para determinar cuáles son las técnicas más apropiadas en cada situación y ajustar tiempos y frecuencias de implementación de las mismas. Podría ser que las quemas prescriptas implementadas en el otoño e invierno, cuando la mayoría de las plantas están en su período de reposo, sea menos perjudicial para su posterior recuperación.

La vegetación de la estepa patagónica se distribuye de manera heterogénea, con una estructura en parches formados principalmente por gramíneas cespitosas y arbustos. Las plantaciones forestales y su manejo forestal van alterando esta estructura, lo cual se evidencia en los cambios en la riqueza, la abundancia y la composición de especies detectados entre estructuras forestales, tratamientos de residuos y sectores de las plantaciones (borde e interior). Además, las comunidades vegetales varían entre sitios, lo cual se debe a la heterogeneidad propia de la estepa sumada a las diferentes historias de usos en cada sitio. Gran parte de los ecosistemas patagónicos se encuentran modificados por el pastoreo que se sostuvo durante más de un siglo, con lo cual las comunidades vegetales presentan distintos estados y transiciones de degradación. Todos estos factores deben considerarse a la hora de definir el manejo forestal de la plantación, ya que influyen en la respuesta de la comunidad vegetal.

Las plantaciones forestales pueden tener efectos positivos sobre la biodiversidad, especialmente cuando se establecen en áreas degradadas, donde se ha observado que promueven la disminución de la riqueza de especies exóticas y el incremento de la riqueza de nativas. Si bien en esta tesis no se evaluó el estado de degradación en los sitios de estudio seleccionados, todos ellos presentaron algún nivel de degradación, que se evidenció por el porcentaje de suelo desnudo y la predominancia de algunas especies características de condiciones degradadas. En las plantaciones forestales estudiadas se observó, en general, una reducción en la presencia de especies exóticas en comparación a la comunidad natural; sin embargo, también se detectó una

reducción en la riqueza y la abundancia de especies nativas. Esto sugiere que las plantaciones forestales tendrían un efecto general negativo sobre la comunidad vegetal natural, lo cual podría deberse a que, a pesar de la degradación, las especies nativas predominaron en la comunidad natural en todos los sitios analizados. Además, estas especies son características de ambientes semiáridos donde las irradiancias son altas, por lo tanto, la disminución de la radiación disponible bajo el dosel arbóreo podría estar implicando un cambio ambiental muy abrupto para algunas de ellas. Diversos estudios en la estepa patagónica indican que las plantaciones forestales tienen efectos positivos en otros aspectos del sistema y servicios ecosistémicos, por ejemplo, se han registrado aumentos en la materia orgánica y porosidad del suelo y reducciones en las tasas de erosión del mismo en las plantaciones forestales. Asimismo, las plantaciones forestales acumulan más carbono que el sistema natural, favoreciendo la mitigación del cambio climático. Además, se ha detectado que algunas especies del sistema original, como *Festuca pallescens*, tienden a incrementar su abundancia en plantaciones forestales ralas, lo cual podría deberse en parte a la exclusión del ganado doméstico.

Es importante considerar cuáles son las alternativas de uso del sitio al evaluar el impacto de las plantaciones forestales.

Asimismo, también se ha registrado que en plantaciones ralas los ensambles de hormigas se asemejan a los de la comunidad nativa y que si bien muchas especies de aves no se registran bajo el dosel, las plantaciones constituyen hábitat para otras. Por lo tanto, si se realiza un manejo adecuado de las plantaciones forestales, muchas especies características de la comunidad natural podrían mantenerse bajo su dosel.

El mecanismo de reproducción más extendido en las especies de la estepa patagónica es la propagación vegetativa, si bien el reclutamiento de plántulas es también un mecanismo importante para muchas especies de la estepa. La baja similitud detectada entre la vegetación y el banco de semillas, tanto en las comunidades naturales de la estepa como en las plantaciones, era esperable ya que usualmente una baja similitud se relaciona a la predominancia de especies perennes en la vegetación. El banco de semillas del suelo en las plantaciones evaluadas se conformó principalmente de hierbas anuales exóticas. Por lo tanto, la contribución del banco de semillas a la revegetación del estrato herbáceo-arbustivo de las plantaciones no sería suficiente.

Esto remarca la importancia de mantener fuentes de propágulos en la plantación o en zonas cercanas a la misma, ya que si la abundancia decae drásticamente sería muy difícil recuperar la vegetación naturalmente.

IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO FORESTAL CON VISTA HACIA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

Para favorecer la persistencia y el desarrollo de la vegetación bajo el dosel de plantaciones forestales resulta fundamental mantener el estrato herbáceo-arbustivo, el cual además de constituir la estructura fundamental de la comunidad natural, actúa como fuente de propágulos, principalmente para la propagación vegetativa. Dado que la riqueza y la abundancia total de la co-

munidad del estrato herbáceo-arbustivo disminuyen linealmente con la radiación, las plantaciones forestales necesariamente impactarán sobre esta comunidad. El desafío es encontrar el equilibrio entre el desarrollo de la producción forestal y el mantenimiento de la comunidad vegetal del estrato herbáceo-arbustivo. Mantener un nivel de irradiancia del 60% en el estrato herbáceo-arbustivo permitiría el desarrollo de muchas especies características de la comunidad natural de la estepa patagónica. Ese nivel de irradiancia equivale aproximadamente a una cobertura del dosel del 35% que se corresponde con un área basal de $15 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y un IDR de 315, bajo el manejo tradicional que habitualmente se realiza en las plantaciones del noroeste del Chubut. Sin embargo, estos niveles de las variables estructurales son mucho menores a los que se persiguen con el objetivo de producción maderera bajo el manejo tradicional, con lo cual quizás no sean rentables a nivel de producción. Una alternativa podría ser favorecer la heterogeneidad de condiciones dentro de la plantación, con sectores con irradiancia del 60% y sectores con menores irradiancias, de este modo se promovería una mayor variedad de micrositios para el desarrollo y la persistencia de las especies vegetales. Sumado a esto, y dado que a medida que las plantaciones van creciendo, van incrementando su cobertura del dosel y otras variables estructurales, se podría complementar con una planificación a nivel de paisaje. Por ejemplo, el establecimiento de pequeños bloques plantados en distintos años y el mantenimiento de espacios abiertos dentro de la plantación permitiría mantener una mayor heterogeneidad de situaciones, favoreciendo el desarrollo de especies con distintos requerimientos lumínicos.

El manejo de los residuos forestales generados por las podas y los raleos es un tema de relevancia actual, dado que la mayoría de las plantaciones forestales de la región son jóvenes y se encuentran en la etapa de conducción silvicultural. Si bien más investigaciones en este aspecto son necesarias, los resultados de este trabajo sugieren que el triturado parece ser un tratamiento de reducción de residuos con bajo impacto negativo sobre la vegetación del estrato herbáceo-arbustivo. Se sugiere implementar esta técnica antes de la estación de crecimiento de las especies vegetales. Además, dado que las condiciones sitio-específicas pueden influir en la respuesta de la vegetación es necesario que a la hora de seleccionar la técnica a utilizar se tenga en cuenta la composición y la estructura de la vegetación del estrato herbáceo-arbustivo. En plantaciones donde el estrato herbáceo-arbustivo es escaso, las quemas prescriptas pueden ser la técnica más efectiva para reducir los residuos, mientras que deben considerarse estrategias para luego restaurar la vegetación, por ejemplo mediante la siembra y la plantación de especies nativas. En plantaciones con estrato herbáceo-arbustivo degradado por sobrepastoreo, la recuperación de la cobertura de nativas puede estar asociada con el nivel de degradación, con lo cual se debe considerar que el tiempo de recuperación podría ser mayor a tres años.

Es necesario tener presente que la recuperación de la vegetación a partir del banco de semillas del suelo posiblemente no sea suficiente, dada la diferencia detectada en la composición de especies entre la vegetación y el banco de semillas. Además, el banco de semillas podría contener muchas especies exóticas, las cuales podrían emerger al incrementarse el nivel de irradiancia, por ejemplo, luego de una poda, raleo o corta final. Entre estas especies debe considerarse la propia regeneración del pino ponderosa, la cual podría alterar completamente la comunidad vegetal si luego de la corta final no se reforesta, o la posible competencia con la nueva forestación. En este último caso, la regeneración natural de pino ponderosa podría aprovecharse para futuras rotaciones. Sin embargo, la calidad de los plantines puede ser una limitante. Además, en

los casos donde la vegetación del estrato herbáceo-arbustivo haya disminuido hasta niveles en los cuales su recuperación se ve perjudicada, deberá evaluarse la restauración activa mediante la siembra y la plantación de especies nativas.

Finalmente, cabe aclarar que para alcanzar un equilibrio entre productividad forestal y conservación de la biodiversidad se debe tener en cuenta la integridad de todo el sistema. Si bien las prácticas de manejo deben promover el mantenimiento de la comunidad vegetal del estrato herbáceo-arbustivo, dicha vegetación constituye también material combustible. Es decir, que si mediante el manejo forestal o la implementación de prácticas como la restauración activa se logran mantener altas coberturas vegetales en el estrato herbáceo-arbustivo de las plantaciones, podría incrementarse también el riesgo de incendios. Además, la funcionalidad de los ecosistemas está determinada por la riqueza de especies y la diversidad funcional. Por lo tanto, un equilibrio entre productividad forestal y conservación de la biodiversidad podría ser mantener una alta riqueza de especies y diversidad funcional, aunque la abundancia de especies sea baja.

Las recomendaciones que surgen de esta tesis ratifican y complementan las ya existentes para la región, algunas de las cuales aún requieren validación empírica. En la tabla 1 se detallan las principales pautas de manejo recomendadas para promover el equilibrio entre la productividad forestal y la conservación de la biodiversidad vegetal en plantaciones de pino ponderosa del noroeste del Chubut, y sitios similares en todo el noroeste patagónico, que surgen a partir los resultados de esta tesis.

Tabla 1 Pautas de manejo recomendadas en cada etapa del manejo forestal para promover la persistencia y el desarrollo del estrato herbáceo-arbustivo en plantaciones de pino ponderosa del noroeste del Chubut.

