



CIENCIA & INVESTIGACIÓN FORESTAL



**INSTITUTO FORESTAL
CHILE**





CIENCIA & INVESTIGACIÓN FORESTAL. INSTITUTO FORESTAL. CHILE

La revista Ciencia & Investigación Forestal es una publicación científico técnica en español publicada por el Instituto Forestal desde 1987. Corresponde a una revista de acceso abierto, seriada, arbitrada, en formato digital y de carácter interdisciplinario. En ella se divulga la investigación y ciencia forestal con una visión aplicada y orientada principalmente a profesionales y técnicos del sector forestal que demandan soluciones para sus problemas en el corto y mediano plazo, así como a profesionales del sector público y privado, investigadores, académicos, personeros con responsabilidad en la toma de decisiones técnico-políticas, y en general a la sociedad interesada en el conocimiento de los bienes y servicios que proveen los ecosistemas forestales.

Ciencia & Investigación Forestal publica contribuciones originales e inéditas de investigadores y profesionales, de instituciones nacionales o extranjeras, interesados en publicar investigación aplicada en el ámbito de las ciencias forestales y materias afines en las temáticas económica, social y ambiental.

Todas las contribuciones presentadas a la revista serán sometidas a un proceso de revisión por pares (*peer review*) con la modalidad de doble ciego. La periodicidad de publicación es de tres números por año. La Revista provee acceso libre a su contenido bajo el principio de hacer disponible la investigación al público para fomentar un mayor intercambio de conocimiento global. No existe costo por acceso a las contribuciones publicadas, y los autores no asumen ningún costo por el procesamiento, revisión y publicación de sus contribuciones.

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Los contenidos publicados en **Ciencia & Investigación Forestal** son de la exclusiva responsabilidad de sus autores. La revista no necesariamente comparte ni se responsabiliza por las ideas, opiniones y afirmaciones vertidas por los autores de las contribuciones publicadas, las cuales tampoco reflejan necesariamente la posición institucional de INFOR.



CONTENIDO	
ARTÍCULOS	
Cruz, Pablo; Carrasco, Bárbara y Bustos, Gabriel, 2021. Análisis de los Efectos de la Ordenación Forestal en 30 Años. Caso del Bosque Mediterráneo de la Región de Valparaíso, Chile.	3
Pinilla, J. C.; Navarrete, F.; Luengo, K.; González, J.; Navarrete, M. y Acevedo, J., 2021. Aplicación de la Metodología Seis Sigmas para Mejorar la Calidad de la Estimación de Densidad Básica de la Madera en <i>Acacia mearnsii</i> .	19
Loewe, Verónica; Bozo, Alejandro y Jaime, Nicolás, 2021. Evaluación de Aprovechamiento y Propuesta de Clasificación de Madera de Desecho de Nogal Común (<i>Juglans regia</i>).	43
APUNTES	
Pinilla, J. C.; Luengo, K. y Navarrete, M., 2021. Uso de la Regeneración Natural para la Generación de Plantaciones Productivas de Pino Radiata.	55
González, Jorge; Molina, María Paz e Ipinza, Roberto, 2021. Un Meta Análisis para Estimar el Papel de Polinizadores Nativos en la Sustentabilidad de Ecosistemas Forestales Naturales.	69
Salinas, Jaime y Uribe, Alicia, 2021. Productos Forestales No Madereros Presentes en los Bosques de Ñirre (<i>Nothofagus antarctica</i>) de la Zona Sur Austral de Chile.	87
Ipinza, Roberto; Barros, Santiago; de la Maza, Carmen Luz; Jofré, Paola y González, Jorge, 2022. Bosques y Biodiversidad.	101
EQUIPO EDITORIAL	133
PROPIEDAD INTELECTUAL	134
DECLARACION DE PRIVACIDAD	134
TIPO DE CONTRIBUCIONES	134
GUÍA Y RECOMENDACIONES PARA AUTORES	135



ARTÍCULO

Análisis de los Efectos de la Ordenación Forestal en 30 Años. Caso del Bosque Mediterráneo de la Región de Valparaíso Chile

Cruz, Pablo^{1*}; Carrasco, Bárbara² y Bustos, Gabriel³.

¹ Consultor. Ing. Forestal. Doctor Ciencias Agrarias y Forestales. tacora1@gmail.com

² Consultor. Licenciada en Ciencias de los Recursos Naturales Renovables. bcarrascomascayano@gmail.com

³ Consultor. Licenciado en Ciencias de los Recursos Naturales Renovables. gabriel.bustos@ug.uchile.cl

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2017.469>

Recibido: 06.04.21; Aceptado: 20.04.21

RESUMEN

En este estudio se analizan los efectos que tendría el modelo forestal sostenible aplicado al bosque mediterráneo en el centro de Chile. Se seleccionó como estudio de caso un tipo de terreno de 900 hectáreas y 365 hectáreas de bosque, cuyo plan tiene dos años de ejecución del primer plan decenal. Se simuló la ejecución del plan durante treinta años en adelante y se comparó con la condición de no plan para el mismo período. La comparación se realizó con respecto a la captura del nivel de CO₂eq y los índices del paisaje efecto de borde y fragmentación. La condición sin plan fue simulada con el mismo bosque, sujeto a la tasa de deforestación publicada por la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCCRV).

En treinta años sería posible aumentar el bosque sin efecto borde en un 95%, y el número de fragmentos se reduciría en un 74%, en comparación con la condición inicial. El escenario sin plan reduciría su bosque sin bordes en un 10% y aumentaría su fragmentación en un 274%. Estos efectos se lograrían con la forestación. La captura de CO₂eq con plan alcanzaría un 108% más que la condición sin plan en treinta años, en los que el 93% se debería a la gestión y solo el 15% a la forestación. La ganancia en CO₂eq en treinta años debido al manejo costaría 7 US\$/t y la ganancia por forestación 15 US\$/t.

Palabras clave: Ordenación forestal, restauración del paisaje, nivel de referencia, bosque mediterráneo.

SUMMARY

This study analyzes the effects that the sustainable forest model applied to the Mediterranean forest in central Chile would have. A type of land of 900 hectares and 365 hectares of forest was selected as a case study, whose plan has two years of execution of the first ten-year planning plan. Execution of the plan for thirty years onwards was simulated and compared with the no-plan condition for the same period. The comparison was made with respect to the capture of the CO₂eq level and the indexes of the landscape edge effect and fragmentation. No-plan condition was simulated with the same forest, subject to the deforestation rate published by the National Climate Change Strategy (ENCCRV).

In thirty years, it would be possible to increase the forest without edge effect by 95%, and the number of fragments would be reduced by 74%, compared to the initial condition. No-plan scenario would reduce the no-edge forest by 10% and increase its fragmentation by 274%. These effects would be achieved with afforestation. The capture of CO₂eq with plan would reach 108% more than the condition no-plan in thirty years, in which 93% would be due to management and only 15% to afforestation. The profit in CO₂eq in thirty years due to management would cost 7 US\$/t and profit due afforestation 15 US\$/t.

Keywords: Forest management, landscape restoration, reference level, Mediterranean forest.

INTRODUCCIÓN

Chile oficializó su Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) en 2015 y contiene importantes aportes para establecer un marco de referencia a las acciones políticas nacionales que reduzca la deforestación y degradación de bosques (Ministerio de Agricultura, 2016). Uno de ellos es el diagnóstico de las causas de deforestación de bosques a escala nacional y las tres más importantes fueron los incendios forestales, el uso del ganado en los bosques y el manejo insustentable.

Se entiende uso insustentable como la falta de criterios, tanto en la planificación como en la ejecución de las acciones sobre el bosque, que garanticen al menos el rendimiento sostenido.

Actualmente, solo se conoce un instrumento oficial que contiene reglamentaciones y restricciones al manejo, y que está definido en la Ley 20.283, llamado Plan de Manejo. Este instrumento es un permiso de gestión pública con un diseño que sirve a los intereses del Estado y efectivamente no recoge criterios de sustentabilidad ni de rendimiento sostenido (Rothermel, 2002; Cruz *et al.*, 2005; Cruz *et al.*, 2012; OTERRA, 2014). No existe en Chile otro instrumento oficial que regule el uso, ni tampoco, alguno diseñado para ayudar a los propietarios a manejar sus bosques.

El segundo importante aporte de la Estrategia (ENCCRV) es que el Estado compromete acciones directas para cada causal. Para la tercera causa, llamada manejo insustentable, se estableció el compromiso de incorporar el criterio de ordenación forestal en los permisos de gestión pública, con una meta de 70 mil hectáreas bajo ordenación forestal al año 2025. Indica como condición que las extracciones se ajusten a la tasa de aprovechamiento sostenible y que sean de largo plazo.

Cruz (2020) define la ordenación forestal como un instrumento de planificación del uso del bosque cuando se persiguen tres objetivos: la permanencia del bosque, el mantenimiento de los beneficios que produce y la maximización de sus bienes y servicios. Un aspecto intrínseco es que la ejecución de las acciones en el largo plazo logre verdaderamente que el bosque persista y mejore en su estado de conservación, amén de los beneficios que entregó en cada periodo.

Sin bien el país ya cuenta con diversas experiencias de Ordenación Forestal (CONAF, 1997; Cruz *et al.*, 2001; Rivera *et al.*, 2002) la mayoría quedaron en la escritura del informe y no se ejecutaron, por tanto, casi no existen experiencias aplicadas que consultar.

Gracias a los aportes de la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, CONAF y un grupo de propietarios de bosques, fue posible diseñar un modelo de ordenación forestal aplicado a bosques mediterráneos de la región de Valparaíso, del que se han cumplido tres años de ejecución.

Este proceso ha entregado una contundente experiencia que motivó estudiar la proyección de los efectos de la ordenación forestal en dos sentidos; del punto de vista de los objetivos de permanencia y mejora del bosque, y del punto de vista de las ganancias de estas mejoras en el marco de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Un requisito metodológico cuando se evalúa la evolución del estado de conservación de bosques es escoger instrumentos de análisis que cuantifiquen objetivamente el cambio e idealmente ofrezcan métrica de los cambios.

A escala de paisaje, vale decir considerando un área con más funciones que meramente el bosque, pueden utilizarse índices del paisaje que permiten establecer métrica del estado de conservación a través de información espacial (Del Río *et al.*, 2003; Lindenmayer *et al.*, 2006).

La superficie de borde en el bosque, por ejemplo, es un índice que propone que bosques con un núcleo sin efecto de los bordes mantienen su homeostasis y alta resiliencia (Murcia, 1995). Como índice del paisaje, es potente debido a que cuantifica objetivamente y a que la relación entre lo medido y el efecto es evidente.

El grado de fragmentación del bosque, a su vez, como índice del paisaje propone que a mayor cantidad de fragmentos y menor tamaño de ellos menor será el grado de conservación del bosque (Vogelmann, 1995). Este índice tiene las mismas cualidades que el anterior.

Otros índices, son complejos de analizar y usan escalas adimensionales difíciles de interpretar y resultan poco prácticos para evaluar el cambio en el estado de conservación ecosistémico (Cruz y Gorospe, 2019).

Sin embargo, los índices del paisaje son insensibles al cambio en el estado de conservación dentro de cada fragmento y se relacionan más bien con el cambio en la estructura del bosque, la composición, la tasa de procesos ecosistémicos y el nivel adecuado de las perturbaciones naturales (Lindenmayer *et al.*, 2006; Schulte *et al.*, 2006).

Un enfoque pragmático propuesto por Cruz (2020) para medir el estado de conservación de bosques es su contenido de biomasa, dado que el mayor componente de la masa del ecosistema se concentra en los árboles, es fácil de medir, existe vasto conocimiento respecto de la relación entre el nivel de masa y el estado de conservación, entre otros atributos.

Aceptándose la biomasa como estimador del grado de conservación, se suma la enorme utilidad de permitir realizar una conversión directa al más importante parámetro en el que se mide el nivel de referencia usado en la Estrategia REDD+, que es el contenido de CO₂eq, gracias a los estándares aceptados por el IPCC (2006).

Un enfoque similar se usó en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (CONAF, 2016), en que se definió el nivel de degradación del bosque (degradación como inverso de conservación) a partir de una guía de densidad general.

En este caso, la variable es la relación DAP/área basimétrica/densidad, que, si bien está relacionada a la biomasa, tiene mayor grado de complejidad.

Este enfoque permite alinear los resultados empíricos del manejo con la estrategia de modelar el secuestro de carbono por el uso del bosque, como lo proponen Maser *et al.* (2003).

OBJETIVOS

El objetivo de este estudio es analizar los efectos de la Ordenación Forestal aplicada, en una proyección de 30 años en bosques mediterráneos de la región del Valparaíso, Chile. Para el análisis se usarán dos criterios.

El primero la variación del paisaje, evaluado con índices del paisaje efecto borde y fragmentación. El segundo la variación en la captura de CO₂eq, derivado de la acumulación de biomasa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Escenario con Plan: Modelo de Ordenación Forestal

La proyección de escenarios fue construida usando los resultados del proyecto manejo sustentable del bosque nativo mediterráneo, APL I. (ASCC, 2016), que consistió en la elaboración de un modelo de ordenación forestal para los bosques mediterráneos de 4 predios en la provincia de Valparaíso, que sumó una superficie total de 2.800 ha.

El modelo de ordenación forestal ha sido descrito en Cruz (2020) y sus aspectos esenciales son:

- La propuesta es integral, incluye todo el bosque de la propiedad.
- Las extracciones de biomasa están sujetas a máximos prediales determinados por el crecimiento y el grado de degradación del bosque. Estos máximos son llamados parámetros de ordenación forestal.
- La planificación es a largo plazo, se detallan las acciones y se definen áreas de intervención para 10 años (primer periodo de planificación).
- Se asume que el bosque mediterráneo está degradado, por tanto, solo se proponen dos tipos de actividades silvícolas:

Resalveo: Consiste en la reducción de vástagos que crecen sobre una cepa para recuperar el balance de agua entre la raíz y la masa aérea (Figura 1). En la corta se favorecen los pies mayores, eliminando vástagos de menor tamaño. Esta actividad se aplica a zonas con cobertura igual o mayor a 50%.

Enriquecimiento: Consiste en plantaciones entre fragmentos de bosque con el objetivo de recuperar áreas que se unirán a los originales en el futuro. Se aplica a zonas con cobertura menor a 50%.



(Fuente: Cruz, 2020)

Figura 1. Resalveo Aplicado a un Árbol de Boldo

Predio Escogido como Caso de Estudio

Para este estudio se seleccionó uno de los predios ubicado en la comuna de Casablanca (Figura 2), cuya superficie es de 909 ha totales (Cuadro 1). Por la definición legal de bosque (Ministerio de Agricultura, 2008) 695 ha serían bosque con 10 % o más cobertura arbórea, pero ecosistémicamente, para este estudio se consideró bosque solo aquel que tuviera más de 50% de cobertura, siendo el resto considerado matriz, es decir un ecosistema alterado.

Cuadro 1. Proyección de las Acciones Silvícolas para 30 Años Asumiendo el Mismo Ritmo Determinado en el POF del Predio (para 10 Años)

Tipo de cobertura	Sup (ha)	Resalveo Proyectado (ha)			Enriquecimiento Proyectado (ha)		
		Anual	Primero (año 12)	Segundo (año 24)	Tercero (año 30)	Anual	En 30 años
Bosque	695						
Manejo Resalveo	356	30	356	356	180		
Enriquecimiento	339					5	150

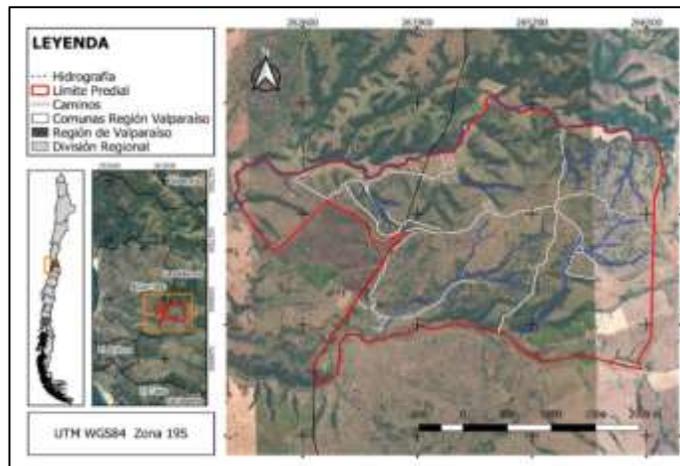


Figura 2. Ubicación del Predio en Zona del Acuerdo de Producción Limpia en la Región

El modelo descrito aplicado al predio escogido como estudio de caso propone ejecutar 30 ha/año de resalveo y 5 ha/año de enriquecimiento (Figura 3).

Para realizar la proyección a 30 años, se supuso que las acciones se aplicarían en el tiempo sin variación en superficie (Cuadro 1).

Cuando el resalveo cubriera toda la superficie de bosque (en el año 12), se iniciarían los segundos resalveos sobre rodales intervenidos inicialmente y de la misma forma los terceros, hasta alcanzar los 30 años de la proyección.

Considerando que el ciclo de corta máximo estimado para todo el bosque fue de 8 años, al aplicar un ciclo de 12 años, se propiciaría la acumulación de biomasa en los tres años adicionales.

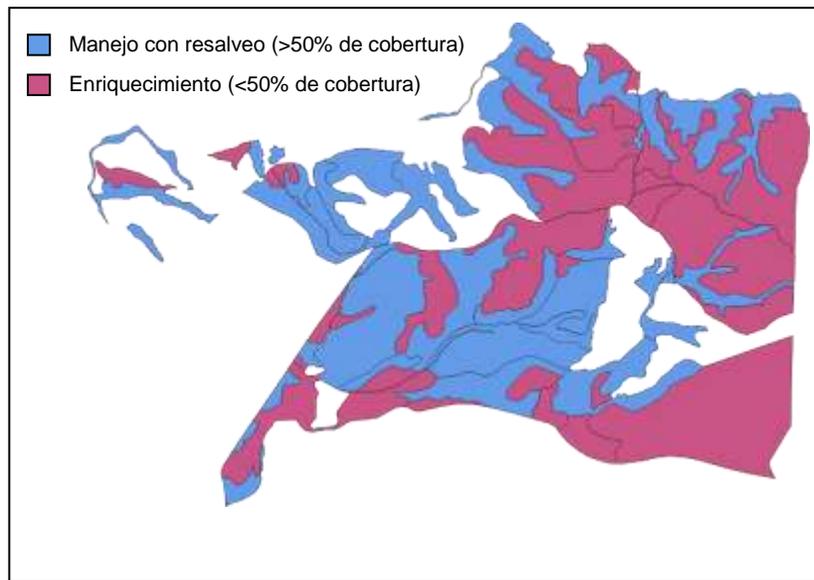


Figura 3. Áreas Involucradas en el Plan de Ordenación para Resalveo y Enriquecimiento

El enriquecimiento de 5 ha/año puede realizarse por más de 30 años dada la superficie disponible. En estas zonas enriquecidas solo se consideró un bosque establecido cuando su cobertura alcanza el 50%, en consideración a los supuestos que definen bosque para este estudio.

Para definir el plazo para que las zonas enriquecidas alcancen dicha cobertura se analizó el aumento de cobertura de plantaciones de Quillay realizadas en la zona desde el año 2000.

Para esto se analizó la cobertura de 150 ha plantadas en 16 años (cerca de 10 ha de plantaciones por año), sobre las imágenes históricas de la plataforma *Google Earth* evaluadas el año 2019.

Los datos resultantes fueron usados para elaborar una regresión lineal entre cobertura/año de plantación, sobre la que se extrajo el año con cobertura igual a 50%.

Escenario sin Plan: Nivel de Referencia REDD+ Chile

Se utilizó la tasa de cambio de cobertura de suelo que determinó la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (CONAF, 2016) para el bosque mediterráneo de la región de Valparaíso, correspondiente a un 0,39% de deforestación anual de la superficie.

Esta tasa de deforestación fue aplicada al predio en estudio por 30 años.

Para la localización de la deforestación anual dentro del predio se estableció un modelo de asignación de probabilidad de deforestación basado en tres variables (Cuadro 2).

Cuadro 2. Algoritmos del Modelo de Asignación de la Deforestación Establecido en la ENCCRV a un Caso Concreto de Estudio

Variables	Algoritmos	Datos de entrada
Cercanía a los bordes del bosque	$PC_{mx} = \frac{(M_i - M_{min})}{(M_{max} - M_{min})}$	PCmx: Probabilidad de deforestación del anillo i según cercanía al borde (%) Mi: Cercanía al borde del anillo i (m) Mmin: Distancia del anillo más cercano al borde (m) Mmax: Distancia del anillo más lejano al borde (m)
Cercanía a caminos	$P_c = \frac{(C_i - C_{min})}{(C_{max} - C_{min})}$	Pc: Probabilidad de deforestación del anillo i según cercanía a caminos (%) Ci: Cercanía a caminos del anillo de bosque i (m) Cmin: Distancia del anillo más cercano a los caminos (m) Cmax: Distancia del anillo más lejano a los caminos (m)
Tamaño del fragmento de bosque	$P_t = 1 - ((T_i - T_{min}) / (T_{max} - T_{min}))$	Pt: Probabilidad de deforestación del parche i según su tamaño (%) Ti: Superficie del parche i (m ²) Tmin: Superficie del parche más pequeño (m ²) Tmax: Superficie del parche más grande (m ²)
Probabilidad de deforestación	$P_{def} = \frac{(P_{mx} + P_c + P_t)}{3}$	Pdef: Probabilidad de deforestación (%) Pmx: Probabilidad de deforestación por cercanía al borde del bosque (%) Pc: Probabilidad por cercanía a los caminos (%) Pt: Probabilidad por el tamaño de parche (%)

La cercanía al borde se aplicó dividiendo cada fragmento de bosque en anillos interiores paralelos al borde 25 m de ancho. El algoritmo del Cuadro 2, se aplicó a los anillos de cada fragmento para asignar una probabilidad de deforestación debida a la cercanía al borde. La cercanía a caminos se analizó dividiendo el bosque en un conjunto en anillos de 25 m de ancho equidistantes a los caminos. A cada franja se asignó una probabilidad de deforestación según el algoritmo del Cuadro 2.

La probabilidad de deforestación según el tamaño del parche supone que parches de menor tamaño tendrían mayor probabilidad de ser deforestados (Otavo y Echeverría, 2017). Así, cada fragmento tendrá una probabilidad de deforestación según su tamaño relativo respecto del conjunto, lo que se determina con el algoritmo del Cuadro 2.

Para combinar las tres variables y asignar una probabilidad al bosque de ser deforestado, se intersectaron las tres capas en una grilla vectorial de 25 m de lado, sobre la que se aplicó el algoritmo de probabilidad total del Cuadro 2 (Figura 4).

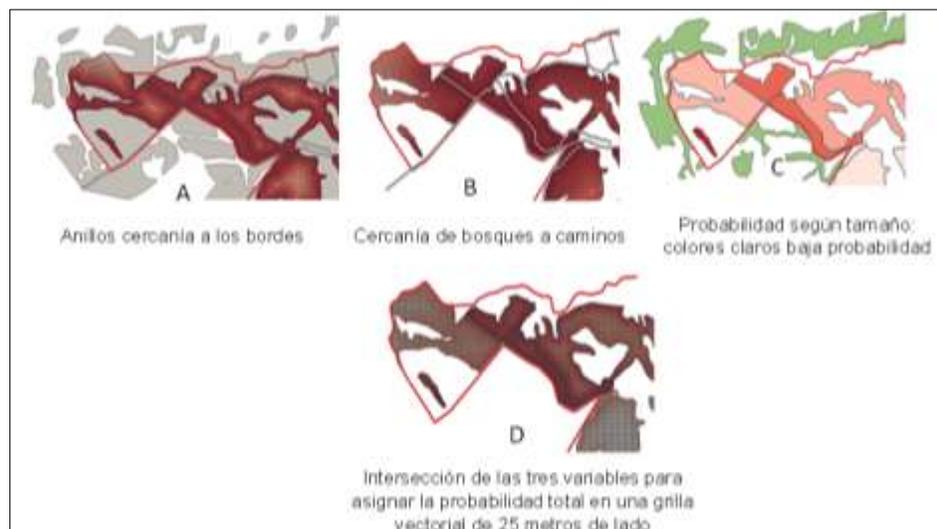


Figura 4. Aplicación del Modelo de Deforestación a un Caso de Estudio

Supuestos para Estimar los Efectos de la Ordenación Forestal

Para asignar efectos de silvicultura y condición sin manejo a los escenarios fueron usados los reportes de seguimientos de ensayos de resalveos en la zona, instalados el año 2008 (Schulze *et al.*, 2008), evaluados 7 años después de las intervenciones (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de las Intervenciones en Bosque Mediterráneo Después de 7 Años

Año 2008. Edad del bosque 15 años (momento en que se instaló el ensayo)					
	Densidad (árboles/ha)		Área Basal (m ² /ha)		DMC (cm)
Cond Iniciales	Inicial	Residual	Inicial	Residual	
Parcela 1	7.120	2.110	27	8,3	6,9
Parcela 2	8.398	2.110	12	8,3	4,3

Año 2015. Edad del bosque 22 años aproximadamente post intervención						
	Densidad (árboles/ha)	AB (m ² /ha)	DMC (cm)	Mortalidad Anual* (%)	Crecimiento DAP (cm/año)	
Testigo	5.290	17,0	6,4	3,7	-0,5	-0,07
Manejado (promedio)	2.984	25,0	10,3	5,3	2,1	0,30
Diferencias (%)	56	147	161	-5,9	3,4	0,49

La comparación del testigo a la edad de 22 años se hace con las condiciones iniciales de las dos parcelas de 15 años que fueron intervenidas.

*Estas variables se comparan con los datos iniciales de las parcelas 1 y 2 iniciales.

Cuadro 4. Valores Escogidos para la Proyección a 30 Años en los Escenarios Con y Sin Plan de Ordenación

Variable	Con Plan (bosque manejado)	Sin Plan (sin manejo)
Crecimiento DAP (cm/año)	0,49	0,3
Mortalidad anual (%)	0,0	3,7

La proyección del desarrollo del bosque se hizo con el método de proyección de tablas de rodal futuras de Reynolds *et al.* (1988), usando los niveles de crecimiento y mortalidad escogidos para la condición de manejo y sin manejo (Cuadro N°4).

$$x_{i,t+1} = \left(x_{it} - \frac{c_i \cdot x_{it}}{b} + \frac{c_i \cdot x_{i-1t}}{b} \right) \cdot (1 - m) \quad (1)$$

Donde:

- $x_{i,t+1}$: Densidad en la clase i en el año t+1
- x_{it} : Densidad en la clase i en el año t
- c_i : Crecimiento diametral (cm/año)
- b : Rango de la clase
- x_{i-1t} : Densidad en la clase i-1 en el año t
- m : Tasa de mortalidad anual

Así, se usaron las tablas de rodal de cada rodal de bosque que se construyeron en el POF. Los rodales intervenidos se proyectan en el futuro con los datos Con Plan desde el año de su intervención hacia el futuro. Todos los rodales sin intervención se proyectaron con los datos Sin Plan.

Evaluación del Estado de Conservación del Bosque en Cada Escenario

- A Escala de Paisaje

La variación del estado de conservación a escala de paisaje fue evaluado con dos índices del paisaje, nivel de fragmentación y efecto borde. La comparación se realiza aplicando los índices a dos momentos, el valor de los índices a 30 años Con Plan, respecto del valor de los índices en el momento inicial; valor

de los índices a 30 años Sin Plan, respecto del valor de los índices en el momento inicial. Adicionalmente, para establecer los niveles máximos de conservación a escala de paisaje, fue construido el paisaje de referencia del predio (Figura N° 5), según la propuesta de Cruz y Gorospe (2018), que consiste en crear teóricamente la cartografía del predio con todo el bosque recuperado. El paisaje de referencia permite establecer los máximos posibles de los índices para el caso de estudio.

- A Escala de Bosque

Las diferencias entre los escenarios con y sin plan de ordenación forestal a escala de bosque, se evaluaron en función de la variación en captura de CO₂ equivalente (CO₂eq).

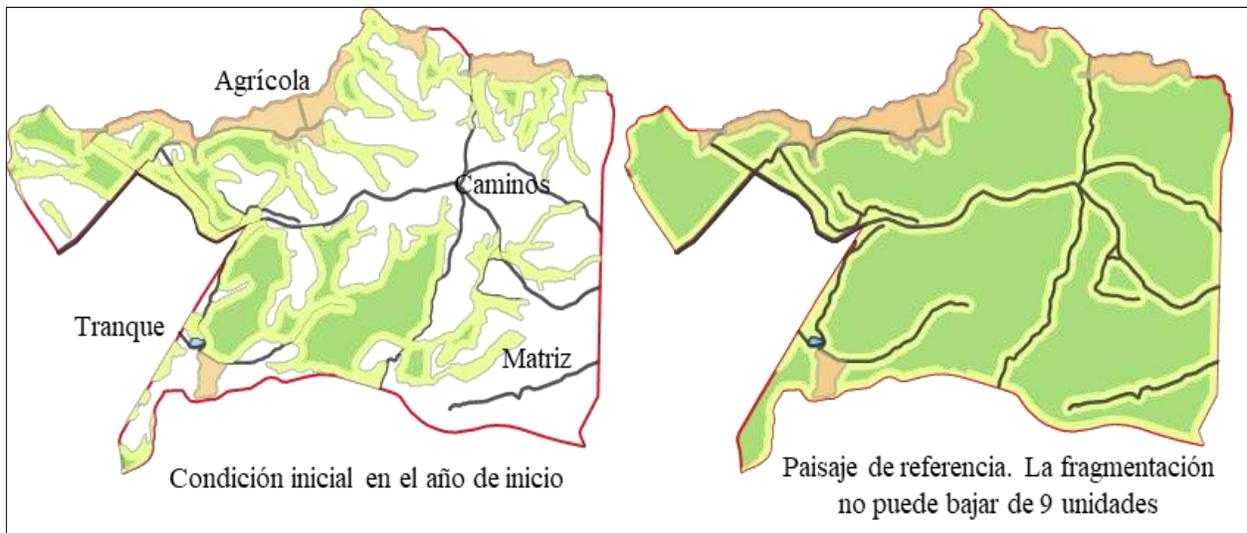
Las transformaciones entre valores de masa, carbono y CO₂eq usadas fueron aquellas recomendadas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2003), que señalan los siguientes factores:

- De volúmenes de madera a masa, factor 0,5 (densidad estandarizada de la madera).
- De biomasa a carbono, factor 0,5 (contenido promedio de carbono en la madera).
- De carbono sólido en la madera a CO₂eq, factor 44/12 respecto de los pesos moleculares de C y O respectivamente (3,66).
- Adición de la biomasa de raíces como un 35% de la masa aérea determinada.

RESULTADOS

A Escala de Paisaje

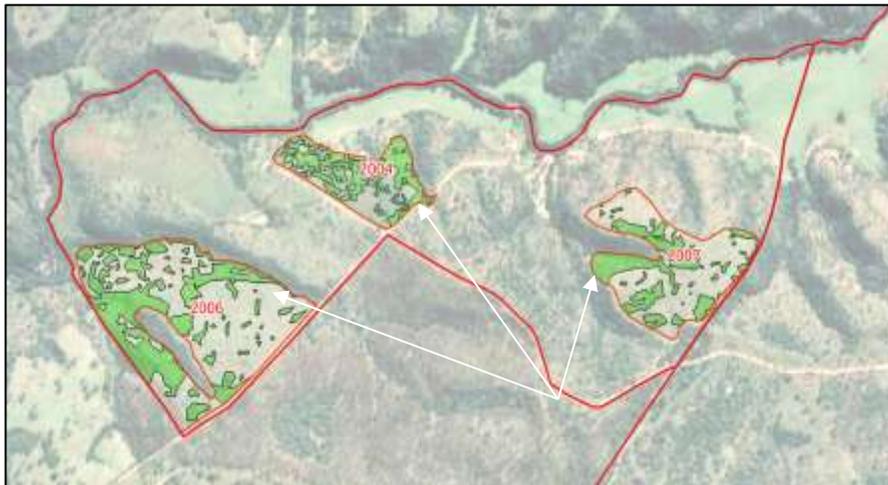
El paisaje de referencia indica que el predio podría tener 848 hectáreas totales de bosque, en 9 fragmentos con un tamaño promedio de 94 hectáreas (Figura 5). El bosque actual solo ocuparía el 42% de la superficie disponible para bosques.



(Fuente: Cruz y Gorospe, 2019)

Figura 5. Construcción del Paisaje de Referencia de la Zona de Estudio

El análisis del plazo para que el enriquecimiento alcance un 50% de cobertura fue establecido en 13 años (Figura 6 y Figura 7).



Polígonos de bosque identificados el 2018 para plantaciones del año 2004, 2006 y 2007

Figura 6. Determinación de las Coberturas en Plantaciones de Quillay de la Zona Usando Imágenes Históricas de Google Earth

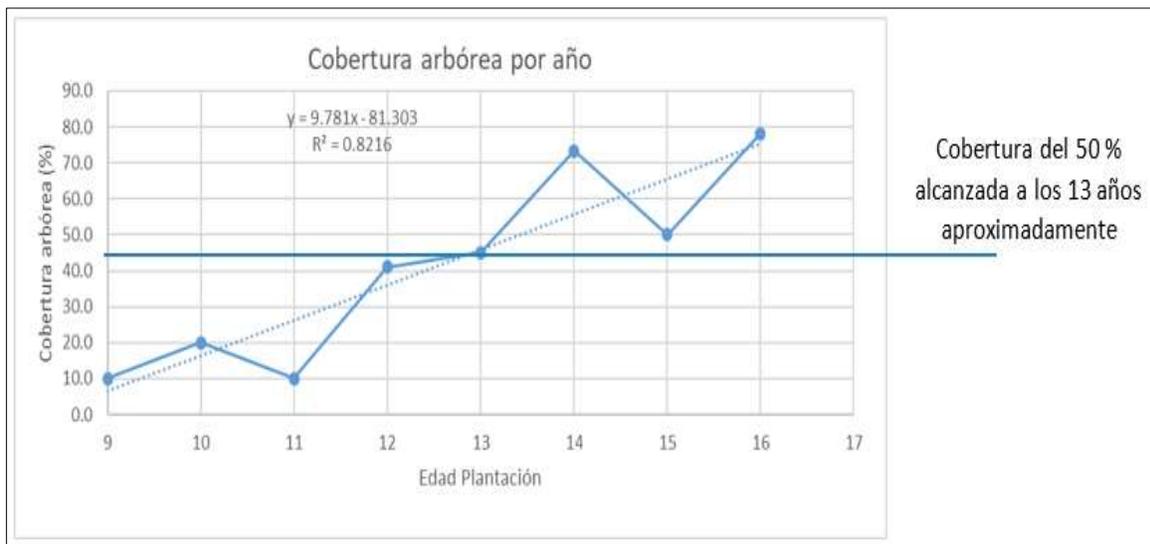


Figura 7. Regresión Simple Entre Año de Plantación y Cobertura en el Tiempo

Los efectos de aplicar las tasas de deforestación determinadas para el bosque mediterráneo en Chile por 30 años (Figura 8), significarían que la fragmentación del bosque aumenta 2,7 veces y el tamaño promedio de los fragmentos se reduciría a un tercio del promedio inicial (Cuadro 5, condición sin plan) y solo sería un 6,4 % del tamaño promedio estimado para el paisaje de referencia.

En el escenario con plan de OF, en cambio, se reduce la cantidad de fragmentos y, a su vez, aumenta el tamaño promedio, debido al efecto combinado de evitar la deforestación y el enriquecimiento de 5 ha por año, como indica el POF.

Comparado con la referencia, la aplicación de la OF permite aumentar la superficie promedio de cada fragmento desde un 20% hasta un 33,8% respecto del tamaño promedio ideal que tienen los fragmentos de la referencia.

Cuadro 5. Comparación de la Fragmentación Entre el Escenario Con Plan y Sin Plan de OF en 30 Años. Se Contrastan Datos con el Paisaje de Referencia

Período	Fragmentos (N°)			Tamaño Promedio (ha)		
	Con Plan	Sin Plan	Referencia	Con Plan	Sin Plan	Referencia
Año 0	19	19	9	18,75	18,75	93.95
Año 10	19	60		18,75	5,71	
Año 20	18	58		21,87	5,68	
Año 30	14	52		31,79	6,09	
Variación respecto del año inicial (%)	74	274		170	32	

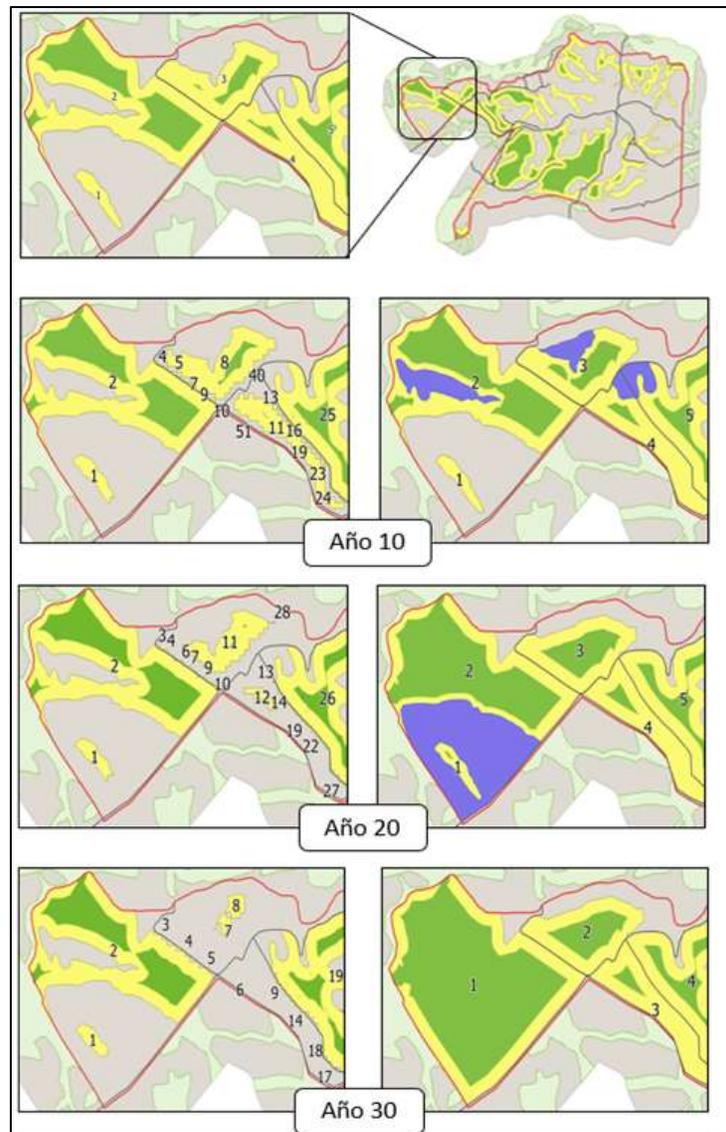


Figura 8. Acercamiento a una Zona que Muestra la Fragmentación en 30 Años

Respecto del efecto borde, (Cuadro 6) la condición inicial solo cuenta con el 28% de la superficie sin efecto borde (100 ha sobre 356 ha totales), mientras que el paisaje de referencia indica un potencial del 70% de superficie de bosque que podría estar sin efecto borde (588 ha sobre 848 ha totales de bosques

potenciales). Es interesante el hecho que el bosque de borde es semejante entre la condición inicial y la referencia, con una diferencia de 4 ha solamente.

En 30 años en el escenario sin plan el bosque sin efecto borde se reduce en un 3% debido a la deforestación. Con plan en cambio, se recupera un 90% de la superficie a la condición sin efecto borde. Esta ganancia comparada con el paisaje de referencia significa que el Plan de Ordenación Forestal alcanzaría un 32% de la superficie potencial sin efecto borde (190 ha sobre las 588 ha sin efecto borde en el paisaje de referencia).

Cuadro 6. Relación Entre el Bosque Con Efecto del Borde y el que Está Libre del Efecto, y su Variación En 30 Años, Con y Sin POF

Condición	Superficies (ha)					
	Bosque Con Efecto Borde			Bosque Sin Efecto Borde		
	Con Plan	Sin Plan	Referencia	Con Plan	Sin Plan	Referencia
Año 0	256	256	260	100	100	588
Año 10	240	243		115	98	
Año 20	239	231		153	98	
Año 30	254	219		190	97	

A Escala de Bosque

En el análisis de captura de CO₂eq fue posible construir tres análisis de comparación: la evolución de captura de CO₂eq sin plan, que corresponde al nivel de referencia según la ENCCRV y que incluye una deforestación proyectada en el tiempo. El segundo análisis es la captura con plan solo por efecto del manejo del bosque con más de 50% de cobertura y la captura de las zonas enriquecidas por sí solas (Cuadro 7 y Figura 9).

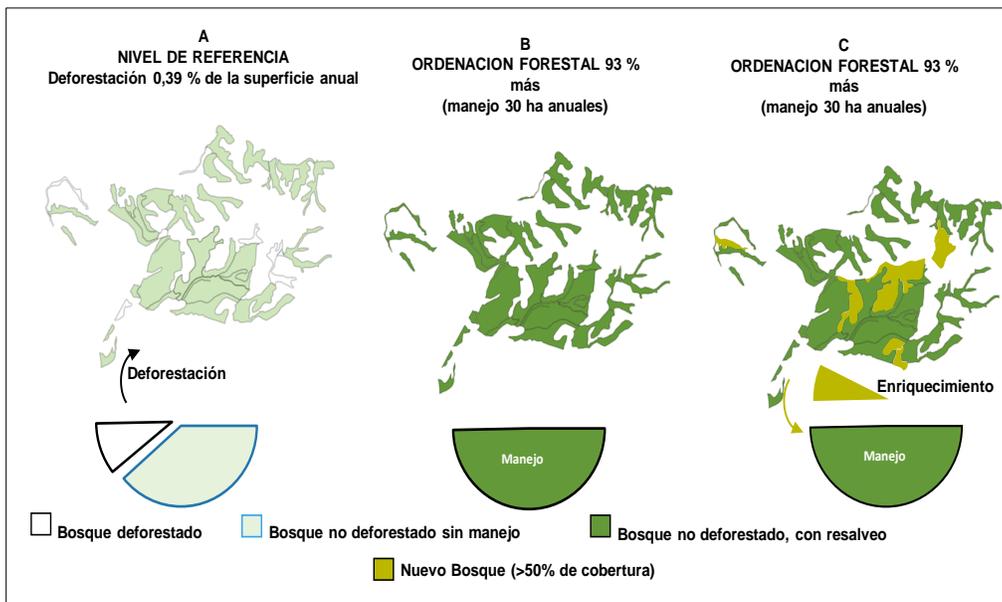


Figura 9. Diferentes Escenarios Construidos para Estimar la Captura de CO₂eq

Se debe destacar que la diferencia entre el escenario sin plan de ordenación y el con plan está determinada por la tasa de superficie intervenida anualmente, y esto a su vez se condiciona por los parámetros de ordenación forestal que, para este caso, quedó fijada en 30 ha (Cuadro 1).

Solo el manejo de los bosques con cobertura mayor a 50% (OF en el Cuadro 7) aumenta a casi el doble respecto de las tasas captura de CO₂eq de la condición sin manejo (Figura 10).

Las zonas enriquecidas en cambio, solo agregan un 15 % de captura respecto de la captura sin plan y esta ganancia comienza a sumarse levemente desde el segundo periodo (desde año 10 en adelante).

Cuadro 7. Captura de CO₂eq en los Diferentes Escenarios

Etapa	Captura en los Tres Escenarios									Ganancia			
	Sin Plan			Solo Ordenación Forestal			Solo Enriquecimiento			Total (Mt)		(%)	
	(t/ha)	Sup (ha) ¹	Total (Mt)	(t/ha)	Sup (ha) ²	Total (Mt)	(t/ha)	Sup (ha) ³	Total (Mt)	OF	Enriq	OF	Enriq
Año 0	135	356	48	135	356	48	-	-	-	-	-	-	-
Año 10	182	343	62	198	356	70	-	-	-	8	-	13	-
Año 20	219	330	72	312	356	111	81,2	37	3	39	3	54	4
Año 30	243	317	77	416	356	148	126,5	89	11	71	11	93	15

¹ La superficie se reduce por deforestación.

² La OF suprime la deforestación por tanto la superficie es constante.

³ Las nuevas forestaciones son bosque solo 13 años después de la instalación.

Evaluación Financiera

Se usaron costos de las dos actividades, resalveo y enriquecimiento, promedios que se pagaron en los cuatro predios del proyecto APL (Cuadro 8). El valor de la confección del POF anual se proratea por 10 años, dado que esa es su duración.

Cuadro 8. Costos Unitarios y Anuales por Cada Actividad Realizada

	Valor Unitario		Total Anual	
	(M\$/ha)	Sup (ha/año)	(M\$/año)	(US\$/año)
Resalveo	1.200	30	36.000	49.931
Enriquecimiento	2.500	5	12.500	17.337
POF	6	(695)	417	578
Total			48.917	67.846

El rendimiento financiero de la captura de CO₂eq (Cuadro 9) se determinó por cada periodo, separando las acciones de solo silvicultura y de enriquecimiento, según se muestra en la Cuadro 7.

Cuadro 9. Rendimiento Financiero de la Acumulación Adicional de CO₂eq Totales por Periodo y Total se Separa en el Análisis la Silvicultura del Enriquecimiento.

Periodo	Captura Adicional CO ₂ eq		Costo Unitario Adicional CO ₂ eq			
	OF	Enriq.	Enriq.	Costo Enriquecimiento		
	(t)	(t)	(\$/t)	(US\$/t)	(\$/t)	(US\$/t)
0						
10	8.052	-	44.709,4	62		
20	38.869	3.038	9.261,8	13	82.296	114
30	71.498	11.218	5.035,1	7	11.143	15
totales	118.419	14.255				
Unitario						
Sup (ha)	356 ¹	150 ²				
Totales en 30 años (t/ha)	333	95				

¹ Superficie de bosque inicial que se maneja en 30 años.

² Superficie que se enriquece en 30 años. Valor US\$ = \$ 721 (01.03.2021)

Los costos de enriquecimiento del periodo 20 incluyen los pagos del primer y del segundo periodo.

Al final del periodo analizado (30 años), el POF con solo silvicultura arrojó un costo de 7 US\$/t de CO₂eq adicional a la que captura el bosque sin plan, siendo la mitad del costo de solo los enriquecimientos (Figura 10).

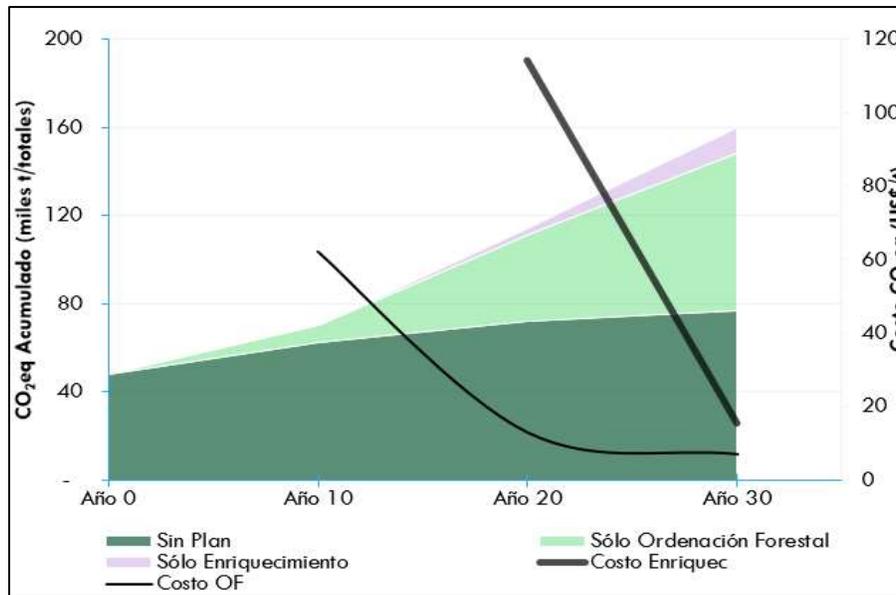


Figura 10. Acumulación de CO₂eq Durante los Tres Periodos Analizados Separando solo la Ejecución de Silvicultura y Solo el Enriquecimiento

Los costos unitarios de la captura de CO₂eq debidas a solo manejo se reducen en el tiempo debido a que las áreas manejadas van acumulando carbono adicional al escenario sin manejo, con una tendencia exponencial, en forma continua en el tiempo sin requerir gastos cada año, salvo al momento de la segunda intervención, y la acumulación de nueva superficie bajo manejo. Esto significa que el gasto anual de manejo es constante, mientras que el monto de captura adicional crece cada año. En los últimos años, cercanos al año 30, cesa este proceso, dado que todo el bosque está manejado, y la curva se estabiliza con una pendiente en torno a cero.

Los costos unitarios de la captura de CO₂eq debidas a solo enriquecimiento también se reducen por el aumento de la superficie que comienza a capturar y no cambia de pendiente, dado a que en este escenario se hace enriquecimiento hasta el último año. Así, podría ocurrir que ambos costos unitarios se hubieran igualado en el futuro más allá de 30 años.

DISCUSIÓN

Los valores de mortalidad promedio obtenidos de los ensayos de resalveo son similares a los obtenidos por Mosquera *et al.* (2009) y Clark y Clark (1995). De igual manera, los crecimientos diametrales están dentro de los rangos que presenta Donoso (2015). Los costos por plantación forestal y restauración por manejo son similares a los propuestos por Vergara *et al.* (2016) para América latina y el Caribe.

Los efectos del plan de ordenación forestal, con un enriquecimiento destinado a unir los fragmentos del bosque existente y simultáneamente la aplicación de resalveos que mejoran la vigorosidad del bosque, y ambas acciones planificadas en un horizonte de largo plazo, resumen la esencia de integralidad que contiene la ordenación forestal que define la ENCCRV (Ministerio de Agricultura, 2016), y la definición teórica de su aplicación (Cruz, 2020). Por tanto, los efectos deben analizarse también integralmente, además de unitariamente, en cada rodal. En este sentido, el enriquecimiento lograría en 30 años dos importantes efectos ecosistémicos. El primero detener la fragmentación, e incluso reducirla al 74 % respecto del número de fragmentos originales (el bosque abandonado y sin plan aumenta de 19 a 54 fragmentos, un 274%). El segundo efecto es un aumento de casi al doble del bosque libre del efecto borde en el mismo periodo. Ambos procesos, debieran mejorar notoriamente la capacidad de resiliencia y autoregulación del bosque futuro (Peña *et al.*, 2005), sin la subsidiariedad del ser humano. Estos resultados, permiten plantear que los mejores efectos en la restauración del paisaje forestal se obtienen

cuando la planificación incluye tanto la silvicultura aplicada a los bosques, como la recuperación de bosques.

La evaluación de un paisaje de referencia permite agregar métrica a los beneficios del esfuerzo de restauración. En este caso, por ejemplo, la ejecución del POF lograría aumentar el área sin efecto borde solo en un 32 % respecto del potencial (190 hectáreas con plan de 588 hectáreas que se estimaron en el paisaje de referencia), pero se acerca mucho a los mínimos fragmentos potenciales (con plan se reducen a 14 de los 9 que deberían existir, según el paisaje de referencia). Evidentemente estas cifras están condicionadas a las posibilidades financieras del ejecutor del plan para invertir en nuevas áreas forestadas.

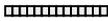
El aumento de la productividad provocada por el manejo en el largo plazo es coincidente con varias experiencias de silvicultura comparada con el crecimiento sin manejo, analizadas y compiladas por Dieler *et al.* (2017) para los bosques europeos. En este caso de estudio el aumento fue casi al doble en 30 años. No obstante, la aplicación del parámetro de ordenación forestal que restringe el manejo solo a 30 hectáreas anuales, provoca que la captura de CO₂eq fuera baja en el periodo inicial, pero ascendente en los siguientes periodos. Entonces, el beneficio de la restauración bajo un marco de ordenación forestal no solo depende de recursos financieros, sino que también de los máximos que imponen los criterios de rendimiento sostenido.

El costo de manejo llevado a captura adicional de CO₂eq, respecto del escenario sin plan, a los 30 años es superior al precio promedio del mercado para el 2019, de 4,3 US\$/t (Donofrío *et al.*, 2020), y la situación es peor en el caso de solo enriquecimiento en 30 años.

No obstante, de cumplirse las tendencias que proponen que un precio que activaría cambios en las conductas de deforestación a escala mundial para las próximas décadas debería oscilar entre 10 a 30 US\$/t de CO₂eq (Labbate *et al.*, 2021), los resultados proyectados permitirían afirmar que sería factible el financiamiento de la restauración mediante ordenación forestal a través de mecanismos del mercado voluntario de carbono.

Dado el énfasis que se ha hecho en este estudio de usar métrica en proyectos de restauración de largo plazo como el que se ha analizado, se presenta en el Cuadro 10 una síntesis del desempeño del proyecto en 30 años.

CUADRO N° 10
Síntesis del Desempeño del POF en 30 Años

Parámetro de Análisis	Variación Gráfica	Variación Numérica
Fragmentación	Inicial 	19 fragmentos
	Sin plan 	52 fragmentos
	Con plan 	14 fragmentos
	Referencia 	9 fragmentos
Bosque sin efecto Borde (SEB)	Inicial 	100 ha SEB
	Sin plan 	92 ha SEB
	Con plan 	190 ha SEB
	Referencia 	588 ha SEB
Captura de CO ₂ eq	Inicial 	48 mil t CO ₂ eq
	Sin plan 	77 mil t CO ₂ eq
	Con plan 	160 mil t CO ₂ eq

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aplicación del POF para la restauración combinando aumento de bosques y recuperación con resalveo lograría casi duplicar el bosque sin efecto borde y reducir la fragmentación al 74% respecto de la

condición inicial, mejorando la resiliencia del bosque, en un periodo de 30 años. Esta ganancia, comparada con el paisaje de referencia (bosque restaurado potencial), es muy significativa respecto de la fragmentación, pero solo de un 32% de la superficie sin efecto borde potencial que debería tener el caso de estudio.

El POF aplicado logró más que duplicar la captura de CO₂eq en 30 años, aunque la ganancia se debió en un 93% solo a la mejora de los bosques por el resalveo. Así, desde el punto de vista de la restauración, el enriquecimiento, o su equivalente en forestación, no sería relevante como sumidero, aunque tendría mucho valor si es integrado para aumentar y dar más resiliencia al bosque.

La aplicación de parámetros de ordenación determina el ritmo por el cual se maneja el bosque y podría ser negativo para casos de restauración, dado que, de aumentarse la superficie manejada cada año, sería posible que el bosque total aumentara más rápidamente su ritmo de crecimiento y de recuperación. Si se considera, además, que estos bosques están siendo afectados por el calentamiento global de forma significativa, sería recomendable estudiar algún parámetro para la ordenación forestal que permita aumentar las superficies a manejar en cada periodo.

El modelo arroja un costo unitario de CO₂eq que se reduce cada año por efecto acumulativo del bosque manejado, que termina estabilizándose en 7 US\$/t para el caso del resalveo. Para el caso de enriquecimiento, en 30 años alcanzó los 15 US\$/t, con una clara tendencia a la baja.

REFERENCIAS

- ASCC. (2016). Manejo sustentable del bosque nativo mediterráneo, región de Valparaíso. En: https://www.ascc.cl/resources/uploads/documentos/archivos/512/apl_manejo_sustentable_del_bosque_nativo_mediterraneo_-_region_de_valparaiso.pdf. Consulta: 10 abril, 2021.
- Clark, D. & Clark, D. (1995). Abundance, growth and mortality of very large trees in neotropical lowland rain forest. *Forest Ecology and Management*, Volumen 80, pp. 235-244. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(95\)03607-5](https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03607-5)
- CONAF. (2016). Nivel de referencia de emisiones forestales / Nivel de referencia forestal subnacional de Chile. Santiago.
- CONAF. (1997). Plan de ordenación de la reserva nacional Malleco. Santiago.
- Cruz, P. & Gorospe, J. (2019). Propuesta de paisaje de referencia para evaluar desempeño de índices del paisaje. Caso del parque Tagua Tagua, Chile. *Madera y Bosque*, 25(1), 1-19. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511757>
- Cruz, P. (2020). Principios de ordenación forestal para Chile. Santiago.
- Cruz, P., Cid, F., Rivas., Neira, E. & Ladrón de Guevara, J. (2012). Evaluación del Fondo de Conservación, Recuperación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo. CONAF. Santiago: Agrupación de Ingenieros Forestal por el Bosque Nativo. En: https://www.academia.edu/15487696/Evaluaci%C3%B3n_de_la_Ley_No20_283_sobre_recuperaci%C3%B3n_del_bosque_nativo_y_fomento_forestal_para_la_Subsecretar%C3%ADa_de_Agricultura. Consulta: 9 abril, 2021
- Cruz, P., Solís, R., Díaz, S., Rojas, A. & Ramos, F. (2001). Plan de ordenación forestal. primera versión para la ordenación del área de plantaciones. CONAF. Corporación Nacional Forestal.
- Del Río, M., Montes, F. & Cañellas, I.M. (2003). Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.*, 12(1): 159-176.
- Dieler, J., Uhl, E., Biber, P., Müller, J., Rötzer, T. & Pretzsch, H. (2017). Effect of forest stand management on species composition, structural diversity, and productivity in the temperate zone of Europe. *Eur. J. Forest Res.*, 136. Pp: 739-766. <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1056-1>
- Donofrío, S., Maguire, P., Zwick, S. & Merry, W. (2020). Voluntary carbon and the post-pandemic recovery. En: <https://app.hubspot.com/documents/3298623/view/88656172?accessId=b01f32>. Consulta: 9 abril, 2021.
- Donoso, C. (2015). Estructura y dinámica de los bosques del cono sur de América. Santiago: Universidad Mayor.
- IPCC. (2003). Good practice guidance for land-use change and forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change. Hayama, Japan.
- IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. WMO, UNEP. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Labbate, G., Edwards, R., Lubowsky, R. & Coello, J. (2021). Could 2021 be a turning point for forests and climate change?. En: <https://www.weforum.org/agenda/2021/02/2021-turning-point-forests-climate-change>. Consulta 9 de abril 2021.
- Lindenmayer, D., Franklin, J. & Fischer, J. (2006). General management principles and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 131. Pp: 433-445. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.02.019>

- Masera, O., Garza-Caligaris, J., Kanninen, M., Karjalainen, T., Liksi, J., Nabuurs, G., Pussinen, A. et al. (2003). Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO2FIX V.2 approach. *Ecological Modelling*, 164. Pp: 177-199. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00419-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00419-2)
- Ministerio de Agricultura. (2008). Ley Sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal.
- Ministerio de Agricultura. (2016). Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales. MINAGRI Santiago.
- Mosquera, H., Rengifo, R. & Ramos, Y. (2009). Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque pluvial tropical de Chocó (Colombia). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 62(1): 4855-4868.
- Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 10(2): 58-62. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88977-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6)
- Oterra, U. (2014). Elaboración de insumos técnicos y metodológicos para el desarrollo de la tipología de proyectos forestales de captura de carbono por medio de la restauración de bosques mediterráneos. Corporación Nacional Forestal. Santiago.
- Peña, J., Monroy, F., Álvarez, F. & Socorro, M. (2005). Uso del efecto borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 8(2): 91-98.
- Reynolds, M., Burk, T. & Huang, W. (1988). Goodness-of-fit test and model selection procedures for diameter distribution model. *Forest Science*, 34(2): 73-399.
- Rivera, H., Rudlof, A. & Cruz, P. (2002). Plan de Ordenación de la Reserva Nacional Valdivia. Santiago: CONAF/GTZ.
- Rothermel, H. (2002). Economía del manejo sustentable. Universidad Mayor. Santiago.
- Schulte, L., Mitchell, R., Hunter, M., Franklin, J., McIntyre, K. & Palik, B. (2006). Evaluating the conceptual tools for forest biodiversity conservation and their implementation in U.S. Forest ecology and management, 232, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.009>
- Vogelmann, J. E. (1995). Assessment of forest fragmentation in southern New England using remote sensing and geographic information systems technology. *Conservation Biology*, 9(2), 439-449. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1995.9020439.x>



ARTÍCULO

Aplicación de la Metodología Seis Sigmas para Mejorar la Calidad de la Estimación de Densidad Básica de la Madera en *Acacia mearnsii*

Pinilla, J.C.¹; Navarrete, F.¹; Luengo, K.¹; González, J.¹; Navarrete, M.¹ y Acevedo, J.¹

¹ Investigadores, Instituto Forestal, Sede Bio Bio. Concepción, Chile.

*Autor para correspondencia: jpilla@infor.cl

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.470>

Recibido: 20.03.21; Aceptado: 10.04.21

RESUMEN

La estimación de la densidad básica de la madera se realiza mediante el método tradicional regido por la Norma Tappi T 258 om-94, o bien, por la norma chilena NCh 176/2, las cuales son métodos destructivos, que demandan extensos tiempos, altos gastos en mano de obra y gran utilización de material.

Buscando métodos que permitan reducir esos inconvenientes se testeó la metodología Seis Sigmas, utilizando el método DMAMC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), para mejorar este proceso, y estimar este parámetro en tiempos y costos más reducidos. Para esto se probó la espectroscopía NIR (*Near Infrared*) calibrada para predecir la densidad de la madera en *Acacia mearnsii*, utilizando polvo de astillado en estado seco obtenido de tarugos.

El uso de esta tecnología fue apoyado con modelos estadísticos de regresión multivariantes de mínimos cuadrados parciales (PLS, *Partial Least Squares*), y se generó un modelo de calibración y un modelo de validación para el instrumento.

El objetivo de este estudio fue mejorar los tiempos del cálculo de densidad básica, parámetro físico importante para la obtención de información de la biomasa, que se emplea como un estimador del material leñoso de una especie y del rendimiento que alcanzará en el pulpaje, así como para determinar la facilidad con la que esta se puede trabajar.

Los niveles de predicción del modelo PLS fueron sobre el 80%, por lo que se valida el uso de la espectroscopía NIR como herramienta para predecir la densidad básica. Además, se aprecia un aumento en los indicadores de calidad, el nivel sigma aumentó de 0,18 a 3, el Cp de 0,26 a 1.08, el Cpk de 0,23 a 1 y los defectos por millón disminuyeron en un 99.6%. Además, utilizando la espectroscopía NIR disminuyen los costos en comparación con el método tradicional.

Palabras claves: *Acacia mearnsii*, Densidad básica, Espectroscopía NIR, Seis Sigmas, Metodología DMAMC.

SUMMARY

The estimation of the basic density of the wood is carried out by means of the traditional method governed by the International Standard Tappi T 258 om-94, or by the Chilean Norm NCh 176/2, which are destructive methods and demand extensive times, high labor costs and great use of material.

In the search for methods to reduce these inconveniences, the Six Sigmas methodology will be tested, using the DMAMC method (Define, Measure, Analyze, Improve and Control), to improve this process, which proposes a non-destructive methodology, which measures this parameter in shorter times and costs. For this, NIR (*Near Infrared*) spectroscopy calibrated to predict the density of *Acacia mearnsii* wood was used, using dry chipping powder obtained from dowels.

The use of this technology was supported with multivariate statistical models of partial least squares (PLS, *Partial Least Squares*), where a calibration model and a validation model for the instrument were generated.

The objective of this study was to improve the times of the calculation of basic density of the wood of trees of the *Acacia mearnsii* forest species, which is an important physical parameter for obtaining biomass information, since it is used as an estimator of the woody material of a species and the yield that it will reach in the pulping process, as well as to determine the ease with which it can be worked.

The prediction levels of the PLS model were over 80%, so the use of NIR spectroscopy as a tool to predict basic density is validated. In addition, there is an increase in quality indices, the sigma level increased from 0.18 to 3, the Cp from 0.26 to 1.08, the Cpk from 0.23 to 1 and the defects per million decreased by 99.6%. On the other hand, using NIR spectroscopy reduces costs by 46.2% compared to the traditional method.

Keywords. *Acacia mearnsii*, Basic Density, Near Infrared Spectroscopy, Six Sigmas, DMAMC Methodology.

INTRODUCCIÓN

El Instituto Forestal (INFOR) es una institución de investigación y desarrollo adscrita al Ministerio de Agricultura, que ejecuta investigaciones en el ámbito forestal. Entre los estudios de INFOR se cuentan aquellos relacionados con la caracterización de la biomasa forestal para su uso en energía, para lo cual conocer el parámetro de la densidad básica de la madera es una información relevante para los estudios de rendimiento y productividad en materia seca por hectárea de las especies forestales para la generación de energía.

Los problemas que se generan para la estimación de este parámetro se relacionan con que actualmente su medición se realiza mediante el método tradicional, regido por la Norma Internacional Tappi T 258 om-94¹, o mediante la Norma Chilena NCh 176/2². La diferencia que existe entre estas normas, es que en la norma Tappi se trabaja con rodela, mientras que la norma chilena trabaja con probetas.

Para realizar la estimación de densidad básica de la madera, primero se debe determinar el volumen máximo de la madera al estado verde (lo más cercano posible al contenido de humedad máxima que corresponde al volteo del árbol), mediante desplazamiento de agua o medición directa, y luego secar las probetas a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta obtener masa constante. A partir de ello se calcula la densidad básica dividiendo el peso seco por el volumen en verde.

Ambas metodologías son métodos destructivos y demandan tiempo para obtener una determinada cantidad de material, ya sea para extraer rodela o probetas de árboles que se deben cosechar, con una pérdida de material y mayor gasto en mano de obra.

El estudio se centra en la utilización de herramientas de la gestión de calidad para mejorar el proceso de estimación y los tiempos para obtener la densidad básica de la madera de una especie y rodal en particular. En este caso se trabajó con árboles de *Acacia mearnsii*. La densidad básica de la madera es un parámetro físico importante para la obtención de información de la biomasa, ya que se emplea como un estimador del material leñoso presente en una especie, en peso seco por unidad de superficie, cuantificándose así la biomasa para energía, pero también sus características para otros usos, como el rendimiento que alcanzará en un proceso de pulpeo o la facilidad con que esta madera se puede trabajar en procesos de corte, cepillado, moldurado, secado, impregnado y otros. La densidad varía entre especies, incluso entre individuos de una misma especie, con la edad y con las condiciones de suelo, clima y de manejo silvícola a que han sido sometidos los árboles. Otros parámetros que se pueden estimar con la densidad básica son la resistencia, rigidez, dureza y calidad de los productos fabricados a partir de esta materia prima.

Entre las herramientas de gestión de calidad para facilitar este proceso, se consideró la metodología Seis Sigma³ para poder mejorar la estimación de la densidad básica de los árboles, determinando a través de este método la característica crítica de calidad del proceso.

En este análisis y como complemento a la herramienta de gestión de la calidad, se determinó que una opción de mejora puede ser determinar si la Espectroscopía de Infrarrojo Cercano (*Near Infrared Spectroscopy, NIR*) puede ser utilizada para estimar la densidad de la madera de *Acacia mearnsii*, utilizando polvo de astillado en estado seco obtenido de tarugos, lo que evita que el árbol sea volteado, y analizando si este método es más eficiente para su utilización en terreno. La metodología a utilizar se apoya con modelos estadísticos, como la regresión multivariada de mínimos cuadrados parciales (*partial least squares, PLS*). Cada resultado obtenido a través del NIR debe ser comparado con las densidades obtenidas por el método tradicional, analizando las ventajas y desventajas de cada método, y concluyendo si la utilización de la espectroscopía NIR es efectivamente un método que mejora la calidad del proceso.

La estrategia de trabajo para esta metodología está dada por una serie de pasos, los cuales permiten llevar a cabo mejoras de los procesos de forma exitosa. A estos diferentes pasos se les conoce como DMAMC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), herramienta estratégica de calidad basada en la

¹ <https://www.tappi.org/content/SARG/T258.pdf>

² <https://ecommerce.inn.cl/nch17621986-mod.198840987>

³ Para mayor información se puede consultar en <http://200.16.86.50/digital/33/revistas/cse/sixsigma-six.pdf>

estadística, que da una gran importancia a la recolección de información y a la veracidad de los datos como base para la mejora.

La actividad se enmarca en el programa de trabajo de INFOR en su línea de I&D Biomasa Forestal y Energía y el desarrollo del Programa FIC-R⁴ “Fortalecimiento de la Competitividad del Sector de las Energías Renovables y de la Pyme Forestal, a través del desarrollo de herramientas de apoyo a la gestión y encadenamiento productivo para el abastecimiento sustentable de la biomasa forestal para su uso en generación de energía en la Región del Bio Bio”, ejecutado por INFOR con financiamiento del Gobierno Regional de la Región del Bio Bio.

OBJETIVOS

El objetivo general es Implementar y evaluar la metodología Seis Sigmas para mejorar la calidad del proceso de la estimación de la densidad básica de la madera de árboles en pie de *Acacia mearnsii*, apoyado por la espectroscopía NIR.

Los objetivos específicos son:

- Evaluar la metodología Seis Sigma como herramienta para la identificación y mejora de problemas relacionados con la gestión forestal, generando indicadores del proceso que permitan realizar una comparación entre procesos y su eficiencia.
- Demostrar la importancia de la metodología DMAMC, al exigir definir de manera clara los objetivos del estudio, caracterizando y delegando las actividades necesarias para cumplir con las metas, y con ello planificar de mejor manera el proceso.
- Verificar la fiabilidad del NIR como instrumento para estimar la densidad de la madera de la especie *Acacia mearnsii*.

ANTECEDENTES GENERALES

El trabajo se realizó para generar respuestas frente a necesidades básicas de la gestión forestal como lo es la estimación de la densidad básica de la madera de una especie y edad determinada. Por ello, se revisaron antecedentes de la metodología Seis Sigmas y a partir de ellos la opción de utilizar la espectroscopía NIR.

Antecedentes sobre la Metodología Seis Sigma

Seis Sigma es conocido como un sistema bien estructurado, pero flexible, que permite alcanzar el éxito en los negocios, de manera sustentable. “*Seis Sigma significa mejorar procesos por medio de resolver problemas*” (Snee, 2001).

Se trata de una metodología que enfoca los esfuerzos en lograr altos estándares de calidad, en grupos de personas pertenecientes a una organización con líderes ampliamente capacitados que llevan a cabo proyectos de mejoramiento. Estos proyectos permiten ahorrar entre otros por concepto de:

- Un mejor uso de los recursos
- Disminución de los tiempos de ciclos
- Disminución de costos
- Aumento de rendimiento

La metodología es aplicable a una gran variedad de procesos, en los que se ven involucradas las organizaciones, abarcando desde lo netamente productivo, hasta los servicios internos y externos.

Las bases fundamentales que todo proyecto Seis Sigma debe poseer son:

- Una definición clara de los objetivos.
- Mediciones concretas y acotadas de variables asociadas a los procesos.

⁴ Fondo de Innovación para la Competitividad Regional FIC-R

- Análisis estadísticos de los datos recogidos, cambios, rediseños e innovaciones.
- Un control minucioso de los cambios efectuados a los procesos intervenidos.

Seis Sigma es una implementación rigurosa, enfocada y altamente efectiva de principios y técnicas de calidad ya probados. Esta filosofía reconoce que existe una correlación directa entre el número de defectos, los costos por generar estos productos defectuosos y el nivel de satisfacción del cliente. A continuación, se describen las métricas básicas que se utilizan usualmente en Seis Sigma:

- Defecto: Cualquier error o equivocación que llega al cliente.
- Defecto por Unidad (DPU): Es el número de defectos por número de unidades producidas.
- Defectos por Millón (DPMU): Corresponde al número de defectos por millón de unidades.
- Oportunidad de Defecto (DO): Es un aspecto de una unidad donde es posible que aparezca un defecto.
- Defectos por Oportunidad (DPO): Es el número de defectos dividido por el número de oportunidades de defecto.
- Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO): Es el índice de medida para los procesos Seis Sigma. Asume una distribución estadística normal. Se calcula como el número de defectos por unidad, dividido por el promedio de oportunidades de error en una unidad, multiplicado por un millón.
- LE: Límites de especificación. Son los límites establecidos por la empresa, basado en expectativas o experiencias.
- LC: Límites de control: Son los límites determinados por la propia variabilidad y media del proceso.
- C_p : Indicador de calidad que relaciona la variabilidad propia del proceso con los límites de especificación establecidos.
- C_{pk} : Indicador de calidad utilizado para saber si el proceso se ajusta a las tolerancias, es decir, que la media natural del proceso se encuentre centrada en relación con el valor nominal del proceso.
- Proceso Sigma: Es una medida para el desempeño de un proceso, determinado por el DPMO y una tabla de distribución normal. Entregando como ventaja que: resulta fácil de medir, fácil de entender y permite la comparación entre procesos distintos (producción v/s servicios).

Sigma (σ) es una letra del alfabeto griego que usan los estadísticos para medir la variabilidad de un proceso. El valor de σ indica qué frecuencia de defectos o fallos pueden ocurrir en el proceso. A más alto nivel σ , menos defectos o fallos en el proceso pueden ocurrir. De esta forma, cuando σ aumenta la necesidad de pruebas e inspecciones disminuye, aumentando la fiabilidad del proceso, los costos de calidad disminuyen y se reducen significativamente los reprocesos. Además, el tiempo de ciclo se reduce drásticamente y la satisfacción del cliente aumenta. Un proceso con 3σ de capacidad o tolerancia es aceptado como satisfactorio.

Existen dos aspectos importantes necesarios de considerar para poder elegir de forma adecuada qué proyectos realizar. En primer lugar, se deben identificar las restricciones de cada proceso y luego determinar el enfoque que se va a utilizar para solucionar el problema.

Toda organización tiene sus propias restricciones, las cuales se presentan de distintas formas. Cuando un proceso tiene una restricción, la secuencia de proyectos de mejoramiento a realizar se debe determinar utilizando una pauta específica. Según Goldratt y Cox (1992) estas normas son las siguientes:

- **Paso 1:** Identificar las restricciones del sistema.
- **Paso 2:** Decidir cómo explotar estas restricciones, priorizando proyectos Seis Sigma que minimicen las pérdidas. Por ejemplo, si la restricción es la demanda de mercado, se deben buscar proyectos Seis Sigma que permitan obtener un 100% de entregas a tiempo. Si la restricción es una máquina, el enfoque debe dirigirse a disminuir el tiempo de puesta en marcha, eliminar errores y maximizar el tiempo de uso.
- **Paso 3:** Subordinar todo a la decisión tomada en el paso 2. Primero es necesario elegir proyectos que produzcan mejoras en las etapas inferiores del proceso (abajo en la cadena de eventos). Luego, se eligen proyectos que aseguren una oferta de recursos no defectuosos, desde etapas superiores del proceso a la restricción.

- **Paso 4:** Levantar la restricción. Lo que significa que la restricción fue eliminada en los pasos 2 y 3. De no ser así, es necesario buscar proyectos que aporten recursos adicionales a la restricción. Esto puede involucrar una mayor cantidad de mano de obra o cantidad de insumos o equipamiento.
- **Paso 5:** Si en los pasos anteriores no se pudo eliminar la restricción, se debe volver al paso 1. Se debe pensar nuevamente el proceso como un todo. Esto significa comenzar nuevamente el ciclo.

Una vez aplicada la metodología anterior, es posible conocer de qué forma ir en busca de oportunidades de mejora, sin embargo, aún es necesario realizar análisis de costo-beneficio y se debe estimar la probabilidad de éxito de cada proyecto antes de elegir uno por sobre otro (Goldratt y Cox, 1992).

Los proyectos Seis Sigma abordan tres áreas diferentes de mejoras potenciales, calidad, costo y plazos. Las características críticas en el producto, proceso o servicio, son identificadas utilizando la notación CTx.

- *Critical to Quality (CTQ):* Cada unidad resultante de un proceso con características críticas en calidad, es especialmente valiosa porque, de perderse, es necesario una mayor cantidad de tiempo para reemplazarla o rehacerla. Aquellos proyectos enfocados en características críticas en calidad deben tener prioridad por sobre los otros.
- *Critical to Schedule (CTS):* Los proyectos que enfrentan características críticas en horarios y plazos, deben reducir los tiempos requeridos para poder producir una unidad, lo que redundaría en una mayor capacidad del proceso. Este tipo de proyectos también debe tener alta prioridad.
- *Critical to Cost (CTC):* Los proyectos que enfrentan características críticas en costo, pueden tener ocasionalmente un efecto adverso en la calidad o el horario. Por esto, es que deben ser los que tengan la menor prioridad.

Luego de definir la característica crítica, es necesario definir bajo qué método se va a trabajar. Seis Sigma posee varias opciones de metodologías, las que van a determinar cómo será abordado el proyecto desde su inicio hasta su fin. A continuación, se describe brevemente cada una de ellas:

- **DMAIC:** Corresponde a las siglas del inglés *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*. Para definir los pasos que son necesarios llevar a cabo en todo proceso estándar Seis Sigma. Conocido en español como DMAMC.
- **DMADV:** Son las siglas de *Define, Measure, Analyze, Design, Verify*. Para definir los pasos alternativos a un proceso Seis Sigma. Corresponde a una metodología de diseño de procesos.
- **DFSS:** *Design For Six Sigma*. Define a proyectos consistentes en diseñar nuevos procesos, productos o servicios de manera que, una vez terminado, cumpla con los estándares 6σ (3,4 DPMO⁵).

El modelo utilizado en este estudio es el DMAMC, orientado al proceso del cálculo de densidad básica de la madera, centrándose en la mejora de los tiempos (CTS) con ayuda de la espectroscopia NIR.

El modelo DMAMC, como se señaló, corresponde a una estructura usada para guiar proyectos Seis Sigma, que busca el mejoramiento de procesos y que describe, en 5 partes, qué se va a hacer de forma avanzada y describe en detalle cómo se llevará a cabo. Cada etapa del ciclo DMAMC utiliza herramientas y técnicas estadísticas específicas, que sirven de apoyo para el desarrollo de la etapa en cuestión.

Antecedentes de la Tecnología NIR

La tecnología de espectroscopia NIR ha tenido gran adopción en diferentes industrias, incluyendo el sector forestal, donde existe la necesidad de una gran cantidad de estudios en análisis de parámetros físico-químicos en productos madereros y celulosa (Via, 2004). La absorbancia en algunas longitudes de onda del espectro NIR se asocia con los grupos funcionales de los polímeros que constituyen la madera, los que están a su vez, directa o indirectamente, relacionados con las propiedades químicas y/o mecánicas. Una completa revisión se puede encontrar en Tsuchikawa y Kobori (2015).

⁵ Defectos por Millón de Oportunidades

Esta tecnología también se está implementando en las operaciones de cosecha forestal, donde los equipos de cosecha mecanizada generalmente vienen equipados con tecnología computacional y sensores para medir las dimensiones externas de los rollizos, generalmente diámetros con corteza y longitud. El estudio de tecnologías para medir atributos relacionados a la calidad de los rollizos está progresando con diferentes niveles de éxito; ejemplos de estos son: acústica, escáner láser y óptico, rayos X, microondas, ultrasonido y espectroscopia infrarroja (NIR) (Carter *et al.*, 2005).

Hay variados estudios en la literatura relacionados a la predicción de propiedades físicas (densidad, ángulo microfibrilar, longitud de traqueidas), mecánicas (módulo de rotura y elasticidad) y químicas (contenido de glucosa, lignina y extractivos) de la madera a partir de espectros NIR, los cuales se han llevado a cabo para coníferas y latifoliadas (Bailleres *et al.*, 2002; Schimleck y Yazaki, 2003; Schimleck *et al.*, 2004; Kelley *et al.*, 2004ab; Via, 2004; Cooper *et al.*, 2011).

Las mediciones de las propiedades de la madera dentro del fuste requieren la obtención de muestras, las cuales en el caso del NIR corresponden a astillas de aserrío que se producen durante el trozado realizado por una cosechadora o procesadora. En este sentido, es interesante recopilar información en cuanto a si las astillas de aserrío, en particular astillas en estado verde, constituyen una muestra adecuada para predecir la densidad de la madera basada en mediciones del espectro NIR.

En la actualidad, diversas empresas dedicadas al rubro forestal en Chile utilizan esta tecnología para el cálculo de la densidad básica de la madera. En la región del Bio Bio, la empresa Celulosa Arauco realiza toma de espectros a partir de viruta producida de muestras de tarugos de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*⁶, con errores aproximados de 30 kg/m³.

La empresa forestal CMPC en los Ángeles, también utiliza la espectroscopia NIR, para diferentes usos desde 1998⁷, señalando que los modelos que se generan para estimar densidad básica de la madera no superan un R² de 0,85⁸, con RMSEP⁹ de entre 20 y 30 kg/m³.

Labbé *et al.* (2013) por su parte, utilizaron el NIR para estimar densidad básica, evaluando la variación de la densidad en el sentido longitudinal del fuste y la precisión de la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) para predecir densidad y rendimiento pulpable en clones de *Eucalyptus globulus*, utilizando viruta, astilla y discos (rodela) en sitios de la región de La Araucanía. En dicho estudio, el valor medio de la densidad básica a la altura del DAP fue de 499 kg/m³, mientras que la estimación mediante espectroscopia NIR utilizando viruta a la misma altura, fue de 498 kg/m³ con un error estándar de estimación (EEE) de 28,8 kg/m³ y 28,5 kg/m³, respectivamente para el primer clon estudiado.

Para el segundo clon estudiado, las medias fueron de 507,1 kg/m³ para la estimación mediante rodela a la altura del DAP, y de 497,2 kg/m³ utilizando espectroscopia NIR, con un EE de 1,5 kg/m³ y 23,2 kg/m³, respectivamente.

La espectroscopia NIR, con su reducido costo de instrumentación y rápida colección espectral (con un mínimo esfuerzo requerido para la preparación de las muestras), se ajusta perfectamente a los requerimientos del análisis cuantitativo. Los beneficios y tendencias de la espectroscopia infrarroja han sido descrito por So *et al.* (2004), quienes señalan que “la rápida evaluación de las propiedades sólidas de la madera por medio del espectro NIR se ha convertido en un área de estudio de rápido crecimiento con amplias implicancias para la calidad de la madera y, finalmente, para el mejoramiento de los árboles, es probable que el monitoreo con NIR lleve a un aumento de la eficiencia y de las utilidades”.

Sin embargo, sin la ayuda del análisis multivariado la información química del espectro NIR es muy limitada, siendo dos las técnicas de estadística multivariada más utilizadas con espectroscopia NIR, los cuadrados mínimos parciales (PLS) y el análisis de componentes principales (PCA).

MATERIALES Y MÉTODO

⁶ Comunicación personal, Gerencia Celulosa Arauco, 2018

⁷ Marcela San Martín, encargada de la utilización NIR CMPC Los Ángeles, comunicación personal, 2018

⁸ Coeficiente de determinación o determinación múltiple, porcentaje de variación de la variable de respuesta que explica su relación con una o más variables predictoras

⁹ Raíz cuadrada del cuadrado medio del error de precisión, mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos, los valores predichos y los valores observados o conocidos

En las actividades del Instituto Forestal, se contempla una línea de investigación específica sobre Biomasa Forestal y Energía, en el área de Diversificación Forestal, línea que aborda la generación, manejo y caracterización de la biomasa forestal aprovechable para una diversificación de la matriz energética; el monitoreo del mercado nacional de los combustibles derivados de la madera y estudios de las implicancias ambientales y uso sustentable de la biomasa forestal como energía, entre otros aspectos. Dicho trabajo de investigación apunta a dar respuesta a desafíos sectoriales y a contribuir a los programas de fomento al uso de la biomasa forestal como fuente de energía renovable, aprovechando y utilizando la vocación forestal de los territorios. En este accionar una de las acciones de INFOR se refiere a generar y contar con información acerca de la densidad de la madera de diversas especies forestales, ya que este valor se relaciona con la cantidad de materia seca producida por unidad de superficie, de cada especie a partir de un bosque a distintas edades y manejo forestal.

A mayor densidad, mayor será la biomasa producida en un determinado sitio y edad, lo que permite su clasificación y comparación con otras fuentes de biomasa forestal, determinando la cantidad de madera seca posible de obtener. Por lo anterior, este estudio abordó la aplicación de la metodología Seis Sigma y su evaluación en cuanto a mejorar la calidad de la estimación de densidad básica de la madera de, en este caso, *Acacia mearnsii*. Los resultados obtenidos serán comparados con los valores de referencia de la especie a partir de la información disponible en el país, y aquellos obtenidos donde esta especie tiene su origen, Australia, o es utilizada.

Para la obtención de las muestras de biomasa se utilizó una unidad experimental establecida por INFOR con *Acacia mearnsii* en el predio Santa Elvira, sector San Antonio de Cuda, comuna de Florida, región del Bio Bio. La unidad al momento del estudio contaba con 13 años, abarcando una superficie de 1 ha. Para la extracción de las muestras requeridas se realizó un censo en un 25% del área del ensayo, midiendo todos los DAP (Diámetros a la altura del pecho, 1,30 m de altura) de los árboles.

De cada árbol seleccionado, se obtuvo muestras de tarugos con un taladro de incremento manual, utilizando un punto ubicado a 3 cm sobre la extracción de cada rodela en las diferentes alturas, a 0,1 metros, 1,3 metros y a 3,2 metros de distancia hasta que el fuste tenga 5 centímetros de diámetro. Los tarugos fueron tomados desde la corteza hasta la medula del árbol, con una profundidad de entre 5 y 15 cm dependiendo del diámetro del árbol a lo largo de su altura. Las muestras de biomasa fueron sometidas al proceso de estimación y colecta de espectros NIR, utilizando un equipo de medición de espectroscopia NIR portátil *Thermo Scientific*, Modelo microPHAZIR GP®, obteniendo un determinado número de mediciones por muestra.

RESULTADOS DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA

Definir

Luego de definir la característica crítica, se definió el método que se va a trabajar bajo la metodología Seis Sigma desde su inicio hasta su fin. Como se mencionó previamente, el modelo utilizado en este estudio fue el DMAMC, orientado al proceso del cálculo de densidad básica de la madera, centrándose en la mejora de los tiempos (CTS), planteando formalmente un problema específico de calidad identificado en el proceso de cálculo de densidad básica de la madera.

Se conformó un equipo de trabajo, designando los cargos y responsabilidades a cada integrante, definiendo como Característica Crítica de Calidad (CTQ) “el tiempo de duración del cálculo de densidad básica de la madera, en árboles de *Acacia mearnsii*”. Es por esto que se establecen como meta “Reducir los tiempos y uso de material, para el cálculo de densidad básica de madera para la especie *Acacia mearnsii*, evitando el uso de métodos destructivos para obtener este valor”.

Se decidió que el proceso a evaluar mediante la metodología Seis Sigma estaría dado por las actividades asociadas a los tiempos que involucran al personal de trabajo, y que sea específico de las muestras, por lo tanto, las actividades previas a la extracción de rodela y los tiempos dedicados al secado y saturado no serán considerados para la metodología Seis Sigma. Considerando lo recién mencionado, las actividades estudiadas son:

- Tiempo de extracción de rodela
- Tiempo de pesaje de rodela seca

- Tiempo de medición de volumen de rodela saturada

De acuerdo con experiencias en terreno y antecedentes consultados relacionados con estimaciones de densidad básicas realizadas anteriormente en la institución, se acordó que los tiempos promedios, considerando que existen rodela de diferentes tamaños y grosor, sería de 270 segundos, y que cada tiempo no debería demorar más de 70 segundos de este promedio, por lo que quedaron definidos los límites de especificación

- LC = 270 segundos
- LIE = 200 segundos
- LSE = 340 segundos

Se establece la definición del problema, definición de las metas, definición del proceso, los resultados esperados y el esquema del proyecto, los cuáles se muestran en el Cuadro 1.

Medir

La medición actual para calcular la densidad básica de la madera para cualquier tipo de especie es obtenida mediante la Norma Tappi T258 om-94. Los pasos correspondientes a esta metodología son mencionados a lo largo de la etapa "Medir", en donde se cronometró cada una de las actividades mencionadas en la confirmación del proceso de la etapa "Definir".

- Medición de Densidad Básica de la Madera Mediante la Norma Tappi T258 om-94

Las muestras de biomasa fueron obtenidas desde una unidad experimental con *Acacia mearnsii* establecida por INFOR en el predio Santa Elvira, sector de San Antonio de Cuda, Florida, Región del Biobío. La unidad al momento del estudio contaba con 13 años, abarcando una superficie de 1 hectárea.

Cuadro 1. Cuadro Resumen Proyecto Seis Sigma

Nombre del proyecto	Disminución de los tiempos de cálculo de densidad básica de la madera.
Institución	Instituto Forestal
Área Involucrada	Línea de I&D en Biomasa Forestal y Energía
Participantes del Proyecto	Equipo técnico programa Biomasa Forestal y Energía INFOR, Sede Bio Bio
Justificación del Proyecto	Excesiva demora en el cálculo de la densidad básica El método tradicional es un método destructivo Gastos excesivos Pérdida de material leñoso
Impacto en el Proceso	La entrega de avances de informes se ve condicionado por el tiempo de demora de este valor Utilización de recursos no previsto debido a contratación de ayudantes y materiales en terreno
Oportunidades de Mejora	Utilización de instrumentos y herramientas disponibles que podrían ser herramientas de solución Disminución en los tiempos de trabajo para los jornales encargados Utilización de la totalidad de los ensayos para los fines deseados
Alcance del Proyecto	El alcance de este proyecto considera las actividades donde se involucra el personal para el cálculo de la densidad básica de la madera. Los tiempos de las actividades que dependan de la naturaleza de la muestra, no serán considerados en la aplicación de la metodología Seis SigmaS. El objetivo principal del proyecto es presentar una metodología no destructiva, donde se mejoren los tiempos y costos para el cálculo de densidad básica de la madera.

Para la extracción de las muestras requeridas se realizó un censo en un 25% del área del ensayo. En esta etapa se numeran y miden todos los DAP (Diámetros a la altura del pecho, 1,30 m de altura) de los árboles. Este censo determinó la existencia de 334 árboles. Algunos de estos árboles presentaron uno o más retoños, los que al ser contabilizados generaban un total de 449 árboles. Una vez obtenida la población objetivo a través del censo realizado, se eliminaron los árboles que presentaban algún defecto. Esto correspondió a árboles de mala forma, quebrados o afectados por algún daño. Lo anterior generó una nueva población consistente en 295 árboles. Al considerar los retoños, la muestra cuenta con 391

árboles. El diámetro promedio de esta nueva población fue de 14,4 cm. El diámetro de los retoños en promedio alcanzo los 8,8 cm.

Finalmente, sobre esta población se aplicó un análisis para obtener el 25%, 50% y 75% del valor del DAP promedio observado, con el objetivo de que a partir de esos valores se realice la selección de los árboles a utilizar para la obtención de rodela requeridas en la determinación de la densidad básica de los árboles (Bahamóndez *et al.*, 1995). Al aplicar este procedimiento se genera el Cuadro 2.

Cuadro 2. Selección de Árboles Según DAP

%	Árbol	DAP Clase (cm)	Árboles a Muestrear
25	74	12,2	20
50	148	14,2	20
75	221	16,3	20

Lo anterior implica que los árboles donde se deberá realizar la extracción de muestras corresponderán a aquellos que cuenten en promedio con un DAP cercano a los 12,2; 14,2 y 16,3 centímetros.

Elegidos los árboles, se cortaron rodela de entre 3 y 5 cm de espesor a intervalos regulares a lo largo del fuste: a 0,1 m, 1,3 m y cada 3,2 m hasta que el diámetro del fuste tenga un diámetro límite de 5 cm, con corteza. Cada rodela fue rotulada con un código de identificación y fueron recolectadas cerca de 300 rodela en terreno que fueron llevadas a las instalaciones del Instituto Forestal en San Pedro de la Paz, Concepción; para realizar el proceso.

El secado de las muestras demoró 7 días, y consistió en depositar las rodela en hornos de secado Memmert ® a 103±2 °C. Una vez que se obtuvo el peso seco de las rodela, estas fueron llevadas a un salón que disponía de dos recipientes de plásticos de 44,5 cm x 60 cm x 40,5 cm. Las muestras fueron depositadas en los recipientes, y posteriormente se cubrieron con agua para saturar las rodela. Este proceso demoró 15 días. En la Figura 1, se puede apreciar los distintos pasos de este proceso.

Para calcular el volumen de cada rodela, se utilizó un tarro de 20 L, en donde se perforó a 40 cm de altura, y se le instaló una llave de paso, sellando bien los espacios. El tarro se llenó de agua, luego se eliminó el exceso de agua hasta quedar a nivel con la llave. Cada rodela se depositó adentro del tarro con el agua ya nivelada y con la llave de paso cerrada, esto generó un desplazamiento de agua, produciendo que el agua se moviera constantemente. Se esperó a que el agua se estabilizara y se procedió a abrir la llave de paso, para expulsar el agua sobrante, depositándola en un recipiente previamente pesado. Posteriormente se pesó el agua desplazada obteniendo su volumen. Este proceso demoró entre 3 a 7 minutos por muestra, según la naturaleza de cada muestra y el tiempo final del proceso fue de alrededor de 35 horas.

Finalmente, para el cálculo de la densidad básica de la madera, se divide el peso seco de la rodela con el volumen saturado, obtenidos en los pasos anteriores.

La media de la densidad básica fue de 712.94 kg/m³ con una desviación estándar de 37.08 kg/m³, en donde su valor mínimo fue de 612,15 kg/m³ y máximo de 806,27 kg/m³.

La literatura señala que *Acacia mearnsii*, es una latifoliada de densidad media, con valores que fluctúan entre los 530-598 kg/m³ (densidad básica), siendo su madera dura, pero moderadamente fácil de trabajar y fácil de pulir. En estado seco y húmedo es de dureza media (Kannegiesser, 1990). La madera de *Acacia mearnsii*, tiene potencial para leña y carbón ya que es una madera medianamente densa que se parte fácilmente y enciende bien. Posee un peso específico de 0,70 a 0,85 g/cm³ y un poder calorífico de 3.494 a 3.993 kCal/kg (Kannegiesser, 1990). Pinilla (2000) señala también que esta especie presenta una densidad básica de aproximadamente 630 kg/m³ y una densidad de la madera seca al aire de entre 550 y 800 kg/m³.

En otro estudio, Searle and Owen (2005, se calculó la densidad básica de la madera en distintas especies y en *Acacia mearnsii* encontraron medias de 663 kg/m³, 726 kg/m³, 651 kg/m³ y 664 kg/m³, según las distintas procedencias analizadas.

En Brasil, la Asociación Brasileña de Celulosa y Papel (ABTCP, 2008), indica que la densidad básica de esta especie fluctúa entre los 550 y 630 kg/m³ en árboles de 7 años de edad.

- **Identificación de la Causa del Problema**

Se sabe que el proceso es lento, desconociéndose las causas que provocan esto. Para poder conocer estas causas, se desarrolló un diagrama de Causa-Efecto, para encontrar las causas del problema. Esto fue revisado por los miembros por los miembros del equipo y las causas fueron clasificadas en cuatro categorías: Personal, Máquinas, Método, Clima. El diagrama de causa y efecto asociado a este estudio se muestra en la Figura 2.

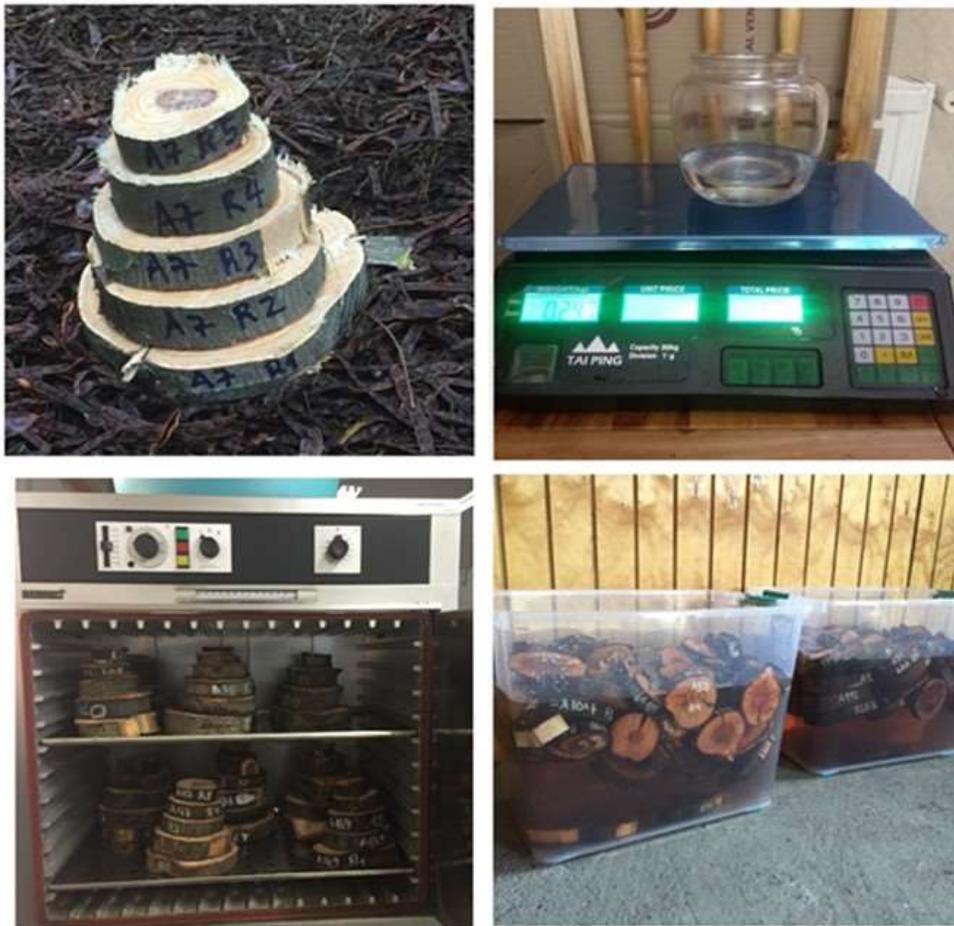


Figura 1. Proceso de Estimación de Densidad Básica de la Madera Mediante la Norma TAPPI

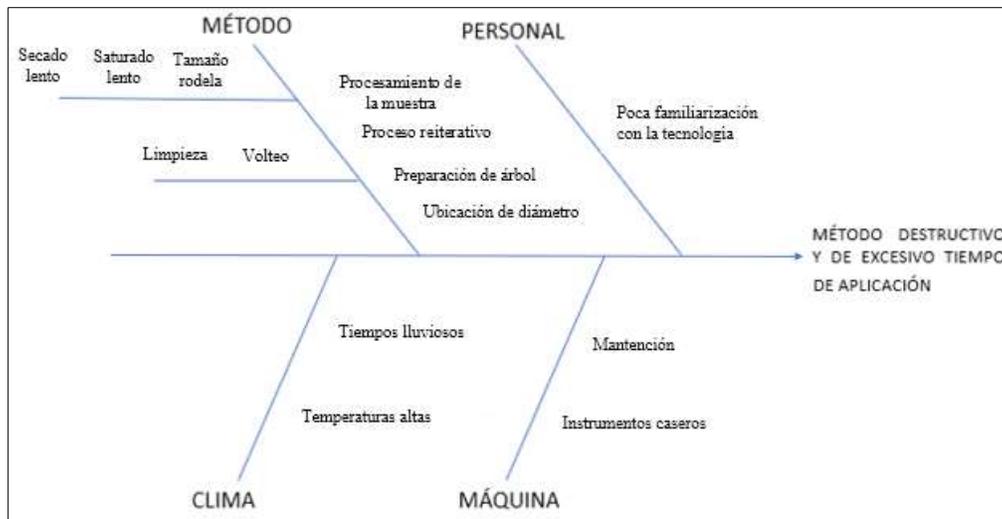


Figura 2. Diagrama Causa-Efecto de Proceso

Como se puede apreciar en el diagrama causa-efecto, se identificaron 8 causas que podrían explicar las demoras en calcular la densidad básica de la madera mediante el método tradicional. Estas causas están relacionadas con:

- Procesamiento de las muestras
- Procesos reiterativos
- Preparación de árboles
- Ubicación de diámetro de 5 cm
- Clima en terreno (alta temperatura)
- Clima en terreno (Tiempos lluviosos)
- Poca familiarización con la metodología de trabajo
- Mantenimiento de maquinaria.

En primera instancia se puede ver que la categoría “Método” presenta mayores causas que generan el problema, pero es necesario saber que tan importantes son estas causas para el equipo de trabajo. Para esto se utiliza la Técnica de Grupo Nominal (TGN), con el fin de consensar cuáles son las causas de mayor importancia (Cuadro 3).