Etapas del Manejo Forestal	Recomendaciones	Beneficios de las prácticas sugeridas
Establecimiento de la plantación	Establecer rodales de pocas hectáreas, y menores densidades iniciales, intercalados con parches de vegetación natural y con rodales establecidos en años anteriores.*	Generación de hábitats heterogéneos y mantenimiento de fuentes de propágulos cercanas para la recolonización de especies vegetales.
Tareas de poda y raleo*	Promover la heterogeneidad de estructuras forestales dentro y entre rodales, manteniendo como límite máximo coberturas del dosel del 60-70%.*	Mantenimiento de un amplio rango de niveles de radiación, los cuales favorecen la persistencia de especies vegetales con distintos requerimientos lumínicos.
Manejo de los residuos forestales	Implementar técnicas de reducción de residuos forestales. Si las técnicas seleccionadas son el triturado o las quemaduras prescritas y se realizan en la estación temprana, hacerlo antes del mes de septiembre (comienzo del período de crecimiento vegetal).	Liberación de espacio y recursos para el desarrollo vegetal y reducción del riesgo e intensidad de incendios. Realizar estas actividades antes del período de crecimiento favorece la recuperación vegetal.

Aspectos complementarios

Evaluar regularmente el estado de la vegetación del estrato herbáceo-arbustivo; conocerlo permitirá elegir las prácticas de manejo más adecuadas para su persistencia.

- Si la riqueza y la abundancia total descienden a valores menores de 5 especies en 4m^{-2} y del 10% de cobertura, respectivamente, es posible que se requiera la restauración activa (mediante siembra o plantación) de especies nativas.
- Si el porcentaje de especies exóticas (en general son gramíneas y hierbas anuales) superan el 30% de las especies totales, es posible que se requiera el control de ellas. Esto podría suceder luego de intervenciones (poda, raleo o cosecha), en plantaciones donde la vegetación del estrato herbáceo-arbustivo ya era escasa.
- Procurar que en la comunidad vegetal hayan siempre representantes del estrato herbáceo y del arbustivo; tener en cuenta que las gramíneas en forma de coirón y los arbustos actúan como plantas nodrizas, favoreciendo el establecimiento y desarrollo de otras especies.
- Considerar que la regeneración de pino ponderosa a partir del banco de semillas del suelo puede requerir de manejo, sea que se la utilice como parte de la futura rotación, o porque su crecimiento podría alterar a la comunidad natural.
- Tener en cuenta que existe mucha variabilidad entre sitios, dado por la heterogeneidad natural de la Patagonia y por su historia de uso, con lo cual la comunidad vegetal y su recuperación ante el impacto de las plantaciones puede requerir de manejos específicos, más allá de las pautas de manejo generales.

*estas prácticas requieren validación, ya que si bien se desprenden de los resultados de la tesis, no fueron abordadas en la misma.

PUBLICACIONES ASOCIADAS A ESTA TESIS

- Rago, MM, Urretavizcaya, MF, & Defossé, GE (2021) Relationships among forest structure, solar radiation, and plant community in ponderosa pine plantations in the Patagonian steppe. *Forest ecology and management* 502: 119749 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119749>
- Rago, MM (2021) Efectos del manejo silvícola y del ambiente lumínico sobre la vegetación en plantaciones de pino ponderosa en el noroeste Patagónico. Tesis, Universidad Nacional del Comahue, Bariloche, Argentina. <http://rdi.uncoma.edu.ar//handle/123456789/16211>
- Rago, MM, Urretavizcaya, MF, Lederer, NS, & Defossé, GE (2020) Plant Community Response to Forest Fuel Management in Patagonian Pine Plantations. *Frontiers in Forest and Global Change* 3:55. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00055>
- Rago, MM, Urretavizcaya, MF, Orellana, IA, & Defossé, GE. (2020) Strategies to persist in the community: Soil seed bank and above-ground vegetation in Patagonian pine plantations. *Applied Vegetation Science* 23, 254–265. <https://doi.org/10.1111/avsc.12482>

FINANCIAMIENTO

La tesis fue realizada a través de una beca interna doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) cofinanciada con la Secretaría de Ciencia, Tecnología, Innovación productiva y Cultura del Chubut. Las actividades fueron financiadas por la Unidad para el Cambio Rural (UCAR), Proyecto de Investigación Aplicada 14066) y a través del Proyecto de Unidad Ejecutora 2016 CONICET-CIEFAP (PUE 4116/16). El financiamiento de esta publicación corresponde al Proyecto de Unidad Ejecutora 2016 CONICET-CIEFAP (PUE 4116/16) "Generación de conocimientos y aplicación de tecnologías para el desarrollo sustentable del bosque nativo patagónico y de forestaciones en áreas degradadas de la estepa adyacente, en el Noroeste de Patagonia".



**Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino
Patagónico**

Ruta 259 Km. 16,24 – C. C. 14

(9200) Esquel, Chubut, Argentina

Tel./Fax: +54 2945 453948 / 450175

info@ciefap.org.ar | www.ciefap.org.ar