Cuadro 3. Técnica de Grupo Nominal

Interpretación	Puntaje
Muy Importante	4
Importante	3
Poco Importante	2
Nula Importancia	1

Todos los integrantes realizaron su calificación a cada una de las causas, resultados que son presentados en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Calificación de Importancia

Causa	Total
Procesamiento de la muestra	24
Procesos reiterativos	22
Preparación de árboles	9
Ubicación de diámetro de 5 cm	8
Clima en terreno (alta temperatura)	14
Clima en terreno (Tiempos lluviosos)	20
Poca familiarización con la metodología	11
Mantenimiento	9

Con este procedimiento se determinó que las causas de mayor impacto para el equipo de trabajo son “Procesamiento de las muestras” y “Procesos reiterativos”, estando este último factor asociado a la realización de actividades recurrentes y en algunos casos, tediosas.

Finalmente, con los datos obtenidos, se genera un Diagrama de Pareto (Figura 3), el cual clasifica por categoría cuales son la de mayor importancia para poder mejorar el proceso.

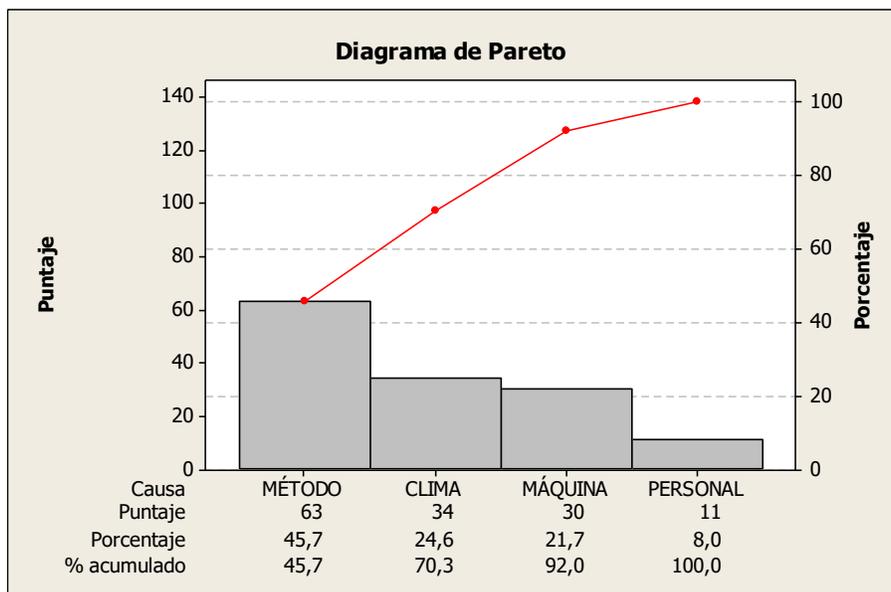


Figura 3. Clasificación Según Categoría de Importancia para Mejoras del Proceso

Se puede observar en el diagrama, que la categoría más importante para el equipo de trabajo es la del “Método de trabajo”, con un 45,7%; seguido del “Clima” con un 24,6% y “Máquinas” con un 21,7%; finalmente la categoría de menor importancia fue “Personal” con un 8%.

A partir de la información anterior es posible en este proceso definir:

- Característica Crítica de Calidad: "Tiempo de duración del cálculo de densidad básica de la madera, en árboles de *Acacia mearnsii*"
- Meta: "Reducir los tiempos y uso de material, para la estimación de la densidad básica de la madera de la especie *Acacia mearnsii*, evitando el uso de métodos destructivos"

Analizar

Para el análisis se seleccionaron los tiempos de 32 árboles a los cuales se le extrajeron 5 rodelas, teniendo un total de 160 muestras. La variable de observación es “tiempo”, medido en segundos, las cuales fueron procesadas por el *software Minitab 16*.

- Evaluaciones Estadísticas de Datos

Para identificar que el proceso cumple con los criterios básicos de calidad, es necesario realizar un estudio estadístico de datos. Para esto se analizaron los datos recolectados, utilizando el *software Minitab 16*. En el Cuadro 5 se presenta la información más relevante.

Cuadro 5. Datos Estadísticos del Proceso Mediante la Norma Tappi

Número de muestras	160
Media (segundos)	277,91
Desviación Estándar (segundos)	87,98
Nivel Sigma ¹⁰	0,18

Los tiempos obtenidos mostraron una media de 277,91 segundos, 7,91 segundos más que el límite de especificación establecido por el grupo de trabajo (270 segundos). Esto refleja que la curva normal esta levemente desplazada a la derecha con respecto a los límites de especificación.

Se generan gráficos de control \bar{X} -R, para poder evaluar la calidad del proceso. Para generar estos gráficos, a cada subgrupo se le calculó la media y el rango de sus tiempos de estimación de densidad básica, ubicando las medias en el gráfico \bar{X} y los rangos en el gráfico R. Luego, se evaluó el nivel sigma del proceso con el fin de determinar los límites de control. El nivel sigma del proceso tradicional es de 0,18, valor excesivamente bajo, esto ocurrió debido a que los rangos de los subgrupos son muy altos y variables. Esto implica que, dentro de un subgrupo, las muestras presentan tiempos muy diferentes, en donde varias de las observaciones no están dentro de los límites de especificación. Las ecuaciones de cálculo de los límites de control son:

$$LIC = \hat{\mu} - Z\hat{\sigma}$$

$$LC = \hat{\mu}$$

$$LSC = \hat{\mu} + Z\hat{\sigma}$$

Donde:

LIC es el límite inferior de control

LC es el límite central (indica que tan desplazada está la media real de la media esperada)

LSC es el límite superior de control

$\hat{\mu}$ es la media estimada de los subgrupos

$\hat{\sigma}$ es la desviación estándar estimada de los subgrupos

Z es el nivel sigma asociado al proceso

En el gráfico \bar{X} , los límites de control con un nivel sigma de 0,18 fueron de¹¹:

- LSC = 294,2
- LC = 277,9
- LIC = 261,7

¹⁰ Es una medida para el desempeño de un proceso, determinado por el DPMO y una tabla de distribución normal

¹¹ Valores obtenidos mediante el Software Minitab 16

Además, en el gráfico R los límites de control con el mismo nivel sigma son los siguientes¹²:

- LSC = 224,1
- LC = 210,1
- LIC = 196,0

Mediante el gráfico de control \bar{X} -R (Figura 4), se pueden observar si existen o no puntos atípicos.

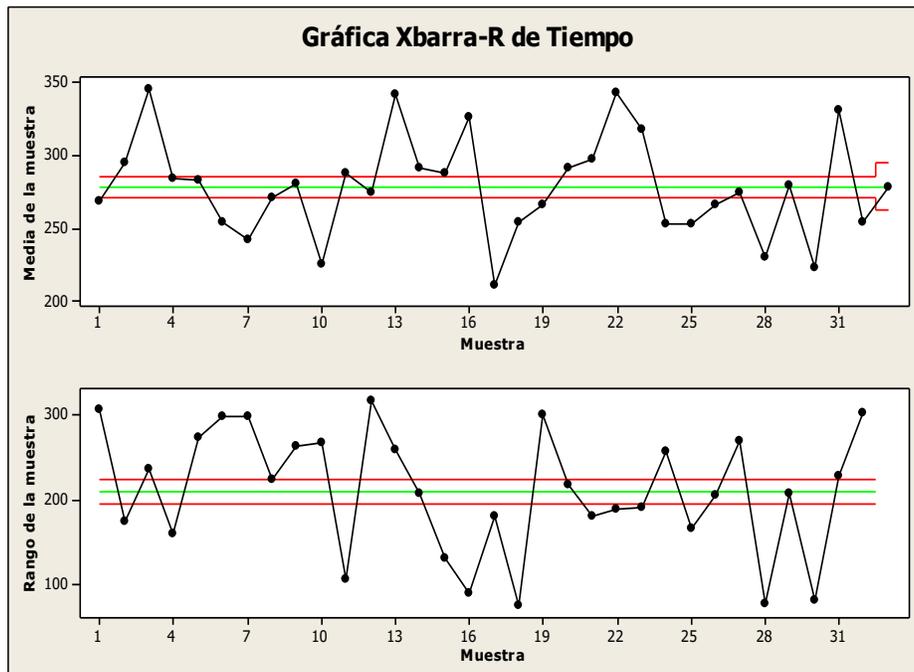


Figura 4. Gráfico de Control \bar{X} -R

Se observa en ambos gráficos que la mayoría de los tiempos no están dentro de los límites de control, lo que confirma la alta variabilidad de las medias de las muestras, con rangos altos y variables, lo que significa una débil evaluación en términos de calidad.

Por lo tanto, debido a lo mencionado se declara que el proceso de estimación de densidad básica de la madera no se encuentra en control estadístico, por lo que se deberá generar un análisis de las causas del problema.

- Análisis en la Capacidad del Proceso

En la etapa "Definir" se estableció, mediante la reunión del grupo de trabajo, que los límites de especificación serían de 200 para el límite inferior y 340 para el límite superior.

Se realiza el análisis de capacidad del proceso, utilizando los datos recolectados, que se pueden ver en el Cuadro 6.

¹² Valores obtenidos mediante el Software Minitab 16

Cuadro 6. Indicadores de Capacidad

Indicador	Valor
Cp	0,26
Cpk	0,23
Nivel Sigma	0,15
% defectos	44,01
DPMO (Defectos por Millón de Oportunidades)	440.059

Para este caso, el valor de Cp es de 0,26. Al ser un valor inferior a 1, expresa que el proceso no es capaz de producir dentro de los límites de especificación preestablecidos, además, se tiene que Cpk es de 0,23, indicando que el proceso se encuentra centrado en los límites de especificación, pero con un alto número de muestras fuera de estos.

Estos resultados confirman la alta variabilidad de este proceso, por lo que se deben buscar soluciones para determinar una estabilidad de estos tiempos.

Se puede observar además que el DPMO esperado es igual a 440.059, esto quiere decir que, de un millón de observaciones, 440.059 serán defectuosas, es decir no cumplirán con los tiempos establecidos por los límites de especificación, reflejando un 44,01% de defectos.

Es indispensable entonces realizar cambios y mejoras en el proceso con el fin de optimizar los tiempos para calcular la densidad básica de la madera.

- Análisis de la Causas

Se analizó por categorías las causas identificadas en la etapa “Medir”, con relación a los tiempos de demora para calcular la densidad básica de la madera. Según el Diagrama de Pareto, generado en la sección “Medir”, se pudo clasificar según la importancia de las categorías, en donde el método utilizado, fue la categoría más influyente en el problema. Se decide centrar las decisiones de mejora, en esta categoría, debido a que la mayoría de las causas del problema ocurren en el método.

Se decidió utilizar la espectrometría NIR, como herramienta de mejora del proceso, ya que este instrumento ofrece versatilidad en su utilización, dado que con las mismas muestras se pueden generar modelos que no solo estime la densidad básica de la madera, sino que, además, entregue información de otros parámetros químicos, como nivel de lignina, hemicelulosa, taninos, otros.

Mejorar

En esta nueva etapa se deben desarrollar y evaluar estas oportunidades de mejora, llevando a cabo nuevas técnicas o formas más efectivas de optimización. Debido a que la opción de mejora consiste en la utilización del equipo de espectroscopía NIR, se dispuso programar y ajustar el equipo para ser utilizado en la estimación de la densidad básica de árboles en pie.

- Aplicación de la Tecnología NIR para Estimación de la Densidad Básica

De cada árbol seleccionado, se obtuvo muestras de tarugos con un taladro de incremento manual, utilizando un punto ubicado a 3 cm sobre la extracción de cada rodela en las diferentes alturas, a 0,1 m, 1,3 m y a 3,2 m de distancia hasta que el fuste tenga 5 cm de diámetro. Los tarugos fueron tomados desde la corteza hasta la medula del árbol, con una profundidad de entre 5 y 15 cm dependiendo del diámetro del árbol a lo largo de su altura. Se obtuvo un tarugo por cada rodela, colectando un total de 272 tarugos, los que fueron rotulados y trasladados a los laboratorios del Instituto Forestal para sus análisis posteriores.

Las muestras fueron sometidas a un proceso de secado, molido, tamizado y rotulados para sus análisis posteriores (Figura 5). Se realizó un secado de tarugos utilizando un horno Memmert ® a 103± 2 °C hasta

obtener el peso constante. Los tarugos fueron molidos por un molino Wiley TE-680, obteniendo un polvo fino, el cual fue tamizado para homogenizar la granulometría de las partículas de polvo, utilizando un tamiz Prüfsieb ASTM-Nro.35 de granulometría 500 μm ¹³. Posteriormente, este material se depositó en viales de vidrio para espectroscopia de aproximadamente 28 cm^3 para almacenar y coleccionar los espectros NIR del polvo de astilla, las cuales nuevamente fueron sometidos a un proceso de secado, a 103 ± 2 °C, con la finalidad de extraer la humedad restante.



Figura 5. Obtención de Polvo de Astilla

De cada muestra, se coleccionaron espectros NIR, utilizando un equipo de medición de espectroscopia; NIR portátil *Thermo Scientific*: Modelo microPHAZIR GP®, el cual posee un rango espectral de 1.597 a 2.397 μm ¹⁴ (6250 - 4166.67/cm), con una resolución de 8nm, registrando la absorbancia. Cada colecta de espectros NIR, se hizo utilizando 5 mediciones por muestra, por triplicado (15 espectros por muestra), lo cual implicó tiempos de uso del escáner de 15 a 45 segundos por cada muestra.

Se utilizaron las muestras de tarugo molido y tamizado, utilizando los viales de vidrios y un adaptador del equipo para esta forma de toma de datos, considerando que se coleccionaron tarugos a varias alturas del árbol, se logró coleccionar 4.080 espectros.

La información obtenida de estas muestras se registró y almacenó en la biblioteca del equipo. Este valor permitirá, una vez obtenida la densidad básica del árbol, calculada por el método tradicional de cada muestra seleccionada, generar el primer par de datos, NIR-Densidad Básica.

El espectro obtenido en cada muestra fue promediado para proporcionar tres espectros por muestra, el que fue utilizado para predecir la densidad de la muestra (Kelley *et al.* 2004a).

Una vez obtenidos los datos, se genera una base de datos en el NIR, con una comparación entre los espectros obtenidos de la maquina con la densidad obtenida por el método tradicional. Al hacer esto, el NIR genera una regresión multivariada de mínimos cuadrados parciales, la cual predice, la densidad básica de la madera.

¹³ Unidad de medida utilizada en la granulometría.

¹⁴ Nanómetros o 10^{-9} metros

De los espectros colectados, se generaron dos bases espectrales, una utilizada para la calibración de los modelos y otra para la elaboración del set de validación.

Se consideró un criterio para considerar que un espectro tenía bien asociada su densidad básica, el cual se basó principalmente en la naturaleza de las densidades obtenidas por el método tradicional.

En un árbol, la densidad básica de la madera varía según su altura, y mientras mayor sea esta menor es la densidad. Por lo tanto, para un mismo árbol si las rodelas obtenidas de alturas más altas presentan densidades más altas, los espectros asociados fueron eliminados. En caso de densidades intermitentes a lo largo de un mismo árbol, se eliminan los espectros asociados a todo el árbol.

Esta decisión fue tomada con el objetivo de cumplir con la lógica de la literatura. Cabe destacar que este criterio no es absoluto, es decir, se puede dar en la naturaleza de *Acacia mearnsii* casos contrarios.

Para generar estas bases de datos, de la totalidad de las muestras seleccionadas, el 75% de las muestras fue destinado a la calibración (aproximadamente 170 muestras) y el 25% restante se destinó a la validación (47 muestras).

Con la base de calibración se genera un modelo de predicción mediante el software *Thermo Scientific: Method Generator*® Version 4.0 R2. Este modelo es utilizado por el equipo NIR para estimar la densidad básica de la madera.

La base de predicción sirve para evaluar si el modelo realizado con la base de calibración es efectivamente bueno, para lo cual se utilizan estándares de predicción como el R^2 , RMSECV¹⁵ y RMSEP para la validación de la regresión generada por el programa.

Para generar el modelo fue necesario utilizar un modelo de regresión multivariante de mínimos cuadrados parciales. Se utilizó la base de espectros de calibración en el software, cien variables de decisiones, las cuales indican la cantidad de energía absorbida por la muestra en los diferentes niveles de longitud de onda emitida por la luz del equipo.

- Modelo de Calibración

Respecto del modelo de calibración, el mejor modelo resultó ser con un suavizado de Golay de primera derivada y 13 puntos de suavización. Además, se restringieron los rangos de las curvas, en donde el rango a evaluar fue desde los 1.650-1.800 nm y 2.000-2.300 nm. Esto se hizo con el objetivo de mantener al margen la absorción del grupo funcional O-H (hidroxilo), debido a que tiene gran relación con la humedad existente en la muestra.

La búsqueda de puntos atípicos (*outlier*) se realizó utilizando la función por defecto del programa, la cual consiste en un coeficiente de correlación que se calcula mediante la distancia euclidiana. Esto identificó espectros mal tomados, los cuales fueron eliminados. Una vez identificado y removido los *outliers*, se aplicó el proceso del modelo PLS¹⁶. Para esto, se calculó 20 componentes PLS¹⁷ con el método de validación cruzada *Full*. Este método lo que hace es retirar un espectro y generar una estimación de su densidad con los espectros restantes, esto lo hace con cada uno de sus espectros generando un modelo predictivo. Una vez se generó el modelo de prueba, se observaron puntos que presentaban puntos *outlier* y fueron removidos del software. Finalmente, la base de calibración, luego de remover los espectros necesarios, quedó en 160 muestras, con un total de 480 espectros.

Analizando los distintos gráficos que muestra el software, se decide utilizar 6 componentes PLS, para la elaboración del modelo. Al correr el programa, se observa un R^2 de 0,813, lo que indica que la representatividad del modelo es de un 81,3%, o bien que el modelo explica en un 81,3% los valores obtenidos. Por lo otro lado el RMSECV es de 17,54, esto indica que el promedio de los valores absolutos de los errores en la validación cruzada son de 17,54 kg/m³, donde se pudo apreciar en el software que

¹⁵ Error cuadrático medio de la validación cruzada, que permite evaluar los resultados de un análisis estadístico y garantizar que son independientes de la partición entre datos

¹⁶ Modelo *Partial Least Squares* 1, significa que el modelo trabaja con un solo vector de variables, si la situación requiere de dos o más vectores de variables, el modelo se llamaría modelo PLS2.

¹⁷ Un componente PLS, es aquel que permite mejorar el modelo, minimizando la multicolinealidad entre variables predictoras, teniendo, además, la precaución de no sobrestimar el modelo.

los errores fluctuaron entre 0 y 32 kg/m³. Este error es bajo en comparación con estudios mostrados en los antecedentes, donde sus RMSECV en densidad fluctúan entre 20 y 30 kg/m³.

- **Modelo de Validación**

Mediante la utilización de la base de validación se analizó si el modelo generado es efectivamente eficiente. Para esto se cargó esta base en el *software* y se le implemento el modelo generado. El RMSEP es de 18,85; con un nivel de predicción de 0,8196, lo cual es cercano al de calibración por lo que se descarta un sobreajuste o subajuste del modelo.

- **Modelo de Estimación de la Densidad Básica de la Madera de *Acacia mearnsii***

La siguiente ecuación muestra la regresión resultante con los valores obtenidos de *Thermo Scientific*.

$$\hat{Y} = 95.601611 + 0.8655212X$$

Siendo \hat{Y} , el vector de densidades básicas estimadas y X la matriz de absorción de energía de la muestra, por cada longitud de onda de la luz emitida por el equipo. A continuación, en la Figura N°5, se presentan los resultados de los modelos de calibración y validación.

Luego de calibrar el equipo NIR, el instrumento quedó preparado para medir densidades básicas de la madera, siendo necesario extraer tarugos de la misma especie, molerla para generar viruta, tamizar las muestras, secar las muestras y medir con el equipo. Al estimar las densidades a través de espectros y compararla con los valores calculados con el método tradicional, se genera el Cuadro 7, que presenta un resumen que compara los principales resultados de ambos métodos.

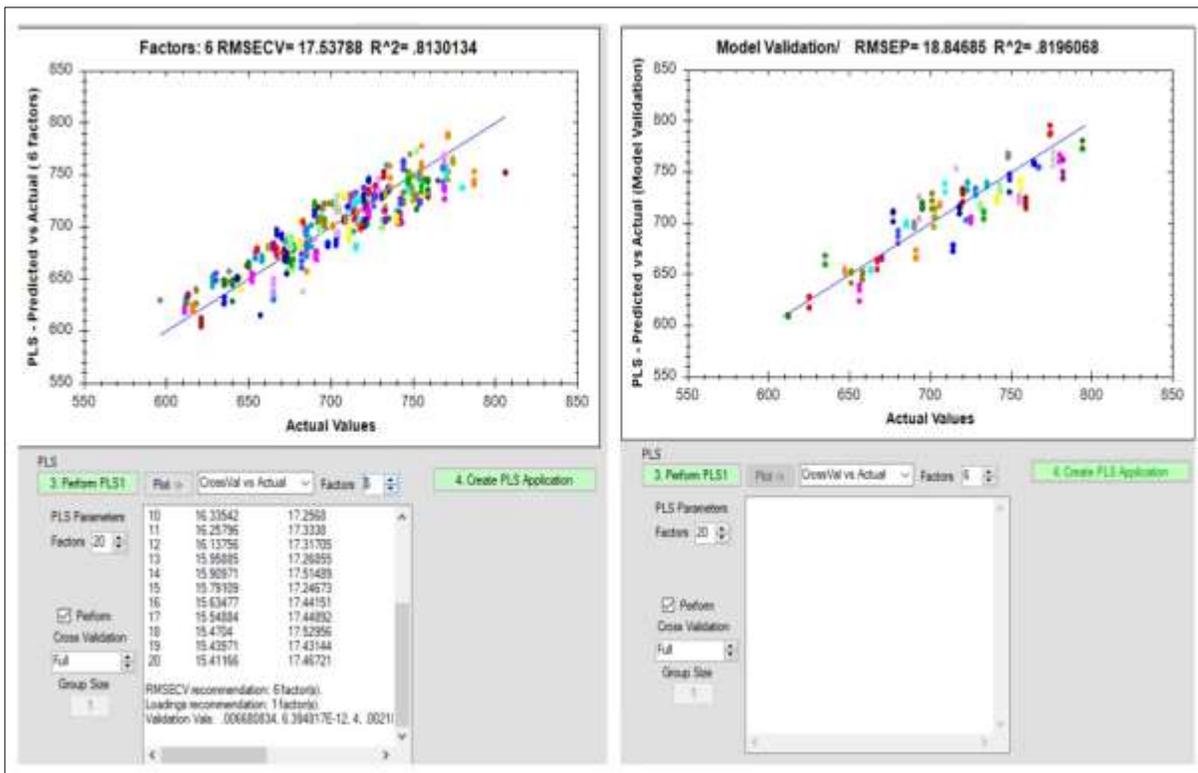


Figura 6. Modelo de Calibración y Validación en el Software *Thermo Scientific*

Cuadro 7. Comparación Método TAPPI vs NIR

Método	Valor Medio	Desviación Estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
	(kg/m ³)			
Tappi	712,94	37,08	612,15	806,27
NIR	712,53	33,59	608,96	795,85

La media de la densidad básica calculada por NIR es de 712,53 kg/m³ con una desviación estándar de 33,59 kg/m³, valores similares a los obtenidos por el método tradicional. El mínimo registrado fue de 608,95 kg/m³ y el máximo fue de 795,85 kg/m³.

A partir de estos resultados, se puede concluir que la espectroscopía NIR, es una herramienta capaz de poder estimar la densidad básica de la madera, para árboles de la especie *Acacia mearnsii*, obteniendo resultados similares entre ambas metodologías.

- Mejora de los Costos

Al realizar una estimación y clasificación de gastos es posible señalar una disminución en los costos involucrados, donde se observó que el método NIR, necesitó de menos equipos y recursos humanos que el proceso aplicando la metodología Tappi, derivado fundamentalmente de la reducción de actividades en terreno para obtener las rodelas, lo que implica para la Institución menores gastos en recursos humanos y materiales.

Controlar

Para asegurar que el nuevo proceso mantenga buenos resultados a lo largo del tiempo, se decidió generar un plan de control, el cual debe ser informado a todo el personal involucrado, con la finalidad de generar un protocolo en el control de calidad del nuevo proceso. El plan de control se menciona a continuación.

- Se establece un encargado de evaluar el funcionamiento del proceso de cálculo de densidad básica de la madera mediante espectroscopia NIR
- Este funcionario, cada vez que se quiera saber la densidad básica de la madera de un ensayo, debe medir los tiempos de 30 muestras, agregarlos a las muestras antiguas y revisar el desempeño.
- En caso de que existan puntos atípicos, revisar las causas y realizar un análisis correspondiente
- Cada vez que se requiera realizar este proceso, se debe hacer una capacitación a todo el personal que participe del proyecto.
- Emitir un informe cada vez que se realice el proceso, para llevar un registro histórico de los índices evaluados en las actividades, generando al mismo tiempo una comparación entre una toma de muestra y otra.
- Ingreso de toda la información a bases de datos

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La metodología Seis Sigma fue una herramienta adecuada para la identificación y solución de problemas, debido a que analiza todo el proceso identificando las causas de los problemas y con ello, buscar diferentes alternativas de solución. Además, al utilizar las diferentes herramientas de calidad, se pudo evidenciar distintos indicadores del proceso antiguo y nuevo, permitiendo realizar una comparación entre ambos, y concluir que proceso fue más eficiente.

Se logró cumplir con el objetivo de proponer un proceso no destructivo, a través de la metodología NIR para la estimación de la densidad básica de la madera, en donde se utilizó un modelo de regresión multivariante de mínimos cuadrados parciales, para la calibración de instrumento. El modelo final tiene un nivel predictivo de calibración de 81,3%, con un RMSECV de 17,54 kg/m³, además el modelo de validación generó un R² de 81,96 % y un RMSEP de 18,85 kg/m³.

El estudio de densidad básica de la madera, para *Acacia mearnsii* de 13 años de edad, dio como resultado en promedio de 712,94 kg/m³ con una desviación estándar de 37,08 kg/m³, para el método tradicional, y de 712,53 kg/m³ de promedio y de 33,59 kg/m³ de desviación estándar en el método NIR.

Mediante la metodología Seis Sigma, modelo DMAMC, se pudo identificar las causas del problema, las cuales fueron clasificadas en 4 categorías, donde la de mayor importancia fue la del “Método”, con un 45,7%, seguido del “Clima” con un 24,6%, “Máquinas” con un 21,7% y “Personal” con un 8%.

En cuanto a la preparación de las muestras, la diferencia de tiempos entre el método tradicional y el método NIR es de mínimo 20 días, siendo el método tradicional el más largo. Por otra parte, los tiempos de cálculo de densidad de la madera de ambos métodos fueron similares, presentando tiempos promedios de 277 segundos por muestra en el método tradicional y 273 segundos por muestra en el método NIR. El método NIR posee una variabilidad menor, en donde el método tradicional presenta una desviación estándar estimada de 87,98 segundos, mientras que el método NIR presenta una desviación estándar estimada de 21,65 segundos.

En cuanto a los indicadores de calidad, se pudo ver que en el método tradicional el nivel sigma fue de 0,18, C_p de 0,26 y C_{pk} de 0,23, generando aproximadamente 440.000 defectos en un millón (DPMO). Los indicadores de calidad del método NIR señalaron un nivel sigma de 3, con un C_p de 1,08 y C_{pk} de 1. Los DPMO calculados fueron de 1.700. El método tradicional generó mayor costo respecto del método utilizando el NIR, derivado fundamentalmente del menor tiempo requerido en el proceso de este último, que significa menores costos en recursos humanos, operación y otros. En el Cuadro 8 se presenta un resumen de los resultados.

Cuadro 8. Resumen de Resultados

Indicador	Unidad	Metodología Actual	Metodología Propuesta	Variación en porcentaje
Promedio densidad de la madera	(kg/m ³)	712,94	712,53	-0,06%
Desviación estándar densidad	(kg/m ³)	37,08	33,59	-9,41%
Tiempos preparación de la muestra	(Días)	20	1	-95,00%
Tiempos promedio de cálculo de densidad	(Segundos)	277	273	-1,44%
Desviación estándar de los tiempos de cálculo de densidad	(kg/m ³)	87,98	21,65	-75,39%
Nivel sigma		0,18	2,99	1561,11%
C _p		0,26 (No capaz)	1,08 (Capaz)	315,38%
C _{pk}		0,23 (No capaz)	1 (Capaz)	334,78%
DPMO		440.059	1.732	-99,61%

Al observar los valores predictivos obtenidos en la calibración y validación del modelo PLS, se puede decir que el modelo generado refleja una adecuada calibración del equipo, debido a que los R² son mayores al 80%, lo que permite establecer que el equipo estima la densidad básica de la madera de

Acacia mearnsii con más de un 80% de exactitud. Además, los errores asociados al modelo, en comparación con otros estudios, son menores, por lo que se consideró que es posible utilizar el equipo NIR para futuros cálculos de densidad básica en la especie.

En cuanto a los valores de densidad básica obtenida, sus valores son cercanos entre ambos métodos. La diferencia de estos promedios fue de 0,41 kg/m³, que representa un 0,06% del promedio bajo la norma Tappi. Esta variación rectifica que el nivel de cálculo de la metodología NIR es adecuada para una estimación de este parámetro.

Observando los tiempos de la preparación de la muestra, el tiempo empleado para el proceso bajo la norma Tappi, es prolongado, no así al emplear la metodología del equipo NIR, que en este caso permitió ahorrar casi un mes en tiempo para poder obtener la variable deseada.

Además, los tiempos promedios empleados para el cálculo de densidad básica de la madera, fueron muy similares, pero la variabilidad mostrada en la metodología NIR fue menor. Esto fue debido a que las muestras fueron homogenizadas, generando muestras de tamaños similares. Con esto, se identificó que el proceso para calcular densidad básica de la madera en *Acacia mearnsii*, mediante el método tradicional según la norma Tappi T258 om-94, genera tiempos prolongados y variables, en donde como solución se decidió utilizar la espectroscopía NIR, que reduce los tiempos de estimación y además son más homogéneos.

Al realizar un análisis en los indicadores de calidad estudiados, los valores del C_p y C_{pk} obtenidos de la metodología Tappi, son menores a 0,3, valores debajo de lo esperado para un proceso que funcione correctamente, donde se espera, que estos índices sean mayores a 1. La consecuencia de este índice bajo es que la estimación de densidad básica requerirá de tiempos de trabajos muy variados y generalmente más altos.

Los índices de calidad C_p y C_{pk} de la metodología NIR, son mayores o iguales a 1, lo cual significa que el proceso es capaz de generar tiempos en los límites de especificación, pero mejorables, además, es necesario realizar un constante monitoreo, debido a que ante cualquier desplazamiento de la media o aumento en la desviación estándar, podría adulterar los niveles C_p y C_{pk} , generando una disminución de estos, lo que significa que el proceso podría pasar de ser capaz a dejar de serlo.

En cuanto a los costos, se pudo observar que el método tradicional, necesitó de más equipos y recurso humano que el proceso NIR, que, sumado al tiempo, generó notables diferencias en cuanto al costo involucrado.

CONCLUSIONES

- Existe una alta demanda de biomasa forestal para diferentes usos en el país, por lo que es importante tener información física y química de la materia prima, en donde la densidad básica de la madera es una de las variables físicas más importante, debido a que con este valor se puede estimar el material seco disponible.
- La aplicación de la metodología Seis Sigma para el análisis del proceso de estimación de la densidad básica de la madera, permitió la identificación y solución de problemas, a través de la observación de todo el proceso, identificando las causas de los problemas y buscando diferentes alternativas de solución.
- Se pudo apreciar los beneficios de la metodología DMAMC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), ya que exige definir de manera clara los objetivos del proyecto, caracterizando y delegando las actividades necesarias para cumplir con las metas, y así poder planificar de mejor manera el proceso.
- La metodología señala que, para un adecuado proceso, se requiere describir cada actividad, cuáles son los equipos y recursos necesarios para ejecutarlas, identificando las posibles causas que generan los problemas, analizando y cuantificando, mediante el trabajo en equipo.

- La metodología vela para que en el futuro el proceso continúe con un buen rendimiento, ya que es necesario realizar un protocolo de control, el cual sirve para identificar nuevos problemas, permitiendo realizar nuevas mejoras a este.
- El uso de la espectroscopía NIR, fue un proceso eficiente para obtener la densidad básica de la madera, por lo que se puede concluir que este equipo es apto para poder estimar este valor en árboles de la especie *Acacia mearnsii*, siendo además un instrumento versátil para la obtención de información, sobre todo para datos químicos, ya que con los mismo espectros recolectados, el instrumento se puede calibrar para brindar información sobre otros parámetros como nivel de taninos, celulosa, lignina, entre otros componentes que poseen los árboles.
- Al utilizar las diferentes herramientas de calidad, se pudo evidenciar distintos indicadores del proceso antiguo (norma Tappi) y nuevo (NIR), permitiendo realizar una comparación entre ambos.
- Se pudo observar que, en términos de tiempo, apoyado con la metodología Seis Sigma, la utilización de la espectroscopía NIR fue mucho más rápida y además menos variable, siendo además un método no destructivo, debido que no hay necesidad de talar árboles para realizar las estimaciones.
- Se recomienda continuar nutriendo la base de datos del equipo NIR, con espectros provenientes de diferentes especies de *Acacia*, que sean de diferentes edades y zonas, con la finalidad de obtener mayor variabilidad de espectros, mejorando el modelo propuesto, para así obtener estimaciones más certeras.
- El costo del equipo NIR puede ser un obstáculo para no realizar un mayor uso de esta tecnología, a lo que se agrega el no estar normado en Chile su uso como un equipo apto de estimar parámetros físicos y químicos en biomasa.
- Es importante notar, que la metodología Seis Sigma puede ser empleada para el análisis y mejora de distintos procesos o productos relacionados con la actividad forestal, que, debido a la escasa bibliografía existente, puede ser un área interesante a considerar para nuevos estudios o investigaciones.

REFERENCIAS

- Bahamondez, C., Ferrando, M., Martin, M. & Pinilla, J.C. (1995). Determinación de funciones de volumen y razón de volumen para eucalipto. Instituto Forestal-Fondef. Documento proyecto Conicyt-Fondef 2/33. 16p.
- Bailléres, H., Davrieux, F. & Ham-Pichavant, F. (2002). Near infrared analysis as a tool for rapid screening of some major wood characteristics in a *Eucalyptus* breeding program. *Annals of Forest Science*, 59. Pp: 479-490. <https://doi.org/10.1051/forest:2002032>
- Carter, P., Briggs, D., Ross, R. & Wang, X. (2005). Acoustic testing to enhance western forest values and meet customer wood quality needs. En: Harrington, C., Schoenholtz, S. (Eds). *Productivity of Western forests: a forest products focus*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-642. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 176 p.
- Cooper, P., Jeremic, D., Radivojevic, S., Ung, Y. & Leblon, B. (2011). Potential of near-infrared spectroscopy to characterize wood products. *The Role of Sensors in the New Forest Products Industry and Bioeconomy*. *Canadian Journal of Forest Research*, 41(11): 2150-2157. <https://doi.org/10.1139/x11-088>
- Goldratt, E. & Cox, J. (1992). *The Goal: A Process for Ongoing Improvement*, Great Barrington: Vt.: North River Press.
- Kannegiesser, U. (1990). Apuntes sobre algunas acacias australianas: 1. *Acacia mearnsii* De Willd. *Ciencia & Investigación Forestal*, 4(2): 195-212. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.1990.141>
- Kelley, S., Rials, T., Snell, R., Groom, L. & Sluiter, A. (2004 a). Use of near infrared spectroscopy to measure the chemical and mechanical properties of solid wood. *Wood Science and Technology*, 38. Pp: 257-276. <https://doi.org/10.1007/s00226-003-0213-5>
- Kelley, S., Rials, T., Groom, L. & So, G. (2004 b). Use of near infrared spectroscopy to predict the mechanical properties of six softwoods. *Holzforschung*, 58(3): 252-260. <https://doi.org/10.1515/HF.2004.039>
- Labbé, Rodrigo, Droppelmann, Fernando, Balocchi, Claudio & Peredo, Miguel. (2013). Variación de la densidad de la madera y rendimiento pulpable en clones de *Eucalyptus globulus* evaluado con espectroscopía de infrarrojo cercano. *Bosque*, 34(3): 263-272. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002013000300002>

- Pinilla, J.C. (2000). Descripción y Antecedentes Básicos sobre *Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon* y *Acacia mearnsii*. Revisión bibliográfica. INFOR. Informe Técnico N°147. Concepción, Chile. 51 p.
- Schimleck, L., Jones, P., Peter, G., Daniels, R. & Clark, A. (2004). Nondestructive estimation of tracheid length from sections of radial wood strips by near infrared spectroscopy. *Holzforschung*, 58. Pp: 375-381. <https://doi.org/10.1515/HF.2004.057>
- Snee, R. (2001). Dealing with the Achilles' Heel of Six Sigma Initiatives, *Quality Progress*, Marzo 2001.
- So, C.L., Via, B.K., Groom, L.H., Schimleck, L.R., Shupe, T.F., Kelley, S.S. & Rials, T.G. (2004) Near Infrared Spectroscopy in the Forest Products Industry. *Forest Prod J.*, 54(3): 6-16.
- Tsuchikawa, S. & Kobori, H. (2015). A review of recent application of near infrared spectroscopy to Wood science and technology. *Journal of Wood Science*, 61. Pp: 213-220. <https://doi.org/10.1007/s10086-015-1467-x>
- Via, B. (2004). Modeling Longleaf Pine (*Pinus palustris* Mill.) wood properties using near infrared spectroscopy. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agriculture and Mechanical College. In: Partial Fulfillment of the Requirements for the degree of Doctor of Philosophy.



ARTÍCULO

Evaluación de Aprovechamiento y Propuesta de Clasificación de Madera de Desecho de Nogal Común (*Juglans regia*)

Loewe, Verónica^{1*}; Bozo, Alejandro² y Jaime, Nicolás³

¹ Investigadora, Instituto Forestal, Sede Metropolitana, Santiago. vloewe@infor.cl

² Departamento Ingeniería de la Madera. Universidad de Chile. abozo@uchile.cl

³ nicolasjaime.moreno@gmail.com

Autor para correspondencia vloewe@infor.cl

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.471>

Recibido: 10.04.21; Aceptado: 20.04.21

RESUMEN

El nogal común (*Juglans regia* L.) posee una madera tradicionalmente demandada por el mercado europeo, pero a nivel nacional no existe una cultura de uso de esta madera, por lo que las trozas obtenidas en los raleos se pierden como desecho. Para resolver este problema se desarrolló una investigación con el objetivo de evaluar el rendimiento en el aserrío de trozas de raleo de nogal y desarrollar una propuesta de clasificación para las piezas aserradas obtenidas. Se utilizaron 74 trozas, con edades entre 7 y 11 años. Se determinó el volumen de madera que ingresó al aserradero, utilizando la fórmula de cubicación de trozas de Smalian, luego se aserraron las trozas obteniendo piezas con caras lisas y cantos muertos, de las cuales se obtuvieron tablillas de escuadrías variables, a las que se les determinó el volumen, con lo que se pudo calcular el rendimiento del proceso. Además, para analizar los defectos en las trozas y su relación con el rendimiento, estas se dividieron en dos grupos, utilizando una norma brasileña de clasificación de trozas. Junto a lo anterior, se desarrolló una clasificación para estas tablillas utilizando como base la normativa chilena, basada en el criterio visual. Como resultado se obtuvo un rendimiento del 15,14 %, con tablillas de volúmenes entre 0,0011 y 0,0051 m³ por tablilla, clasificadas en tres grupos, concluyéndose que es posible obtener madera aserrada a partir de trozas de raleo de plantaciones jóvenes.

Palabras clave: Nogal, Valorización de madera, defectos, madera aserrada, raleo, rendimiento en aserrío.

SUMMARY

Walnut (*Juglans regia* L.) has a timber traditionally demanded by the European market, but at the national level, there is no culture of use of this timber, so logs obtained from thinning are lost as waste. To solve this problem, an investigation was carried out with the objective of evaluating the saw performance of thinned Walnut logs, and developing a classification proposal for the sawn pieces obtained. The volume of wood that entered the sawmill was determined using the Smalian log cubing formula, then the logs were sawn obtaining pieces with smooth faces and edges with bark, from which small boards were sized. Volume of these small pieces was calculated, and finally the yield of the process was determined; 74 logs were used, with ages between 7 and 11 years. Log defects and their relation to the yield were in addition analyzed; logs were classified into two groups using a Brazilian norm for log classification. It was also developed a classification system for Walnut small boards using Chilean regulations as a basis, based on visual criteria. As a result, a yield of 15.14 % was obtained, with volumes for small boards ranging between 0.0011 and 0.0051 m³ each, classified into three groups, concluding that it is possible to obtain sawn wood from logs from young plantations thinning's.

Key words: Walnut, wood recovery, defects, sawn timber, thinning, sawmill performance.

INTRODUCCIÓN

El nogal común (*Juglans regia* L.) es un árbol vigoroso, longevo, de tronco recto, cultivado en Europa, Asia y Norteamérica. Produce un fruto muy valioso (nueces) y presenta la ventaja de ser una especie conocida y estar arraigada en el país. Además, posee una madera muy apreciada para distintas aplicaciones, como carpintería, ebanistería, tornería, artesanía y otras. Esta variada utilización ha permitido el desarrollo de diversos mercados, destacando el italiano y el francés por los altos precios que ha llegado a obtener esta madera, la que incluso ha sido considerada en ciertos períodos como la más cotizada en Europa (Loewe y González, 2001).

En Chile no existe un mercado para la madera de nogal, principalmente por una falta de cultura de uso de esta madera y por el reducido poder adquisitivo de la población media, además de la nula producción

maderera, ya que aún no hay cosechas finales, mientras que la obtenida en los raleos se utiliza principalmente como combustible, aunque se han explorado otras alternativas para valorizarla (Álamos, 2003).

Para resolver este problema se ha propuesto generar una clasificación para la madera aserrada obtenida de raleos de plantaciones jóvenes, con el fin de determinar posibles usos para esta madera, lo que permitirá dar un uso alternativo y de mayor interés comercial que el de combustible.

MATERIALES Y MÉTODO

El estudio se realizó el año 2006 (Jaime, 2006), y utilizó 74 trozas con edades entre 7 y 11 años, obtenidas de raleos realizados en tres plantaciones de arboricultura que posee la Compañía Agrícola y Forestal El Álamo en predios de la comuna de Retiro, región de Maule, a las que se cuantificó los diámetros sin corteza y el largo, para determinar el volumen total de madera mediante la fórmula para volumen cúbico de Smalian (ecuación [1]), y mediante la sumatoria de todos los volúmenes se obtuvo el volumen total de madera que ingresó a la etapa de aserrío.

$$V = \frac{(A + a)}{2} * L \quad [1]$$

Donde:

V: Volumen de la troza (m³).

A: Área de la sección mayor (m²).

a: Área de la sección menor (m²).

L: Largo de la troza (m).

Junto a lo anterior, se constató la presencia de distintos defectos en las trozas, los que podían afectar la valorización y la utilización de las mismas. Entre los defectos observados se encuentran la excentricidad, rajadura, fisura estrellada, contrafuertes, heridas, grietas por frío, fibra helicoidal, pudrición, ahusamiento y madera de reacción, determinándose su presencia en las trozas.

Además se cuantificó la existencia de ovalización mediante la medición de diámetros en las caras de la troza; curvatura, que se cuantificó midiendo la distancia existente entre el eje recto que une las dos caras y el eje que presentaba la troza; ahusamiento, calculado como la diferencia entre los diámetros mayores y menores, dividiéndose luego por el largo de la pieza; y la regularidad de anillos, que se determinó mediante el cálculo de la diferencia entre la distancia mayor y la distancia menor de los anillos de crecimiento; si la diferencia era superior a 1 cm se consideraron irregulares.

Luego, basados en la Norma Brasileña para la Medición y Clasificación de Trozas (Góngora y Serrano, 2006), se clasificaron las trozas, según la ecuación [2], para facilitar el análisis de los efectos que generaban los distintos defectos en las trozas, respecto a la cantidad y calidad de la madera obtenida.

$$FC = \{[(A + ExM)/2] + [(C + Cu)^2/2]/2\}/10 \quad [2]$$

Donde:

FC: Factor de clasificación

A: Ovalización (cm)

ExM: Excentricidad de la Médula (cm)

C: Conicidad (cm/m)

Cu: Curvatura (cm)

La clasificación de las trozas se realizó a partir del factor de clasificación promedio obtenido, dividiéndolas en dos grupos, aquellas con un factor bajo el promedio, y aquellas con un factor mayor al promedio. Los primeros corresponderán a las trozas de mejor calidad, llamadas calidad A, mientras las segundas corresponden a trozas de calidad B.

El aserrío se realizó con sierras huincha de 2 pulgadas de ancho y 1,76 mm de espesor; para realizar los cortes tangenciales en la troza y obtener las tapas de madera. Las tapas obtenidas fueron dibujadas para determinar las tablillas según una técnica indicada por Servin y Lemaire (2004) utilizada por aserraderos de castaño en Francia, llamada técnica de despachos sobre listas, la cual consiste en delinear en sentido longitudinal para eliminar los cantos muertos o médula, obteniendo lados paralelos, y trozar para eliminar los defectos obteniendo piezas variables en función de las posibilidades del recurso; este proceso se realizó para obtener los mejores niveles de calidad posibles de cada tapa.

Una vez dibujadas, las tapas pasaron por una sierra circular de 5,18 mm de espesor, para realizar el trozado y dimensionado de las tablillas dibujadas.

Una vez aserradas, las piezas obtenidas fueron medidas para determinar el volumen luego del procesamiento; esta medición se realizó cuantificando los largos, anchos y espesores de las piezas aserradas, y luego multiplicando todas estas variables se obtuvieron los volúmenes (m³), de madera de cada pieza, y mediante su sumatoria se determinó el volumen total de madera obtenida.

Para desarrollar la clasificación se utilizó como base la normativa chilena, desarrollando una clasificación por aspecto, que corresponde a una clasificación efectuada considerando la apariencia de la madera como principal requisito de acuerdo al uso a que se destine. El procedimiento utilizado para el desarrollo de la clasificación, como lo señala la norma NCh 993 EOf 72, consideró los siguientes pasos:

- Determinar los defectos que interesa separar o delimitar en la clasificación.
- Fijar el número de grados que se desea establecer; en esta etapa se determinó el número de niveles a desarrollar, que en este caso fueron 3.
- Determinar, para cada grado y cada defecto, el valor admisible del defecto de modo que fuera conveniente al uso a que se destinaría la madera, es decir, se determinó el valor aceptable para cada defecto por nivel.
- Seleccionar los niveles o valores admisibles, para cada defecto, tomando en cuenta la especie, el defecto y el grado considerado, es decir, se determinó el rango en el cual el defecto se considera admisible en cada nivel.

Dentro de los defectos típicos que se presentan en las piezas semi-elaboradas de nogal y que fueron considerados en el estudio constatando su presencia, se encuentran: tensiones de crecimiento, ataque de hongos y veteado negro. Otros defectos, que fueron estimados como lo indica la norma NCh 992 EOf 72, son: nudos firmes o sueltos, nudos agrupados, arista faltante, torcedura, arqueadura, encorvadura y acanaladura. Los datos fueron tabulados en Excel y mediante la ecuación [3] se determinó el rendimiento obtenido por el aserradero.

$$R = \frac{VMA}{VT} * 100 \quad [3]$$

Donde:

R: Rendimiento (%)

VMA: Volumen de Madera Aserrada (m³)

VT: Volumen Total de madera (m³)

RESULTADOS

Características de las Trozas

En total, el volumen de madera es de 1,03293 m³, con un promedio de 0,01396 m³ por troza (Cuadro 1).

La distribución diamétrica de las trozas sin corteza (Figura 1) muestra que el 51,35 % de las trozas se encuentran bajo 10,9 cm de diámetro, dado que los espesores de corteza variaron entre 0,1 y 0,7 cm en el radio, generando una disminución en los diámetros entre 0,4 y 1,4 cm.

En cuanto al aserrío, se obtuvo un total de 342 tapas de nogal en su etapa primaria, con un promedio de 4,62 tapas por troza. Del total de tapas obtenidas en esta etapa, sólo se utilizaron 310, ya que, por algunos defectos como médula, pudriciones y otros se descartaron las restantes 32.

Cuadro 1. Resumen de las Características Dasométricas de las Trozas

	Diámetro Mayor (cm)	Diámetro Menor (cm)	Largo (m)	Volumen Troza (m ³)
Mínimo	7,50	5,30	0,79	0,02946
Máximo	20,10	13,60	2,53	0,00511
Promedio	12,12	9,16	1,72	0,01396
Desviación Estándar	2,84	1,61	0,38	0,00536

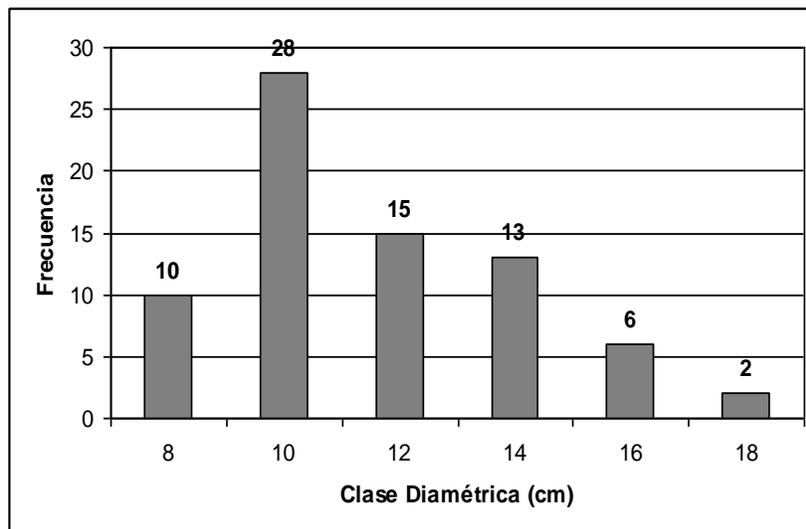


Figura 1. Gráfico de Distribución Diamétrica de Sección Mayor sin Corteza

Rendimiento y Defectos de las Trozas

Del total de madera ingresado al aserradero, solo 0,15643 m³ se obtuvo como madera aserrada en forma de tablillas; este volumen se dividió en 381 tablillas, que poseen un volumen promedio de 0,00041 m³ por tablilla (Cuadro 2), lo que determina un rendimiento del 15,14%.

Cuadro 2. Resumen de las Características de las Tablillas

	Largo (cm)	Espesor (cm)	Ancho (cm)	Volumen (m ³)
Mínimo	117,1	1,9	11,0	0,00112
Máximo	15,1	1,0	3,0	0,00011
Promedio	47,7	1,5	5,9	0,00041
Desviación Estándar	20,25	0,08	1,68	0,00018

La pérdida de madera por generación de aserrín correspondió a un 18,23% del volumen total, donde el aserrín generado por las sierras circulares en el dimensionado correspondió a un 3,1% del volumen total, mientras el porcentaje generado por las sierras huincha es un 15,1% del volumen total. La relación entre el diámetro mayor versus el volumen aprovechado (Figura 2) muestra una tendencia ascendente, mientras que la clasificación de las trozas obtuvo como factor de clasificación promedio un 0,374, lo que permitió dividir las en dos grupos, calidad A, que eran las trozas de mejor calidad, y calidad B. En la calidad A calificaron 37 trozas, mientras en la B también, también 37 trozas, pero los volúmenes y rendimientos fueron distintos (Figura 3).

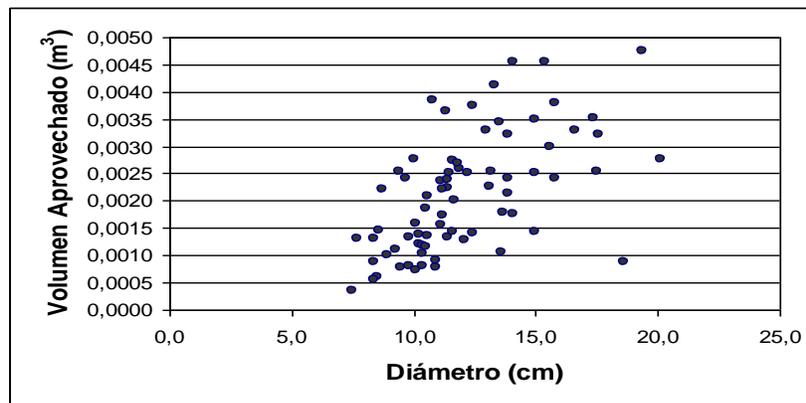


Figura 2. Gráfico de Diámetro vs el Volumen de Madera Aserrada Obtenida

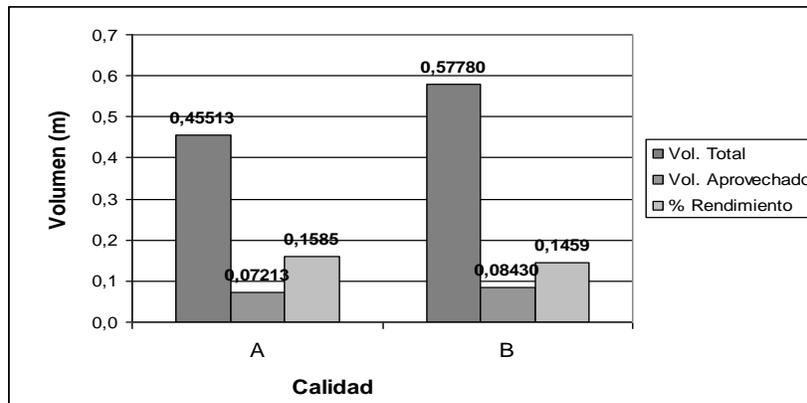


Figura 3. Gráfico de Aprovechamiento y Rendimiento de Trozas Según Calidad

Respecto a los valores de los defectos utilizados para la clasificación de las trozas (Cuadro 3), demuestran que no se presentó excentricidad en ninguna troza, mientras las mayores diferencias correspondieron a la curvatura, seguida por la excentricidad. Además de estos defectos, existen otros que se presentaron en las trozas de ambas calidades (Figuras 4 y 5).

Cuadro 3. Características de las Calidades A y B de Trozas

Defecto	Unidad	Calidad A	Calidad B
Ovalización	cm	>2,0	>2,7
Curvatura	cm	>5,1	>22,5
Ahusamiento	cm/m	>3,8	>5,3
Excentricidad	cm	0	0

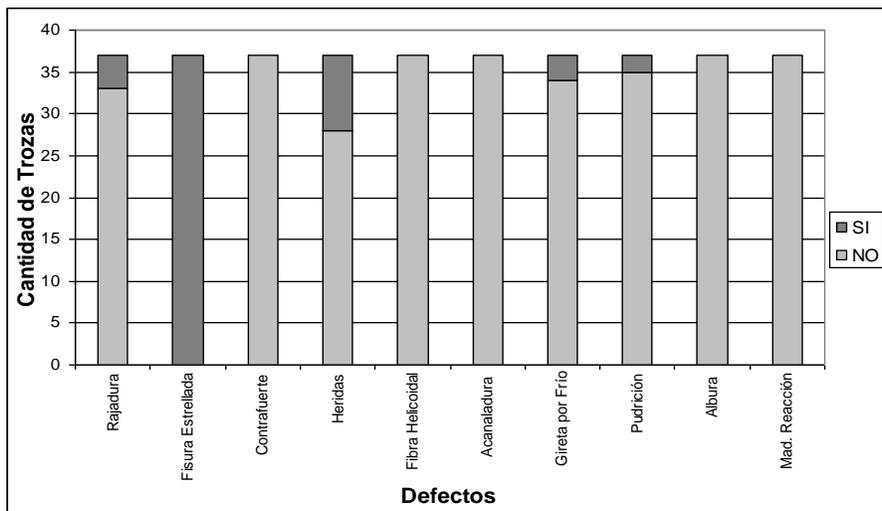


Figura 4. Presencia de Defectos en Trozas de Calidad A

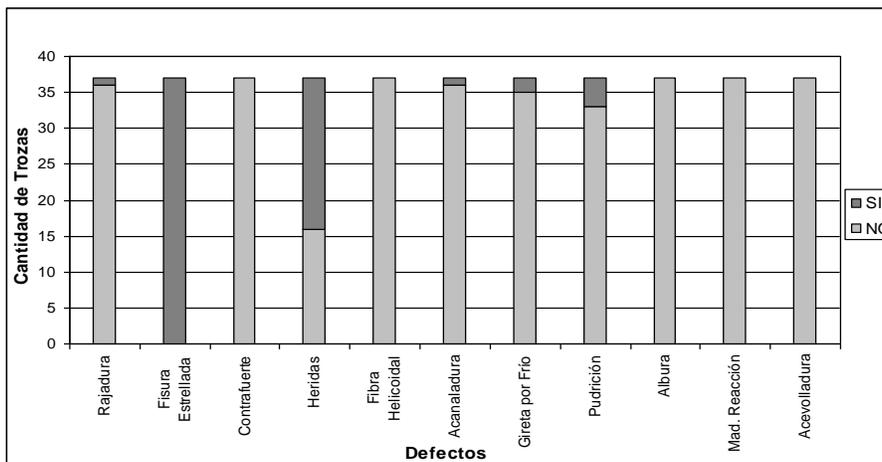


Figura 5. Presencia de Defectos en Trozas de Calidad B

Clasificación y Características de la Madera Aserrada

La clasificación (Cuadro 4) presenta los valores aceptados para cada defecto en cada grado.

El grado N1 tiene como posibles usos la aplicación en diversos productos, como elementos decorativos, fabricación de piezas de muebles, y finalmente para producir cajas de embalajes de alto valor estético.

El grado N2 tiene como objetivo usos similares al primer grupo, pero en dimensiones menores, mientras que el grado N3 está pensado para la producción de artesanías y elementos de pequeñas dimensiones, como lápices y otros.

El menor volumen total de tablillas por grupo lo presentó el grado N1, mientras el mayor volumen de madera obtenida correspondió al grado N2 (Cuadro 5).

Cuadro 4. Propuesta de Clasificación Visual para Tablillas

Defectos	Unidades	Grados		
		N1	N2	N3
Largo	cm	>30	>20	>10
Ancho	mm	>60	>50	>20
Espesor	mm	>12	>8	>4
Médula	Presencia	no	no	no
Ataque Hongos	Presencia	no	no	no
Pudrición	Presencia	no	no	no
Nudo c/ pudrición	% largo	0	0	0
Nudo Fijo Caras	% largo	<10%	<20%	<40%
Nudo Fijo Cantos	% largo	<5%	<15%	<25%
Nudos Suelos Caras	% largo	<5%	<15%	<30%
Nudos Suelos Cantos	% largo	<5%	<10%	<20%
Veteado Negro	Presencia	no	no	no
Rajadura	% largo	<5%	<15%	<25%
Arista Faltante Cara	mm	<7	<15	<30
Arista Faltante Canto	mm	<4	<6	<10
Torcedura	mm	0	<10	<50
Acanaladura	mm	0	<10	<30
Arqueadura	mm	0	<10	<40
Encorvadura	mm	0	<10	<30
Regularidad de Anillos	mm de diferencia	<5	<10	<25

Cuadro 5: Resumen de Volúmenes de Piezas Aserradas Clasificadas por Grado

	Grado N1	Grado N2	Grado N3
Vol. Mínimo	0,00025	0,00013	0,00011
Vol. Máximo	0,00106	0,00209	0,00112
Vol. Promedio	0,00051	0,00047	0,00034
Des. Estándar	0,00021	0,00022	0,00015
Vol. Total	0,01441	0,08478	0,05569

Con relación al tipo de defecto que afectó la clasificación de las piezas (Figuras 6 y 7), se aprecia que en el grado N2 el defecto más recurrente es la dimensión de la pieza con un 59,76%, seguido por los nudos con pudrición y en tercer lugar la irregularidad de los anillos, mientras que el defecto que presentó una menor presencia fue la encorvadura.

En el grado N3, el principal defecto que limitó la clasificación de las piezas fue el tamaño, con un 78,66% de las piezas, seguido por los nudos con pudrición y la rajadura.

Respecto a las características estéticas de las piezas aserradas, estas no presentaron un proceso de duraminización, además se observaron 4 tonalidades distintas de la madera (Figura 8); estos colores, agrupados según la clasificación de Jay-Allemand *et al.* (1998), corresponden a colores claros, siendo los colores 1 y 4 considerados grisáceos y correspondieron a un 30,71% del volumen aserrado, mientras los colores 2 y 3 son catalogados como blancos, y se presentaron en el 69,29% del volumen aserrado.

Dentro de la calidad N1, el color que dominó fue el blanco, con un 89,3% del volumen, mientras que en el grado N2 el color que se presentó mayoritariamente fue el grisáceo, con un 72,72 % del volumen.

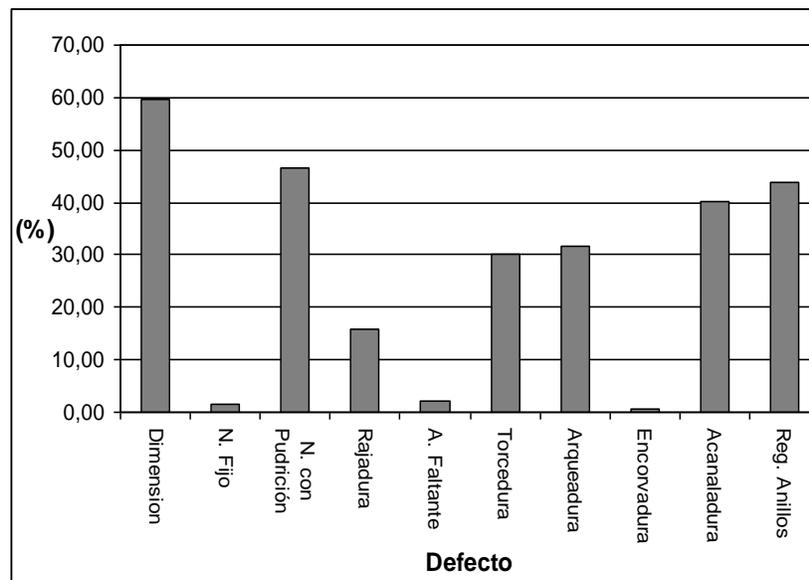


Figura 6. Defectos que Afectaron la Clasificación de las Piezas Aserradas N2

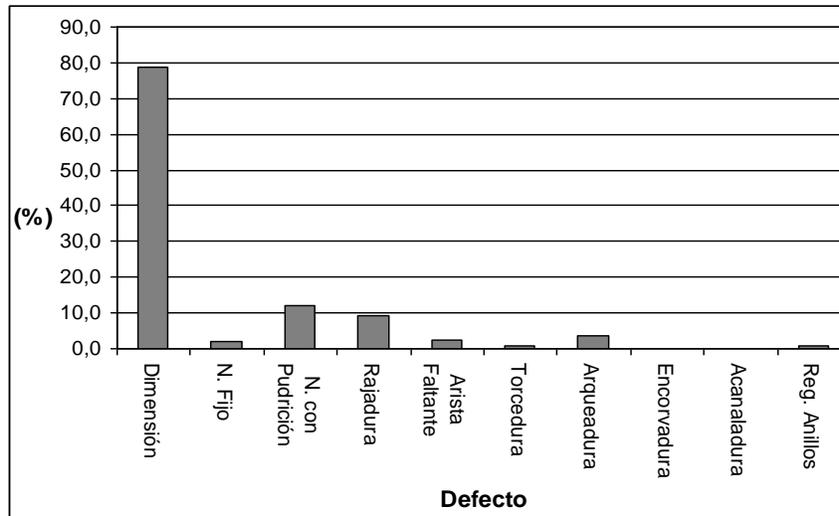


Figura 7. Presencia de Defectos que Afectan la Clasificación de Piezas Aserradas N3

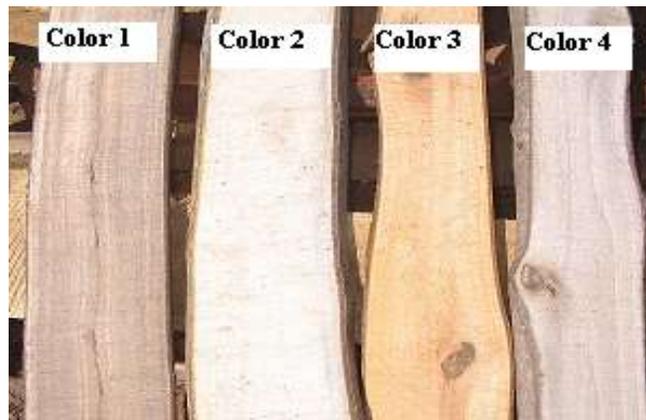


Figura 8. Clasificación de los Colores de la Madera de las Trozas

DISCUSIÓN

Características de las Trozas

Las trozas estudiadas presentaron diámetros muy reducidos dada su edad, lo que también se ha reportado en otros estudios como el de Zanuttini *et al.* (2006), donde las trozas de nogal de 7 años presentaban diámetros entre 8 y 10 cm, pero a diferencia de ese estudio, las trozas se aserraron pese a que los diámetros de las secciones superiores presentaban un mínimo inferior a los valores que comúnmente se utilizan en los aserraderos de diámetros reducidos (18 cm), lo que limita su potencial maderero, por lo que es necesario analizar otros usos para mejorar el aprovechamiento de estas trozas, u otros métodos de transformación, como el foliado en pequeñas dimensiones.

Rendimiento y Defectos de las Trozas

Respecto al rendimiento obtenido por el proceso (15,14 %) es un valor bajo según Fassola *et al.* (1999), quienes así lo indican para rendimientos bajo 34%; pero sería lo esperable, ya que Serrano (1996) citado por Góngora y Serrano (2006), indican que el rendimiento en productos aserrados de madera de diámetros pequeños, que oscilan entre 15 y 40 cm, es relativamente bajo (25 - 50 %). Además, otro factor que incide sobre el rendimiento es la técnica de dibujado de las tablillas, ya que el porcentaje de

desechos producidos es mayor con la técnica utilizada de despachos sobre listas, donde los rendimientos no superan el 50% de la madera cosechada (Sevrin y Lemaire, 2004).

Además, las dimensiones de las piezas aserradas obtenidas, al ser más pequeñas, requieren de una mayor cantidad de cortes en las tapas, aumentando las pérdidas por formación de aserrín. Es así como Góngora y Serrano (2006) obtuvieron rendimientos de hasta 19% en la obtención de tablillas, pese a lo cual el total de pérdida por generación de aserrín (18,23% del volumen total) se encuentra dentro de los rangos esperados para un proceso de aserrío, por lo que, si bien las dimensiones de las tablillas son un factor determinante en el rendimiento, este no es tan importante como la técnica de dibujado de tablillas.

Otro elemento que afecta el rendimiento es el tipo de sierra utilizado según los diámetros, en este caso las sierras utilizadas no corresponden a las indicadas para diámetros pequeños, además, las sierras huinchas en algunos casos se curvaban durante el aserrado, torciendo el corte (Figura 9) y generando escuadrías irregulares, esto porque el aserradero utilizaba principalmente *Pinus radiata*, cuya madera poseen una menor dureza. Aún así, y para aumentar en algún grado el rendimiento, es recomendable la realización de una evaluación de rendimiento con la utilización de un aserradero que trabaje con diámetros reducidos.



Figura 9. Curvado en el Corte de Tapas

Álvarez *et al.* (2005) indican que a medida que aumenta el diámetro de las trozas se incrementan los rendimientos (Figura 2), lo que se aprecia levemente ya que no se distingue una verdadera línea sino una dispersión de puntos con cierto ordenamiento ascendente. Además, se observa que al aumentar el volumen la variabilidad del volumen aprovechable aumenta, lo que indica que los defectos tienen gran incidencia en el rendimiento de las trozas, sobre todo si el defecto imposibilita la utilización de un área de la pieza como madera aserrada, como es el caso de la pudrición, heridas y grietas.

Lo anterior se aprecia en que las trozas con los factores de clasificación más bajos (calidad A) obtuvieron un mayor rendimiento (Figura 3), siendo este superior en 1,26 puntos porcentuales al obtenido por las trozas de peor calidad (calidad B), existiendo además un rendimiento mayor al total obtenido en 0,71 puntos porcentuales; para explicar esto se debe analizar las características de cada grupo (Cuadro 3), apreciándose que la mayor diferencia se presenta en la curvatura, seguida por el ahusamiento, mientras que la excentricidad de la médula es el único factor que no afectó la clasificación, ya que no se presentó en las trozas.

La diferencia en la curvatura es clave a la hora de encontrar una causa para la diferencia de rendimientos, ya que Álvarez *et al.* (2005) reconocen la existencia de una regla general que indica que un incremento de 0,1 en la proporción torcedura-diámetro conduce al decrecimiento del rendimiento volumétrico en un 5% en la troza; entonces, al existir curvaturas mayores es más fácil alcanzar y sobrepasar este valor, por lo que es deseable obtener trozas sin curvatura, siendo aceptable una curvatura de menos de 5 cm ya que permite obtener un rendimiento mayor al esperado por el proceso

(15,14%). Lo mismo ocurre para la ovalización y el ahusamiento, pero con valores de 2,1 cm y 3,8 cm/m, respectivamente.

Otros defectos en las trozas (Figuras 4 y 5) también tienen efecto en el rendimiento. Los defectos más frecuentes en las trozas de calidad A corresponden a rajaduras y a grietas por frío, y si se eliminaran las trozas que los presentan, el rendimiento aumenta a un 16%, mientras en las trozas de calidad B existe una mayor presencia de heridas y pudriciones, defectos que reducen el rendimiento de las trozas ya que no permiten utilizar la madera que los presenta. Además, heridas de podas afectan el desarrollo de la madera, generándose grandes labios de madera de herida, afectando la madera que se desarrolla después de la herida (Shigo, 1994), por lo tanto, se debe tener especial cuidado sobre los factores que generan estos defectos en las plantaciones, para así aumentar los rendimientos y mejorar la calidad de la madera.

Clasificación y Características de la Madera Aserrada

En relación a la clasificación de la madera aserrada, esta evidenció algunos aspectos críticos porque las normas comúnmente adoptadas no resultan adecuadas para valorar la real posibilidad de uso de la madera obtenida del raleo, emergiendo la necesidad de realizar sistemas más adecuados o disponer de especificaciones técnicas *ad hoc* para la clasificación de este tipo de producto (Zanuttini *et al.*, 2006), lo que es aún más notorio en el nogal común, donde la única clasificación existente, presentada por Berti *et al.* (2003) es apta únicamente para madera obtenida en rotaciones finales y no en raleos. Esto hace necesario el desarrollo de propuestas de clasificación para esta madera, que permitan facilitar y fomentar su comercialización tanto a nivel nacional como internacional.

Al analizar los volúmenes obtenidos por cada grado, se aprecia que el mayor porcentaje se presenta en el grado N2, con un 55,74 % del volumen, seguido por el grado N3, con un 35,95 %. Si bien se esperaba que la mayor proporción del volumen se presentara en el grado con menor exigencia, esto no se verificó debido a que en este tipo de madera la presencia de defectos o el color hace variar mucho el precio en el mercado, entonces al dibujar las tablillas sobre las tapas se priorizó la calidad por sobre la cantidad de madera obtenida, por lo que un 65,05 % de la madera aserrada obtenida pertenece a las mejores categorías, es decir, grados N1 y N2.

Respecto al tipo de defecto que afectó la clasificación de cada pieza según nivel (Figuras 6 y 7), se aprecia que en ambos niveles el principal defecto que limita la clasificación de las piezas es su dimensión, indicando que si bien existe la posibilidad de obtener piezas de mejores calidades, la limitante es el tamaño de las trozas, mientras el segundo defecto más recurrente correspondió a nudos con pudrición, lo que era esperable dado que en las plantaciones donde se obtuvieron las trozas, por ser experimentales, se realizaron distintas podas, algunas de las cuales facilitaron el ingreso de patógenos o problemas de cicatrización generados cuando fueron mal realizadas. Entre los defectos por aserrío, el más frecuente es la acanaladura, seguido por la arqueadura y finalmente la torcedura; la encorvadura casi no se presenta, por lo que el encastillado de la madera se debe realizar con el objetivo de evitar los primeros defectos mencionados.

Estéticamente las piezas aserradas obtenidas presentaron únicamente colores claros, entre el blanco y el grisáceo (Figura 8). No se observó duraminización en las trozas, lo que concuerda con lo indicado por Álamos (2003), quien encontró que la mayoría de las piezas obtenidas eran de colores claros y sin duraminización; Zanuttini *et al.* (2006) observaron en trozas de 7 años colores particularmente claros, pero con duraminización en algunos casos.

El tipo de colores obtenidos es altamente demandado en el mercado por su facilidad para teñir (Jay-Allemand *et al.*, 1998), lo que sería una ventaja de las piezas obtenidas de raleo; al respecto, Zanuttini *et al.* (2006) indican que comercialmente son más apreciadas las chapas y madera aserrada de color claro (nogal rubio) respecto a madera semielaborada de tonalidad más intensa y variada (nogal colorido), pero se debe considerar que no solo la edad condiciona el color de la madera, ya que, como indicado por Jay-Allemand *et al.* (1998) y Zanuttini *et al.* (2006), el color de la madera depende también de la sustancia constitutiva de la pared celular y de la sustancia que compone el lumen celular, los cuales varían con la especie, la actividad fisiológica de la planta, las características del sitio (climas secos y terrenos arcillosos determinan coloraciones más oscuras), y a los procesos de transformación por envejecimiento del tejido celular, principalmente por duraminización.

Considerando que Loewe-Muñoz *et al.* (2020) mostraron que en plantaciones mixtas de nogal común con cerezo común (*Prunus avium* L.) y olivo de Bohemia (*Elaeagnus angustifolia* L.) como especies acompañantes, se obtienen mayor altura (hasta 79%) y DAP (hasta 53%) que en plantaciones puras, así como daños fitosanitarios menos graves, se sugiere emplear este tipo de plantaciones para obtener trozas con mayor potencial de uso. La selección del sitio y de las especies acompañantes debe realizarse considerando tanto la calidad del sitio como la intensidad de manejo.

CONCLUSIONES

El estudio realizado evidenció que las piezas aserradas obtenidas poseen cierta utilización potencial, principalmente como decoración y embalaje, por lo que se recomienda realizar estudios de diseño de cajas y otros elementos para valorizar esta madera.

REFERENCIAS

- Álamos, V. (2003). Evaluación Económica del aprovechamiento de madera de desecho de nogal común (*Juglans regia* L.) como parquet. Tesis Ingeniero Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Agronomía e Ingeniería Forestal. Santiago. 64 p.
- Álvarez, D., Candano, F., Betancourt, Y., Rodríguez, J., Esteves, I., Díaz, A., Chavez, P. & Fosado, O. (2005). Aprovechamiento Forestal en el Occidente de Cuba y su Impacto sobre el Medio Ambiente. Universidad de Pinar del Río. En: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/aprovechamiento-forestal/aprovechamiento-forestal.pdf>. Consulta: 18 Julio, 2006.
- Berti, S., Brunetti, M. & Rescic L. (2003). Manuale sulla valutazione della qualità degli assortimenti legnosi ritraibili dalle specie legnose pregiate. Italia, C'è vita nel bosco.
- Fassola, H., Fahler, J., Ferrere, P. & Alegranza, D. (1999). Estudio de rendimiento en madera libre de nudos y variables que la determinan en *Pinus taeda*. Montecarlo, Francia. Consultado 18 Julio 2006. En: http://www.inta.gov.ar/montecarlo/info/documentos/forestales/25_Estudio_rendimiento_madera.pdf.
- Góngora, E. & Serrano, J. (2006). Pruebas de Rendimiento para Obtener Tablitas de Melina. (Kurú) Consultado 18 Julio 2006. Disponible en: <http://www.itcr.ac.cr/revistakuru/pdf/Articulo%201.pdf>.
- Jaime, N. (2006). Evaluación de aprovechamiento y propuesta de clasificación de madera de desecho de nogal común (*Juglans regia* L.). Tesis para optar al Título de Ingeniero Forestal, Universidad Santo Tomás.
- Jay-Allemand, C., Janin, G. & Charpentier, J.P. (1998). Characterization of Walnut woods for standardization. En: European Commission. Walnut: Productions of High Quality Timber in Europe. Up-to-date tools for tree adaptation, wood standards and management. W- Brains, Francia. Pp: 11-16.
- Loewe, V. & González, M. (2001). Nogal común: Una alternativa para producir madera de alto valor. Santiago, Chile, INFOR – FIA. 165 p.
- Loewe-Muñoz, V., Balzarini, M y González, M. (2020). Pure and mixed plantations of Persian Walnut (*Juglans regia* L.) for high quality timber production in Chile, South America, *Journal of Plant Ecology*, 13. Pp: 12–19. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtz042>.
- Sevrin, E. & Lemaire, J. (2004). Transformer le bois et vendre un produit fini. In Sevrin E, Lemaire J. Les guides du Sylviculteur: Le Châtaignier un arbre, un bois. 2a Ed. Francia. Instituto por le Développement Forestier. Pp: 317-326.
- Shigo, A. (1994). *Arboricultura Moderna Compendio*. New Hampshire, Estados Unidos, Shigo and Trees, 152 p.
- Zanuttini, R., Cremonini, C., Brunetti, M. & Berti, S. (2006). Caratterizzazione del tondame di noce e ciliegio. *Sherwood*, 120. Pp: 7-13.



APUNTE

Uso de la Regeneración Natural para la Generación de Plantaciones Productivas de Pino Radiata

Pinilla, J.C.^{1*}; Luengo, K.¹ y Navarrete, M.².

¹ Ing. Forestal. Instituto Forestal sede Bio Bio, Chile. jpinilla@infor.cl

² Técnico Forestal. Instituto Forestal, sede Bio Bio. Chile

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.472>

Recibido: 06.04.21; Aceptado: 25.04.21

RESUMEN

Se presentan antecedentes técnicos y económicos para la toma de decisiones, especialmente de los pequeños y medianos propietarios, respecto a métodos de manejo de la regeneración natural de *Pinus radiata*, para recuperar las plantaciones afectadas por los mega incendios forestales del año 2017 en la región del Biobío. Se analizan dos predios de la comuna de Florida, donde se manejó la regeneración de pino con desbrozadora, herbicidas y herramientas manuales, observándose que el control manual presentó los menores valores de crecimiento en diámetro de cuello, mientras que la utilización del control químico generó los mayores valores en diámetro de cuello y altura.

Palabras clave: *Pinus radiata*, incendios forestales, regeneración natural, manejo forestal.

SUMMARY

Technical and economic antecedents are presented for decision-making, especially for small and medium-sized owners, regarding management methods for the natural regeneration of *Pinus radiata*, to recover the plantations affected by the mega forest fires of 2017 in the Biobío region. Two farms in the Florida commune are analyzed, where the regeneration of pine was managed with brush cutters, herbicides and manual tools, observing that the manual control presented the lowest growth values in collar diameter, while the use of chemical control generated the higher values in collar diameter and height.

Keywords: *Pinus radiata*, forest fires, natural regeneration, forest management.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son la principal amenaza que afecta a los bosques en Chile. Las pérdidas económicas y ambientales que generan pueden ser importantes, más aún cuando el rodal está cerca a la edad de cosecha y ha sido manejado para madera *clear* del mercado de alto valor.

En la temporada 2016-2017 se produjeron grandes incendios que afectaron a más de 500 mil hectáreas y más de 200 mil hectáreas de plantaciones (Raga *et al.*, 2018), además de superficies menores de bosques y matorrales nativos, principalmente entre las Regiones de O'Higgins y Maule (Cuadro 1).

Las superficies quemadas correspondieron mayoritariamente a plantaciones de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don.) y en menor medida de eucaliptos (*Eucalyptus globulus* Labill.); se concentraron en las regiones del Maule y O'Higgins y afectaron severamente a pequeños y medianos propietarios (Cuadro 2).

La "continuidad y tipo de combustible" es un factor que afecta el comportamiento del incendio, de modo que un adecuado manejo forestal (bosque raleado y especialmente podado) puede reducir su propagación o velocidad de avance y el daño producido en los árboles.

La menor velocidad de avance permite contar con más tiempo para la llegada de las brigadas de combate, menores daños al rodal y menos efecto sobre la rentabilidad esperada de la plantación.

Cuadro 1. Superficie de Plantaciones Forestales Afectadas por Incendios Forestales por Región

Región	Superficie (ha)
Coquimbo	257
Valparaíso	549
Metropolitana	295
O'Higgins	34.427
Maule	128.156
Biobío	39.246
Araucanía	1.778
Total	204.708

(Fuente: Raga *et al.*, 2018)

Cuadro 2. Superficies de Plantaciones Quemadas por Región y Especie en Poder de Pequeños y Medianos Propietarios

Región	Medianos Propietarios				Pequeños Propietarios				Total	
	Pino	Eucalipto	Otras	Total	Pino	Eucalipto	Otras	Total		
	(ha)									
Coquimbo								257	257	257
Valparaíso		32		32	22	469			491	523
Metropolitana		260		260		35	25		60	320
O'Higgins	11.172	3.932	13	15.117	4.827	6.733	4	11.564		26.681
Maule	14.493	1.219	13	15.725	26.697	5.797	3	32.497		48.222
Biobío	845	1.521		2.366	5.174	8.601	35	13.810		16.176
Araucanía	111	11		122	301	296	24	621		743
Total	26.621	6.975	26	33.622	37.021	21.931	348	59.300		92.922

(Fuente: Raga *et al.*, 2018)

El manejo forestal también es una herramienta para enfrentar situaciones post incendio y facilitar el establecimiento de un nuevo bosque en un menor tiempo y costo. Contar con información para abordar escenarios post incendios y sobre todo conocer opciones para realizar la gestión forestal, son elementos claves para recuperar una superficie quemada.

La necesidad de recuperar las plantaciones que fueron afectadas por los grandes incendios forestales que afectaron al país en 2017 ha motivado la búsqueda de opciones para la rápida recuperación productiva de estos bosques. Entre ellas, el uso de la regeneración natural se visualiza como una alternativa interesante, pues en el caso de pino radiata, se produce profusamente tras el efecto del fuego sobre los conos que contienen las semillas. El calor provoca la apertura de los conos y dispersión de las semillas, incentivando también su germinación.

En efecto, tras los incendios pino radiata puede generar verdaderas “alfombras” de regeneración, con un alto número de plantas por hectárea, que brindan un escenario donde el manejo de la regeneración natural puede ser considerada como opción silvícola (Buesa, 2003; Castelán y Arteaga, 2009).

Esta situación permitiría el restablecimiento de cubierta arbórea sobre la superficie quemada, constituyendo una opción que puede ser implementada por pequeños y medianos propietarios, segmentos que normalmente no tienen los recursos para establecer plantaciones, y menos aún bajo la actual situación que los encuentra descapitalizados (Raga *et al.*, 2018).

La experiencia extranjera indica que es posible usar la regeneración natural de pino radiata que se produce tras un incendio forestal. En Nueva Zelanda, Australia y México, entre otros, se han usado diversos tratamientos o modelos de manejo con este fin. En general, la decisión de utilizar o no la regeneración se debe basar en consideraciones sobre recursos disponibles, edad y estado de la regeneración (calidad, forma, altura, densidad, espaciado final deseado y otras), y la topografía, entre otras. A medida que la regeneración tiene mayor edad, se dificulta el manejo de la misma.

Por lo anterior, en este trabajo se plantea un estudio para generar antecedentes técnicos y económicos para la toma de decisiones respecto al uso de la regeneración natural de pino radiata como herramienta

para la recuperación productiva de plantaciones quemadas, particularmente de pequeños y medianos propietarios forestales de las regiones de Ñuble y Bio Bio.

El estudio plantea caracterizar situaciones con presencia de regeneración de pino radiata producto de los incendios forestales del año 2017, establecer métodos a aplicar para su manejo, aplicar estos manejos y evaluar los resultados desde el punto de vista técnico y financiero. En este sentido, el objetivo es generar antecedentes técnicos que permitan la toma de decisiones para la utilización de la regeneración natural de pino radiata como herramienta de gestión para la restauración productiva de bosques.

MATERIAL Y MÉTODO

Se generó cobertura cartográfica de la intensidad del daño en las plantaciones afectadas por los grandes incendios del año 2017 en las regiones de Ñuble y Bio Bio. A partir de ella se identificó a las comunas con mayor daño y se obtuvo información de las superficies de plantaciones forestales (pino y eucalipto) afectadas por región y tipo de propietario (Cuadro 3). Una vez identificadas las comunas de interés, se seleccionó los sitios donde se realizaría el estudio, usando la información entregada por el Programa de Actualización de Plantaciones de INFOR.

Cuadro 3. Plantaciones de Pino Radiata Afectadas por Incendios 2017 según Región

Región	Tipo de Propietario				Total (ha)
	GE	EM	MP	PP	
O'Higgins	5.901	2.392	11.172	4.817	23.472
Maule	75.784	2.232	14.493	26.697	119.206
Bio Bio	12.861	782	845	5.174	19.663
Total	93.736	5.406	26.510	36.688	162.340
(%)	58	3	16	23	100

Región	Rango de Edad (años)					Total (ha)
	0-5	6-13	14-17	18-23	>23	
O'Higgins	2.687	7.414	4.350	6.304	2.717	23.472
Maule	19.709	41.621	19.835	24.861	13.180	119.206
Bio Bio	2.420	5.997	4.435	4.354	2.456	19.663
Total	24.816	55.032	28.619	35.519	18.354	162.340

(Fuente: INFOR, 2018)

GE: Gran empresa; EM: Empresa mediana; MP: Mediano propietario; PP: Pequeño propietario

Cuadro 4. Plantaciones de Eucalipto Afectadas por Incendios 2017 según Región

Región	Tipo de Propietario				Total (hHa)
	GE	EM	MP	PP	
O'Higgins	31	232	3.921	6.733	10.918
Maule	1.387	218	1.219	5.797	8.621
Biobío	8.029	664	1.521	8.531	18.746
Total	9.447	1.115	6.692	21.061	38.284
(%)	25	3	17	55	100

Región	Rango de Edad (años)			Total (ha)
	0-6	7-12	>12	
O'Higgins	2.244	4.976	3.697	10.918
Maule	1.886	3.474	3.261	8.621
Biobío	5.747	6.696	6.303	18.746
Total	9.876	15.146	13.262	38.284

(Fuente: INFOR, 2018)

GE: Gran empresa; EM: Empresa mediana; MP: Mediano propietario; PP: Pequeño propietario

Situaciones Evaluadas

En la primera etapa del estudio se seleccionó los predios Lo Carmen y Santa Elisa, en la comuna de Florida, sector Copiulemu (Figura 1 y 2, y Cuadro 5) los que cumplían con los siguientes requisitos necesarios para el estudio:

Presencia de plantaciones de pino radiata afectadas por el incendio del año 2017, con regeneración natural de la especie.

Pertenecer a pequeños o medianos propietarios.

Ubicados en sectores representativos de las situaciones y suelos de la comuna.

Propietarios dispuestos a la realización de las actividades programadas en el estudio.

Propietarios que manifestaran su intención de continuar con la actividad forestal.



Figura 1. Situación Rodales Afectados Por Incendios Forestales, Sector Copiulemu, Comuna de Florida, Región del Bío Bío

Cuadro 5. Predios Seleccionados para Realización Estudio

Predio	Coordenadas	Especie Afectada
Lo Carmen	18H 693623; 5912742	Pino y eucalipto
Santa Elisa	18H 694188;5915342	Pino

En el predio Lo Carmen se instaló parcelas de estudio en una superficie homogénea de pino cosechado, con abundante regeneración natural, que en algunas zonas se veía disminuida por la acumulación de desechos de la explotación (Figura 3).

En el predio Santa Elisa la regeneración de pino se presentaba en dos situaciones distintas:

(i) una con una alta presencia de retamilla, que influyó en la cantidad de plantas regeneradas.

(ii) otra con una proliferación masiva de regeneración, de menor crecimiento que la anterior, pero sin presencia de especies competidoras (Figura 4). En ambas situaciones se estableció parcelas de estudio.



Figura 2. Situación Febrero de 2017 Predio Lo Carmen (arriba) y Santa Elisa (abajo)



Figura 3. Vista Predio Lo Carmen



Figura 4. Vistas Predio Santa Elisa

Tratamientos de Manejo Evaluados e Instalación de Parcelas

Se evaluó tres métodos para el manejo de la regeneración de pino:

- Desbrozadora
- Control químico
- Control manual con rozón, machete y extracción de las plantas

En predio Lo Carmen se instaló una parcela de 1.000 m² (Parcela Lo Carmen) y en predio Santa Elisa dos, una en cada situación descrita y denominadas “Parcela Santa Isabel ladera” y “Parcela Santa Isabel cima” (Figuras 5 y 6). Los métodos aplicados a cada parcela se muestran en el Cuadro 6. Fotografías de la aplicación de los métodos evaluados se presentan en las Figuras 7 a 9. El aspecto final de las parcelas manejadas con cada uno de los métodos evaluados se presenta en las Figuras 10 a 12. Durante el manejo de la regeneración se realizó estudio de tiempo rendimiento de la faena.

Cuadro 6. Métodos de Manejo de Regeneración Natural de Pino Aplicados a las Parcelas Evaluadas

Sector	Tipo de Manejo
Parcela "Lo Carmen"	Desbrozadora
	Manual
	Químico
Parcela "Santa Isabel" Ladera	Químico
	Desbrozadora
Parcela "Santa Isabel" Cima	Desbrozadora



Figura 5. Instalación Parcela Predio Lo Carmen



Figura 6. Instalación Parcela Predio Santa Elisa



Figura 7. Preparación de los Sectores a Intervenir y Aplicación Método de Manejo Utilizando Desbrozadora



Figura 8. Aplicación Método de Manejo Manual



Figura 9. Aplicación Método de Manejo Mediante Control con Productos Químicos, se Observa Detalle de Protección de las Plantas Utilizado



Figura 10. Situación Final luego de Manejo Manual



Figura 11. Situación Final luego de Manejo con Desbrozadora



Figura 12. Situación Final luego de Manejo Químico

Previo a aplicar los métodos de manejo se estimó la cantidad de plantas de regeneración y la altura de las mismas. Para ello en cada parcela de 1.000 m² se instaló un mínimo de 3 parcelas cuadradas de 1 m² cada una y, en caso de existir una cantidad diferente de plantas por parcela superior a una desviación estándar, se agregaban 2 parcelas más (Figuras 13 y 14). Esta situación se verificó en la primera parcela instalada en el predio Santa Elisa (Pinilla *et al.*, 2019).



Figura 13. Instalación Parcelas para Estimación de la Regeneración y Conteo de Plantas de Pino



Figura 14. Diseño Parcela Experimental

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Situación Inicial y Rendimiento de Faenas de Manejo

De acuerdo con las mediciones realizadas durante el año 2018, previo a aplicar los tratamientos de manejo, la regeneración de pino radiata presentaba una densidad promedio de 310.000 plantas por hectárea, equivalente a un distanciamiento aproximado de 18 cm, y una altura media de 30,8 cm (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cantidad de Plantas de Regeneración Natural de Pino Radiata

Predio	Plantas por Parcela Regeneración (N°)					Promedio	Densidad (pl/ha)	Altura (cm)
	Parcela							
	1	2	3	4	5			
Lo Carmen	38	53	9			33	330.000	32,2
Santa Elisa I	13	38	10	13	12	17	170.000	33,5
Santa Elisa II	53	42	33			43	430.000	26,8
Promedio						31	310.000	30,8

Los resultados de la evaluación de tiempo y rendimiento se resumen en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Resultados Obtenidos de la Aplicación de los Manejos según Sector

Sector	Tipo de Manejo	Instalación de Línea	Selección de Planta	Tiempo de Manejo	Insumo para 500 m ²	Número de Personas
Parcela "Lo Carmen"	Desbrozadora	32 min 14 s	39 min 52 s	1 hora 54 min 30 s	1,5 estaque (+)	2
	Manual	18 min 33 s		1 hora 18 min 11 s	0	3
	Químico		55 min 36 s	45 min 44 s	3,5 estaque (++)	2
Parcela "Santa Isabel" - Ladera	Químico	29 min 45 s	1 hora 04 min 34 s	28 min 31 seg	4 estanques (++)	2
	Desbrozadora		1 hora 26 min 46 seg	2 hora 42 min 04 seg	3	2
Parcela "Santa Isabel" - Cima	Desbrozadora (-)	13 min 15 s	1 hora 26 min 30 s	2 hora 54 min 23 s	6 estanques (++)	2

(+) Mezcla de aceite con bencina

(++) Mezcla químicos con agua (proporción cada 15 litros de agua 300 cc de químicos) capacidad del estanque 15 L

(-) El manejo se hizo a los 1.000 m², a diferencia de las otras que cada manejo se realizó en 500 m²

La densidad inicial de la regeneración influye en el rendimiento de los métodos de manejo posibles de aplicar.

En el caso del uso de desbrozadora, el efecto de la densidad sobre el rendimiento de la faena, en jornadas por hectárea, se puede apreciar en los resultados del Cuadro 9.

Cuadro 9. Rendimiento de Faena de Manejo de Regeneración Natural con Desbrozadora en Situaciones con Diferentes Densidades de Plantas

Sector	Método	Densidad (pl/ha)	Jornadas/ha
Parcela "Lo Carmen"	Desbrozadora	172.000	11
Parcela "Santa Isabel" - Ladera	Desbrozadora	285.000	13
Parcela "Santa Isabel" - Cima	Desbrozadora (-)	426.667	21

(-) El manejo se hizo a los 1000 m², a diferencia de las otras que cada manejo se realizó en 500 m²

El tamaño de las plantas de la regeneración también influye sobre la eficiencia del manejo a aplicar. A mayor tamaño de plantas se dificulta la aplicación de todos los métodos evaluados. Por lo mismo, el manejo de la regeneración debe iniciarse tempranamente.

Evaluación de Unidades

El monitoreo realizado indica que las unidades presentan un adecuado desarrollo y un claro efecto de los métodos de manejo utilizados. Se destaca el efecto del control químico, el que registra los mejores crecimientos en la regeneración manejada y se observa una nueva regeneración de semillas con presencia de plantas de tamaño menor, lo que deberá ser también monitoreado.

- Evaluación Unidad Lo Carmen

Los valores medios de altura y diámetro de cuello de las plantas de regeneración sometidas a los distintos métodos de intervención evaluados se resumen en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Situación de Plantas de Regeneración Manejadas en Unidad Lo Carmen

Año	Tratamiento de Manejo					
	Manual		Desbrozadora		Químico	
	DC (mm)	Altura (cm)	DC (mm)	Altura (cm)	DC (mm)	Altura (cm)
2019	17,7	91,3	18,6	91,3	23,4	120,7
2020	24,5	128,1	21,6	124,3	34,6	201,0



Figura 15. Unidad Lo Carmen, Vista General de la Parcela de Evaluación y del Rodal Manejado

- Evaluación Unidad Santa Elisa

Los resultados de la evaluación de la unidad Santa Elisa se presentan en el cuadro 11.

Cuadro 11. Situación de Plantas de Regeneración de Pino Radiata Manejadas en Unidad Santa Elisa

Año	Tratamiento de manejo					
	Químico (ladera)		Desbrozadora (plano)		Desbrozadora (ladera)	
	DC (mm)	Altura (cm)	DC (mm)	Altura (cm)	DC (mm)	Altura (cm)
2019	18,0	102,4	18,3	93,5	12,4	80,2
2020	34,5	199,1	29,1	154,0	20,0	130,8



Figura 16. Unidad Santa Elisa, vista general del rodal manejado

Los resultados obtenidos derivan de las características propias de la especie, en cuanto a su estrategia de crecimiento, adaptación y propagación luego de un incendio forestal.

A partir de la información recopilada desde las unidades, es posible establecer que el control manual presentó los menores valores en crecimiento del diámetro de cuello en relación a los otros tipos de manejo utilizados.

La utilización del control químico utilizado genera los mayores valores en diámetro de cuello, al menos hasta dos años después de la intervención, que fue el periodo evaluado. Este mismo efecto se observa al considerar el crecimiento en altura.

La utilización de desbrozadora presenta variaciones en los resultados, ya que en una de las unidades su efecto fue similar e incluso inferior al obtenido con manejo manual.

Debe considerarse que los resultados son preliminares y de carácter referencial u orientativo, pues no responden a un diseño experimental que les otorgue validez estadística. Por lo mismo, se requiere de nuevas evaluaciones para detectar los reales efectos de este tipo de manejo y de su incidencia en la productividad del rodal.

Una vez definido cuál o cuáles serían los manejos más productivos, será necesario establecer nuevas unidades experimentales en donde se puedan comparar el crecimiento de rodales de pino radiata originados a través del manejo de la regeneración post cosecha o post incendios forestales, aunque la regeneración será más abundante en el segundo caso, y los resultados de una plantación tradicional establecida en el mismo tipo de sitio. En ese escenario se podrán evaluar parámetros de crecimiento y de productividad de los tipos de situaciones.

De obtenerse resultados que demuestren la validez de este tipo de manejo se podrían generar nuevos modelos a aplicar por pequeños y medianos propietarios forestales, con la consiguiente necesidad de programas de difusión, transferencia y, especialmente, de capacitación.

Ello implica también generar los antecedentes necesarios para favorecer su aplicación a través de acciones de fomento o incentivos específicos para este fin.

CONCLUSIONES

La densidad inicial y el tamaño de las plantas de la regeneración de pino radiata influyen sobre la eficiencia del manejo y consecuentemente en los resultados de los métodos aplicados.

No obstante, se debe considerar un breve período de crecimiento antes del manejo, que permita la expresión de las plantas regeneradas y con ello lograr una selección adecuada de ellas.

De acuerdo con los primeros años de evaluación, el control manual presentó los menores valores en crecimiento del diámetro de cuello, por el contrario, el control químico registra los mayores valores en dicho parámetro, así como también en altura.

Se requiere de evaluaciones permanentes, de mediano y largo plazo, que permitan determinar la evolución de los efectos del tipo de manejo a medida que crecen los árboles, y de su incidencia en la productividad del rodal al final de la rotación.

Hasta el momento, los resultados confirman la potencialidad del manejo de la regeneración natural post incendio de pino radiata como herramientas de gestión forestal, para mejora la repoblación de áreas quemadas.

REFERENCIAS

- Buesa V.A. (2003). Regeneración de pino radiata después de un incendio en el monte de UP Núm. 147 "Posadero". Montes. Revista de Ámbito Forestal 3(73): 46-48.
- Castelán Lorenzo, M. & Arteaga Martínez, B. (2009). Establecimiento de regeneración de *Pinus patula* Schl. et Cham., en cortas bajo el método de árboles padres. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 15(1): 49-57, 2009.
- INFOR. (2018). Plantaciones afectadas por megaincendio según intensidad del fuego año 2017. Reporte de trabajo interno. Área Inventarios Forestales.
- Pinilla, J.C., Luengo, K. & Navarrete, M. (2019). Uso de la regeneración natural de pino radiata para la generación de plantaciones productivas como respuesta a la situación post incendios forestales. Informe MINAGRI.
- Raga, Fernando; Valdebenito, Gerardo y Barros, Santiago. 2018. Reforestación de plantaciones forestales quemadas análisis de la viabilidad de aplicación de incentivos estatales y de la rentabilidad para el estado y particulares. Ciencia & Investigación Forestal, 24(2): 87-100. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2018.499>.



APUNTE

Un Meta Análisis para Estimar el Papel de Polinizadores Nativos en la Sustentabilidad de Ecosistemas Forestales Naturales

González, Jorge^{1*}; Molina, María Paz¹ e Ipinza, Roberto¹

¹Investigadores Instituto Forestal. Sede Bio Bio, Concepción. jgonzalez@infor.cl y mmolina@infor.cl

²Investigador Instituto Forestal. Sede Los Ríos, Valdivia. robertoipinza@infor.cl

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.473>

Recibido: 10.04.21; Aceptado: 25.04.21

RESUMEN

Los ecosistemas forestales constituyen una de las mayores reservas de biodiversidad en el mundo. Comprender la compleja red de interacciones ecológicas que ocurren entre los componentes bióticos dentro de estos ecosistemas, y cómo las fuerzas de evolución dirigen estas interacciones, siempre ha sido un campo desafiante. No obstante, es importante dar este salto conceptual, debido a que las especies no evolucionan en el vacío, más bien son el producto de las interacciones de cientos de especies que coexisten en entornos variables.

El presente trabajo tiene como objetivo aportar antecedentes preliminares sobre interacciones, tomando como marco de estudio las comunidades de especies arbóreas y polinizadores nativos y exóticos. Para esto se recopilan, interacciones reportadas en la literatura. Irrefutablemente la degradación de los bosques está alterando las redes ecológicas, como las interacciones planta-polinizador, entre otras. Sin embargo, el conocimiento de los posibles efectos que subyacen a la pérdida de especies arbóreas sobre estas interacciones es aún limitado, y no es posible cuantificarlo. Se enfatiza que este trabajo es preliminar y no tiene como objetivo compilar para discutir las interacciones reportadas en este marco de estudio, pero sí se espera incentivar a la comunidad científica a profundizar en esta materia con nuevos antecedentes teóricos y desarrollo de pruebas experimentales, a través de una investigación multidisciplinaria.

Palabras claves: Ecosistemas forestales, Interacciones ecológicas, Polinizadores.

SUMMARY

Forest ecosystems constitute one of the largest reserves of biodiversity in the world. Understanding the complex net of ecological interactions that occur between biotic components within these ecosystems, and how the forces of evolution direct these interactions, has always been a challenging field. However, it is important to make this conceptual leap, because species do not evolve in a hole, rather they are the product of the interactions of hundreds of species that coexist in variable environments.

The present work aims to provide preliminary information on interactions, taking as a framework of study the communities of tree species and native and exotic pollinators. For this, interactions reported in the literature are collected. Irrefutably, forest degradation is altering ecological networks, such as plant-pollinator interactions, among others. However, the knowledge of the possible effects that underlie the loss of tree species on these interactions is still limited, and it is not possible to quantify it. It is emphasized that this work is preliminary and does not aim to compile to discuss the interactions reported in this study framework, but it is hoped to encourage the scientific community to delve into this matter with new theoretical background and development of experimental tests, through of a multidisciplinary investigation.

Keywords: Forest ecosystems, Ecological interactions, Pollinators.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales constituyen una de las mayores reservas de biodiversidad en el mundo, desde los bosques boreales del extremo norte pasando por las pluviselvas tropicales hasta los bosques templados del sur. En conjunto, contienen más de 60.000 especies arbóreas diferentes y proporcionan hábitats para el 80% de las especies de anfibios, el 75% de las especies de aves y el 68% de las especies de mamíferos. Alrededor del 60% de todas las plantas vasculares se encuentran en los bosques tropicales (FAO – PNUMA, 2020).

Por consiguiente, la conservación de los ecosistemas forestales no solo permite el aseguramiento de los productos y beneficios ecosistémicos que estos brindan a la sociedad, sino que paralelamente permite la

conservación de la gran cantidad de especies que constituyen las diferentes comunidades que estos ecosistemas albergan.

Lamentablemente, después de un exhaustivo meta análisis Medel *et al.* (2017) identificó 69 artículos publicados sobre 235 especies de plantas nativas de 62 familias, comenta que se ha estudiado menos del 7,9% de las especies con flores que habitan la zona mediterránea chilena y que la mayoría de los estudios se restringió a una sola localidad y una temporada reproductiva. Además, dichos autores establecen que para aumentar la comprensión del papel de las relaciones planta-polinizador para el mantenimiento de la biodiversidad se debería ampliar el alcance taxonómico y geográfico, aumentar las escalas espacial y temporal, y aumentar el número de estudios sobre redes de polinización, ya que proporcionan estimaciones de la complejidad de la comunidad y estabilidad putativa, estimando la importancia de la polinización para los parámetros demográficos y la conservación de las plantas, y realizando estudios que estimen cuantitativamente el servicio ecológico proporcionado por los polinizadores nativos chilenos para la agricultura y el rendimiento de cultivos sostenibles.

Comprender la compleja red de interacciones ecológicas que ocurre entre los componentes bióticos a diferentes niveles (población, comunidad y/o paisaje) y cómo las fuerzas de evolución dirigen estas interacciones (Benfey y Mitchell-Olds, 2008), siempre ha sido un campo desafiante para los especialistas. No obstante, es importante dar este salto conceptual, debido a que las especies no evolucionan en el vacío. Más bien, son el producto de las interacciones de cientos de especies que coexisten en entornos variables. Entender esta mirada requiere ubicar a la comunidad y el ecosistema dentro de un marco evolutivo definido por las interacciones ecológicas y genéticas que existen entre las especies.

La Genética de Comunidades, término introducido por Antonovic (1992). como un moderno intento de integrar la ecología de comunidades y la genética cuantitativa para comprender los procesos de evolución a niveles superiores y cuyo fundamento, tanto teórico como aplicado, sostiene que conocer cómo se organizan las comunidades es fundamental para comprender los principios de ensamble y evolución de los ecosistemas, y permite utilizar las comunidades en un marco evolutivo definido por las interacciones genéticas y ecológicas que existen entre las especies que la componen (Whitham *et al.*, 2003; 2006; 2020).

La aplicación de la genética de comunidades en ecosistemas forestales puede ser una gran ventaja para generar planes de acción para el uso y la conservación de estos recursos. Las siguientes preguntas podrían ser respondidas a través de estudios teóricos y empíricos: ¿Cuáles son las interacciones que dirigen la evolución de las especies forestales? ¿Sí la pérdida de diversidad de especies forestales altera las interacciones funcionales de la comunidad a la que pertenece, cuánta es la pérdida de las especies interactuantes? ¿La diversidad genética de especies arbóreas aporta a la estructuración de la comunidad de polinizadores? ¿En qué medida los polinizadores han seleccionado los rasgos florales en especies forestales?

Los árboles constituyen un conjunto de oferentes de polen, néctar y refugio, a un gran conjunto de comunidades de insectos y mamíferos polinizadores. A su vez, los árboles se ven beneficiados por la polinización que realizan las comunidades de insectos, quienes actúan como vectores, participando activamente en el flujo genético de la especie, lo que permite mantener su diversidad genética.

Sin diversidad genética, una especie no puede evolucionar y adaptarse a los cambios ambientales, experimentando una posibilidad mayor de extinción (Templeton, 1994; Donoso y Gallo, 2004). Las especies tienen tres opciones que les permiten sobrevivir ante los rápidos cambios ambientales: i) Dispersión, es decir una migración desde los hábitats nativos de las especies a otros hábitats más favorables, ii) Plasticidad fenotípica, la cual se refiere a la capacidad de un organismo de producir fenotipos diferentes en respuesta a cambios en el ambiente (no considera cambio genético) y iii) Adaptación, que se refiere al uso de la diversidad genética de las especies, para explorar variantes genéticas más adecuadas, en términos de eficiencia biológica (Stadler y Stephens, 2002; Jump *et al.*, 2009)

Dada la importancia económica y ecológica de la polinización. La realización de estudios teóricos y experimentales que dilucidan las interacciones entre especies forestales nativas e insectos polinizadores nativos y exóticos resulta un escenario muy prometedor, y cuyos resultados contribuirían evidentemente a la generación de planes de acción más integradores y de largo plazo.

Conscientes de las limitaciones y tareas pendientes establecidas por Medel *et al.* (2017), en el ámbito de la investigación de los polinizadores chilenos, el presente trabajo tiene como finalidad aportar antecedentes preliminares para la generación de estudios empíricos de genética de comunidades, tomando como marco evolutivo la interacción entre las comunidades de especies arbóreas y polinizadores nativos. Para ello se recopilan interacciones reportadas entre algunos insectos polinizadores y especies leñosas nativas, las que es necesario profundizar con nuevos antecedentes y validar a través de la investigación multidisciplinaria. Conjuntamente, se recopilan los estudios de interacciones genéticas en estas especies, de modo de en el corto plazo poder priorizar aquellas interacciones genéticas y ecológicas que permitan la conservación y evolución de los ecosistemas, bajo un escenario de cambio climático fluctuante.

Se enfatiza que este trabajo es preliminar y no tiene como objetivo compilar para discutir las interacciones ecológicas y genéticas polinizador-planta, dado que la información aún es escasa, pero si se espera incentivar más investigación en el tema, que sin duda es relevante dado el rol vital de los polinizadores en la preservación de los ecosistemas.

OBJETIVO

Aportar antecedentes preliminares de las interacciones ecológicas y antecedentes genéticos de las especies arbóreas nativas y polinizadores para su aplicación en estudios empíricos de genética de comunidades.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se confeccionó una base de datos donde se confrontan especies leñosas nativas, en relación a insectos polinizadores nativos reportados en artículos científicos, guías de campo e informes técnicos, entre otros. Adicionalmente se incluyó la presencia de polen de especies nativas en la producción de alrededor de 120 muestras de miel de las regiones de Bio Bio y Ñuble, tipificadas a través de ensayos melisopalínológicos durante los años 2017 a 2019. Con la información recopilada se determinó la frecuencia absoluta de interacciones entre planta – polinizador, en especies leñosas.

Se realizó una búsqueda de artículos publicados que cuantifican los efectos de la diversidad intraespecífica en especies leñosas nativas, sobre la estructura de la comunidad y/o el funcionamiento del ecosistema, centrándose en el servicio de polinización. La búsqueda se centró en estudios experimentales que manipulan la variación y/o riqueza intraespecífica dentro de una sola especie para probar sus respectivos efectos ecológicos.

Los estudios que varían la diversidad intraespecífica dentro de un conjunto de especies múltiples no se incluyeron en el meta análisis. También se analizó la lista de referencias de cada artículo para obtener artículos adicionales.

Las siguientes palabras claves (en inglés) se utilizaron en varias combinaciones: “*pollinator + community genetics*”, “*pollinator intraspecific variation*”, “*Chilean native pollinators*”, “*Pollination in Chilean forest ecosystems*”, “*Pollinator plant structure*”, “*Pollinator plant interaction*”.

RESULTADOS

Interacciones Ecológicas

La generación de estudios empíricos que permitan estudiar la genética de comunidades necesita contar con una serie de recursos y debe tomar como marco evolutivo las interacciones ecológicas que ocurren dentro de un ecosistema.

En Chile, existen escasos reportes que recopilan interacciones planta -polinizador, se destacan los trabajos de la Dra. Cecilia Smith-Ramírez, afiliada al Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Facultad de Ciencias, Universidad de Chile (Smith-Ramírez *et al.*, 2005; Smith-Ramírez y Yáñez, 2010) y el Dr. Víctor Monzon Godoy, académico de la Universidad Católica del Maule (Monzón, 2015), y el reciente

proyecto “Protegiendo la Biodiversidad y Múltiples Servicios Ecosistémicos en Corredores Biológicos de Montaña, del Ecosistema Mediterráneo de Chile”, denominado de modo más breve “GEF Montaña”, desarrollado por el Ministerio del Medio Ambiente y la agencia ONU Medio Ambiente, y financiada por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente, el cual ha publicado la Guía Insectos Polinizadores Nativos de la Zona Central de Chile (<https://gefmontana.mma.gob.cl/categoria/estudios/page/2/>).

Para especies forestales, estos antecedentes son aún menores, tal y como ocurre en otras disciplinas, la mayoría de estudios sobre polinizadores están sesgados hacia las áreas templadas y llevados a cabo en países desarrollados, por lo cual todavía existe un gran vacío en Latinoamérica y el Caribe, región en que los países dependen económicamente de la producción agrícola y forestal, y consecuentemente de la polinización.

En la Figura 1 se muestra la frecuencia absoluta de insectos polinizadores reportados en especies nativas arbóreas. Se encontraron 257 interacciones en la bibliografía consultada, el orden predominante de polinizadores corresponde a Himenóptera (51%), Díptera (32%), Coleóptera (16%) y Lepidóptera (1%). Esto ya había sido reportado tempranamente por algunos autores que investigaron los ecosistemas de zona andina de Chile central (Arroyo *et al.*, 1982).

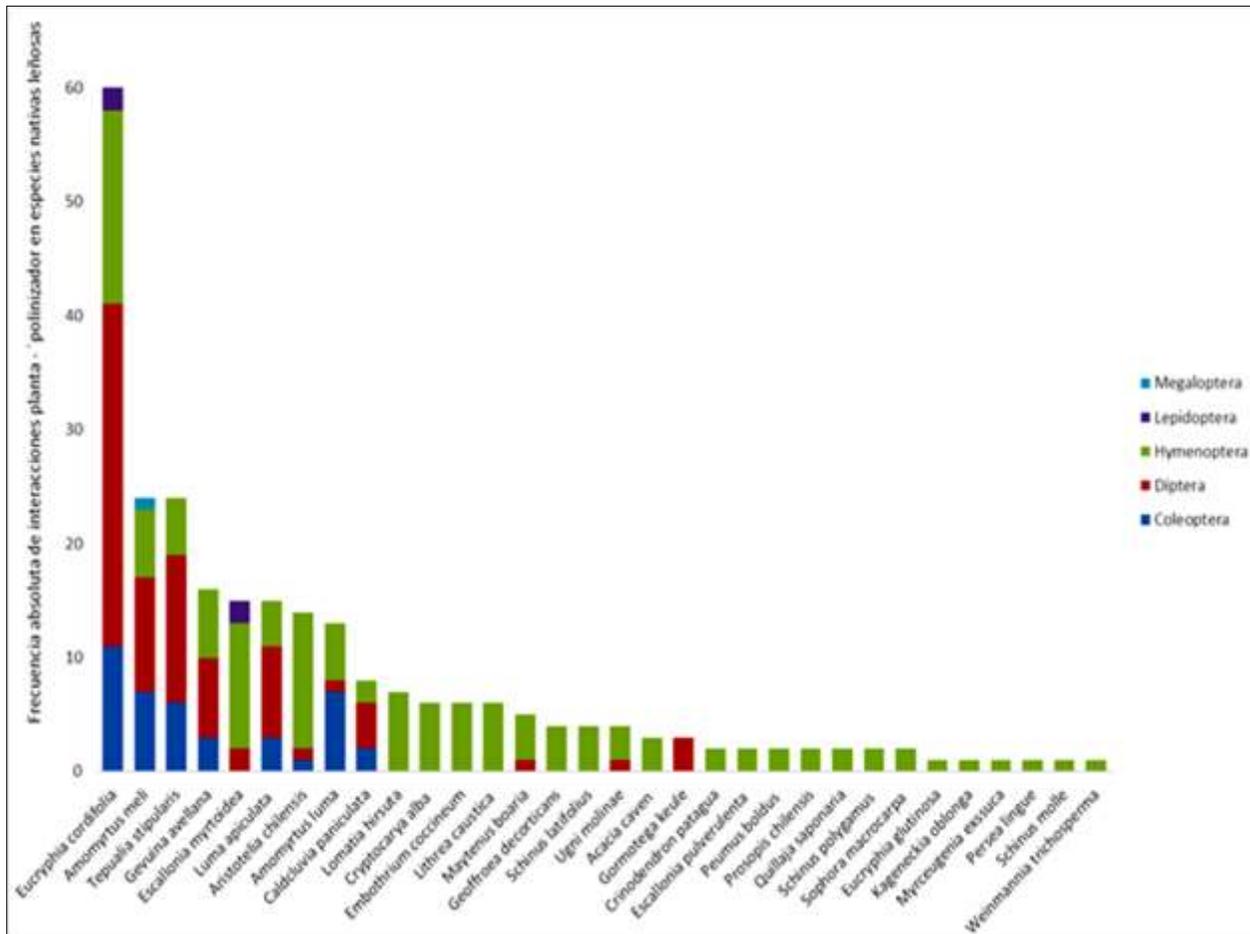


Figura 1. Frecuencia Absoluta de Interacciones Reportadas entre Insectos Polinizadores y Especies Arbóreas Nativas

La especie nativa arbórea que reporta la mayor cantidad de interacciones reportadas corresponde *Eucryphia cordifolia* (ulmo), reportándose 60 interacciones, esto debido al gran valor melífero que posee la especie, por la abundancia y alta calidad de su néctar, y sus propiedades funcionales demostradas (Montenegro y Ortega, 2013).

Las especies leñosas clasificadas con algún grado de amenaza según el reglamento de Clasificación de Especies del Ministerio del Medioambiente (RCE - MMA) *Gormotega keule* y *Prosopis chilensis*, presentan 3 y 2 interacciones con polinizadores nativos, respectivamente, mientras que *Eucryphia glutinosa* solo presenta interacción con la especie exótica *Apis mellifera* (abeja) (Figura 2), que es una de las especies de polinizadores más reconocida en el mundo.

No obstante, a pesar de que *A. mellifera* es ampliamente usada en la producción de miel, algunos autores consideran que no es el mejor polinizador para su uso en algunos cultivos, debido al polimorfismo de las estructuras florales, requiriéndose de otras especies polinizadoras, incluyendo las especies nativas. Tal como es el caso de la especie *Persea americana* (palto), donde se ha reportado la interacción con varios polinizadores nativos tales como *Acamptopoeum submetallicum*, *Allograpta pulchra*, *Caenohalictus monilicornis*, *Corynura chilensis*, *Corynura chloris*, *Eristalis tenax*, *Mordella luctuosa*, *Polistes buyssoni* y *Syrphus octomaculatus* (Smith-Ramírez y Yáñez, 2010).



(A) *Allograpta hortensis* – (D) *Gormotega keule* (Clasificación: EN); (B) *Apis mellifera* – (E) *Eucryphia glutinosa* (Clasificación: VU); (C) *Centris nigerrima* – (F) *Prosopis chilensis* (Clasificación: VU).

Figura 2. Interacciones Planta – Polinizador en Especies Leñosas Clasificadas con Grado de Amenaza según el Reglamento de Clasificación de Especies del Ministerio del Medioambiente

Algunas especies siempreverdes con interacciones reportadas; *Amomyrtus meli* (meli) y *Tepualia stipularis* (tepú) con 24 interacciones, *Gevuina avellana* (avellano), *Luma apiculata* (arrayán) y *Aristotelia chilensis* (maqui) con 16, 15 y 14 interacciones, respectivamente, y la especie esclerófila *Escallonia myrtoidea* (lun), con 15 interacciones.

Las demás especies consultadas muestran entre 1 y 8 interacciones, siendo su moda 2 (Figura 2 y Anexo).

En relación con los polinizadores nativos, la especie que reporta la mayor cantidad de interacciones es *Bombus dahlbomii* con 12, mientras que las especies *Corynura chloris*, *Cadeguala occidentalis* y *Allograpta pulchra* reportan 10, 7 y 6, respectivamente.

Los demás polinizadores presentan entre 1 a 5 interacciones, siendo su moda 1. Lo que no significa que se trate de relaciones específicas propiamente, sino más bien se ilustra la falta de estudios que profundicen las interacciones entre los polinizadores nativos.

Interacciones Genéticas

Un rasgo importante que define el éxito reproductivo de las plantas es el tamaño de la flor o inflorescencia. Entre las consecuencias descritas como favorables al aumento de la floración se encuentran:

- Competencia inter e intraespecífica por los polinizadores.
- Potencial para una mayor producción de semillas.
- Atracción de dispersores de semillas.
- Saturación de depredadores que se alimentan de semillas.

Sin embargo, una producción masiva de flores puede restringir el movimiento de polinizadores entre diferentes individuos (Snow *et al.*, 1996) y la autopolinización puede reemplazar la polinización cruzada y conducir a una mayor endogamia (Valdivia y Niemeyer, 2006).

Otro rasgo recientemente estudiado apunta a que las plantas pueden aumentar su atractivo para los polinizadores aumentando la producción de aromas florales, los cuales se expresan como compuestos orgánicos volátiles (Ramya *et al.*, 2020; Vannette, 2020). De hecho, numerosas investigaciones de laboratorios etológico indican la importancia de los aromas en el comportamiento de los polinizadores y su probable efecto en rendimiento de la planta (Genung *et al.*, 2010). Por lo tanto, no es de extrañar que la variación intraespecífica de los aromas florales influya en la frecuencia de visitas de los polinizadores en las poblaciones naturales.

En Chile, para especies forestales estos tipos de estudios son escasos, solo existe un artículo en la bibliografía consultada cuyo objetivo fue describir la interacción de la exhibición floral y la producción de aromas en el éxito reproductivo de *Escallonia myrtoidea* (*Escalloniaceae*) en condiciones de campo (Valdivia y Niemeyer, 2006).

Estos autores, después de experimentar manipulaciones del tamaño de la inflorescencia y el olor no observaron efectos no aditivos significativos mediados por los polinizadores en el éxito reproductivo femenino de *E. myrtoidea*. Concluyendo que la selección de rasgos florales depende de las variaciones en la abundancia de polinizadores a escalas temporal y espacial, lo que dificulta la evaluación de la selección en los rasgos reproductivos dentro de una sola temporada. Desde el punto de vista evolutivo, los autores concluyen que son las diferencias en el éxito reproductivo entre individuos (genotipos), más que entre tipos de inflorescencias, lo que es importante. Por lo que los resultados basados en comparaciones entre inflorescencias, deben ser corroborados en un contexto entre genotipos antes de poder ofrecer interpretaciones evolutivas rigurosas.

Desde la perspectiva de la ciencia de los ecosistemas, la búsqueda de interacciones genéticas a escalas superiores es un avance especialmente importante, ya que este campo no ha incorporado previamente la genética en estudios de procesos fundamentales, como el flujo de energía o el ciclo de nutrientes (Whitham *et al.*, 2006; Casacuberta *et al.*, 2016). El examen del papel de las interacciones genéticas a nivel de ecosistema inicia una nueva era de evaluación de ecosistemas dentro de un marco evolutivo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La conservación de los ecosistemas forestales, incluyendo la comunidad asociada, es fundamental para sostener los productos y servicios ecosistémicos que los bosques proveen a la sociedad. Para lograr un avance significativo esta tarea no debe estar al margen de la integración de diversas teorías y conceptos,

junto con el uso de modernas herramientas empleadas en la genética de comunidades, a fin de obtener mayor poder predictivo de la evolución de las especies, ante un escenario climático fluctuante.

Es un hecho que la disminución de la diversidad vegetal altera las redes ecológicas, como las interacciones planta-polinizador, entre otras. Sin embargo, el conocimiento de los posibles mecanismos que subyacen a los efectos de la pérdida de especies de plantas en estas interacciones es aún limitado y no es posible cuantificar.

Es por esto que se requiere de estudios multidisciplinarios que avancen en la identificación de interacciones ecológicas, y de pruebas experimentales para evaluar los aspectos genéticos que subyacen en estas interacciones.

REFERENCIAS

- Antonovic, J. (1992). Toward community genetics. En: Fritz, R., Simms, E. (Eds). Plant resistance to herbivores and pathogens: ecology, evolution and genetics. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA. Pp: 426-429.
- Arroyo, M., Primack, R. & Armesto, J. (1982). Community studies in pollination ecology in the high temperate Andes of central Chile. I. Pollination mechanisms and altitudinal variation. *American Journal of Botany*, 69(1): 82-97. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1982.tb13237.x>
- Benfey, P. & Mitchell-Olds, T. (2008). From genotype to phenotype: systems biology meets natural variation. *Science*, 320(5875): 495-497. <https://doi.org/10.1126/science.1153716>.
- Casacuberta, J., Jackson, S., Panaud, O., Purugganan, M. & Wendel, J. (2016). Evolution of plant phenotypes, from genomes to traits. *Genes, Genomes, Genetics*, 6(4): 775-778. <https://doi.org/10.1534/g3.115.025502>.
- Donoso, C. & Gallo, L. (2004). Aspectos conceptuales y metodológicos. En: Donoso, C., Premoli, A., Gallo, L. & Ipinza, R. Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria. Pp: 23-37.
- FAO-PNUMA. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Roma.
- Fundación Abejas de Chile. (2020). <https://abejasdechile.com/galeria/>. Consulta: 29 diciembre, 2020.
- Genung, M., Lessard, J., Brown, C., Bunn, W., Cregger, M., Reynolds, W. et al. (2010). Non-Additive Effects of Genotypic Diversity Increase Floral Abundance and Abundance of Floral Visitors. *PLoS ONE* 5(1): e8711. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008711>.
- INFOR, 2020. Datos colectados en el Programa FNDR Transferencia Flora Forestal Melífera para Mejorar el Negocio Apícola del Biobío, Fase II 2018 – 2022. Instituto Forestal (datos no publicados).
- Jump, A., Marchant, R. & Penuelas, J. (2009). Environmental change and the option value of genetic diversity. *Trends Plant Sciences*, 14. Pp: 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.10.002>.
- Medel, R., González-Browne, C. & Fontúrbel, F.E. (2017). Pollination in the Chilean Mediterranean-Type Ecosystem: a review of current advances and pending tasks. *Plant Biology*, 20. Pp: 89-99. <https://doi.org/10.1111/plb.12644>.
- Mendoza, J. (2012). Entomofauna asociada a flores de notre (*Embothrium coccineum* J.R. et G. Forster) y maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) en la zona de Valdivia. Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Licenciado en Agronomía. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile.
- MMA-ONU Medio Ambiente. (2020). Guía de Bolsillo: Insectos Polinizadores Nativos de la Zona Central de Chile. Especialistas coautores: Víctor Monzón, Luisa Ruz, Rodrigo Barahona, Vanessa Durán, Cristian Villagra, Patricia Henríquez-Piskulich y Patricia Estrada. Desarrollado y financiado en el marco del Proyecto GEFSEC ID 5135 Ministerio del Medio Ambiente - ONU Medio Ambiente. Santiago, Chile. 68 p.
- Montenegro, G. & Ortega, X. (2013). Innovación y valor agregado en los productos apícolas. Diferenciación y nuevos usos industriales. Apicultura. Informe de Experto. Agrimundo. ODEPA- FIA.
- Monzón, V. (2015). Guía de abejas nativas de la Región del Maule-Chile. Universidad Católica del Maule.
- Ramya, M., Jang, S., An, H., Lee, S., Park, P. M. & Park, P. (2020). Volatile organic compounds from orchids: From synthesis and function to gene regulation. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3): 1160. <https://doi.org/10.3390/ijms21031160>.
- Smith-Ramírez, C., Martínez, P., Nuñez, M., González, C. & Armesto, J. (2005). Diversity, flower visitation frequency and generalism of pollinators in temperate rain forests of Chiloé Island, Chile. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 147. Pp: 399-416. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2005.00388.x>.
- Smith-Ramírez, C. & Yáñez, K. (2010). Digitalización de datos de polinizadores de Chile, interacción insecto-planta y distribución de insectos. Informe Técnico Final, Red Iberoamericana de Información sobre la Biodiversidad.

- Snow, A., Spira, T., Simpson, R. & Klips, R. (1996). The ecology of geitonogamous pollination. En: Lloyd, D., Barrett, S (Eds). 1996. *Floral Biology: Studies in Floral Evolution in Animal-Pollinated Plants*. Chapman & Hall, New York. Pp: 191–216. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1165-2_7.
- Stadler, P. & Stephens, C. (2002). Landscapes and Effective Fitness. Comments? *Theoretical Biology*, 8. Pp: 389-431. <https://doi.org/10.1080/08948550302439>.
- Templeton, A. (1994). Biodiversity at the molecular genetic level: experiences from disparate macroorganisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 345. Pp: 59-64. <https://doi.org/10.1098/rstb.1994.0086>.
- Valdivia, C. & Niemeyer, H. (2006). ¿Do pollinators simultaneously select for inflorescence size and amount of floral scents? An experimental assessment on *Escallonia myrtoidea*. *Austral Ecology*, 31(7): 897-903. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2006.01662.x>.
- Vannette, R. (2020). The floral microbiome: Plant, pollinator, and microbial perspectives. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 51. Pp: 363-386. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-011720-013401>.
- Whitham, T., Young, W., Martinsen, G., Gehring, C., Schweitzer, J., Shuster, S. et al. (2003). Community and ecosystem genetics: A consequence of the extended phenotype. *Ecology*, 84. Pp: 559-573. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2003\)084\[0559:CAEGAC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[0559:CAEGAC]2.0.CO;2)
- Whitham, T., Bailey, J., Schweitzer, J., Shuster, S., Bangert, R., Le Roy, C. et al. (2006). A framework for community and ecosystem genetics from genes to ecosystems. *Nature Reviews: Genetics*, 7. Pp: 510-523. <https://doi.org/10.1038/nrg1877>.
- Whitham, T., Allan, G., Cooper, H. & Shuster, S. (2020). Intraspecific Genetic Variation and Species Interactions Contribute to Community Evolution. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 51. Pp: 587-612. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-011720-123655>.

ANEXO

Lista de Interacciones Planta – Polinizador en Especies Leñosas Nativas

PLANTA	POLINIZADOR	ORDEN	REFERENCIA
<i>Acacia caven</i>	<i>Alloscirtetica rufitarsis</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010; MMA-ONU, 2020
	<i>Alloscirtetica valparadisaea</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR, 2020
<i>Amomyrtus luma</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR, 2020
	<i>Clamirus apicarius</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Dasydema hirtella</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Eurymetopun prasinum</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Eurymetopun proteus</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Hylodanaceaea elegans</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Schizochelus serratus</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Stenorhopalus gracilis</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Melanostoma sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Bombus dahlbomii</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez 2010; MMA-ONU 2020
	<i>Cadeguala albopilosa</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Cadeguala occidentalis</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Corynura patagónica</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez 2010
<i>Amomyrtus meli</i>	<i>Adalia deficiens</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Apis mellifera</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Callideriphus laetus</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Eurymetopun obscurum</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Hylodanaceaea binotus</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Hyponotum krausseii</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Mordella erythrura</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Rhopalomerus tenuirostris</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Allograpta hortensis</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Allograpta pulchra</i>	D	MMA-ONU Medio Ambiente, 2020.

PLANTA	POLINIZADOR	ORDEN	REFERENCIA
	<i>Cheilosia nitescens</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Craspedochaeta linbinervis</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Fannia sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Melanostoma fenestratus</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Melanostoma lundbladi</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Melanostoma sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Mesograpta philippi</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Stilbosona cyanea</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Bombus dahlbomii</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Cadeguala albopilosa</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Corynura corynogastra</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Corynura patagónica</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Diphaglossa gayi</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Protosialis chilensis</i>	M	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
<i>Aristotelia chilensis</i>	<i>Apis mellifera</i>	H	INFOR 2020
	<i>Astylus trifasciatus</i>	C	MMA-ONU 2020
	<i>Carposcalis fenestratum</i>	D	Mendoza 2012
	<i>Bombus dahlbomii</i>	H	Mendoza 2012
	<i>Cadeguala occidentalis</i>	H	Mendoza 2012
	<i>Corynura chloris</i>	H	MMA-ONU 2020
	<i>Caupolicana gayi</i>	H	MMA-ONU 2020
	<i>Centris cyanescens</i>	H	MMA-ONU 2020
	<i>Colletes seminitidus</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Diphaglossa gayi</i>	H	Mendoza 2012
	<i>Policana albopilosa</i>	H	Mendoza 2012
	<i>Ruizantheda mutabilis</i>	H	Mendoza 2012
	<i>Ruizantheda sp</i>	H	Mendoza 2012

PLANTA	POLINIZADOR	ORDEN	REFERENCIA
<i>Caldcluvia paniculata</i>	<i>Aleocharinae sp</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR 2020
	<i>Mordella erythrura</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Melanostoma chalconotus</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Melanostoma sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Morphodexia sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Peleteria filipalpis</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Bombus dahlbomii</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez 2010; MMA-ONU Medio Ambiente, 2020.
<i>Crinodendron patagua</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR 2020
	<i>Bombus dahlbomii</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010; MMA-ONU 2020
<i>Cryptocarya alba</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR 2020
	<i>Corynura chloris</i>	H	MMA-ONU 2020
	<i>Centris cyanescens</i>	H	MMA-ONU 2020
	<i>Colletes cyanescens</i>	H	Mendoza 2012
	<i>Corynura chloris</i>	H	Mendoza 2012
	<i>Svastrides melanura</i>	H	Mendoza 2012
<i>Embothrium coccineum</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez 2010; INFOR. 2020
	<i>Cadeguala occidentalis</i>	H	Mendoza 2012
	<i>Diphaglossa gayi</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Ruizantheda mutabilis</i>	H	Mendoza 2012
	<i>Ruizantheda sp</i>	H	Mendoza 2012
<i>Escallonia myrtoidea</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Copestylum bradleyi</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Dasybasis pruinivitta</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Bombus dahlbomii</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010; MMA-ONU 2020
	<i>Colletes murinus</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Corynura chilensis</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010

PLANTA	POLINIZADOR	ORDEN	REFERENCIA
	<i>Corynura lepida</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Hypodinerus colocolo</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Pepsis limbata</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Polistes buyssoni</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Ruizantheda proxima</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Sphecodes chilensis</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Stenodynerus scabriusculus</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Pseudolucia chilensis</i>	L	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Vannesa carye</i>	L	Smith - Ramírez y Yáñez 2010; MMA-ONU 2020
<i>Escallonia pulverulenta</i>	<i>Apis mellifera</i>	H	INFOR, 2020
	<i>Lonchopria zonalis</i>	H	Fundación Abejas de Chile, 2020.
<i>Eucryphia cordifolia</i>	<i>Apis mellifera</i>	H	Smith - Ramírez et al., 2005; Smith - Ramírez y Yáñez 2010; INFOR, 2020
	<i>Bilyaxia concinna</i>	C	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Callideriphus laetus</i>	C	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Chauliognathus sp</i>	C	Smith - Ramírez et al., 2005
	<i>Hyponotum kraussae</i>	C	Smith - Ramírez et al., 2005
	<i>Mecopselaphus maculicollis</i>	C	Smith - Ramírez et al., 2005
	<i>Melanophthalma aff seminigra</i>	C	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Mordella erythrura</i>	C	Smith - Ramírez et al., 2005; Smith - Ramírez y Yáñez , 2010
	<i>Mordella luctuosa</i>	C	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Platinocera gracilis</i>	C	Smith - Ramírez y Yáñez ,2010
	<i>Platynocera gracilipes</i>	C	Smith - Ramírez y Yáñez ,2010
	<i>Rhopalomerus tenuirostris</i>	C	Smith - Ramírez et al., 2005
	<i>Agelanius meridiana</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Allograpta hortensis</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Allograpta pulchra</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
<i>Aneriophora aureorrufa</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez,2010	

PLANTA	POLINIZADOR	ORDEN	REFERENCIA
	<i>Cheilosia nitescens</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Dasyoma coeruleum</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Dolichogyna chilensis</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez. 2010
	<i>Eristalis assimilis</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Eristalis elegans</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Eristalis meigenii</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Eristalis tenax</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Eurygastromyia philippi</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Fannia sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Fazia macquarti</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez ,2010
	<i>Lypha erigonopsidis</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Macrometopia atra</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Megalybus crassus</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Melanostoma chalconotus</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez , 2010
	<i>Melanostoma fenestratus</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez , 2010
	<i>Melanostoma lundbladi</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Mesograptia calceolatus</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Mesograptia philippi</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Mycteromia conica</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Peleteria filipalpis</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez ,2010
	<i>Platycheirus chalconota</i>	D	MMA-ONU, 2020
	<i>Syrphus octomaculatus</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Trichophthalma barbarosa</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez , 2010
	<i>Trichophthalma commutata</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez , 2010
	<i>Trichophthalma herbsti</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Tropidia sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005

PLANTA	POLINIZADOR	ORDEN	REFERENCIA
	<i>Bombus dahlbomii</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010; MMA-ONU, 2020
	<i>Cadeguala occidentalis</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Caenohalictus monilicornis</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Corynura atrovirens</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Corynura chilensis</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Corynura chloris</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Corynura corinogaster</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Corynura heterochlora</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Corynura lepida</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Corynura patagónica</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Corynura rubella</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Diphaglossa gayi</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Eumeninae sp</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Hypodynerus spp</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Ruizantheda mutabilis</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
	<i>Ruizantheda proxima</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Colias vauthierii</i>	L	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
<i>Eroessa chiliensis</i>	L	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005	
<i>Geoffroea decorticans</i>	<i>Alloscirtetica gayi</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Alloscirtetica rufitarsis</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010; MMA-ONU, 2020
	<i>Alloscirtetica valparadisaea</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Centris nigerrima</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
<i>Gevuina avellana</i>	<i>Apis mellifera</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010; INFOR, 2020
	<i>Aleocharinae sp</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Sapromyza edwardsi</i>	C	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Sapromyza micropyga</i>	C	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Allograpta hortensis</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez ,2010; MMA-ONU, 2020
	<i>Allograpta pulchra</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; MMA-ONU, 2020

PLANTA	POLINIZADOR	ORDEN	REFERENCIA
	<i>Eristalis tenax</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Fannia sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Melanostoma sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Syrphus octomaculatus</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Syrphus reedi</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Cadeguala albopilosa</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Cadeguala occidentalis</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Caenohalictus monilicornis</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Corynura atrovirens</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Vespula germánica</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
<i>Kageneckia oblonga</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR, 2020
<i>Gormotega keule</i>	<i>Allograpta hortensis</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010; MMA-ONU, 2020
	<i>Syrphus octomaculatus</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Syrphus reedi</i>	D	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
<i>Lithrea caustica</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR, 2020
	<i>Cadeguala occidentalis</i>	H	Monzon, 2015
	<i>Centris cyanescens</i>	H	MMA-ONU Medio Ambiente, 2020.
	<i>Colletes seminitidus</i>	H	Monzon 2015
	<i>Corynura chloris</i>	H	Monzon, 2015
	<i>Manuelia postica</i>	H	Monzon, 2015
<i>Lomatia hirsuta</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR, 2020
	<i>Bombus dahlbomii</i>	H	Monzon, 2015
	<i>Cadeguala occidentalis</i>	H	Monzon, 2015
	<i>Centris cyanescens</i>	H	MMA-ONU, 2020
	<i>Colletes seminitidus</i>	H	Fundación Abejas de Chile, 2020.
	<i>Colletes seminitidus</i>	H	Monzon, 2015
	<i>Manuelia postica</i>	H	Monzon, 2015
	<i>Apis mellifera</i> *	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010; INFOR, 2020

PLANTA	POLINIZADOR	ORDEN	REFERENCIA
<i>Luma apiculata</i>	<i>Chauliognathus sp</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Dasydema hirtella</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Mordella erythrura</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Allograpta pulchra</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; MMA-ONU, 2020
	<i>Eristalis assimilis</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Fazia bullaephora</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Fazia macquarti</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Megalybus crassus</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Melanostoma sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Stilbosona cyanea</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Thrypticus sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Bombus dahlbomii</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010; MMA-ONU, 2020
	<i>Corynura patagónica</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
<i>Corynura rubella</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez 2010	
<i>Myrceugenia exssuca</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR, 2020
<i>Maytenus boaria</i>	<i>Allograpta pulchra</i>	D	MMA-ONU, 2020
	<i>Corynura chloris</i>	H	MMA-ONU, 2020
	<i>Centris cyanescens</i>	H	MMA-ONU, 2020
	<i>Corynura cristata</i>	H	MMA-ONU, 2020
	<i>Corynura herbsti</i>	H	MMA-ONU 2020
<i>Persea lingue</i>	<i>Manuelia gayatina</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
<i>Peumus boldus</i>	<i>Corynura chloris</i>	H	MMA-ONU, 2020
	<i>Corynura chloris</i>	H	Monzon, 2015
<i>Prosopis chilensis</i>	<i>Alloscirtetica gayi</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
	<i>Centris nigerrima</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez 2010
<i>Quillaja saponaria</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR, 2020
	<i>Corynura chloris</i>	H	MMA-ONU, 2020

PLANTA	POLINIZADOR	ORDEN	REFERENCIA
<i>Schinus latifolius</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR, 2020
	<i>Corynura chloris</i>	H	MMA-ONU, 2020
	<i>Centris cyanescens</i>	H	MMA-ONU, 2020
	<i>Corynura cristata</i>	H	MMA-ONU, 2020
<i>Schinus molle</i>	<i>Colletes seminitidus</i>	H	Monzon, 2015
<i>Schinus polygamus</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR, 2020
	<i>Acamptopoeum submetallicum</i>	H	MMA-ONU, 2020
<i>Sophora macrocarpa</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR, 2020 (datos no publicados)
	<i>Bombus dahlbomii</i>	H	Monzon, 2015
<i>Tepualia stipularis</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010; INFOR, 2020
	<i>Aleocharinae sp</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Chauliognathus sp</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Melanophthalma seminigra</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Mordella erythrura</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Mordella luctuosa</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Rhopalomerus tenuirostris</i>	C	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Allograpta hortensis</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; MMA-ONU, 2020
	<i>Allograpta pulchra</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; MMA-ONU, 2020
	<i>Dolichogyna chilensis</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Eristalis elegans</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Fannia sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Fazia macquarti</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Melanostoma chalconotus</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Melanostoma lundbladi</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Mesograpta philippi</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Stilbosona cyanea</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Syrphus octomaculatus</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
<i>Tachininae sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005	

PLANTA	POLINIZADOR	ORDEN	REFERENCIA
	<i>Thrypticus sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Bombus dahlbomii</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010; MMA-ONU, 2020
	<i>Cadeguala albopilosa</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Eumeninae sp</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Vespula germánica</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
<i>Ugni molinae</i>	<i>Apis mellifera</i> *	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; Smith - Ramírez y Yáñez, 2010; INFOR, 2020
	<i>Melanostoma sp</i>	D	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005
	<i>Bombus dahlbomii</i>	H	Smith - Ramírez <i>et al.</i> , 2005; MMA-ONU 2020
	<i>Diphaglossa gayi</i>	H	Smith - Ramírez y Yáñez, 2010
Weinmannia trichosperma	<i>Apis mellifera</i> *	H	INFOR, 2020

Ordenes: C: Coleóptera, D: Díptera, H: Himenóptera, L: Lepidóptera, M: Megaloptera.

(*) Especie exótica



APUNTE

Productos Forestales No Madereros Presentes en los Bosques de Ñirre (*Nothofagus antarctica*) de la Zona Sur Austral de Chile

Salinas, Jaime^{1*} y Uribe, Alicia¹

Investigadores INFOR Sede Patagonia, Coyhaique. jsalinas@infor.cl auribe@infor.cl

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.474>

Recibido: 01.04.21; Aceptado: 20.04.21

RESUMEN

Los bosques representan el entorno de gran parte del mundo rural y les proporcionan a sus pobladores una cantidad y variedad de Productos Forestales No Madereros (PFNM), que representan recursos alimenticios e insumos para diversos productos que esta población rural puede utilizar en forma ambiental y económicamente sostenible, para su propio beneficio o comercializar para un mejoramiento en sus condiciones de vida y sustento.

Los bosques de ñirre forman parte del territorio de Aysén y su distribución coincide con la frontera urbana y la ganadera, donde han sido sometidos por décadas a disturbios derivados de la acción antrópica. En estos bosques se encuentran diferentes PFNM, que son importantes para la alimentación y medicina de comunidades rurales, algunos de estos productos son el calafate, la rosa mosqueta, la morilla, el musgo, las hierbas medicinales, los follajes y semillas de árboles nativos, entre otros.

Este trabajo buscó investigar la diversidad actual de PFNM asociados a los bosques de ñirre de la zona sur austral de Chile, en base al conocimiento empírico y al uso de las comunidades. Para ello, se realizaron talleres participativos, con preguntas dirigidas a la expresión de las comunidades con respecto a los productos de cada sector, sus usos y utilidades para luego dar espacio a una priorización de los 3 PFNM de mayor importancia, tanto social como económica y cultural, en las comunidades consultadas. Se identificaron alrededor de 70 especies de uso no maderero presentes en los bosques de ñirre, con más de 100 diferentes usos para las personas, entre los que destacan usos medicinales, comestibles, tintóreos y ornamentales. Estas especies son colectadas por recolectores para consumo personal o comercialización. Las tres especies priorizadas por las comunidades fueron el hongo morchella, la frutilla silvestre y el calafate.

Palabras clave: Ñirre, comunidades rurales, usos medicinales

SUMMARY

Forests represent the environment of a large part of the rural world and provide their inhabitants with a quantity and variety of Non-Wood Forest Products (NWFP), which represent food resources and inputs for various products that this rural population can use in a way environmentally and economically sustainable, for their own benefit or to commercialize for an improvement in their living conditions and livelihoods.

The ñirre forests are part of the Aysén territory and their distribution coincides with the urban and livestock frontiers, where they have been subjected for decades to disturbances derived from anthropic action. In these forests live different NWFP are important for the nutrition and medicine of rural communities, some of these products are calafate, Rosehip, Morel, moss, medicinal herbs, foliage and seeds of native trees, among others.

This work was to research on the current diversity of NWFP associated with the ñirre forests of the southern zone of Chile, based on empirical knowledge and the use of the communities. To this end, participatory workshops were held, with questions aimed at the expression of the communities regarding the products of each sector, their uses and utilities to then give space to a prioritization of the 3 NWFP of greatest social, economic and cultural importance in the consulted communities. Around 70 species of non-timber use present in the ñirre forests were identified, with more than 100 different uses for people, among which are medicinal, edible, dyeing and ornamental uses. These species are collected by people for personal consumption or commercialization. The three species prioritized by the communities were the morchella fungus, wild Strawberry and calafate.

Key Words: Ñirre, rural communities, medicinal uses.

INTRODUCCIÓN

Los Productos Forestales No Madereros (PFNM), son definidos como bienes de origen biológico, distintos de la madera, derivados del bosque, de otras áreas forestales y de los árboles fuera de los bosques (FAO, 2003).

En los últimos años las organizaciones gubernamentales, no gubernamentales y grupos científicos, han promovido la utilización de los PFNM, como un elemento determinante en la disminución de la pobreza y el manejo sostenible de los ecosistemas (Martínez, 2005).

En el mundo existe una gran cantidad y variedad de PFNM y cada uno aporta con diferentes usos y oficios y emprendimientos relacionadas con temas productivos, sociales y culturales, aportando a las economías locales, manteniendo habitadas zonas aisladas como ocurre en el caso de la región de Aysén.

En esta región existe una superficie de 4.398.746 ha cubierta por bosques nativos, que representa el 41% del total nacional (CONAF, 2012), y de esta superficie los bosques de ñirre suman 131.593 ha (Salinas *et al.*, 2017). El ñirre es una especie endémica de los bosques templados lluviosos o sub-antárticos de Chile y Argentina, y presenta el rango de distribución más amplio de los *Nothofagus* sudamericanos.

Se trata de una especie monoica que se presenta como árbol pequeño o arbusto achaparrado, aunque generalmente alcanza los 10 m de altura. Sin embargo, en condiciones óptimas de sitio puede alcanzar los 15 m y fustes de 60 cm de diámetro (Rodríguez *et al.*, 1983; Donoso, 1974). Salinas *et al.* (2015) reportan alturas cercanas a los 23 m en suelos profundos de la comuna de Chile Chico, región de Aysén.

En esta región puede asociarse con lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser) y coigue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.), pero generalmente forma bosques puros y coetáneos denominados ñirrantales.

En los bosques de ñirre se encuentran diferentes PFNM, algunos de estos productos son calafate, rosa mosqueta, morilla, musgo, hierbas medicinales, follajes y semillas de árboles nativos, entre otros.

A pesar de la diversidad de PFNM existentes, los distintos sectores sociales y productivos no logran reconocer más que solo algunos, como el hongo *Morchella ssp.* (Salinas *et al.*, 2018) y frutos como mosqueta y calafate, esto debido a la falta de divulgación de los productos que cohabitan en las formaciones boscosas de ñirre y de sus usos, utilidad e importancia.

Además, el aprovechamiento sustentable de estos PFNM puede aportar a desarrollar más alternativas productivas para la Agricultura Familiar Campesina (AFC), ya que aumenta la diversificación.

Los PFNM encierran un gran potencial para el futuro desarrollo de las economías locales y regionales. En esta misma línea en Argentina hay ejemplos de uso de las hojas de ñirre, como compuestos antioxidantes y aceites esenciales con beneficios para la salud (propiedades nutraceuticas) y una potencialidad para el uso en la industria cosmética.

El uso de estos recursos necesita de definiciones técnicas que aseguren una colecta sustentable y la conservación de los bosques que los proveen. El reservorio de recursos que habitan en el bosque de ñirre son especies vegetales nativas, no investigadas en profundidad, que podrían ser utilizadas como ingredientes bioactivos para la creación, desarrollo y diversificación de nuevos alimentos o productos farmacéuticos, asociados al fortalecimiento de los territorios.

En el año 2017 se crea el Programa de Investigación silvícola y tecnológica en Productos Forestales No Madereros (PFNM) generados en ecosistemas boscosos y con este programa se pretende levantar, sistematizar y difundir el conocimiento de los PFNM que se asocian a ecosistemas boscosos de Chile, así como su uso, manejo y aprovechamiento por comunidades rurales.

El presente trabajo propone investigar la diversidad actual de PFNM asociados a los bosques de ñirre de la zona sur austral de Chile, en base al conocimiento empírico y al uso de las comunidades.

METODOLOGIA

Área de Estudio

El presente trabajo se realizó en la comuna de Coyhaique, región de Aysén. Se seleccionó un territorio que comprende las comunidades de Villa Ortega, El Richard, Arroyo El Gato y Rodeo Los Palos (Figura 1). Estas zonas se caracterizan por presentar un clima de estepa fría de vertiente oriental de los Andes Patagónicos o Transandinos y está protegida por el cordón montañoso de la cordillera, la que permite una disminución notable de las precipitaciones en comparación con el sector de archipiélagos (clima oceánico) que se encuentran en la misma latitud.

Se tomaron registros de las variables climáticas imperantes, obtenidos desde la estación meteorológica permanente más cercana al territorio estudiado. Las variables registradas por los equipos meteorológicos fueron la temperatura media del aire (Figura 2), precipitaciones, temperatura del suelo y radiación solar (Figura 3). De acuerdo a la clasificación de Köppen, el clima de la región de Aysén corresponde a Trasandino con Degradación Esteparia y se caracteriza por precipitaciones medias de 1.200 mm (IREN-CORFO, 1979) con un periodo corto de escasez de precipitación entre enero y febrero, y ocurrencia de vientos intensos que fluctúan entre 37 y 56 km/h, con ráfagas de 60 - 80 km/h en época de primavera.

La temperatura muestra una marcada tendencia a medias mensuales inferiores a 10 °C gran parte del año. Durante los períodos de evaluación de ensayos, la temperatura media anual del año 2018 fue de 5,9 °C. Las temperaturas mínimas se presentaron en los meses de junio y julio con promedios de -0,5 y -0,4 °C, respectivamente. Si bien la temperatura podría generar una disminución de la temperatura del bosque por convección, la estructura del bosque y del suelo permite la mantención de estas un poco más altas y permitir el desarrollo y crecimiento normal para las especies adaptadas a estas condiciones del ambiente. En términos de precipitaciones, el mes de septiembre presentó los valores más altos de precipitación acumulada con valores de 106 mm, mientras que diciembre fue el mes que presentó menor precipitación acumulada de la temporada, con solo 13,1 mm/año. La precipitación acumulada anual fue de 707 mm.

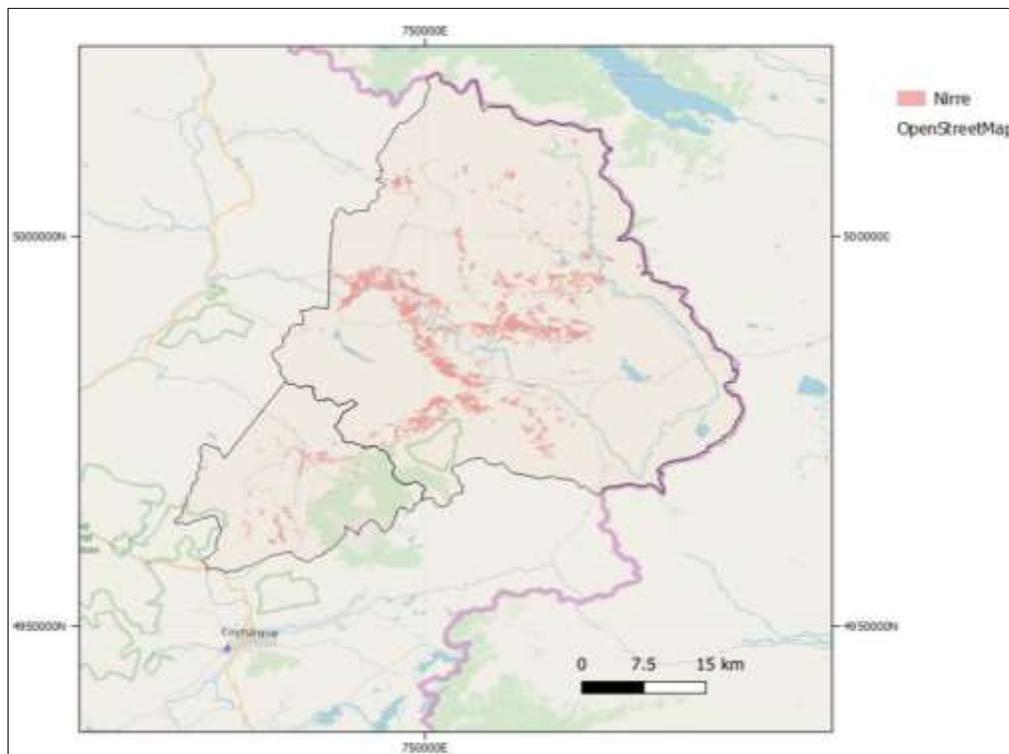
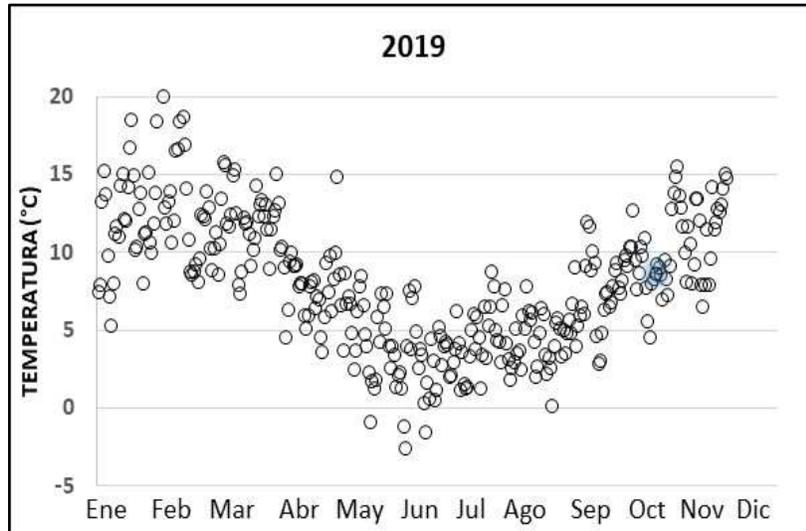
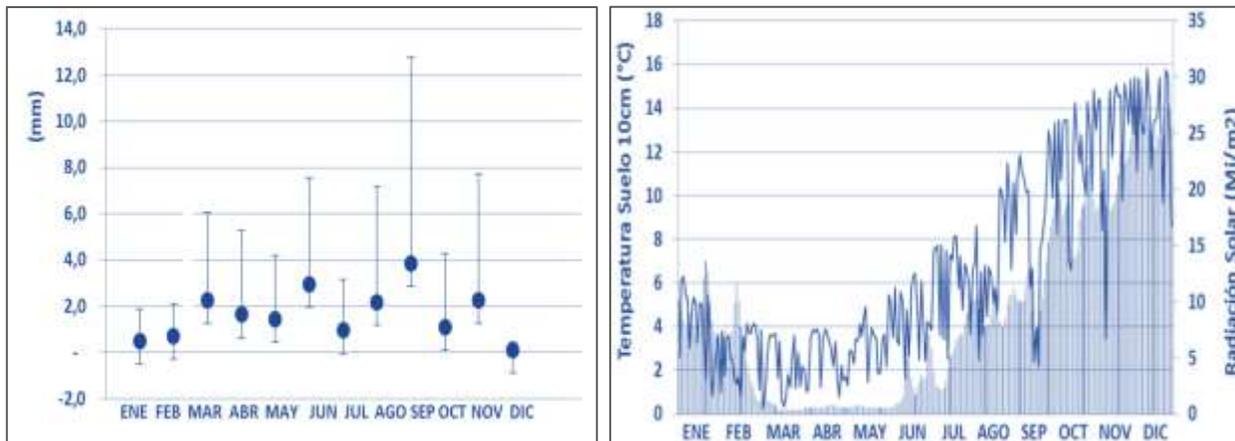


Figura 1. Distribución de los Bosques de Ñirre en Sitio de Estudio



(Fuente: Estación Meteorológica El Claro. Elaboración propia desde <http://agromet.inia.cl>).

Figura 2. Temperaturas del Aire en Temporada 2019



(Fuente: elaboración propia desde <http://agromet.nia.cl>)

Figura 3. Precipitación Anual, Temperatura del Suelo (10 cm) y Radiación Solar Durante la Temporada 2018, Estación Meteorológica El Claro

Finalmente, se presenta un gráfico sobre el Índice de Oscilación del Sur (SOI), que da una indicación del desarrollo y la intensidad de los eventos de El Niño o La Niña en el Océano Pacífico. El SOI se calcula utilizando las diferencias de presión entre Tahití y Darwin.

Los valores negativos sostenidos del SOI inferiores a -7 a menudo indican episodios de El Niño. Estos valores negativos generalmente van acompañados de un calentamiento sostenido del Océano Pacífico, una disminución de la fuerza de los vientos alisios del Pacífico y una reducción de las lluvias de invierno y primavera.

Los valores positivos sostenidos de SOI superiores a $+7$ son típicos de un episodio de La Niña y están asociados con vientos alisios más fuertes del Pacífico y temperaturas más cálidas del mar.



(Fuente: Oficina De Meteorología De Australia
<http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml>).

Figura 4. Índice de Oscilación del Sur (SOI) en los Últimos 66 Años

Levantamiento de Información

Se revisó y recopiló información disponible de los PFSM identificados, de acuerdo a un formato estándar, la información básica sobre los productos y recursos, así como valor económico. Lo anterior, generando herramientas de divulgación y preservación del bosque nativo con la comunidad en las poblaciones cercanas a los puntos de colecta y los pequeños empresarios interesados en el rubro.

El objetivo es proporcionar una categorización de los PFSM identificados en el ñirral, con recopilación de información en fuentes primarias, secundarias y terciarias. Se recopiló la información de las especies en biblioteca, páginas WEB y comunicaciones personales.

Luego se analizó la información en tres aspectos, localización, discriminación y selección entre todas las fuentes recopiladas, y la información útil respecto de lo que se desea incluir en la cartilla divulgativa.

Se caracterizó el sitio donde se colectó la información a través de visitas y muestreos de las características. El sitio de estudio abarcó un área vegetacional de la ecorregión andino boreal, expresándose en tres tipos fisionómicos.

Al Oeste, se presenta el bosque caducifolio, al Este se define una vegetación altamente homogénea de estepas con gramíneas en mechón o coirones (*Festuca spp.* y *Stipa spp.*), y en la posición intermedia se ubica el bosque de y matorrales, con una fuerte penetración de elementos florísticos de los bosques andino patagónicos.

RESULTADOS

Caracterización de la Especie Ñirre

El ñirre es un árbol nativo de Chile y Argentina, es una especie monoica que se presenta como arbolito pequeño o arbusto achaparrado, aunque generalmente alcanza los 10 m de altura (Figura 5). Sin embargo, en condiciones óptimas de sitio puede alcanzar los 15 m y fustes de 60 cm de diámetro (Rodríguez *et al.* 1983; Donoso, 1974).

Diferentes morfotipos han sido identificados para la especie en Chile y diferentes ecotipos han sido sugeridos dentro del parque Nacional Nahuel Huapi en el noreste de la Patagonia Argentina en donde ñirre crece en cuatro tipos de hábitats, presentando distintas características arquitectónicas para su crecimiento individual en contraste con cada entorno físico (Steinke *et al.*, 2008).

Taxonómicamente presenta la siguiente clasificación:

Reino	: <i>Plantae</i>
División	: <i>Magnoliophyta</i>
Clase	: <i>Magnoliopsida</i>
Sub-clase	: <i>Hammamelidae</i>
Orden	: <i>Fagales</i>
Familia	: <i>Fagaceae</i>
Género	: <i>Nothofagus</i>
Especie	: <i>Nothofagus antarctica</i>
Nombre común	: Ñire, ñirre o haya antártica



Figura 5. Individuo de Ñirre con Presencia de *Misodendrum* sp.

Descripción Fenotípica

Esta especie exhibe polimorfismo intraespecífico, el cual se ha asociado a una adaptación de la especie a los diferentes biotopos, modificando su cuerpo vegetativo y adoptando distintas formas de vida (Donoso, 2006). Según Romero (1986) estos ecotipos podrían ser resultado de presiones de selección relativamente recientes tendientes a la especiación. Es considerada la especie de *Nothofagus* de Sudamérica con mayor variación morfológica y de mayor tolerancia ecológica (Ramírez *et al.*, 1985). En Chile se distinguen tres morfotipos distintos del ñirre, el primero arbóreo en condiciones óptimas, uno arbustivo achaparrado (Krummholz) en terrenos pedregosos o clima riguroso y un último como arbustivo caméfito de turbera (Ramírez *et al.*, 1985).

De tal forma que en hábitats más favorables, protegidos del viento, con mayor humedad y suelos bien drenados y fértiles, alcanza porte arbóreo y puede dar lugar a formaciones puras (Navarro Cerrillo *et al.*, 2008), sin embargo, también muestra un buen desempeño en suelos anegados, como señala Donoso (1987), en ñadis del llano central el ñirre puede crecer en condiciones óptimas. En Patagonia, el ñirre domina las tierras bajas, zonas de valle y aquellos terrenos que han sido perturbados por incendios o ganado (Armesto *et al.*, 1992).

Ramírez *et al.* (1985) también señalan que la capacidad, o plasticidad, que tiene esta especie de colonizar sitios pobres es explicada, en gran parte, por la poca capacidad de competencia del ñirre, por lo que, en mejores sitios, en donde se podría desarrollar en forma óptima, es usualmente desplazada por otras especies. Es por esto que, si bien se desarrolla en sitios extremos (pedregosos, suelos pobres, etc.), presenta una pérdida de vitalidad y capacidad de reproducción sexual dando lugar a la reproducción vegetativa como forma más común de regeneración (Mc Queen, 1977). Observaciones realizadas en terreno sugieren que en sitios donde ñirre coexiste simpátricamente con lenga se habrían

detectado individuos con morfología foliar intermedia entre ambas especies, estos serían posibles híbridos que se formarían en áreas donde se sobreponen los rangos de distribución de ambas especies (Donoso, 2006).

La corteza es de color gris, rugoso, áspero y muy agrietado longitudinalmente en forma irregular. Es una especie multiramificada, con hojas deciduas al igual que roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.) y lenga (Mc Queen, 1977). Sus flores son pequeñas y unisexuales. (Dimitri y Milano 1950 cit. por Burns *et al.*, 2010; Domínguez Díaz, 2012). Presenta hojas pequeñas (0,6 a 3,5 cm de largo), aovado-redondeadas a oblongas, con base acorazonada; bordes finamente dentados, lobulados y ondulados. Presenta flores femeninas y masculinas y frutos formados por tres pequeñas nueces, de las cuales dos son triangulares, las que rodean a una plana que se sitúa en el centro (Hoffmann, 1997).

Entre los meses de abril y mayo el ñirre comienza a manifestar cambios de coloración de las hojas producto del receso invernal. Dependiendo de diversos factores (altitud, régimen hídrico, heladas, viento entre otros) la coloración comienza antes en algunas zonas geográficas. Por lo general en sitios de mayor altitud y menor temperatura promedio, el comienzo de la coloración y posterior caída de hojas se adelanta. Se distinguen cuatro colores en la etapa de coloración en ñirre; el color correspondiente a todo el periodo vegetativo es verde, cambiando a color rojizo, anaranjado y amarillo.

Recopilación de Información de Terreno

Se recogió información de fuentes primarias y secundarias (Figura 6). En base a fuentes primarias se visitaron los territorios vinculados con los bosques de ñirre y se aplicaron entrevistas personales y talleres con la comunidad.



Figura 6. Rescate de Información en Comunidad de Villa Ortega y Comunidad Indígena Saihueque

Las acciones para conocer los PFNM que más valoran las comunidades tuvieron un enfoque participativo, el cual permitió validar los resultados con las comunidades locales, realizar adecuaciones e incorporar sus observaciones.

Al consultar a las comunidades de recolectores sobre los PFNM que son recolectados, un número apreciable de ellos mencionó las hierbas medicinales, su recolección, usos y utilización en medicina casera. Sin duda esta información entregada es relevante y parte de la sabiduría acumulada de las recolectoras.

Listado de PFNM en Bosques de Ñirre

Se logró cuantificar 74 especies de uso no maderero en los bosques de ñirre (Cuadro 1), muchas de ellas con más de un uso no maderero. De estas, 40 especies son de uso medicinal, 36 comestibles, 16 ornamental y 8 tintóreas. Del total un 63% son especies nativas, un 35% exóticas y un 2% cosmopolitas. Las principales familias fueron *Asteraceae* y *Rosaceae* con 17 y 9 especies, respectivamente.

Cuadro 1. Catastro de Especies de los Bosques de Ñirre y Uso No Maderero

Uso No Maderero	Nombre Científico	Nombre Común	Familia	Origen	Estructura Utilizada
Comestible	<i>Nothofagus antarctica</i> (G. Forst.) Oerst.	Ñirre	<i>Nothofagaceae</i>	Nativa	Flores, hojas
	<i>Artemisia absinthium</i> L.	Ajenjo	<i>Asteraceae</i>	Exótica	Flores, hojas
	<i>Trifolium pratense</i> L.	Trébol rosado	<i>Fabaceae</i>	Exótica	Hojas, semillas
	<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton	Alfilerillo	<i>Geraniaceae</i>	Exótica	Hojas
	<i>Alstroemeria aurea</i> Graham	Amancay	<i>Alstromeriaceae</i>	Nativa	Flores, raíz
	<i>Osmorhiza chilensis</i> Hook & Arn.	Perejil del monte	<i>Apiaceae</i>	Nativa	Hojas, raíz
	<i>Berberis microphylla</i> G. Forst.	Calafate	<i>Berberidaceae</i>	Nativa	Frutos
	<i>Berberis darwinii</i> Hook	Michay	<i>Berberidaceae</i>	Nativa	Frutos
	<i>Chusquea culeou</i> Desv.	Coligüe	<i>Poaceae</i>	Nativa	Brotes, semillas
	<i>Stellaria media</i> (L.) Cirillo var. <i>media</i>	Hierba pajarera	<i>Cariofilaceae</i>	Exótica	Flores, hojas, tallos
	<i>Carduus thoermeri</i> Weinm	Cardo	<i>Asteraceae</i>	Exótica	Tallos
	<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	Cardo negro	<i>Asteraceae</i>	Exótica	Flores, hojas, tallos, raíz
	<i>Gaultheria mucronata</i> (L. f.) Hook. & Arn.	Chaura	<i>Ericaceae</i>	Nativa	Frutos
	<i>Gaultheria pumila</i> (L. f.) D.J.	Chaura	<i>Ericaceae</i>	Nativa	Frutos
	<i>Sanicula graveolens</i> Poepp. ex DC.	Cilantro silvestre	<i>Apiaceae</i>	Nativa	Frutos, hojas
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber ex F.H. Wigg.	Diente de león	<i>Asteraceae</i>	Exótica	Flores, hojas, tallos, raíz
	<i>Fragaria chiloensis</i> (L.) Duch	Fruilla silvestre	<i>Rosaceae</i>	Nativa	Frutos, hojas
	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	Hierba de chancho	<i>Asteraceae</i>	Exótica	Frutos, hojas
	<i>Prunella vulgaris</i> L.	Hierba mora	<i>Lamiaceae</i>	Exótica	Hojas, tallos
	<i>Rumex crispus</i> L.	Lengua de vaca	<i>Poligonaceae</i>	Exótica	Hojas, raíz
	<i>Plantago major</i> L.	Llantén	<i>Plantaginaceae</i>	Exótica	Hojas
	<i>Plantago lanceolata</i> L.	Siete venas	<i>Plantaginaceae</i>	Exótica	Hojas
	<i>Cyttaria darwini</i> Berkeley	LLao llao	<i>Citariaceae</i>	Nativa	Cuerpo fructífero
	<i>Cyttaria harioti</i> Fischer	LLao llao	<i>Citariaceae</i>	Nativa	Cuerpo fructífero
	<i>Arjona tuberosa</i> Cav.	Macachín	<i>Schoepfiaceae</i>	Nativa	Tubérculos
	<i>Madia sativa</i> Mol.	Melosa	<i>Asteraceae</i>	Nativa	Semillas
	<i>Achillea millefolium</i> L.	Milenrama	<i>Asteraceae</i>	Exótica	Flores, hojas
	<i>Ribes magellanicum</i> Poir.	Parrilla	<i>Grosulariaceae</i>	Nativa	Frutos, hojas, tallos, raíz
	<i>Ribes cucullatum</i> Hook. & Arn.	Parrillita	<i>Grosulariaceae</i>	Nativa	Corteza, frutos, hojas
	<i>Galium aparine</i> L.	Lengua de gato	<i>Rubiaceae</i>	Exótica	Brotes, semillas
	<i>Rosa canina</i> L.	Rosa mosqueta	<i>Rosaceae</i>	Exótica	Flores, frutos
	<i>Rosa rubiginosa</i> L.	Rosa mosqueta	<i>Rosaceae</i>	Exótica	Flores, frutos
	<i>Verbascum thapsus</i> L.	Paño	<i>Escrofulariaceae</i>	Exótica	Flores, frutos
	<i>Trifolium repens</i> L.	Trébol blanco	<i>Fabaceae</i>	Exótica	Flor, hojas, raíz, semillas
	<i>Rumex acetosella</i> L.	Vinagrillo	<i>Poligonaceae</i>	Exótica	Hojas, raíz, semillas
	<i>Morchella</i> sp.	Morchela	<i>Morchellaceae</i>	Cosmopolita	Cuerpo fructífero
<i>Lepus europaeus</i>	Liebre	<i>Leporidae</i>	Exótica	Todo cuerpo	
<i>Sus scrofa</i> L.	Jabalí	<i>Suidae</i>	Exótica	Todo cuerpo	
<i>Phasianus colchicus</i> L.	Faisán	<i>Phasianidae</i>	Exótica	Todo cuerpo	
<i>Cervus elaphus</i> L.	Ciervo rojo	<i>Cervidae</i>	Exótica	Todo cuerpo	

	<i>Artemisia absinthium</i> L.	Ajenjo	Asteraceae	Exótica	Flores, hojas
	<i>Colletia hystrix</i> Clos	Llaqui	Ramnaceae	Nativa	Ramas
	<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton	Alfilerillo	Geraniaceae	Exótica	Flores, hojas
	<i>Alstroemeria aurea</i> Graham	Amancay	Alstromeriaceae	Nativa	Flores, raíz
	<i>Protousnea</i> sp.	Barba de viejo	Usneaceae	Nativa	Planta
	<i>Usnea</i> sp.	Barba de viejo	Usneaceae	Nativa	Planta
	<i>Acaena splendens</i> Gillies ex Hook & Arn.	Cepa caballo	Rosaceae	Nativa	Planta
	<i>Discaria chacaye</i> (G. Don) Tortosa	Chacay	Ramnaceae	Nativa	Corteza
	<i>Phacelia secunda</i> J.F. Gmel.	Champa de oro	Borraginaceae	Nativa	Hojas
	<i>Escallonia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Chapel	Escaloniaceae	Nativa	Planta
	<i>Sanicula graveolens</i> Poepp. ex DC.	Cilantro silvestre	Apiaceae	Nativa	Frutos
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber ex F.H. Wigg.	Diente de león	Asteraceae	Exótica	flores, hojas, raíz, tallos
	<i>Fragaria chilensis</i> (L) Duch	Frutilla silvestre	Rosaceae	Nativa	Hojas, raíz
	<i>Geranium sessiliflorum</i> Cav.	Geranio	Geraniaceae	Nativa	Planta
	<i>Rumex crispus</i> L.	Lengua de vaca	Poligonaceae	Exótica	Hojas, raíz
	<i>Equisetum bogotense</i> Kunth	Limpia plata	Equisetaceae	Nativa	Planta
	<i>Plantago major</i> L.	Llantén	Plantaginaceae	Exótica	Hojas, semillas
	<i>Plantago lanceolata</i> L.	Siete venas	Plantaginaceae	Exótica	Hojas, semillas
	<i>Cyttaria harioti</i> Fischer	LLao llao	Citariaceae	Nativa	Cuerpo fructífero
	<i>Matricaria recutita</i> L.	Manzanilla	Asteraceae	Exótica	Flores
	<i>Madia sativa</i> Mol.	Melosa	Asteraceae	Nativa	Planta
	<i>Achillea millefolium</i> L.	Milenrama	Asteraceae	Exótica	Flores, hojas
	<i>Mutisia decurrens</i> Cav.	Clavel del campo	Asteraceae	Nativa	Raíz
	<i>Mutisia spinosa</i> Ruiz & Pav.	Reina mora	Asteraceae	Nativa	Raíz
	<i>Mulinum spinosum</i> (Cav.) Pers.	Neneo	Apiaceae	Nativa	Raíz
	<i>Fabiana imbricata</i> Ruiz & Pav.	Palo de piche	Solanaceae	Nativa	Corteza, hojas, raíz
	<i>Buddleja globosa</i> Hope	Matico	Budlejaceae	Nativa	Hojas
	<i>Ribes magellanicum</i> Poir.	Parrilla	Grosulariaceae	Nativa	Hojas, raíz, tallos
	<i>Ribes cucullatum</i> Hook. & Arn.	Parrillita	Grosulariaceae	Nativa	Corteza, hojas
	<i>Galium aparine</i> L.	Lengua de gato	Rubiaceae	Exótica	Planta
	<i>Euphorbia collina</i> Phil. var. collina	Pichoga	Euforbiaceae	Nativa	Hojas, tallos
	<i>Acaena pinnatifida</i> Ruiz & Pav.	Pimpinela	Rosaceae	Nativa	Hojas
	<i>Quinchimalium chilense</i> Mol.	Quinchimalí	Schoepfiaceae	Nativa	Planta
	<i>Rosa canina</i> L.	Rosa mosqueta	Rosaceae	Exótica	Flores, frutos
	<i>Rosa rubiginosa</i> L.	Rosa mosqueta	Rosaceae	Exótica	Flores, frutos
	<i>Armeria maritima</i> (Mill.) Willd.	Siempreviva	Plumbaginaceae	Nativa	Planta
	<i>Calceolaria polycolorata</i> Cav	Capachito	Calceolariaceae	Nativa	Hojas
	<i>Calceolaria biflora</i> Lam.	Capachito	Calceolariaceae	Nativa	Hojas
	<i>Trifolium repens</i> L.	Trébol blanco	Fabaceae	Exótica	Planta
	<i>Rumex acetosella</i> L.	Vinagrillo	Poligonaceae	Exótica	Hojas, tallos, raíz
	<i>Alstroemeria aurea</i> Graham	Amancay	Alstromeriaceae	Nativa	Flores, raíz
	<i>Acaena ovalifolia</i> Ruiz & Pav.	Cadillo	Rosaceae	Nativa	Planta
	<i>Senecio filaginoides</i> DC.	Mata mora	Asteraceae	Nativa	Planta
	<i>Cystopteris fragilis</i> (L.) Bernh.	Helecho	Dryopteridaceae	Nativa	Planta
	<i>Rumohra adiantiformis</i> (G. Forst.) Ching	Helecho principal	Dryopteridaceae	Nativa	Planta
	<i>Mutisia decurrens</i> Cav.	Clavel del campo	Asteraceae	Nativa	Planta
	<i>Mutisia spinosa</i> Ruiz & Pav.	Reina mora	Asteraceae	Nativa	Planta
	<i>Myosotis scorpioides</i> L.	Nomeolvides	Boraginaceae	Exótica	Planta
	<i>Chloraea magellanica</i> Hook. F.	Orquídea	Orquidaceae	Nativa	Planta
	<i>Armeria maritima</i> (Mill.) Willd.	Siempreviva	Plumbaginaceae	Nativa	Planta
	<i>Vicia nigricans</i> Hook. & Arn	Vicia	Fabaceae	Nativa	Planta
	<i>Viola maculata</i> Cav. var. maculata	Violeta de campo	Violaceae	Nativa	Planta
	<i>Calceolaria filicaulis</i> Clos ssp. filicaulis	Capachito	Escrofulariaceae	Nativa	Planta
	<i>Berberis microphylla</i> G. Forst.	Calafate	Berberidaceae	Nativa	Frutos, raíz
	<i>Blechnum penna-marina</i> (Poir.) Kuhn	Punque	Blechnaceae	Cosmopolita	Planta
	<i>Anemone multifida</i> Poir.	Anémón	Ranunculaceae	Nativa	Flores
	<i>Nothofagus antarctica</i> (G. Forst.) Oerst.	Ñirre	Nothofagaceae	Nativa	Corteza, hojas
	<i>Berberis darwinii</i> Hook	Michay	Berberidaceae	Nativa	Frutos, raíz
	<i>Galium hypocarpium</i> (L.) Endl. ex Griseb	Coral	Rubiaceae	Nativa	Raíz
	<i>Schinus patagonicus</i> (Phil.)	Laura	Anacardiaceae	Nativa	Corteza
	<i>Rumex crispus</i> L.	Lengua de vaca	Poligonaceae	Exótica	Hojas
	<i>Fabiana imbricata</i> Ruiz & Pav.	Palo de piche	Solanaceae	Nativa	Hojas, tallos
	<i>Buddleja globosa</i> Hope	Matico	Budlejaceae	Nativa	Hojas
	<i>Rumex acetosella</i> L.	Vinagrillo	Poligonaceae	Exótica	Hojas, tallo, raíz

(Información obtenida de muestreo en terreno, complementada desde Hansen et al., 2013)

Priorización de PFNM del Bosque de Ñirre Realizada por las Comunidades

Para el ejercicio de priorización de los PFNM que tienen una mayor importancia y cuidado en el medio, se definió un listado de todos los más nombrados en cada reunión. En reunión siguiente las recolectoras se dividieron en dos grupos y con un paleógrafo realizaron un mapeo donde revisaron ubicación de los PFNM en sus respectivos sectores, finalmente se llegó a un consenso general para definir los 3 PFNM de mayor importancia en los bosques de ñirre de su territorio; morchella, frutilla silvestre y calafate. El enfoque participativo permitió así validar los resultados con las comunidades locales.

Nombre Común	Nombre Científico	Ilustraciones
Morchella, morrilla	<i>Morchella spp.</i>	
Frutilla silvestre	<i>Fragaria chiloensis</i>	
Calafate	<i>Berberis microphylla</i>	

(Ilustraciones Catalina Mekis)

A continuación, se presenta un resumen de información entregada por las recolectoras entrevistadas, donde exponen el uso de algunas especies de los bosques de ñirre.



Pichapali o quinchamalí (*Quinchamalium chilense*)

“Es como el omeprazol, sirve para recubrir y proteger el estómago”.

Cadillo (*Acaena splendens*)

“La ocupan para los riñones. También se utiliza para el pulmón, cuando los niños tienen neumonía y están muy congestionados”.



Chacay (*Discaria* spp.)

“La raíz del chacay tiene una espina grande igual que el calafate, pero más verde, tiene una hoja amarillenta y no da fruto”.

Romasa (*Rumex conglomeratus*)

“Se toma en ayunas, con azúcar quemada, para el hígado y la vesícula”.





Digüehne (*Cyttaria* sp.)

"Tiempo atrás era muy común encontrarlo en los árboles de lenga y ñirre, se comía como ensalada o solo con sal, ahora no es muy consumido ya que no crece mucho".

Sanguinaria (*Sanguinaria canadensis*)

"Se utilizada para la sangre".



Sauco (*Sambucus nigra*)

"Se toma para aliviar la tos y su fruto es usado para hacer mermelada y licor".

Mutilla o chaura (*Gaultheria mucronata*)

"Fruto es dulce, la utilizan para hacer mermelada, tiene un sabor como el sauco".





Ortiga (*Urtica sp.*)

“El agua de ortiga sirve para la diabetes, para los riñones y para la tos”.

Calafate (*Berberis microphylla*)

“Tienen propiedades para la diabetes. Las productoras comentan que el calafate se está extinguiendo, por la falta de agua”.



CONCLUSIONES

Los bosques de ñirre tienen importancia desde el punto de vista ambiental, social, ecológico y económico para las comunidades rurales de la región de Aysén, ya que de estos bosques se extrae una serie de bienes y servicios que son relevantes para las personas y comunidades que habitan cercanos a ellos. Desde el punto de vista de la dinámica forestal, el ñirre es una especie rústica y resiliente, que se ha desarrollado y ha sobrevivido en escenarios de constantes disturbios naturales y antrópicos, que otras especies tal vez no podrían soportar.

Este trabajo permitió identificar alrededor de 70 especies vegetales y animales de uso no maderero presentes en los bosques de ñirre, con más de 100 diferentes usos para las personas, entre los que destacan usos medicinales, comestibles, tintóreos y ornamentales. Estas especies son recolectadas por recolectores, principalmente mujeres, para consumo personal o comercialización.

Los PFSM en Chile han cobrado una gran importancia en el último tiempo, algunos son considerados como alimentos estrellas, como el calafate y el hongo comestible morchella. Ambos presentes en los bosques de ñirre en los meses de enero y octubre, respectivamente. Existen una proporción alta de especies de la familia *Asteráceae* que son utilizados para fines medicinales, entre ellas: la manzanilla, la melosa, la milenrama y el clavel del campo.

La especie principal de este tipo de bosques es el ñirre, especie con altos niveles de antioxidantes y que cuenta con múltiples usos no madereros, tales como partes vegetales de uso tintóreo, hojas y flores utilizadas para fabricación de licores, aceites esenciales y sumos para preparaciones gastronómicas.

La mujer dentro de la recolección de PFSM en los bosques de ñirre es protagonista. Más del 80% de personas que recolectan estos productos son mujeres, que conocen el oficio y aplican técnicas de recolección sustentable de forma de no dañar el ecosistema que provee estos recursos. Por lo anterior, es necesario identificar o empadronar a estas recolectoras, con el fin de evitar la acción de personas que vienen de otras regiones, dejan los predios contaminados y recolectan de forma no sustentable desconociendo la sabiduría tradicional de las recolectoras locales.

RECONOCIMIENTOS

INFOR y los autores de esta publicación agradecen al Ministerio de Agricultura de Chile por el apoyo financiero que permiten la investigación de mediano y largo plazo en temas ligados a los PFSM. También agradecen la participación y la entrega de valiosa información por parte de las comunidades de recolectores que permitieron generar este documento.

REFERENCIAS

- Armesto, J.J., Casassa, I. & Dollenz, O. (1992). Age structure and dynamics of Patagonian Beech forests in Torres del Paine National Park, Chile. *Vegetation*, 98 Pp: 13-22. <https://doi.org/10.1007/BF00031633>.
- Burns, S.L., Cellini, J.M., Lencinas, M.V., Martínez Pastur, G.J. & Ruvera, S.M. (2010). Descripción de posibles híbridos naturales entre *Nothofagus pumilio* y *Nothofagus antarctica* en Patagonia Sur (Argentina). *Bosque*, 31(1): 9-16. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000100002>.
- CONAF. (2012). Actualización del Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos. Región de Aysén.
- Domínguez Díaz, E. (2012). Flora Nativa Torres del Paine. En: Domínguez Díaz, E. Flora Nativa Torres del Paine. Santiago: Ocho Libros Editores. Pp: 176-177.
- Donoso, C. (1974). Manual de Identificación de Especies Leñosas del Bosque Húmedo de Chile, CONAF, Santiago, 168 p.
- Donoso, C. (1987). Variación natural en especies de *Nothofagus* en Chile. *Bosque*, 8(2): 85-97. <https://doi.org/10.4206/bosque.1987.v8n2-03>.
- Donoso, C. (2006). Las Especies arbóreas de los Bosques Templados de Chile y Argentina. Autoecología. Marisa Cúneo Ediciones, Valdivia, Chile. 678 p.
- FAO. (2003). ¿Qué son los PFSM? Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/6388/es/>. Consulta: 15 marzo, 2008.
- Hansen, N., Codesal, P., Quinteros, P. & Gallardo, C. (2013). Especies del sotobosque en ambientes de Ñirre en Chubut. Ediciones INTA /EEA Esquel. Buenos Aires. 120 p.
- Hoffmann, A. (1997). Flora silvestre de Chile, Zona Araucana: Árboles, arbustos y enredaderas leñosas. Ediciones Fundación Claudio Gay, Santiago, Chile. 258 p.
- IREN-CORFO. (1979). Perspectivas de desarrollo de los recursos de la región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Caracterización climática. 94 p.
- Martínez, R. (2005). Elementos conceptuales que apoyan las decisiones sobre el fomento de productos forestales no maderables. 2 p.
- Mc Queen, D.R. (1977). The ecology of *Nothofagus* and associated vegetation in South America. *Tuatara*, 22. Pp: 38-68.
- Navarro Cerrillo, R.M., Rosenfeld, M., Pérez-Aranda, J., Padrón, E., Guzmán, J.R., Hernández Clemente, R. et al. (2008). Evaluación de la mortalidad de bosques de ñirre (*Nothofagus antarctica*) en la Patagonia chilena mediante imágenes Landsat TM y ETM+. *Bosque*, 29(1): 65-73. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002008000100008>.
- Ramírez, C., Correa, M., Figueroa, H. & San Martín, J. (1985). Variación del hábito y hábitats de *Nothofagus antarctica* en el centrosur de Chile. *Bosque*, 6. Pp: 55-73. <https://doi.org/10.4206/bosque.1985.v6n2-01>.
- Rodríguez, R., Mathei, O. & Quezada, M. (1983). Flora Arbórea de Chile. Editorial Universitaria. Concepción, Chile. 408 p.
- Romero, E.J. (1986). Fossil Evidence Regarding the Evolution of *Nothofagus Blume*. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 73. Pp: 276-283. <https://doi.org/10.2307/2399113>.
- Salinas, J., Acuña, B., Uribe, A. & Koch, L. (2015). Estudio de Regeneración Natural en Bosques de *Nothofagus antarctica* (Forster) Oerst. (Ñirre) Bajo Pastoreo Doméstico en la Región de Aysén. Instituto Forestal, Ministerio de Agricultura. Coyhaique, Chile. 50 p.
- Salinas, J., Peri, P.L., Hepp, C. & Acuña, B. (2017). Sistemas Silvopastorales en Bosques de Ñirre (*Nothofagus antarctica* (G.Forst.) Oerst.) de la Región de Aysén. INFOR. Documento de Divulgación N° 43. 60 p.
- Salinas, J., Moya, I. & Gómez, C. (2018). Morchela (*Morchella* spp.) El Hongo de los Bosques Norpatagónicos de la Región de Aysén. Instituto Forestal, Chile. Documento de Divulgación N° 45. 25 p. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/28229>.
- Steinke, L., Premoli, A., Souto, C. & Hedrén, M. (2008). Adaptive and neutral variation of the resprouter *Nothofagus antarctica* growing in distinct habitats in north-western Patagonia. *Silva Fennica*, 42. Pp: 177-188. <https://doi.org/10.14214/sf.251>.



APUNTE

Bosques y Biodiversidad

Ipinza, Roberto ^{1*}; Barros, Santiago ², de la Maza, Carmen Luz ³; Jofré, Paola ⁴ y González, Jorge ⁵

¹ Ingeniero Forestal, Universidad de Chile, Doctor Ingeniero de Montes de ETSI de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, España. Investigador Instituto Forestal, Sede Valdivia, Chile, roberto.ipinza@infor.cl

² Ingeniero Forestal, Universidad de Chile, Instituto Forestal, Gerencia de Investigación, Sede Metropolitana, Santiago

³ Ingeniera Forestal, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Santiago.

⁴ Ingeniera Forestal, Universidad Austral de Chile, Dra. Ciencias Forestales, Consultora, Canadá.

⁵ Ingeniero en Biotecnología Vegetal. Investigador Instituto Forestal. Sede Bio Bio. Concepción.

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.475>

Recibido: 15.03.21; Aceptado: 20.04.21

RESUMEN

Chile ha experimentado un cambio de la cubierta forestal desde los tiempos de la Colonia, debido a los cambios de uso de los suelos de bosques nativos a agricultura y ganadería, y a incendios forestales, miles de toneladas de suelos se han perdido por erosión como consecuencia de esto además de una importante pérdida de la diversidad biológica. Se discute y analiza el concepto de biodiversidad como una cadena que considera como base la diversidad genética, luego la diversidad de especies y por último la diversidad de ecosistemas. Chile está inmerso en una serie de tratados internacionales, no obstante, en la actualidad el mayor guardián del patrimonio de la diversidad biológica es el Ministerio de Agricultura a través Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado administrado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Se analiza cuáles son las fuerzas que hacen disminuir la biodiversidad, y desde el punto de vista de esta se revisa la importancia de los bosques plantados comparando esto con el estado de erosión y degradación en que se encontraban los suelos después de ser abandonados por la agricultura y ganadería, y posteriormente ser plantados. Se pone en relieve otra fuerza, quizás la de mayor destrucción sobre la biodiversidad y sobre la vida en la tierra, "El Cambio Climático". Se analizan bajo este escenario los esfuerzos internacionales y de Chile para mitigar los impactos negativos sobre los bosques, cobijo de la biodiversidad, sumidero de carbono y almacén de agua, y cómo se puede incorporar la biodiversidad en los planes de adaptación al cambio climático. Ante la creciente y sostenida demanda mundial por productos forestales madereros se analiza cómo se armoniza el manejo forestal con la protección de la biodiversidad. En este sentido, se presta especial atención a las certificaciones internacionales de Manejo Forestal Sustentable, y a la luz de la información internacional se realizan algunas recomendaciones de futuro para incrementar la biodiversidad en bosques plantados, en especial el ordenamiento forestal del territorio productivo. La normativa internacional para proteger la biodiversidad exige un proceso de monitoreo de esta, tanto a nivel de bosques naturales como bosques plantados. Se verifica el estado actual de las iniciativas para enfrentar las amenazas a la biodiversidad, en relación al nivel de cumplimiento de los acuerdos internacionales.

Palabras clave: Biodiversidad, Diversidad genética, Bosques nativos y plantados, Cambio climático

SUMMARY

Chile has experienced a change in forest cover since colonial times, due to changes in the use of land from native forests to agriculture and livestock, and to forest fires, thousands of tons of soils have been lost due to erosion as a result of this besides in addition to a significant loss of biological diversity. This article discusses and analyzes the concept of biodiversity as a chain that considers genetic diversity as its base, then species diversity and finally ecosystem diversity. Chile is immersed in a series of international treaties, however, at present the greatest guardian of the heritage of biological diversity is the Ministry of Agriculture through the National System of Protected Wild Areas of the State administered by the National Forestry Corporation (CONAF). The forces that make biodiversity decrease are analyzed. The importance of planted forests is analyzed from the point of view of biodiversity, comparing this with the state of erosion and degradation in which the soils are found after being abandoned by agriculture and livestock, and later being planted. Another force is brought to light, perhaps the one with the greatest destruction on biodiversity and on life on earth, "Climate Change". Under this scenario, Chile's and international efforts to mitigate negative impacts on forests, shelter for biodiversity, carbon sink and water store, and how biodiversity can be incorporated into climate change adaptation plans are analyzed under this scenario. Given the growing and sustained world demand for wood forest products, an analysis is made of how forest management is harmonized with the protection of biodiversity. Also in the light of international information, some future recommendations are made to increase biodiversity in planted forests, especially the forest management of the productive territory. International regulations to protect biodiversity require a process of monitoring it, both at the level of natural forests and planted forests. The current status of initiatives to face threats to biodiversity is verified, in relation to the level of compliance with international agreements.

Keywords: Biodiversity, Genetic diversity Native and planted forests, Climate change

INTRODUCCION

Contexto General

La biodiversidad, según Krebs (1978) y Magurran (1989), es un término dado por la contracción de las palabras **Diversidad + Biológica**¹⁸, se refiere a la naturaleza con toda su complejidad, es decir, a la enorme variedad de vida sobre la Tierra fruto de miles de millones de años de procesos naturales y, cada vez más, por la influencia del ser humano.

La biodiversidad o diversidad biológica suele usarse para englobar o referirse a todos los niveles en que esa diversidad se expresa, se estructura y convive. Abarca desde la variedad y combinaciones de genes que existe en una misma población, la interacción que existe entre los individuos de esa población con su hábitat, entre estos y poblaciones de otras especies y su entorno, intercaladas con otras comunidades que tienen gradientes en las condiciones climáticas y geográficas, y que juntas conforman un ecosistema.

En específico incluye, entre otros, los organismos terrestres, marinos y de otros ecosistemas acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte, lo que incluye diversidad dentro de las especies, entre especies y de ecosistemas.

La biodiversidad existe a diferentes niveles de organización interdependientes. En términos científicos se consideran tres niveles (Maris, 2010; Le Guyader, 2008):

- La diversidad genética (diversidad intra-específica) que se define por la variabilidad de genes en el seno de una misma especie, ya entre individuos como entre poblaciones. La diversidad genética en el seno de una misma especie es esencial para permitirle adaptarse a las modificaciones de su ambiente por las vías de la evolución.
- La diversidad específica (diversidad inter-específica), es la más conocida por su visibilidad. Corresponde a la diversidad de especies vivas, unidad de base para la sistemática, por su nombre, naturaleza y abundancia.
- La diversidad ecosistémica, que corresponde a la diversidad de los ecosistemas presentes sobre la Tierra, que forman parte de la biosfera. Este nivel de los ecosistemas se centra en la diversidad de las interacciones de las poblaciones naturales entre sí y con el medio-ambiente.

En su sentido más amplio, biodiversidad es casi sinónimo de “vida sobre la Tierra”. El término biodiversidad se acuñó en 1985 y se ha utilizado mucho en los años noventa, tanto en medios de comunicación como en los círculos científicos y de las administraciones públicas.

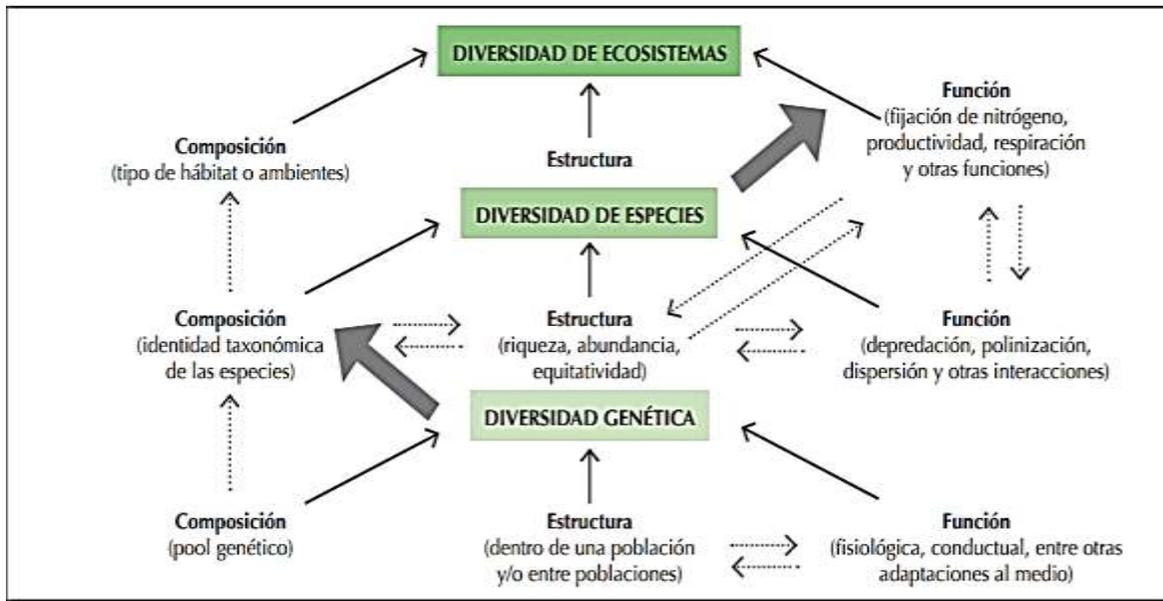
La diversidad biológica representa un tema central de la teoría ecológica y ha sido objeto de amplio debate (Magurran, 1989).

Actualmente, el significado y la importancia de la biodiversidad no están en duda y se ha desarrollado una gran cantidad de parámetros para medirla como un indicador del estado de los sistemas ecológicos, con aplicabilidad práctica para fines de conservación, manejo y monitoreo ambiental (Spellerberg, 1991).

En un esfuerzo de contextualizar el término biodiversidad, Rozzi, *et al.* (1994) establecen que para los bosques nativos de Chile la biodiversidad se caracteriza definiendo tres atributos: Composición (lista de elementos), estructura (patrón espacial) y función (procesos ecológicos y evolutivos), y cuatro niveles de organización: Genético, población-especie, comunidad-ecosistema y paisaje regional.

Lazo, *et al.* (2008), en una visión tradicional y más simplificada, dividen la biodiversidad en tres niveles: Genes, especies y ecosistemas, y esta se puede extender a cualquier escala o nivel de organización biológica. Estos autores muestran dicha relación en la Figura 1.

¹⁸ <https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad>



(Lazo, et al., 2008)

Figura N° 1. Representación de los Tres Niveles Clásicos de Biodiversidad y sus Relaciones Directas e Indirectas

Contexto Internacional

Existen numerosos tratados internacionales relacionados con la conservación del patrimonio natural de Chile, como la Convención para la Protección de la Flora y Fauna Washington (1940), Convenio sobre Zonas Húmedas-RAMSAR (1971), Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre-CITES (1973) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica-CDB (1992), entre otros (BIOFIN CHILE, 2017).

De acuerdo a la actualización de la Estrategia Nacional de Biodiversidad (ENB) 2017-2030 (MMA, 2018) hay cuatro compromisos claves:

- Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) y Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 y las Metas de Aichi.
- Objetivos de Desarrollo Sustentable, Agenda 2015 (ODS) vinculados a la ENB
- Evaluación de Desempeño Ambiental de la OCDE 2016
- Proyecto de Ley que Crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP)

El Convenio de Naciones Unidas sobre Conservación y Uso Sostenible de la Diversidad Biológica (CDB), firmado en Río de Janeiro en junio de 1992 y ratificado por Chile en el año 1994, es el producto de un largo proceso que se inicia en octubre de 1983, donde la Asamblea General de la ONU crea la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, del trabajo de esta comisión se elabora en 1997 el Informe Brundtland, base conceptual de la estrategia del desarrollo sostenible del CDB. Luego, en 2010, en el marco del CDB se instó a los países a actualizar sus Estrategias Nacionales de Biodiversidad (ENB) de acuerdo al Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 y las Metas de Aichi. Este plan estratégico propuso 20 metas mundiales, conocidas como Metas de Aichi, orientadas a detener la pérdida de diversidad biológica a nivel global y enfrentar, a través de acciones de política pública y privada, las causas subyacentes que provocan su pérdida y deterioro. En la actualidad todas estas metas son recogidas en la Estrategia Nacional de Biodiversidad (ENB) 2017-2030 (MMA, 2018). De manera convergente, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) ha planteado en sus Perspectivas Ambientales al 2050 la necesidad de fortalecer las políticas públicas y los instrumentos para abordar de mejor manera las presiones directas sobre ella, a través de la promoción del uso sustentable, la inserción de los objetivos de biodiversidad en las políticas y planes intersectoriales, y la

protección y restauración de ecosistemas y hábitats, entre otros aspectos. Por su parte, el nuevo pacto social-global que da origen a la Agenda de Desarrollo Sostenible al 2030 de Naciones Unidas, plantea 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que buscan enfrentar los problemas sociales, económicos y ambientales que aquejan a los países y al planeta. De acuerdo a dicha agenda no es posible superar la pobreza, el hambre y la desigualdad si, entre otros aspectos, no se avanza seriamente en la protección y uso sostenible de la biodiversidad y los recursos naturales. En el contexto señalado, la actualización de la Estrategia Nacional de Biodiversidad es un elemento relevante para coordinar esfuerzos y procurar una retroalimentación efectiva entre objetivos globales y nacionales, en pos de la protección de la biodiversidad, la equidad y el bienestar social.

En la Estrategia Nacional de Biodiversidad (MMA, 2018) se considera que entre los principales desafíos que el país debe abordar en este ámbito se encuentra el completar y consolidar la institucionalidad ambiental vigente, a través de la creación del Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) y del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), actualmente en tramitación legislativa. El Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) constituye el primer acuerdo mundial integral que aborda todos los aspectos de la diversidad biológica: Recursos genéticos, especies y ecosistemas, y sus objetivos son:

- La conservación de la diversidad biológica.
- El uso sostenible de los componentes de la diversidad biológica.
- El reparto justo y equitativo en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos.

A través del CDB se reconoce, por primera vez, que la conservación de la diversidad biológica es de interés para toda la humanidad y que esta, a su vez, es parte integrante del proceso de desarrollo comenzando una nueva forma de actuar y de entender las relaciones hombre-naturaleza. La utilización por parte del hombre de las funciones ecológicas de ciertos ecosistemas, a través de un uso reglamentado que encuadran esta utilización, adquiere la forma de un servicio para el hombre y, en la medida en que las prácticas sociales se reconozcan, el servicio también reconoce el valor de la función ecológica para el bienestar humano. Para Barbault (1997), el artículo 2 de la CDB incluye también la responsabilidad que tiene el hombre de conservar el patrimonio natural en el que está inmerso. Las medidas para evaluar y cuantificar estos servicios ecosistémicos pueden ser a menudo holísticas, difusas o relacionadas con las redes ecológicas y complejos que todavía se debaten, pero muchos experimentos o intentos de medirlos se han realizado en los últimos 20 años, sobre todo en el campo de los recursos hídricos, los bosques, el ciclo y los sumideros de carbono o del agua. Es por esto que la conservación de la diversidad biológica se ha convertido en parte fundamental de las propuestas hacia el desarrollo sustentable.

Bosques en Relación a la Biodiversidad

De acuerdo a la red de expertos del Foro Económico Mundial¹⁹ la humanidad está fuertemente ligada a los bosques. Las formas de vida de mil millones de personas dependen de las áreas forestales, que desempeñan un papel muy importante absorbiendo y almacenando el carbono, proporcionando comida, agua, productos derivados de la madera y medicinas vitales, y manteniendo gran parte de la biodiversidad del mundo, mientras que la deforestación, la degradación y la fragmentación disminuyen la capacidad de los bosques de proporcionar servicios ecosistémicos, como la purificación de aire y la regulación del clima, entre otros. Las talas ilegales o cortas sin fiscalización contribuyen a la pérdida de ingresos públicos y provocan conflictos; a fin de retener y avivar la identidad cultural y la biodiversidad, se debe cuidar y controlar de manera sostenible los bosques del mundo. Los bosques cubren casi la tercera parte de la superficie terrestre y albergan a más del 80 % de la biodiversidad de esta. En los bosques tropicales se encuentra la mayor cantidad de especies por unidad de superficie terrestre, especialmente con las altas tasas de biodiversidad en la cuenca del Amazonas de América del Sur, la cuenca del Congo en África Central y la selva tropical del Sudeste Asiático. Además, los bosques con formaciones únicas, como aquellas en las islas remotas o con diversa topografía, albergan a un gran número de especies endémicas que no se encuentran en ninguna otra parte del mundo. Existe una íntima relación entre los bosques y la biodiversidad. La información detallada sobre la localización de las áreas con abundante

¹⁹ <https://intelligence.weforum.org/>

biodiversidad o bajo gran amenaza se puede utilizar para dar prioridades y hacer los mejores esfuerzos de protección y conservación.

Entre las regiones de bosques con mayor cantidad de especies por unidad de superficie terrestre y con altas tasas de biodiversidad se encuentran Brasil, África, Sudeste Asiático e Indonesia²⁰, y para alcanzar el desarrollo sostenible resulta indispensable a futuro, especialmente en regiones como estas, la detención de la deforestación y las cortas ilícitas, la prevención y protección contra incendios forestales, el manejo forestal sostenible y en ciertos casos la protección y conservación enfocada en la mantención de la biodiversidad. Política y gobernanza adecuadas son elementos cruciales para el logro de estos objetivos dada la importancia económica, social y ambiental de estos recursos.

Es posible conservar mejor la biodiversidad minimizando la intervención humana en hábitats intactos o en aquellos relativamente poco fragmentados y restaurando las áreas con biodiversidad que hayan sufrido grandes alteraciones. Si se pueden identificar áreas como estas, el monitoreo continuo podría medir el progreso para una mejor conservación de la biodiversidad. Ya se están realizando muchos esfuerzos para proteger la biodiversidad y mitigar la destrucción de los hábitats boscosos. Los científicos han estimado que existen alrededor de 8,7 millones de especies de plantas y animales. Sin embargo, hasta ahora solo se han identificado y descrito alrededor de 1,2 millones de especies, la mayoría de las cuales son insectos. Lo anterior significa que millones de otros organismos siguen siendo un completo misterio, de la misma forma el desconocimiento de la biodiversidad que mantienen los seres vivos dentro de un hábitat edafológico común, para el caso de la agricultura, depende de su forma de uso (Swift y Anderson, 1993). Las áreas con niveles extremadamente altos de biodiversidad se denominan *hotspots*. Las especies endémicas, especies que solo se encuentran en un lugar en particular, también se encuentran en puntos críticos.

BOSQUE Y BIODIVERSIDAD UNA RELACION ESTRECHA

Situación de los Bosques y Biodiversidad que Albergan

- Bosque Nativo

La biodiversidad de los bosques naturales en Chile constituye un patrimonio natural único en el mundo, ya que acogen especies que se han desarrollado en forma aislada del resto del continente durante miles de años, debido a las barreras físicas y climáticas características del territorio chileno. El país alberga alrededor de 31.000 especies, entre plantas, animales, algas, hongos y bacterias (Universidad de Chile, 2016). En la zona centro y sur del país existe una concentración inusual de especies endémicas, por lo que esta zona fue catalogada como uno de los 35 puntos calientes o *hotspots* mundiales de biodiversidad (Mittermeier, *et al.*, 2011). En relación con los ecosistemas terrestres, las formaciones de bosque nativo representan el 19,3 % de la superficie de Chile continental y son las que concentran una mayor riqueza en servicios ecosistémicos actuales y potenciales. Los bosques nativos se ubican a través de todo el país y se concentran en la zona sur, especialmente entre la regiones de Los Lagos y Magallanes que cuentan con la mayor superficie a nivel nacional de los bosques de los Tipos Forestales Siempreverde y Lengua (MMA, 2012). Cabe destacar que los recursos genéticos más valiosos son los endémicos, puesto que constituyen un patrimonio único y exclusivo en el mundo (MMA, 2014). En el país casi el 25% de las especies nativas son endémicas, destacando las plantas vasculares, entre otras especies (Universidad de Chile. 2016).

- Plantaciones Forestales o Bosques Plantados

Otro grupo importante en Chile y en el mundo lo constituyen las plantaciones productivas o industriales y protectoras, las que junto a los bosques seminaturales, que comprende la regeneración natural y la plantada, constituyeron el subgrupo denominado "bosques plantados" (FAO, 2010). FAO (2015) define a estos como "bosque compuesto predominantemente por árboles establecidos mediante plantación y/o siembra deliberada, donde se espera que los árboles plantados y/o sembrados constituyan más del 50 por ciento de las existencias en formación en la madurez". También incluye el monte bajo de árboles que originalmente se plantaron o sembraron.

²⁰ (<https://intelligence.weforum.org/>)

Stephens y Wagner (2007) establecen que en un 94% de estudios revisados existe una menor biodiversidad en los bosques plantados en comparación con otros bosques. Sin embargo, algunos estudios indican una mayor biodiversidad en bosques de plantaciones en comparación con otros usos de la tierra como la agricultura. Además, estos autores sostienen que gran parte de la literatura que se informa sobre una menor biodiversidad en las plantaciones se basa en comparaciones inapropiadas, ya que se utilizan distintos bioindicadores de diversidad biológica como por ejemplo los invertebrados (50%), aves (36%), mamíferos (6%) y plantas vasculares (6%).

Finalmente, Stephens y Wagner (2007) sugieren que “sorprendentemente” existe muy poca ciencia dura que respalde una conclusión tan categórica respecto de que los bosques plantados reducen e impactan negativamente la biodiversidad, esta debe ser reemplazada por una conclusión más condicional, ya que se puede aumentar la biodiversidad mediante un manejo forestal apropiado que incluya el uso de plantaciones.

Impacto Económico, Social y Ambiental de la Destrucción del Paisaje

- Perspectiva Global

Las presiones antropogénicas sobre el medio ambiente han alcanzado tal magnitud que varios límites planetarios (Figura 2), como los equilibrios químicos, físicos y biológicos que mantienen el planeta en el estado en que se lo conoce, han sido sobrepasados (Rockström, *et al.*, 2009). De estos límites, los cambios en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera; los ciclos de nitrógeno y fósforo, alterados mediante la agricultura intensiva; y la pérdida de biodiversidad, impulsada por cambios de uso de suelo y la producción de monocultivos, son los que ocasionan más preocupación en la comunidad científica. Los cambios en estos equilibrios tienen el potencial de retroalimentarse, multiplicando los efectos adversos (Steffen *et al.*, 2015).

En el caso de la pérdida histórica de la biodiversidad, esta es producto de una progresiva pérdida de hábitats, por el cambio de uso de suelo; la introducción de especies invasoras; y crecientemente el cambio climático. Hasta la fecha se estima que los servicios ecosistémicos que provee la naturaleza tienen un valor neto de 125 trillones de dólares (WWF, 2018) en la economía global.

De acuerdo a Rockström, *et al.* (2009) la extinción de especies es un proceso natural y ocurriría sin la acción humana. Sin embargo, la pérdida de biodiversidad en el Antropoceno²¹ se ha acelerado enormemente. Las especies se están extinguiendo a un ritmo que no se había visto desde el último evento global de extinción masiva.

En este contexto, la biodiversidad mundial se enfrenta hoy a la mayor extinción registrada en los últimos 65 millones de años, como consecuencia de los fuertes cambios ambientales asociados al rápido crecimiento de la población humana (Maass, *et al.*, 2019).

Alonso *et al.* (2019) sugieren que la preocupación por la degradación de la biodiversidad y sus efectos en la economía, se expresa en el creciente número de instrumentos internacionales y medidas a nivel nacional para la protección de hábitats y especies, tales como la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1992)²², el Convenio sobre la Diversidad Biológica (1992)²³, los Principios de Ecuador (2013)²⁴ y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (2015)²⁵.

A pesar de dichos instrumentos, WWF (2018) indica que hay pérdidas de las poblaciones de flora y fauna en torno al 60% desde 1970. Esta pérdida es comprobable en la disminución del tamaño de las poblaciones, alteraciones en la composición de las comunidades, pérdida de hábitats en cantidad y calidad, y pérdida de servicios ecosistémicos, entre otros aspectos.

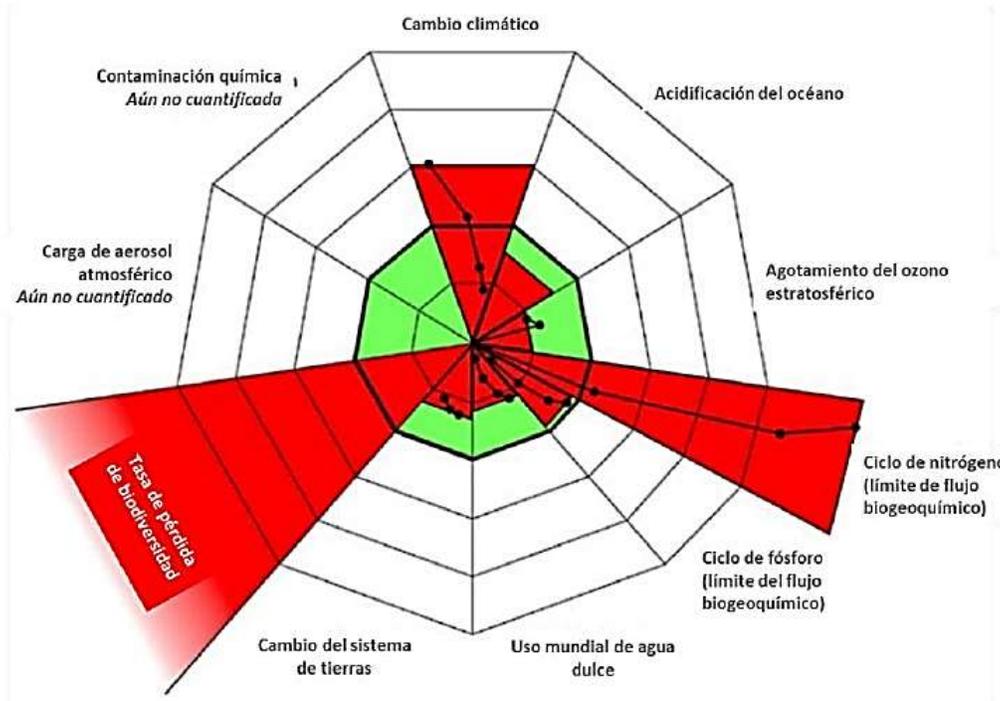
²¹ Los geólogos dividen el tiempo de acuerdo a los cambios que están marcado en el planeta. Los cambios ambientales globales recientes, sugieren que la tierra puede haber entrado en una nueva era geológica dominada por los humanos, el Antropoceno. El análisis de las firmas antropogénicas en el registro geológico sugiere que, de las diversas fechas propuestas, dos aparecen ajustarse a los criterios para marcar el comienzo del Antropoceno: 1610 y 1964.

²² https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/08/1_DeclaracionRio_1992.pdf

²³ <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>

²⁴ https://equator-principles.com/wp-content/uploads/2018/01/equator_principles_spanish_2013.pdf

²⁵ <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>



(Fuente: Modificado de Rockström *et al.*, 2009)

El sombreado verde interior representa el espacio operativo seguro propuesto para sistemas planetarios. Las cuñas rojas representan una estimación de la posición actual de cada variable.

Los límites en los sistemas tasa de pérdida de biodiversidad, cambio climático e interferencia humana con el ciclo del nitrógeno ya han sido excedidos.

Figura 2. Más Allá del Límite de los Sistemas

La biodiversidad sobre el suelo, los vegetales y animales, ha cambiado desde que los humanos comenzaron el proceso de domesticación hace más de 7.000 años (Solbrig y Solbrig, 1994). Durante ese tiempo, los seres humanos han alterado la edafobiodiversidad, fundamentalmente a través de sus actividades agrícolas. Desde la Agricultura, este proceso implica necesariamente una reducción o simplificación de la diversidad biológica de la naturaleza, tanto a nivel de especies como genético. Las primeras actividades de los agricultores tuvieron poco impacto o estos impactos se limitaron a una escala geográfica pequeña, utilizando algunas herramientas simples e insumos, en su mayoría orgánicos. Todavía hay ejemplos de culturas que continúan practicando, a pequeña escala, esta agricultura de impacto limitado (Denevan, 1995; Redford y Mansour, 1996).

De acuerdo a la OECD (2012), a nivel global el deterioro agregado de biodiversidad y de los beneficios de los ecosistemas de bosques se estiman entre 2 y 5 billones de dólares por año. WWF (2019) estima que los bosques están siendo destruidos a un ritmo alarmante, particularmente en los trópicos. El área global de cobertura forestal es solo el 54% de lo que era en los inicios de la civilización. La pérdida de ecosistemas naturales ricos en especies está teniendo consecuencias devastadoras para los animales y los ecosistemas; donde los trópicos son el hogar de la biodiversidad más rica del planeta.

La destrucción de los bosques también está contribuyendo al cambio climático. En conjunto, la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra representan alrededor del 23% de las emisiones de gases de efecto invernadero causadas por el hombre. La expansión agrícola comercial es por lejos la forma más común de cambio en la cubierta terrestre y ha cambiado la faz del planeta. En los trópicos, las tierras agrícolas aumentaron en más de 100 millones de hectáreas entre 1980 y 2000, y la mitad de este aumento fue a expensas de bosques tropicales intactos. En cambio, los bosques templados que crecen en ambos hemisferios y son particularmente productivos en el oeste de América del Norte, Chile, Nueva Zelanda y Australia, a 1990 han aumentado su superficie en aproximadamente 67 millones de hectáreas,

en parte debido al nuevo crecimiento de la vegetación en tierras abandonadas, aunque este crecimiento secundario es relativamente pobre en biodiversidad. En un esfuerzo por abordar estos impactos a nivel global y, a la vez erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad conjunta, Naciones Unidas adoptó en 2015 la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En esta Agenda al 2030, además de los objetivos que moldearán el diseño social y económico de los próximos años, también se encuentran objetivos para proteger el medio ambiente y la biodiversidad, de la cual depende una gran parte de la economía mundial.

- Chile

La pérdida y el deterioro de la biodiversidad es un proceso global, impulsado por factores directos, como el crecimiento demográfico, la eficiencia en el uso de recursos y el consumo, e indirectos, como la urbanización, el crecimiento de sectores productivos, la demanda hídrica y energética, entre otros. Esto habría significado una merma del orden del 58% en la biodiversidad planetaria (WWF, 2016) entre los años 1970 y 2012. Chile no está ajeno a esta realidad, pues ha experimentado procesos de pérdida y deterioro importantes a nivel de especies y ecosistemas, en el ámbito terrestre la mitad de los ecosistemas presentan algún grado de amenaza (Biofin Chile, 2017).

Miranda, *et al.* (2017), plantean que la mayor pérdida neta de bosques se observó en el período 1970-1990. Esta disminuyó en el período 1990-2000 y volvió a aumentar en el período 2000-2010. Este resultado revelaría una pérdida continua de bosques en los últimos 40 años. La conversión de bosque nativo en matorrales sería la contribuyente más importante a la pérdida neta de bosque nativo y representa el 45% de la pérdida. Sin embargo, no hay que olvidar que las mayores pérdidas ocurren en el siglo XVIII (1885-1960) después de la pacificación de la Araucanía, del sur de Chile, con quema de bosques para realizar agricultura y ganadería, otro período de grandes pérdidas ocurrió en los años 1930-40 con los grandes incendios en la región de Aysén, donde se quemaron 3 millones de hectáreas. No obstante, las cifras de monitoreo de CONAF indican que la tendencia en las pérdidas es a la baja, en algunos lugares se ha mantenido o sigue una tendencia a la baja o aplanamiento en la curva. La conversión a matorral nativo es producto del floreo para leña y el daño por el ganado, fundamentalmente en la pequeña propiedad, al detener estos procesos, entra a operar la restauración pasiva. Dichos autores también sugieren que en las zonas más biodiversas de bosque nativo de Chile este se transforma en plantaciones de especies exóticas. No obstante, la mayor extensión de plantaciones exóticas es en Bio Bio y Maule, en dichas zonas ya se había eliminado el bosque nativo por cultivo de trigo entre 1885 -1960. En relación al tema de la sustitución, un análisis detallado se puede revisar en Prado (2015), el que concluye que el total de superficie sustituida de bosque y matorral nativo alcanzaría a 262.967 hectáreas. Dicho autor enfatiza que una alta proporción de esta superficie corresponde a suelos que fueron deforestados para uso en agricultura y ganadería, posteriormente abandonados por estas prácticas y finalmente forestados.

Santibáñez y Royo (2002) indican que desde la zona centro norte hasta la zona sur, las principales causas atribuidas históricamente a la pérdida de ecosistemas han sido la agricultura intensiva, el uso de vegetación para leña, el sobrepastoreo, la explotación minera (aunque esta causa puede resultar irrelevantes al sur de Santiago), los incendios forestales, las plantaciones con especies exóticas y la contaminación de aguas. Muchas de estas causas han disminuido, pero otras persisten. Desde 1997 en adelante la frontera agrícola no ha crecido significativamente en Chile y la masa ganadera bovina ha disminuido en un 40%, según los Censos Agropecuarios 1997 y 2007²⁶ y posteriores encuestas ganaderas de INE, por lo que, en términos generales, la presión de este sector sobre la biodiversidad se debería haber estabilizado. Sin embargo, en materia de incendios forestales se ha presentado un aumento importante en cuanto a superficie afectada por año.

Pese a todas estas amenazas sobre los bosques, Chile es uno de los pocos países en el mundo que ha incrementado su cubierta forestal en las últimas décadas. Uribe y Estades (2010) sugieren que en Chile las plantaciones de pino (*Pinus radiata*) distribuidas principalmente entre las regiones de Maule y Bio Bio, zonas que forman parte de lo que ha sido catalogado como *hotspot* mundial de biodiversidad, muestran evidencias crecientes de que albergan a un número significativo de especies animales, incluyendo

²⁶ <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/26503>

vertebrados e invertebrados, luego el papel de estos bosques plantados en la conservación de la biodiversidad no ha sido analizado adecuadamente.

En relación al cultivo y manejo de los bosques, tanto nativos como plantados, las empresas chilenas se han acogido a sellos de certificación forestal, ya sea bajo el *Forest Stewardship Council* (FSC) o el *Programme for the Endorsement of Forest Certification* (PEFC), ambos orientados a la gestión sustentable de los bosques y la protección de sus funciones, hábitats y biodiversidad. Estas acciones voluntarias de privados, donde existen una serie de acuerdos, códigos de buenas prácticas y certificaciones han tenido un impacto positivo sobre el uso de los recursos naturales, generando efectos significativos sobre las especies y sus hábitats. Además, la Política Nacional Forestal, impulsada por el Ministerio de Agricultura (MINAGRI) para el periodo 2015-2035, ha incorporado entre sus ejes uno denominado Protección y Restauración del Patrimonio Forestal. Este objetivo apunta a conservar e incrementar el patrimonio forestal del Estado, desarrollar los bienes y los servicios ambientales, y restaurar y proteger la biodiversidad que brindan los recursos y ecosistemas forestales. En materia de sinergias con otras convenciones internacionales, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) ha trabajado estrechamente en la incorporación de objetivos de biodiversidad en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático y en sus Planes Sectoriales, algunos de los cuales se encuentran ya aprobados. Entre ellos, el Plan de Adaptación al Cambio Climático en Biodiversidad, aprobado en 2014.

No obstante, se estima que, pese a los esfuerzos, las tasas de pérdida de biodiversidad no han podido ser revertidas a nivel global, principalmente porque los esfuerzos de conservación han sido enfocados a la creación de áreas protegidas y planes de recuperación de especies, entre otros, y no en enfrentar las causas que originan esta pérdida, tales como los impactos provocados por los proyectos de desarrollo productivo (MMA, 2014). Ante esto, la inclusión de la protección de la biodiversidad en los ODS, así como el creciente número de herramientas legales y técnicas que se están desarrollando, pretenden fortalecer los esfuerzos existentes para la protección de la biodiversidad y revertir esta tendencia.

Percepción de la Sociedad

Al analizar las tendencias históricas de la biología de la conservación hay que tener siempre presente que, en sus comienzos, la biología de la conservación (Campos, 2013) se orientó hacia el estudio de la naturaleza en sí misma (*Nature for itself*), hasta que en la década de los 80 empezó a considerarse la naturaleza a pesar de la gente (*Nature despite people*). A comienzos del siglo XXI, con el estudio de las funciones y servicios ecosistémicos, la biología de la conservación se enfocó en el estudio de la naturaleza para la gente (*Nature for people*). En los últimos años la tendencia está cambiando y la conservación se centra en el estudio de las personas y la naturaleza (*People and nature*) considerando los sistemas socioecológicos. En ese contexto, la UICN (2008) establece que los centros importantes para la biodiversidad suelen coincidir con zonas muy pobres. Si bien la conservación forestal podría traer buenas noticias para las comunidades locales y, de hecho, a menudo se promociona como beneficiosa para ellas, estas comunidades soportan costos significativos y obtienen pocos beneficios. Los costos surgen no solo de los costos de oportunidad, sino también de los intentos fallidos de planificadores y ejecutores de la conservación forestal para apoyar los derechos de las comunidades y sus miembros.

Preocupado de la percepción que tiene la sociedad chilena sobre la biodiversidad el MMA (2018) comenta la realización de dos encuestas a nivel nacional, el año 2014 y el año 2015. Se preguntó a las personas: Según su percepción y en una sola frase ¿cuál es el principal problema ambiental que le afecta a usted? Respuesta espontánea y múltiple. Como respuesta a ello, nadie mencionó algún deterioro a la biodiversidad, al patrimonio natural o a la naturaleza como un fenómeno que le afecte directamente. Pese a ello, también en ambas encuestas, el 70% de los entrevistados declara haber visitado, al menos, una vez en su vida, un Parque Nacional, Santuario Natural o Reserva Nacional. En la encuesta 2015, un 37% señala visitar, al menos, un par de veces al año un área protegida. Ciertamente, la protección de la biodiversidad, no parece ser un tema suficientemente comprendido y del cual se sienta parte la mayoría de la población. De esto se infiere que hay un gran desafío en este tema en el país, no obstante, existen actualmente importantes esfuerzos para abordarlo. Sin embargo, no todo parece perdido ya que, en el Proceso Constituyente Abierto a la Ciudadanía en el año 2016, de un total de 90.804 personas encuestadas el 34% se manifestó a favor de incluir en la Constitución el respeto y conservación de la naturaleza como valor y principio fundamental (MMA, 2019).

Las pérdidas de bosques naturales y seminaturales, principalmente a causa de la agricultura, debería ser una preocupación importante para la biodiversidad. En cambio sí hay mucho debate sobre las implicancias de la biodiversidad, dada la tendencia en el aumento del área de plantaciones forestales con manejo intensivo, con fines productivos y de mitigación del efecto de la erosión. En este aspecto ha surgido la percepción común que estas plantaciones son “desiertos verdes” es decir, no proporcionan un hábitat para las especies nativas (Brockhoff *et al.*, 2008). Qué duda cabe que los bosques naturales suelen ser más adecuados como hábitat para una gama más amplia de especies forestales nativas que los bosques plantados, pero existe abundante evidencia de que las plantaciones pueden proporcionar un hábitat valioso, incluso para algunas especies amenazadas y en peligro de extinción y pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad por diversos mecanismos.

En paisajes donde el bosque es la cobertura natural del suelo, los bosques plantados pueden representar una matriz de bajo contraste y una forestación de tierras agrícolas puede ayudar a la conservación al proporcionar un hábitat forestal complementario, efectos de borde de impacto y una mayor conectividad (Brockhoff *et al.*, 2008). Por tal motivo, muchos científicos consideran que las plantaciones forestales son un “mal menor” (*the lesser evil*) Brockhoff *et al.*, 2008). Sin embargo, esta consideración es relativa al paisaje natural y a la biodiversidad de cada región, ya que por ejemplo se ha observado que en ambientes de pastizal las plantaciones forestales pueden sostener menos diversidad de especies nativas que otros usos del suelo alternativos (Filloy *et al.*, 2010).

En el escenario actual de pérdida continua de hábitats y biodiversidad, la conservación no puede limitarse solamente al establecimiento de áreas protegidas o a la creación de regulaciones legales para el uso de los recursos naturales. Se necesita contar con el apoyo de las comunidades humanas, considerando la diversidad de percepciones, apreciaciones, valoraciones y actitudes que ellas tienen hacia la biodiversidad. En el contexto descrito, Bickford *et al.* (2012) plantean a nivel mundial un llamado dirigido a los biólogos de la conservación (conservacionistas, ecólogos, ingenieros forestales) a adoptar la pasión por proteger nuestros recursos naturales y ecosistemas, y dedicar más tiempo y esfuerzo a superar las barreras culturales, sociales y económicas para comunicar los mensajes ambientales, ya que son estrategias clave para el éxito. Para ayudar a la humanidad a lidiar con un mundo cambiante los científicos deben ser más provocativos, proactivos y decididos en la forma de comunicarse para crear una sociedad ambientalmente alfabetizada, que promulgue decisiones basadas tanto en ciencia sólida como en las necesidades de la humanidad. Finalmente, el MMA (2018) estima que al 2030 se habrá implementado la estrategia comunicacional y se habrá mejorado en un 50% respecto de lo observado en la línea base, tanto en lo que respecta a la percepción de la sociedad sobre el valor de la biodiversidad como en las pautas de comportamiento que posibilitan su perdurabilidad.

GESTIÓN FORESTAL Y SU IMPACTO SOBRE LA BIODIVERSIDAD

El Desafío de una Creciente Demanda por Productos de los Bosques y la Mantenimiento de Biodiversidad

- Recursos Forestales

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020), en su Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA, 2020), señala entre sus principales resultados que la cubierta forestal mundial alcanza 4.060 millones de hectáreas, lo que representa el 31% de la superficie terrestre. De esta cubierta forestal mundial, 3.750 millones de hectáreas corresponden a bosques nativos (93%) y 290 millones de hectáreas a bosques plantados (7%), superficie esta última constituida por 135 millones de hectáreas de plantaciones productivas bajo silvicultura intensiva y 159 millones de hectáreas de otras plantaciones forestales, que aunque pueden cumplir funciones productivas su fin principal es la protección de suelos y aguas, la retención de carbono y la protección de la biodiversidad (FAO, 2020).

Los bosques del mundo se concentran en las zonas tropicales y sub tropicales (56%), y el resto en las zonas boreales (27%) y templadas (16%). A nivel de países, Rusia, Brasil, Canadá, Estados Unidos y China reúnen el 54% de la cubierta forestal total (FAO, 2020). Unos 726 millones de hectáreas (18%) de bosques están dentro de áreas protegidas en diferentes lugares del mundo, principalmente en América del Sur, con un 31% de sus bosques bajo esta forma de protección y conservación (FAO, 2020). De la

superficie de plantaciones forestales en el mundo, 44% están constituidas principalmente por especies introducidas y 56% principalmente por especies nativas. En América del Norte y Central más del 95% de las plantaciones son de especies nativas y en Asia casi el 70%, en tanto que en América del Sur la casi totalidad de las plantaciones son de especies introducidas (FAO, 2020).

En el caso de Chile, su cubierta forestal es de 17 millones de hectáreas, lo que representa aproximadamente el 20% de la superficie territorial del país, y está compuesta por 14,6 millones de hectáreas de bosques nativos, clasificados en 12 Tipos Forestales según las especies dominantes que los componen, y 2,3 millones de hectáreas de plantaciones forestales de diferentes especies, las principales de las cuales son *Pinus radiata* (De Don.) (56%), *Eucalyptus globulus* (Labill.) (25%), *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) (12%) y una participación menor (7%) de otras especies, de los géneros *Acacia*, *Atriplex*, *Eucalyptus*, *Larix*, *Pinus*, *Populus*, *Pseudotsuga* y otros (INFOR, 2020). Chile mantiene actualmente 18,6 millones de hectáreas de áreas protegidas por el Estado, en las diferentes regiones del país, que incluyen 3,8 millones de hectáreas de bosques nativos bajo régimen de protección y conservación. En tanto que la utilización de bosques nativos fuera de estas áreas está reglamentada por ley y existen incentivos de fomento estatal para su manejo sostenible. El país dispone de una fuerte y desarrollada industria forestal de celulosa y papel, aserrío, tableros y chapas, y otros productos. Esta capacidad industrial consume en el año 2019 un total de 45,3 millones de metros cúbicos de trozas y genera 5,3 millones de toneladas de pulpa, 7,9 millones de metros cúbicos de madera aserrada, 11,6 millones de metros cúbicos de astillas, 3,3 millones de metros cúbicos de tableros y chapas, y otros productos. Una gran parte esta producción forestal del país está destinada a mercados externos y en el año 2019 se genera un retorno de exportaciones de 5.662 millones de US\$ FOB (INFOR, 2020). El consumo anual de madera en trozas para fines industriales proviene fundamentalmente de las plantaciones forestales, solo el 0,5% de este se origina en los bosques nativos, y la tasa de reforestación anual está en torno a las 100 mil hectáreas (INFOR, 2020).

- Manejo Forestal y Biodiversidad de los Bosques en Chile

La reposición de las plantaciones forestales cosechadas anualmente se produce de inmediato, al año siguiente o subsiguiente. Normalmente los residuos de cosecha quedaban sobre el suelo, cubriéndolo y protegiéndolo de la erosión, luego se comenzó a utilizar parte de esta biomasa para energía por lo que la protección de los suelos era solo parcial, aunque por un periodo reducido hasta la expansión de las copas de los árboles. Se debe destacar además que esta reforestación es obligatoria por ley en el país. Respecto de los bosques nativos, de casi nula participación en la producción forestal actualmente, la política forestal de Chile regula, promueve, fomenta e incentiva económicamente su manejo sostenible. Se estima que aproximadamente la mitad de estos bosques tiene un potencial comercial, unos 7 millones de hectáreas, y está fundamentalmente en manos de pequeños y medianos propietarios, razón por la que su puesta en producción bajo manejo forestal sostenible sería de gran importancia social y económica. En la actualidad los bajos incentivos al manejo y la ejecución de las actividades de manejo por propietarios que apenas sobreviven de sus recursos, hacen que la producción sostenible este lejos de ser realidad en la mayor parte de los bosques nativos. Esta falencia lamentablemente genera efectos negativos de importancia sobre la biodiversidad.

La mayoría de las veces, se piensa que la ordenación²⁷ forestal es incompatible con el mantenimiento de la biodiversidad, ya que los objetivos de la ordenación suelen estar dirigidos a un número limitado de especies de árboles. Por lo tanto, puede parecer razonable, a primera vista, plantear la hipótesis de que el manejo forestal invariablemente disminuye la diversidad del bosque. Sin embargo, la biodiversidad vegetal de los ecosistemas forestales está determinada por algo más que las especies dominantes del dosel superior, es decir, las especies de otros estratos forestales también contribuyen a la diversidad. Además, los efectos del manejo forestal en los patrones y mecanismos de diversidad pueden variar considerablemente entre los tipos de ecosistemas y las técnicas de manejo (Gilliam y Roberts, 1995). En este sentido, para que los bosques plantados contribuyan significativamente a la conservación de la biodiversidad en sus ecosistemas y sus funciones, es preciso sugerir algunas estrategias específicas de manejo forestal (Zaninovich, 2017). En Chile, el Ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2019) indica que

²⁷ La ordenación forestal sostenible es "el proceso de manejar los bosques para lograr uno o más objetivos de ordenación claramente definidos con respecto a la producción de un flujo continuo de productos y servicios forestales deseados, sin reducir indebidamente sus valores inherentes ni su productividad futura y sin causar ningún efecto indeseable en el entorno físico y social".

para el ámbito silvícola existen acciones voluntarias de privados, tales como códigos de buenas prácticas y certificaciones que contribuyen a la gestión sustentable de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, los cuales se indica a continuación:

- El Protocolo de Plantaciones Forestales, elaborado por CONAF en el año 2017 para orientar a los propietarios de plantaciones forestales en el desarrollo de los planes de manejo normados, así como los planes de acción voluntarios. Se trata de un conjunto de pautas y estándares para el establecimiento y manejo de las plantaciones forestales con criterios de equidad, sustentabilidad y gestión del riesgo.
- La certificación CERTFOR, administrada por CERTFOR Chile, es reconocida y homologada por la organización internacional denominada Programa para la Homologación de Sistemas de Certificación Forestal (PEFC). Al adherirse a estos sistemas de certificación, las empresas se comprometen a no sustituir el bosque nativo y a conservar muestras representativas de los ecosistemas existentes en su propiedad. Otros criterios PEFC estipulan la sustitución o disminución de sustancias químicas, tales como pesticidas o herbicidas. Al año 2018 había un total de 1.909.713 ha certificadas, de las que 1.314.242 ha correspondían a plantaciones y 667.721 ha a otros tipos.
- La certificación FCS, administrada por *Forest Stewardship Council*, una organización internacional, no gubernamental, sin fines de lucro e independiente. FSC se rige por 10 principios y 56 criterios. El Principio N° 9, Mantenimiento de Bosques con Alto Valor de Conservación, tiene como objetivo mantener o mejorar los atributos de conservación que definen a dichos bosques, por lo que tiene un impacto directo en la biodiversidad de los Recursos Genéticos Forestales. Además, los principios 6, Impacto Ambiental, y 7, Plan de Manejo, contienen criterios que colaboran en la mantención de la biodiversidad. Al año 2018 la organización presentaba 2.325.662 ha certificadas.

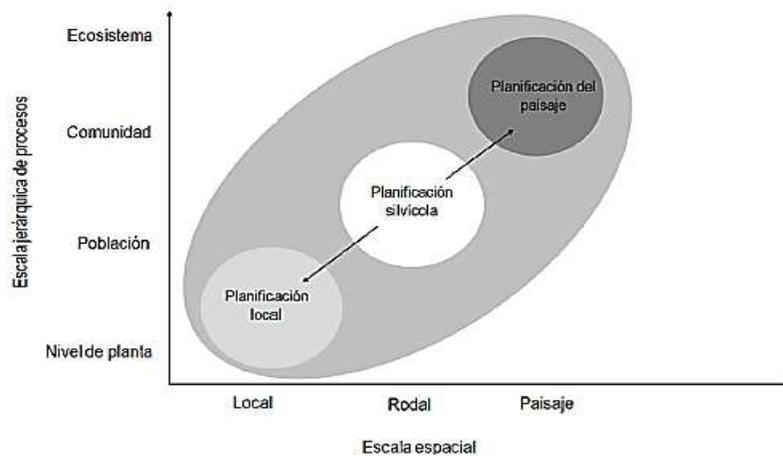
Atendiendo a las tendencias que existen en otros países sobre cómo mantener y mejorar aún más la biodiversidad en bosques plantados Horák, *et al.* (2019), establecen dos enfoques posibles:

- Aumentar la heterogeneidad de las especies arbóreas dentro de los rodales (es decir, a una escala espacial de unas pocas hectáreas), lo cual es importante para el manejo forestal individual apropiado.
- Mantener la vegetación nativa dentro de la matriz de los bosques de plantación (es decir, a escala espacial del paisaje), que es importante para el manejo forestal global. Con esto se pretende un ordenamiento forestal del territorio productivo, es decir, lograr un mosaico de distintos tipos de bosques, que no necesariamente ocupan la misma parte topográfica, plantaciones en terrenos menos frágiles, bosque nativo en quebradas y laderas escarpadas y cumbres.

Torras y Saura (2008) consideran que se debe tener presente el tipo de bioindicador de biodiversidad a utilizar, como, por ejemplo, árboles de gran diámetro, abundancia de arbustos, riqueza de especies de arbustos, riqueza de especies de árboles y diversidad de especies de árboles. También hay que tener presente que las perturbaciones intermedias²⁸ producto de la acción del manejo forestal tienden a aumentar la diversidad de los bosques en ambientes mediterráneos. Los resultados de Torras y Saura (2008) muestran que los tratamientos de mejora del rodal, especialmente los raleos y podas, también tienen efectos positivos sobre los indicadores de biodiversidad. Es importante considerar que el manejo forestal también requiere una perspectiva del paisaje para mantener la biodiversidad (Franklin, 1993). Si solo las perturbaciones intermedias ocurrieran en todo el paisaje, sin variabilidad en el tamaño, frecuencia o intensidad, entonces la diversidad a nivel del paisaje probablemente se reduciría porque las especies que dependen de las perturbaciones extremas serían eliminadas (Gilliam y Roberts, 1995). Puettmann, *et al.* (2016), establecen que tradicionalmente las actividades silvícolas han sido evaluadas con base en sus impactos a escala de un rodal durante un periodo de cuarenta a cien años. Sin embargo,

²⁸ Esta hipótesis sostiene que en ecosistemas maduros la presencia de perturbaciones intermedias permite mantener niveles de riqueza de especies y de biodiversidad mayores a los que habría en ausencia de dichas perturbaciones. En ausencia de perturbaciones solo sería posible encontrar especies especialistas, en tanto que perturbaciones pequeñas no tendrían efecto alguno sobre la biodiversidad y perturbaciones grandes una disminución de la misma debido a la drástica destrucción del hábitat.

muchos otros procesos que contribuyen a los fenómenos ecológicos, como la hidrología de suelos, la biodiversidad, el ciclo de carbono y la resiliencia, actúan en diferentes escalas espaciales y temporales (Figura 3).



(Fuente: Puettmann, *et al.*, 2016)

Los enfoques relacionados a temas silvícolas van desde la escala de rodal hasta la de paisaje.

Los enfoques que relacionan las prácticas silvícolas a la biodiversidad actúan de mejor forma a escala del paisaje.

Figura 3. Procesos y Escalas Espaciales Relacionadas con el Manejo Forestal

Los cambios en la heterogeneidad espacial y temporal, como por ejemplo abrir copas junto con perturbaciones naturales en las plantaciones forestales o dejar madera muerta dentro de los rodales, a escala del paisaje pueden ayudar a restaurar la biodiversidad forestal (Horak *et al.*, 2014). Dejar parches naturales o seminaturales dentro de las plantaciones para que funcionen como islas de biodiversidad también puede ser una estrategia útil, y los árboles más añosos y dispersos pueden ser de enorme importancia para retener la biodiversidad (Horák, 2017). A esta estrategia de conservación de la biodiversidad de organismos saproxílicos²⁹ conectada en corredores en la matriz productiva se la denomina “La Arteria de Biodiversidad Forestal” (Mason y Zapponi, 2015).

Es muy importante buscar opciones para mantener o mejorar la biodiversidad en los bosques plantados, FAO (2010) indica que este tipo de uso del suelo será dominante en el futuro, ya que se prevé un aumento de la demanda de los “productos” de las plantaciones, como la madera y la pulpa. Por lo tanto, las plantaciones deberán estar diseñadas, además para brindar mejores beneficios socioeconómicos a las comunidades humanas aledañas, como por ejemplo actividades de recreación y relajación, y producción de productos forestales no madereros, como colecta y producción de hongos y frutas silvestres, producción de miel, en plantaciones de eucalipto de baja densidad permitirán mejorar la biodiversidad, lo que será muy importantes en el futuro.

Para tener éxito, la silvicultura debe pasar del enfoque actual de manejo centrado en los rodales y considerar las plantaciones como parte del contexto más amplio del paisaje (Brockhoff *et al.*, 2008; Puettmann *et al.*, 2016), particularmente sus funciones en procesos a escala de paisaje, por ejemplo, control de erosión y conectividad de remanentes de bosques naturales. Por último, al aceptar la necesidad de incorporar la biodiversidad en los procesos de planificación del manejo forestal de los bosques plantados, con criterios ambientales y económicos, permite utilizar herramientas de programación matemática, tal como la sugerida por Bertomeu y Romero (2001). Los autores mencionados

²⁹ Los organismos saproxílicos son aquellos que dependen, durante parte de su ciclo vital, de la madera muerta o senescente de árboles moribundos o muertos (en pie o caídos), o de hongos de la madera o de la presencia de otros saproxílicos

sugieren formular un modelo de programación de cosecha que maximice el efecto de borde³⁰ entre unidades de cosecha adyacentes, manteniendo al mismo tiempo las condiciones de crear rodales antiguos alargando la edad de rotación financiera y mantener un equilibrio de clases de edad, en el sentido de establecer el mismo número de rodales por clase de edad. De esta forma se obtendrá un cronograma óptimo a largo plazo desde el punto de vista de la biodiversidad.

Monitoreo y Manejo del Territorio desde el Punto de Vista de la Gestión Forestal

El marco del sistema de monitoreo es particularmente importante para tomadores de decisiones, ya que proporciona información útil para evaluar si las políticas y acciones propuestas han logrado (con determinada cantidad de fondos) resultados efectivos sobre la conservación de la biodiversidad (MMA, CTCN, CATIE e ICRAF, 2016). Esto se logra con la rendición de cuentas donde se incluyan el cumplimiento de los requisitos de información a nivel nacional e internacional. Para garantizar la priorización adecuada de las acciones de gestión y aumentar la eficiencia de las actividades de conservación, un sistema de monitoreo también debe proporcionar los medios para evaluar si las acciones y los recursos actuales son suficientes para alcanzar los objetivos de conservación acordados. El monitoreo de los bosques, referido al seguimiento en el tiempo de sus diferentes atributos, es fundamental para la toma de decisiones de manejo y conservación, y representa una tarea de relevancia estratégica para mantener los bienes y servicios que estos proveen, como a su vez la biodiversidad que sustentan (Corona, 2016).

Chile a solicitud del MMA, y desde el año 2012, forma parte de la Plataforma Intergubernamental sobre Servicios de Biodiversidad y Ecosistemas (IPBES), siendo esta la principal interfaz de diálogo entre ciencia y política a nivel global, equivalente en su rol al IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). De acuerdo a Díaz *et al.* (2015) la Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) fue establecida como un organismo intergubernamental independiente abierto a todos los países miembros de las Naciones Unidas, con el objetivo de fortalecer la interfaz ciencia-política para la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, bienestar humano a largo plazo y desarrollo sostenible (<http://www.ipbes.net>). Desarrollada a raíz de otras evaluaciones internacionales, específicamente la Evaluación de Ecosistemas del Milenio y el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), la IPBES se diseñó para desarrollar de manera proactiva evaluaciones adaptadas a las necesidades de las políticas y para apoyar la creación de capacidad en todas las escalas y temas. Para lograr el objetivo mencionado, IPBES tiene cuatro funciones interconectadas (Díaz, *et al.*, 2015; Álvarez y Durán, 2020): Catalizar la generación de nuevo conocimiento, producir evaluaciones de los conocimientos existentes, apoyar la formulación e implementación de políticas y desarrollar capacidades relevantes para lograr su objetivo. El primer producto público de IPBES fue un marco conceptual para respaldar todas estas funciones, estructurar las síntesis que informarán las políticas y mejorar la comparabilidad entre diversas evaluaciones realizadas en diferentes escalas espaciales, sobre diferentes temas y en diferentes regiones.

Vivanco Font (2019) establece que el primer informe de la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES), publicado en el 6 de mayo del año 2019, el más completo realizado hasta ahora, constató una pérdida de la biodiversidad a un ritmo sin precedentes a nivel global, al punto de detectar más de un millón de especies en peligro de extinción. Tres científicos de universidades chilenas participaron en el capítulo dedicado a las Américas y creen que la amenaza a la biodiversidad en Chile no afecta solo al medioambiente, sino que tiene profundas implicancias en el desarrollo económico y social de las comunidades. Tanto ellos como el MMA apuestan por agilizar la creación del Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas.

En Chile hay 133 especies en peligro crítico de extinción. El informe además identifica las causas de la pérdida de biodiversidad: El ser humano y sus prácticas, como la deforestación (las especies han perdido su hábitat); la sobrepesca y el cambio climático (CC). Por ejemplo, la productividad agrícola se ha reducido en un 23% a nivel global, con un costo de entre US\$ 235 mil millones y US\$ 577 mil millones de la producción mundial anual agrícola, esto sería resultado de la pérdida de polinizadores.

³⁰ El borde se ha definido como la zona de transición entre hábitats adyacentes. El borde es la frontera entre rodales adyacentes. El efecto de borde asume que la diversidad y abundancia de muchas especies de vida silvestre es mayor cerca de un borde.

Otro sistema de monitoreo de la biodiversidad es el establecido por el Grupo de Observaciones de la Tierra, la Red de Observación de la Biodiversidad (GEO-BON), sugerido por Fischer *et al.* (2010). Esta es una red ampliada de plataformas de investigación de tipo exploratorio en Europa y el mundo que capturan los principales tipos de ecosistemas y permite una comprensión y una predicción mucho más mecánicas de los cambios en la biodiversidad y la función de los ecosistemas que las múltiples y muy dispersas actividades que se llevan a cabo actualmente.

De acuerdo a Maass *et al.* (2019) la enorme gradiente de latitud y complejidad geográfica de Chile, así como su gran diversidad de climas y de ecosistemas, justifica la implementación de un Observatorio Nacional de Biodiversidad, cuyos objetivos fundamentales sean monitorear el estado de la biodiversidad y reportarlo a instancias locales, nacionales e internacionales (Convenio sobre la Diversidad Biológica) y predecir escenarios futuros para la biodiversidad en un marco de cambio climático. Ejemplos de observatorios nacionales de biodiversidad en pleno desarrollo se encuentran en Colombia y China, los que se han acogido al marco de GEO-BON. En ambos casos existe financiamiento nacional e internacional para su implementación y, aunque los directores y contribuidores de datos provienen principalmente de universidades, centros de investigación y servicios públicos, la red nacional es en última instancia coordinada y financiada por el Estado. En paralelo al desarrollo de iniciativas globales, orientadas a compilar grandes volúmenes de datos de biodiversidad, varios países han desarrollado sistemas de información vinculados a iniciativas globales con portales de datos de acceso abierto, en línea y colaborativos, que albergan información de especies (descripciones con imágenes, distribución, hábitat, categorías de riesgo), registros de presencia (especímenes, observaciones), datos ambientales (datos de clima, topografía, biogeoquímica) y contextuales (límites políticos, áreas protegidas, ecorregiones).

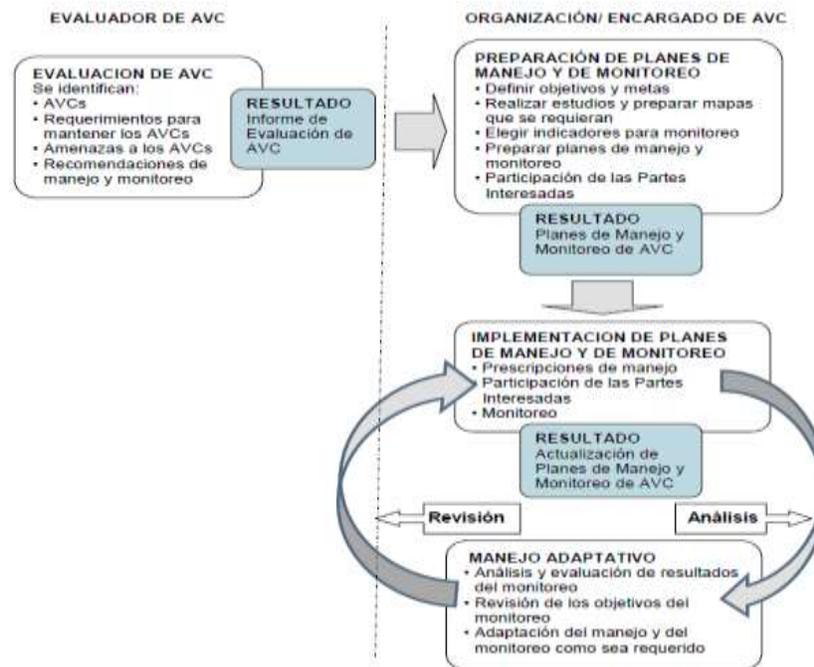
En las mismas plataformas se pueden entregar herramientas para la visualización de datos (mapas de distribución), modelamiento y análisis de datos, además de productos ya procesados (por ejemplo, fichas de especies) (Maass *et al.*, 2019). La iniciativa *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), creada en 2001 por los gobiernos de la OCDE, es un sistema distribuido de acceso abierto, con diversos proveedores de datos, que son responsables de la calidad y el control total de los datos. En Chile, el MMA³¹ es responsable del Nodo Nacional de Información sobre Biodiversidad, GBIF Chile. El nodo, que está operativo desde 2016, busca articular y fomentar la captura y registro de calidad de los datos sobre biodiversidad en el país, aportar herramientas técnicas para la administración de datos biológicos, impulsar la colaboración entre iniciativas nacionales e internacionales relacionadas con datos de biodiversidad y gestionar financiamientos potenciales en el área (Maass *et al.*, 2019).

A nivel de bosques nativos, de acuerdo a Miranda *et al.* (2018), en el año 1994 se inició en Chile el desarrollo del primer sistema nacional de cartografía de usos y coberturas del suelo, denominado " catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos (catastro). Este sistema permitió construir una base de datos cartográfica oficial de la superficie de bosques y otros usos y/o coberturas del suelo. Sus resultados permitieron determinar, por primera vez, la superficie y distribución espacial de los bosques nativos a escala nacional, usando una metodología estándar para todo el territorio. La realización del catastro posibilitó además la caracterización de los bosques nativos en función de su estructura (por ejemplo: Bosque adulto, renoval, bosque achaparrado), tipo forestal, especies dominantes y grado de intervención. El catastro fue diseñado como línea base de una herramienta de seguimiento temporal de la superficie y distribución de los bosques, dando inicio a un sistema cartográfico inédito de monitoreo forestal nacional. Dado el largo proceso de ejecución de este sistema de monitoreo en Chile, Miranda *et al.* (2018) realizaron una revisión de los informes y datos oficiales a través de tres criterios básicos que deben poseer los sistemas de monitoreo forestal: i) Comparabilidad, ii) Replicabilidad y iii) Calidad. Dichos autores concluyen que la estimación de cambios en la cobertura de bosque nativo encuentra limitaciones, generando incertidumbre y controversia entre los diferentes actores. Sus resultados muestran que los cambios en la superficie de los bosques nativos se deben principalmente a cambios metodológicos y no a cambios reales. No obstante, al parecer nunca han existido cambios en la metodología, pero sí una adecuación tecnológica que va desde la fotogrametría tradicional al uso de georeferenciación e imágenes satelitales, lo que ha permitido que se perfeccionara la base geográfica donde se monta el catastro, iniciándose por ende un proceso de corrección del geoposicionamiento de

³¹ Sitio web del Nodo Nacional de Información sobre Biodiversidad, Ministerio del Medio Ambiente de Chile, disponible en <https://gbifchile.mma.gob.cl>.

los polígonos de uso del suelo por los años 2000. Por lo tanto, el contenido del polígono producto de una determinada actividad refleja el cambio de uso, como por ejemplo cosecha de plantaciones, terrenos agrícolas, que se convierten en matorral, matorrales que pasan a la agricultura. Todo esto sobre una base con geoposicionamiento corregido, luego la estadística de cambio es real³².

A nivel de ecosistemas, destaca la implementación del Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales (SIMEF)³³, el cual fue financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), implementado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), tiene como organismo ejecutor al Instituto Forestal (INFOR) y como co-ejecutores a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). SIMEF es ahora sostenido por el Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile, el cual incluye los aspectos de ocurrencia y abundancia de especies de flora, vertebrados e invertebrados en bosques nativos y formaciones xerófitas del país. SIMEF³⁴, establece unidades de muestreo del inventario continuo de ecosistemas vegetacionales que están contenidas en las unidades hexagonales de biodiversidad, de acuerdo a un diseño tal que asegure estimaciones insesgadas en la medida de lo posible. El número potencial de unidades de muestreo dentro de cada polígono se determina por la presencia de la malla sistemática país de 5 x 7 km generando un máximo de 91 puntos/polígono, en que cada punto representa 1 ha., este número de unidades dependerá de la presencia de hábitats disponible para la existencia de los grupos objetivos. Por último, dentro del contexto de acciones voluntarias de las empresas forestales acogidas al sello de Manejo Forestal Sustentable de FSC destaca el protocolo de las Áreas de Alto Valor (AVC)³⁵, que permiten identificar, manejar y monitorear paso a paso para biodiversidad y AVC en bosques de pequeña escala con manejo de baja intensidad (Unda, 2016) (Figura 4).



(Fuente: Unda, 2016)

Figura 4. Proceso de Identificación, Manejo y Monitoreo de AVC

³² Verónica Oyarzun, 2021. Comunicación personal

³³ Sitio web del Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales, disponible en <https://simef.minagri.gob.cl/>.

³⁴ <https://simef.minagri.gob.cl/bibliotecadigital/bitstream/handle/123456789/12938/BIODIVERSIDAD%20PROTOCOLO%20MZ%20EMPLADA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

³⁵ Área de Alto Valor ecológico: Se refiere a toda área que posea valor relevante para la biodiversidad. En este sentido, el término puede usarse para una amplia gama de espacios, tales como: ecosistemas terrestres, ecosistemas acuáticos, islas oceánicas, áreas de restauración, núcleos de biodiversidad, infraestructura ecológica, corredores biológicos, entre otros.

Conservación de la Biodiversidad en las Áreas Protegidas Públicas y Privadas de Chile

El concepto de área protegida data de cientos de años, no obstante, aunque originalmente fueron concebidas para conservar paisajes de belleza relevante y fauna emblemática, en la actualidad se espera que su conservación logre un conjunto grande y diverso de objetivos ambientales, sociales y económicos (CDB, 2011). Es considerada como la mejor y única estrategia para conservar la biodiversidad *in situ*, sin embargo, su financiamiento a nivel mundial y nacional es cada vez menor. El movimiento moderno de conservación de parques nacionales y otras áreas protegidas tuvo sus inicios en el siglo XIX en Norte América, Australia, Europa y Sudáfrica estableciéndose en lugares de rasgos naturales espectaculares para proteger fauna icónica, principalmente en terrenos con poco potencial para uso económico (Hendee y Dawson, 2009). A estas iniciativas de conservación no escapan los países sudamericanos y Chile también se une a esta corriente al establecer sus primeras reservas y parques nacionales a principios del siglo XX.

- Áreas Protegidas Estatales

El establecimiento de las áreas protegidas en Chile está estrechamente vinculado al sector forestal, a las ciencias forestales y principalmente a la conservación de los bosques. La creación de reservas fiscales y de parques nacionales en su origen legal e institucional así lo indica. Aunque hubo alguna legislación para conservar territorios que protegiesen bosques y aguas a fines del siglo XVIII (Weber y Gutiérrez, 1985) y una activa labor de pioneros como Federico Albert, no fue hasta septiembre de 1907 que se dio un paso importante en la conservación ambiental, cuando mediante el decreto supremo N° 1540 del Ministerio del Interior se estableció legalmente la Reserva Forestal Malleco, que es la primera unidad territorial con límites claros y definidos, y administrada por personal residente encargado de dicha función. Durante los años siguientes y hasta 1913, fueron creadas las reservas forestales de Tirúa, Villarrica, Alto del Bio Bio, Llanquihue, Petrohué, Puyehue y Chiloé, con un total de 600.000 ha distribuidas entre Concepción y Puerto Montt (Pauchard y Villarroel, 2002). Cuando en 1925 se crea el Parque Nacional Benjamín Vicuña Mackenna, en la provincia de Cautín, Chile se convierte en uno de los primeros países de América Latina en establecer oficialmente un Parque Nacional. Aunque tuvo corta duración (4 años) sentó las bases para una toma de consciencia de conservar el patrimonio natural con fines de uso y bienestar público. Esto no fue obstáculo para que en 1926 se estableciera el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales, con una superficie de 135 mil hectáreas en la provincia de Llanquihue, unidad que se mantiene hasta hoy. El Decreto Ley 4.363 de 1931, conocido como Ley de Bosques, otorgó al Presidente de la República la facultad de establecer parques nacionales de turismo y reservas forestales. Hasta el año 1965 se habían establecido 26 parques nacionales con una superficie aproximada de 11,5 millones de hectáreas, entre ellos Archipiélago Juan Fernández y Rapa Nui (CIPMA, 2003). En el año 1966 se establecen cinco parques nacionales más adicionando 111.000 ha, entre ellos Laguna de los Cisnes en Magallanes y Punta del Viento en Coquimbo. Además, ese mismo año se crearon cinco reservas forestales con 487.000 ha. Por lo que, a esa época, Chile ya contaba con 2,2 millones de hectáreas de superficie afecta al régimen de conservación oficialmente protegida por el Estado. Un hito clave de apoyo gubernamental fue que en 1967 el gobierno de Chile ratificó la Convención de Washington de 1940, acuerdo internacional para la Protección de la Flora, Fauna y de las Bellezas Escénicas Naturales de los Países de América. Posteriormente entre 1970 y 1974 se establecieron otros 12 parques nacionales y 3 reservas forestales; esto constituyó el inicio de un activo proceso de adición de áreas silvestres protegidas, que culminaría con la creación del Sistema Nacional de Áreas protegidas del Estado (SNASPE) en 1984.

Cabe señalar que hasta la década de 1970 eran varios los organismos del Estado que podían crear y manejar áreas silvestres protegidas, siendo el más importante el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). En esa misma década le fue asignada a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) la administración de casi todas las áreas protegidas del país. Sin embargo, no hubo una legislación que integrara todas las áreas en un sistema nacional hasta 1984, año en que se promulgó la Ley N° 18.362 que crea el SNASPE (Diario Oficial de Chile, 1984). Pero, es necesario destacar que el artículo 39 de dicha Ley, establece que ella no puede entrar en vigencia, en tanto no lo haga la Ley N° 18.3484, que crea la Corporación Nacional Forestal y de Protección de Recursos Naturales Renovables, lo que aún en el año 2021 continúa pendiente. Su objetivo fue organizar todas las áreas silvestres protegidas del país en un Sistema Nacional que tuviera el propósito común de proteger el patrimonio natural. En ella se establece que este estará integrado por cuatro categorías de manejo: Parques Nacionales, Reservas Nacionales,

Monumentos Naturales y Reservas de Región Virgen. CONAF ha sido una institución relevante en la historia de la administración de las áreas silvestres protegidas del Estado en el ámbito de los ecosistemas terrestres. Fue creada como un órgano de derecho privado, sin fines de lucro y subordinado al Ministerio de Agricultura. Sus principales funciones son el fomento forestal, el combate y control de incendios forestales y la administración de Áreas Silvestres Protegidas del Estado en el ámbito terrestre. Como se señaló, en 1984, la ley N°18.362 establecía la creación del SNASPE, sin embargo, dicha ley no entró en vigencia ya que quedó supeditada a la creación de la Corporación Nacional Forestal y de Protección de Recursos Naturales Renovables, como servicio público descentralizado, cuestión que no se materializó. En razón a lo anterior, las Áreas Silvestres Protegidas del Estado se sustentan legalmente en la Ley de Bosques de 1931, en el D.S. N° 531 de 1967, que ratifica la Convención de Washington de 1940 y en el D.L. N° 1.939 de 1977, sobre adquisición y administración de bienes del Estado (MMA, 2015). En etapas posteriores se fusionaron varios grupos de áreas protegidas entre sí y se desafectaron otras o parte de ellas sin afectar significativamente la superficie total del sistema. La activa adición de nuevos terrenos al sistema durante ese periodo se caracterizó porque estos se concentraron preferentemente en el extremo sur del país, y se protegieron en parte, suelos frágiles del sector de los canales, muy susceptibles de sufrir degradación por acción humana (CIPMA, 2003).

En el año 1983 CONAF llevó a cabo un proceso de reclasificación de categorías de manejo de sus unidades, ampliación de deslindes y desafectación de territorios de la condición de Parque Nacional, Reserva Nacional y Monumento Natural, ello con el propósito de mejorar no solo la representatividad ecológica, sino que también adecuar los conceptos de las categorías de manejo con las características naturales de las unidades.

En la actualidad, uno de los criterios que ha establecido CONAF para la creación de áreas silvestres protegidas es incorporar muestras representativas de la biodiversidad de Chile o mejorar su representación en el SNASPE, mediante diferentes orientaciones que entregan estudios científicos (CONAF, 2017). El Sistema, eminentemente terrestre, hasta hoy es administrado por la Corporación, cuenta con 105 áreas protegidas distribuidas a lo largo y ancho de Chile con representatividad de gran parte de la biodiversidad del país, como son las zonas desérticas, las áreas naturales asociadas al patrimonio cultural, zonas de canales con glaciares y fiordos, bosques lluviosos del sur, cadenas de volcanes, la Patagonia chilena y otras muestras únicas de la variedad de paisajes y ecosistemas que evidencian la potencialidad para la conservación de la naturaleza, cubriendo más del 19% del territorio nacional continental (De la Maza y Rodríguez, 2010).

A mediados de la década de 1990, el auge del desarrollo sostenible y los temas relacionados con el medio ambiente en la agenda internacional culminó a nivel nacional con la aprobación de la Ley de Bases Generales sobre el Medio Ambiente (Ley N° 19.300, 1994) y la creación de la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) como ente coordinador de las distintas instituciones del Estado con competencias relacionadas con el medio ambiente. Asimismo, en el marco de la adhesión del CDB (1992), Chile diseñó y aprobó en 2003 una Estrategia Nacional de Biodiversidad y un Plan de Acción Nacional orientados a conservar y dar uso sostenible a los ecosistemas terrestres y marinos.

- **Áreas Protegidas Privadas o Iniciativas Privadas de Conservación**

Las áreas protegidas privadas están contempladas en la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300 de 1994) y en su modificación, la Ley 20.417, que Crea el Ministerio de Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medioambiente, en ambas leyes en el artículo 35 se indica que “el Estado fomentará e incentivará la creación de áreas silvestres protegidas de propiedad privada, las que estarán afectas a igual tratamiento tributario, derechos, obligaciones y cargas que las pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado”. La afectación de ellas es de carácter voluntario, debieran tener un rol complementario al SNASPE y tienen los mismos propósitos que las áreas silvestres de protección estatal, es decir deben asegurar la diversidad biológica, tutelar la preservación de la naturaleza y conservar el patrimonio ambiental. La supervisión de estas áreas protegidas privadas corresponde al Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (Ley 20.417, artículo 35, inciso 2).

En forma creciente, a partir de la última década del siglo XX, se han creado en Chile numerosas áreas silvestres protegidas de propiedad privada. Se estima que en la actualidad su superficie total bordea el millón de hectáreas, ubicadas en su mayoría en el sur del país, entre las regiones de Los Lagos y

Magallanes. Las áreas protegidas privadas tienen tamaños muy diversos, van desde algunas hectáreas hasta centenares de miles de hectáreas. Las áreas privadas de gran tamaño en algunos casos pueden contribuir a mejorar la cobertura de las formaciones vegetales ausentes o subrepresentadas en el SNASPE en la actualidad, mientras que las áreas de menor tamaño pueden constituirse en corredores biológicos que aumenten la conectividad entre las áreas de gran tamaño.

En los últimos años también se han estado llevando a cabo esfuerzos significativos en el ámbito marino, con la creación de Parques Marinos, Reservas Marinas y Áreas Marino Costeras Protegidas de Múltiples Usos. Asimismo, existen las figuras de Santuarios de la Naturaleza y Bienes Nacionales Protegidos. Los Santuarios de la Naturaleza pueden ser públicos o privados y los Bienes Nacionales Protegidos son de propiedad fiscal, cuyo mecanismo de gobernanza es público-privado basado en la entrega de concesiones a largo plazo para la gestión y administración por privados.

El año 2010, con la modificación de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (Ley N° 20.417, 2010) se reformó profundamente la institucionalidad ambiental, creando el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) como “una Secretaría de Estado encargada de colaborar con el Presidente de la República en el diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, así como en la protección y conservación de la diversidad biológica y de los recursos naturales renovables e hídricos, promoviendo el desarrollo sustentable, la integridad de la política ambiental y su regulación normativa”.

Asimismo, esta reforma comprometió la creación de un servicio público encargado de la conservación de la biodiversidad y, en particular, de la administración de las áreas protegidas del país. Por lo que, en junio de 2014, el ejecutivo ingresó al Congreso el Proyecto de Ley que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (proyecto de ley del SBAP), actualmente aún en tramitación en el Congreso Nacional. Este proyecto de ley tiene por objeto la conservación de la diversidad biológica del país, a través de la preservación, restauración y uso sustentable de las especies y ecosistemas. Su aprobación permitirá implementar de manera integral políticas, planes, programas y normas para la conservación de la biodiversidad, tanto fuera como dentro de las áreas protegidas, de manera orgánica y consecuente con los compromisos adquiridos en el marco del CDB, el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica (2011-2020) y otras convenciones, además de las recomendaciones de la OCDE en materia de conservación de la naturaleza (MMA, 2015).

Sin tener el carácter de áreas protegidas, existen los denominados Sitios Prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad. Estos sitios surgen a comienzos de la década del 2000 de un trabajo realizado en cada una de las regiones de Chile, al amparo de los Comités Regionales de Biodiversidad, coordinados por la entonces Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), sumando un total de 338 sitios con una superficie aproximada de aproximadamente 13,8 millones de hectáreas a nivel nacional. Un sitio prioritario es un área terrestre, marina o costero-marina de alto valor para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad, identificada por su aporte a la representatividad ecosistémica, su singularidad ecológica o por constituir hábitat de especies amenazadas (MMA-GEF-PNUD, 2016). Estos sitios son considerados como de alta prioridad para la protección o restauración y pueden ser de propiedad pública o privada. En una porción muy significativa de estos sitios la propiedad de la tierra es fundamentalmente privada o comunitaria. Las presiones por uso del espacio son fuertes, marcadas por el crecimiento poblacional del país y por su expansión productiva. Probablemente la solución sea desarrollar métodos de producción que permitan la coexistencia de la vida biológica, bajando el uso de pesticidas y variando el esquema extensivo a uno de mosaicos intensivos.

Por lo tanto, se ha hecho evidente en Chile, en forma concordante con la tendencia mundial, que es necesario integrar nuevos mecanismos y actores a la conservación de la biodiversidad. Entre ellos, destaca la posibilidad de reconocimiento, como áreas protegidas, de las iniciativas de conservación privada y de pueblos originarios, pues tienen el potencial de abarcar una amplia diversidad de ecosistemas y con ello proveer de diversos servicios ecosistémicos a la sociedad (MMA-GEF-PNUD, 2016).

En este escenario, las iniciativas de conservación privada pueden constituirse en una herramienta fundamental de una estrategia de conservación de la biodiversidad a largo plazo, contribuyendo a cubrir los vacíos de protección de ecosistemas, especies y funciones ecológicas, o bien favoreciendo la conectividad territorial y biológica en áreas protegidas ya existentes. De este modo, la participación privada es indispensable en el diseño y despliegue temprano de un Sistema Nacional Integral de Áreas

Protegidas, públicas y privadas, terrestres y marinas, particularmente en la definición de sus objetivos estratégicos y metas.

Sin embargo, el conjunto de áreas protegidas actualmente existentes en el país no logra representar de manera adecuada todas las ecorregiones y ecosistemas existentes, persistiendo aún importantes vacíos de protección, particularmente en la zona mediterránea del país. Es por ello que existen numerosos desafíos para consolidar la conservación de la biodiversidad y de la naturaleza en el país y, para ello, un servicio de áreas protegidas sostenible en todos sus ámbitos es un paso importante a lograr. Asimismo, es relevante abordar los desafíos planteados desde una perspectiva sistémica para el establecimiento, la gestión y el monitoreo de las áreas protegidas, mediante un sistema nacional sólido y moderno y que cuente con las herramientas financieras y legales, necesarias para el cumplimiento de sus funciones y competencias.

En este contexto, algunos desafíos sugeridos se enfocan en los siguientes ámbitos: Fortalecer la institucionalidad principalmente desde el punto legal; fortalecer la planificación adaptativa desde un punto de vista estratégico; fortalecer la representatividad y conectividad de las áreas protegidas; fortalecer las relaciones público-privadas y de actores no estatales en la gestión de la conservación; incrementar recursos para la investigación en los diferentes niveles de protección y gestión de ellas; y desarrollar o establecer un sistema regional de áreas protegidas.

Debido a que la conservación y la gestión de la biodiversidad, ya sea pública o privada, es una tarea inter y transdisciplinaria, que compete a todas las disciplinas y a toda la sociedad, es evidente que la participación de las ciencias forestales, de la ingeniería forestal y del sector que las representa, seguirá teniendo un rol significativo en su gestión, contribuyendo así al desarrollo sostenible de Chile.

Conservación de la Biodiversidad y Adaptación al Cambio Climático

Desde el año 2000 existía el convencimiento que el cambio climático sería una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad en todo el mundo (Sala *et al.*, 2000), además había evidencia convincente de que el cambio climático produciría la extinción de especies de muchos taxones (Thomas *et al.*, 2004). En relación a las pérdidas de especies habría que hacer énfasis en la afectación o desplazamientos o la extinción local de poblaciones de especies polinizadoras y de controladores biológicos de plagas y enfermedades (FAO, 2008).

La longevidad que poseen los árboles y los ecosistemas forestales de los que forman parte les confiere una capacidad de adaptación limitada para responder a cambios ambientales rápidos (Lindner *et al.*, 2010) y, por lo tanto, son particularmente sensibles al cambio climático. Además, la longevidad de los árboles, la extensión de los bosques y la falta de especialistas en terreno hacen pasar desapercibido los sutiles y pequeños cambios iniciales hasta que se han producido cambios importantes y muchas veces irreversibles. Pawson *et al.* (2013) recopilan las alteraciones que provoca el cambio climático en el bosque, los que se pueden resumir en: la abundancia relativa de especies de árboles dentro de los bosques; fenología del árbol, tal como la estacionalidad de la floración, brotación y fructificación; alteración de la dinámica productor-herbívoro; frecuencia e intensidad de los mecanismos clave de perturbación forestal, incluidos los eventos de daño por viento e incendios; y la dinámica poblacional de plagas y patógenos forestales.

Si bien muchos de estos mecanismos se han estudiado en bosques naturales y seminaturales, los conceptos generales también son relevantes para los bosques de plantación. Al comparar los efectos de estas alteraciones sobre las plantaciones y los bosques naturales aparentemente se deberían diferir, ya que las plantaciones están dominadas normalmente por una o pocas especies de árboles con una diversidad genética limitada, lo que puede convertirlos en más susceptibles a las consecuencias del cambio climático, como la dinámica cambiante de las plagas y enfermedades forestales. No obstante, la intensidad del cambio climático y la degradación genética producto de la selección disgénica o "floreo" en bosques naturales puede hacer que estas diferencias no sean tan distintas en algunas áreas.

Ahora, dado que la forestación, la reforestación y la restauración ecológica forestal son las estrategias claves para mitigar el cambio climático (Pawson *et al.*, 2013), es fundamental incorporar a las nuevas plantaciones, tanto de especies nativas como de exóticas, la suficiente variabilidad genética adaptativa para anticiparse a los efectos del cambio climático sobre la supervivencia y su capacidad de proporcionar hábitat para la biodiversidad.

Las plantaciones de bosques que reemplazan la vegetación natural generalmente causan pérdidas de biodiversidad a nivel local, y no son aceptadas por los sellos de Manejo Forestal Sustentable, *Forest Stewardship Council* (FSC) y Programa para el Reconocimiento de la Certificación Forestal (PEFC CHILE), en cambio, las plantaciones establecidas en tierras agrícolas o degradadas brindan oportunidades importantes para la conservación de la biodiversidad. Por lo tanto, el impacto de los bosques plantados sobre la biodiversidad dependerá del uso de la tierra que reemplacen y de la intensidad del manejo forestal.

Pawson *et al.* (2013) mencionan que el potencial de los bosques naturales no manejados para adaptarse a los impactos del cambio climático es algo limitado, particularmente cuando la dispersión de las especies que la componen tiene restricciones biológicas y/o modificaciones antropogénicas de paisajes (degradación y fragmentación entre otros). Sucede algo similar en relación con el rápido cambio en los parámetros climáticos, tales como la temperatura más cálida del mes de enero, la temperatura mínima del mes de julio y el estrés hídrico (Santibañez y Santibañez, 2018), donde los árboles no pueden adaptarse a estos rápidos cambios y quedan totalmente desacoplados de su ambiente.

Por el contrario, el potencial de adaptación de las plantaciones forestales es mucho mayor, ya que los silvicultores pueden alterar los regímenes silvícolas y la composición de las especies de árboles para mantener la capacidad productiva y, por lo tanto, económica de estos bosques para adaptarse o mitigar los efectos del cambio climático.

Como resultado, el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad en los bosques plantados será el producto de una interacción entre los impactos directos del cambio climático y los efectos indirectos de los nuevos enfoques de gestión adoptados para abordar estos impactos previstos. Esto justifica un análisis en profundidad de los impactos del cambio climático con un enfoque actual y futuro sobre los bosques plantados (Paquette y Messier, 2010).

La provisión de madera y otros productos derivados de la madera de las plantaciones forestales proporciona un beneficio indirecto significativo a la biodiversidad al reducir la necesidad de extraer recursos de los bosques naturales (Brockhoff *et al.*, 2008). Pawson *et al.* (2013) también identifican los impactos potenciales del cambio climático sobre la biodiversidad de las plantaciones actuales. Para el caso Chile, solo se mencionan las más importantes, ya que se ha escrito muchos informes y publicaciones al respecto:

- Impactos climáticos: Lo más relevante quizás sean los factores de predisposición sobre la vitalidad de la *Araucaria araucana* y sobre el bosque esclerófilo.
- Impacto de plagas y enfermedades: Vale mencionar el daño foliar del pino ocasionado por *Phytophthora pinifolia*.
- Impacto de los incendios forestales: Las sequías extremas y locales facilitan la acción de los causantes de estos grandes destructores de la biodiversidad.

Para adaptarse al cambio climático y minimizar sus potenciales impactos sobre la biodiversidad se ha sugerido que los bosques naturales deben manejarse con estrategias de baja intensidad de manejo para que a través de la regeneración natural o asistida puedan originar una progenie que pueda sobrevivir y de esta forma expresar de mejor forma la variación genética adaptativa.

En la silvicultura europea se ha perfeccionado y promovido esta técnica de manejo sustentable de los bosques a través del concepto de PROSILVA³⁶ (Wolynski, 2002) o Gestión Forestal Próxima o Cercana a la Naturaleza. Las aplicaciones prácticas en Chile han sido implementadas por APROBOSQUE A.G³⁷ y una muestra operacional es el establecimiento de la regeneración natural en el tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe (Müller-Using *et al.*, 2014). Los árboles que compiten y sobreviven se convertirán a lo largo del tiempo en los futuros progenitores de los bosques naturales del futuro, este proceso no es de corto plazo, requiere de adecuados recursos financieros y técnicos, e incentivos económicos por parte del Estado y una nueva generación de silvicultores que manejen los bosques con una perspectiva de largo plazo.

³⁶ PROSILVA es una unión de forestales que conciben y aplican una silvicultura próxima a naturaleza. Esta unión fue fundada en Eslovenia en 1989.

³⁷ APROBOSQUE AG, es la asociación gremial de propietario de bosque nativo de Chile.

En el caso de las plantaciones, normalmente se las somete a una alta intensidad de manejo. Para prepararse para el cambio climático se ha sugerido una variedad de estrategias de mitigación y adaptación (FAO, 2012), como por ejemplo:

- A nivel del rodal, se puede establecer una mayor diversidad de especies de cultivo lo que puede mantener la capacidad de adaptación manteniendo tanto la producción de madera como la biodiversidad. Existe una resistencia de muchos forestales a no considerar plantaciones de especies mixtas, ya que se tiene la percepción de que reduce el rendimiento (Knoke *et al.*, 2008) y complica las operaciones de manejo forestal. Sin embargo, existen cada vez más pruebas en los bosques naturales (Paquette y Messier 2011) y en las plantaciones (Plath *et al.*, 2011) de que la diversidad de árboles puede mejorar o no tiene un efecto perjudicial sobre la productividad. Las plantaciones mixtas tienen el beneficio adicional de que es probable que sean más resistentes a los futuros desafíos sociales (culturales y económicos) y ambientales (estabilidad frente al cambio global, conservación de la biodiversidad), y al cambio climático. Las plantaciones mixtas también pueden tener algunas ventajas financieras que las hacen más atractivas, especialmente para los pequeños propietarios (Paquette y Messier, 2010; Pawson, *et al.*, 2013).

- A nivel del paisaje, se puede lograr una mayor diversidad utilizando mosaicos de parches o corredores de bosques naturales remanente o restaurados, por ejemplo, en quebradas o plantaciones de diferentes especies, o incluso simplemente variando la edad del rodal y la longitud de rotación (Lamb, 1998; Paquette y Messier, 2010). Los resultados de la conservación de la biodiversidad al cambiar la composición del dosel de solo una especie (monocultivo) a otras dependerán del contexto. Si bien algunas especies de árboles proporcionan hábitat para especies particulares (de aves, mamíferos, insectos y plantas del sotobosque), un cambio en las especies de árboles plantados puede ser perjudicial para estas especies, pero potencialmente beneficioso para una variedad de otras especies a nivel del paisaje.

- Otras técnicas o acciones utilizadas para conservar o mejorar la biodiversidad ante la presión del cambio climático son: Cultivar el sotobosque (berries nativos, setas, entre otros), aumentar la edad y longitud de la rotación, control de malezas, raleo, podas, promover el hábitat de invertebrados saproxílicos, cortafuegos, franjas ribereñas, amortiguadores de carreteras, instalación de colmenas en plantaciones de especies entomófilas, entre otros.

Si bien se sabe que el cambio climático influye en la conservación de los ecosistemas, puede decirse, a su vez, que la conservación de los ecosistemas contribuye a enfrentar el cambio climático, en tal sentido, el Enfoque de Adaptación Basada en Ecosistemas, se fundamenta en la conservación, restauración y utilización sostenible de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que permiten a las personas adaptarse a los efectos adversos del cambio climático, manteniendo o aumentando la resiliencia y reduciendo la vulnerabilidad de los ecosistemas a través de su restauración y protección (Lhumeau Cordero, 2012).

La Adaptación Basada en Ecosistemas debiera formar parte de una estrategia más amplia de adaptación, constituyendo soluciones naturales y costo-efectivas de adaptación al cambio climático, además de beneficios sociales, económicos, ambientales y culturales (MMA, 2014b).

Sin lugar a dudas, el cambio climático tendrá efectos directos sobre la biodiversidad futura de los bosques naturales y las plantaciones debido a los cambios en los equilibrios regionales de temperatura y humedad. Sin embargo, en el corto a mediano plazo las acciones de manejo forestal que probablemente se implementen para la mitigación y adaptación frente al cambio climático podrían tener un mayor impacto en la biodiversidad que los efectos directos del cambio climático en las plantaciones forestales.

Se requiere una mayor comprensión de los impactos de la gestión forestal en la diversidad biológica, en particular el potencial de interacciones sinérgicas entre actividades de manejo y cambio climático (Brook *et al.*, 2008). Además, cualquier cambio en el manejo forestal que se implemente para mitigar el cambio climático previsto continuará afectando la biodiversidad durante varias décadas, donde las plantaciones se manejarán en rotaciones largas para obtener madera o carbono.

Para maximizar las oportunidades futuras de biodiversidad y proteger los valores de biodiversidad existentes en las plantaciones, los forestales deben aumentar la resiliencia y capacidad de adaptación de las plantaciones a las condiciones climáticas cambiantes. En algunas circunstancias, esto puede requerir

nuevos tipos de rodales de plantaciones de múltiples especies o mosaicos a escala fina de rodales de una sola especie dentro del paisaje.

Liang *et al.* (2016) establecieron una relación entre la biodiversidad y la pérdida en productividad a partir del análisis de 777.126 parcelas permanente, que abarcan 44 países y que contienen 30 millones de árboles de 8.737 especies, representativos de la mayoría de los *biomas* terrestres mundiales. Los resultados revelan que la pérdida continua de biodiversidad provocaría una disminución acelerada de la productividad forestal, en todo el mundo.

El mantenimiento de la productividad forestal comercial por sí solo sería más del doble de lo que costaría implementar una eficaz conservación global. Dichos autores destacan la necesidad de una reevaluación mundial de los valores de biodiversidad, las estrategias de manejo forestal y las prioridades de conservación. Además, concluyen los beneficios potenciales de la transición de monocultivos a rodales de especies mixtas en las prácticas forestales.

Finalmente, MMA (2018) establece como meta nacional al 2030 avanzar significativamente en el uso sustentable de la biodiversidad nacional, contribuyendo a la mantención de sus servicios ecosistémicos a través de varios lineamientos estratégicos, entre los que destacan el lineamiento 4 que consiste en apoyar la implementación y reconocimiento de buenas prácticas productivas y de actividades empresariales e innovaciones ecológicamente sustentables que incluyan objetivos de protección de biodiversidad, y el lineamiento 5 incorporar elementos para reducir los impactos sobre la biodiversidad y establecer criterios para la conservación de la misma en los instrumentos de fomento productivo.

ESTADO ACTUAL DE LAS INICIATIVAS PARA ENFRENTAR LAS AMENAZAS A LA BIODIVERSIDAD. NIVEL DE CUMPLIMIENTO DE ACUERDOS INTERNACIONALES

Existe una vasta literatura de los aspectos legales y técnicos de la biodiversidad respecto a los niveles de cumplimiento de compromisos y normas internacionales vinculantes con el Estado Chileno, los que se pueden encontrar en Pérez (2014), Hermosilla (2014), Soto (2014) y Meléndez (2016), entre otros.

Dado que el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) de Chile es el responsable de los aspectos de biodiversidad y aunque este tema en la actualidad se encuentra muy disperso en el aparato burocrático chileno, se revisará principalmente la información oficial de este Ministerio, encontrada principalmente en MMA (2019).

De acuerdo a la CEPAL³⁸ la Convención de Diversidad Biológica (CDB) impulsó el compromiso que los países actualizaran sus respectivas estrategias nacionales de biodiversidad y sus planes de acción para la COP 13 desarrollada en Cancún, México, en diciembre de 2016. La CEPAL acordó con el MMA de Chile apoyar el proceso de creación y desarrollo de indicadores de seguimiento de la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030.

De la misma forma, una de las primeras acciones públicas del acuerdo entre la CEPAL y el MMA de Chile, en el año 2017 fue construir y sostener indicadores de biodiversidad para el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS).

La inversión en biodiversidad y ecosistemas a través de las acciones propuestas en las Estrategias Nacionales de Biodiversidad también asegura que nadie quede atrás en la implementación de los Objetivo de Desarrollo Sostenible³⁹ (ODS) (Figura 5).

³⁸ <https://www.cepal.org/es/notas/construccion-sostenimiento-indicadores-biodiversidad>

³⁹ <http://www.chileagenda2030.gob.cl/>



Figura 5. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Alonso *et al.* (2019) establecen que en la agenda 2030 de ODS, además de los objetivos que moldearán el diseño social y económico de los próximos años, también se encuentran objetivos para proteger el medio ambiente y la biodiversidad, de la cual depende una parte importante de la economía mundial. En específico, el Objetivo 15 promueve la Vida de los Ecosistemas Terrestres (ONU, 2018).

No obstante, el compromiso de que los países actualizaran sus respectivas estrategias nacionales de biodiversidad y sus planes de acción ha impulsado a los países a replantearse metas que permitan reorientar sus programas y políticas públicas hacia el cumplimiento de los acuerdos tomados en Japón (Metas Aichi 2020)⁴⁰, y en general los países no han desarrollado indicadores de seguimiento de sus estrategias o políticas específicas de biodiversidad.

Las metas de Aichi sobre la diversidad biológica son resumidamente las siguientes:

1. Difusión de los valores de la biodiversidad.
2. Integración de estos valores y de las estrategias nacionales a la planificación.
3. Eliminación o reforma de incentivos perjudiciales y aplicación de incentivos positivos.
4. Aplicación por parte de gobiernos, empresas y grupos de interés de planes de producción y consumo sostenibles.
5. Reducción de pérdidas de hábitats y de la degradación y fragmentación.
6. Gestión sostenible de hábitats acuáticos.
7. Gestión sostenible en la agricultura, silvicultura y acuicultura.
8. Control de contaminantes.
9. Clasificación y control de especies exóticas invasoras.
10. Reducción de presiones antrópicas sobre ecosistemas acuáticos vulnerables.
11. Gestión eficaz y equitativa de aguas continentales y marinas.
12. Prevención de la extinción de especies amenazadas.
13. Mantenimiento de la diversidad genética de las plantas cultivadas y de los animales silvestres y domésticos.
14. Restauración y salvaguarda de los ecosistemas que proporcionan servicios esenciales, incluidos aquellos relacionados con el agua.
15. Mejoramiento de la resiliencia de los ecosistemas y la contribución de la biodiversidad a las reservas de carbono.
16. Respeto al Protocolo de Nagoya sobre acceso a los recursos genéticos y la distribución justa y equitativa de los beneficios de su uso.
17. Las partes elaborarán y adoptarán estrategias y planes de acción nacionales participativos, eficaces y actualizados, en materia de diversidad biológica.
18. Se respetarán los conocimientos, las prácticas tradicionales y las innovaciones de las comunidades indígenas y las locales.
19. Se mejorarán, compartirán, transferirán y aplicarán los conocimientos, la base científica y las tecnologías relacionadas con la diversidad biológica.
20. Los recursos financieros para la aplicación efectiva del Plan Estratégico para la Diversidad Biológica de todas las fuentes deberían aumentar sustancialmente.

⁴⁰ <http://www.ecomilenio.es/que-son-los-objetivos-aichi-para-la-biodiversidad/4490>

La Secretaria del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2014), respecto del avance hacia la meta 3, Aichi 2020, eliminar gradualmente los incentivos perjudiciales para la biodiversidad, y 5, disminuir al menos a la mitad la tasa de pérdida de todos los hábitats naturales, indica que en lo relativo a los subsidios no hay mayor avance, sin embargo, en materia de subsidios positivos si los hay, pero estos son limitados y deben orientarse a objetivos específicos. En lo referente a las pérdidas de hábitats, concluye que se continúan fragmentado y degradando hábitats de todo tipo, incluidos bosques, praderas, humedales y cuencas fluviales.

Considerando las metas de Aichi y los ODS, MMA (2019) realiza una evaluación del progreso en el desarrollo de las Metas Nacionales sobre diversidad biológica 2017-2030. A continuación, se analizan brevemente los avances de estas Metas, las que deberían estar implementadas en Chile, en el año 2030.

- **Meta Nacional 1:** Al 2030 se habrá avanzado significativamente en el uso sustentable de la biodiversidad nacional. Existe un progreso hacia esta meta, pero a un ritmo insuficiente. Se ha contribuido a las metas de Aichi: 3, 4, 6, 7, 8, 14 y 15; y también a los objetivos ODS: 2, 6, 8, 9, 12, 13, 14, 15 y 17.
- **Meta Nacional 2:** Establece que al 2030 el 60% de la población nacional estará consciente del valor de la biodiversidad nacional y los problemas ecológicos y ambientales que genera su pérdida, y el deterioro de sus servicios ecosistémicos para los sistemas naturales, para la calidad de vida de las personas y para el desarrollo sustentable del país. No se registran cambios significativos hacia esta meta. Se ha contribuido a las siguientes metas de Aichi: 1, 18 y 19; y también a los siguientes objetivos ODS: 4, 12, 14, 16 y 17.
- **Meta Nacional 3:** Establece que al 2030 Chile habrá avanzado en el logro de una institucionalidad que permita la conservación y gestión sustentable de la biodiversidad del país, y el 100% de las instituciones públicas con competencia directa en gestión de los recursos naturales, tanto de nivel local, regional como nacional, habrán avanzado hacia el establecimiento de un marco institucional de buena gobernanza, amplio, eficaz y coherente, y con recursos humanos, técnicos y económicos adecuados para contribuir efectivamente a conservar la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, y promoviendo el acceso justo y equitativo de diversos grupos de la sociedad a los beneficios que ello genere. Hay progreso hacia la meta, pero a un ritmo insuficiente. Se ha contribuido a las siguientes metas de Aichi: 16, 17, 18 y 20, y también a los siguientes objetivos ODS: 6, 14, 15, 16, 17.
- **Meta Nacional 4:** Propone que al 2030 las instituciones públicas, sectores productivos y de servicios del país, que generen impactos sobre la biodiversidad, habrán avanzado en la aplicación permanente de políticas y medidas para conservar y usar sustentablemente la biodiversidad nacional y sus servicios ecosistémicos. No hay cambios significativos hacia esta meta. Se ha contribuido a la meta de Aichi: 2, y también a los siguientes objetivos ODS: 11, 12, 13, 15, 17.
- **Meta Nacional 5:** Se supone que al 2030 se habrá reducido la tasa de pérdida de ecosistemas y especies en un 75% y será cercano a cero donde sea priorizado. Hay progreso hacia la meta, pero a un ritmo insuficiente. Se ha contribuido a las siguientes metas de Aichi: 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15; y también a los siguientes objetivos ODS: 2, 6, 14, 15, 17.

Diferentes tratados y acuerdos internacionales han sido suscritos, diversos instrumentos de política y fomento han sido establecidos y una serie acciones e iniciativas han sido tomadas, que de uno u otro modo se orientan a avanzar en el cumplimiento de las metas nacionales:

- Se ha elaborado un Protocolo de Plantaciones Forestales.
- Sector privado ha accedido a la certificación de Manejo Forestal Sustentable.
- Tratado Internacional sobre los Recursos Fito Genéticos para la Alimentación y la Agricultura (TIRFAA) 2016, y Política de Acceso a Recursos Genéticos INIA 2015.
- Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD).
- Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRIV)
- Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación, Degradación de Tierras y la Sequía para el periodo 2016-2030.

- Contribución Nacional Determinada Forestal de Chile (INDC, sigla en inglés), que se encuentra también alineada con el enfoque del REDD+ de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).
- Conciencia de la población nacional sobre la biodiversidad. Encuesta anual de satisfacción realizada en las Áreas Protegidas del SNASPE. CONAF.
- Fomento a la Investigación del Bosque Nativo. CONAF
- Creación del Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistema Forestales (SIMEF). INFOR, CONAF, CIREN, FAO.
- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA)
- Inventario de Especies Silvestres y de Humedales.
- Nodo Nacional de Información sobre Biodiversidad GBIF Chile
- Registro Nacional de Áreas Protegidas
- Red de Monitoreo de la Biodiversidad.
- Mecanismos de participación ciudadana (54), 47 relacionados con la conservación de la biodiversidad. CONAF.
- Política Nacional de Desarrollo Rural 2014-2024. Enfoque Ecosistémico. MINAGRI.
- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático de 2014. MMA.
- Levantamiento de 109 indicadores, de los cuales, 18 se relacionan con biodiversidad.
- Comité Nacional de Restauración Ecológica (CNRE). Trabaja para enfrentar 824 mil hectáreas degradadas en el país definidas por MMA.

Se estima que, pese a los esfuerzos, las tasas de pérdida de biodiversidad no han podido ser revertidas a nivel global y Chile no es una excepción. Ante esto, la inclusión de la protección de la biodiversidad en los ODS, así como el creciente número de herramientas legales y técnicas que se está desarrollando, pretenden fortalecer los esfuerzos para la protección de la biodiversidad y revertir la tendencia.

Entre las herramientas de gestión de la biodiversidad que permiten armonizar el desarrollo económico con la protección de la biodiversidad están las compensaciones en biodiversidad, que son medidas de conservación con mejoras medibles en el estado de la biodiversidad, que buscan neutralizar un impacto adverso inevitable. Estas medidas solo son aplicables a proyectos que hayan seguido rigurosamente una jerarquía de mitigación, usando las compensaciones como último recurso (IUCN, 2016).

Aún queda mucho camino por recorrer en el ámbito de la conservación de la biodiversidad genética. En efecto, el acceso a la riqueza genética nativa del país no está suficientemente regulado y tampoco existen suficientes salvaguardas. En este contexto se tiene pendiente la Meta de Aichi N° 16, sobre el protocolo de Nagoya, que fue adoptado el 29 de octubre de 2010 en Nagoya, Japón, y entró en vigor el 12 de octubre de 2014. Su objetivo es la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos, contribuyendo así a la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica. Chile tiene esta deuda pendiente, ya que no ha ratificado dicho protocolo. El Protocolo de Nagoya creará una mayor seguridad jurídica y transparencia, tanto para los proveedores como para los usuarios de los recursos genéticos a través de:

- Establecer condiciones más predecibles para el acceso a los recursos genéticos.
- Ayudar a garantizar la distribución de beneficios cuando los recursos genéticos abandonan el país que los proporciona.
- Ayudar a garantizar la participación en los beneficios, el Protocolo de Nagoya crea incentivos para conservar y utilizar de manera sostenible los recursos genéticos y, por lo tanto, mejora la contribución de la diversidad biológica al desarrollo y el bienestar humano.

CONCLUSIONES

Es ya ampliamente aceptada la importancia de la biodiversidad y su estrecha relación con el manejo sostenible de los recursos naturales en todos los ámbitos de estos. La biodiversidad en un sentido amplio es la suma de la diversidad genética dentro de las poblaciones de cada especie, la diversidad de especies y la diversidad de ecosistemas, con todas sus interacciones. Esta gran diversidad es la que

favorece la adaptabilidad y la resiliencia de especies y ecosistemas ante los cambios ambientales, y su permanencia en el tiempo.

Existen numerosos tratados internacionales relacionados con la conservación del patrimonio natural, a los cuales han adherido muchos países, a través de los cuales se han establecido objetivos y metas globales para detener la pérdida de biodiversidad. Los principales de estos son la Convención para la Protección de la Flora y Fauna Washington (1940), el Convenio sobre Zonas Húmedas-RAMSAR (1971), la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre-CITES (1973) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica-CDB (1992), entre otros.

Los bosques cubren casi la tercera parte de la superficie terrestre y albergan a más del 80 % de la biodiversidad de esta, en el caso de Chile estos cubren algo más de un quinto de su superficie. La cubierta forestal mundial está sometida a múltiples amenazas, dadas principalmente por el avance de las fronteras agrícolas, la sobreutilización y los incendios forestales, de acuerdo al FRA 2020 de FAO (2020) las pérdidas netas de bosques en el mundo se han reducido a la mitad en las últimas décadas, no obstante en el período 2010 – 2020 aún se pierden anualmente 4,7 millones de hectáreas, especialmente en la zonas tropicales.

Contrariamente, Chile es uno de los pocos países en el mundo cuya cubierta forestal se ha incrementado en las últimas décadas debido a la recuperación de bosques nativos en algunas zonas y a la expansión de las plantaciones forestales. Las grandes presiones sobre los bosque nativos cesaron a mitad del siglo pasado, hoy no hay deforestación, tampoco sustitución o esta es marginal afectando a matorrales nativos, se invierten anualmente cuantiosos recursos públicos y privados para la prevención y combate de incendios forestales, la reforestación es obligatoria, una gran parte de las plantaciones forestales se encuentra certificada bajo sellos nacionales e internacionales de manejo sostenible, y el manejo de los recursos forestales nativos está regulado y fomentado por la legislación forestal del país.

Chile posee una fuerte y desarrollada industria forestal que está basada casi exclusivamente en las plantaciones forestales, no obstante alrededor de la mitad de la superficie de bosques nativos (unos 7 millones de hectáreas) es considerada comercial y debe ser puesta en producción bajo el fomento y regulaciones del Estado, dados los beneficios económicos, sociales y ambientales que su manejo sostenible proporcionaría.

Las plantaciones forestales no tienen un gran efecto sobre la biodiversidad, han sido establecidas en suelos forestales desarbolados, praderas abandonadas por la ganadería y áreas de matorrales sin mayor valor, protegiendo los suelos y aguas, generando oxígeno, capturando y reteniendo grandes cantidades de carbono y morigerando localmente condiciones climáticas adversas. No obstante la silvicultura de estas plantaciones en muchos sectores deberá adecuarse en función del riesgo de incendios forestales, las limitaciones hídricas, el respeto a los cursos de agua y otras limitantes, y existen para esto múltiples variables que pueden ser readecuadas, como la densidad de plantación, la ubicación dentro de cuencas, las especies utilizadas, las combinaciones de especies, la alternancia de especies en grandes superficies, los tratamientos complementarios al suelo para favorecer infiltración, la mantención de corredores biológicos, la implementación de sistemas silvopastorales y silvoagrícolas, y muchas otras.

Respecto de la percepción de la sociedad sobre la biodiversidad en el país, encuestas realizadas por MMA (2028) reflejan que la protección de esta no parece ser un tema suficientemente comprendido por la sociedad y del cual se sienta parte la mayoría de la población, por lo que hay un gran desafío en este tema en el país, no obstante existen actualmente importantes esfuerzos para abordarlo en materia comunicacional y de difusión.

En lo que se refiere al monitoreo permanente de los recursos forestales, en el país existen dos sistemas nacionales de importancia dados por el Inventario Forestal Continuo del Instituto Forestal (INFOR), que ubica y actualiza anualmente la superficie de plantaciones y cuantifica las existencias volumétricas de los bosques nativos incorporando otras variables como la biodiversidad entre ellas, y el Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile desarrollado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), que actualiza periódicamente las superficies de bosques nativos. Ha esto se ha agregado más recientemente el Sistema de Monitoreo de Ecosistemas Nativos Forestales Nativos (SIMEF), liderado por INFOR y apoyado por FAO y GEF, que en alguna medida integra el trabajo de ambas instituciones e incorpora también al Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Este

sistema incluye los aspectos de ocurrencia y abundancia de especies de flora, vertebrados e invertebrados en bosques nativos y formaciones xerofíticas del país.

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado abarca en la actualidad una superficie de 18,6 millones de hectáreas, administradas por COINAF, que representan casi el 25% de la superficie nacional y tienen bajo régimen de protección y conservación 3,8 millones de hectáreas de bosques nativos. A esto se suman más recientemente áreas protegidas privadas y grandes reservas marinas.

El cambio climático global con sus efectos sobre las precipitaciones y las temperaturas, y el incremento de eventos climáticos extremos, para muchos autores (Sala *et al.*, 2000; Thomas *et al.*, 2004; FAO, 2008) puede constituirse en una de las principales causas de pérdida de biodiversidad en todo el mundo. Dada la longevidad que poseen los árboles y los ecosistemas forestales de los que forman parte, su capacidad de adaptación es limitada para responder a cambios ambientales rápidos, por tanto son particularmente sensibles al cambio climático.

Las alteraciones que provoca el cambio climático en el bosque se refieren a variados efectos, como la abundancia relativa de especies de árboles dentro de los bosques; la fenología de estos en cuanto a estacionalidad de floración, de brotación y de fructificación; la frecuencia e intensidad de los mecanismos clave de perturbación forestal, incluidos los eventos de viento e incendios; y la dinámica poblacional de plagas y patógenos forestales.

La forestación, la reforestación y la restauración ecológica forestal son las estrategias claves para mitigar el cambio climático, por lo que es fundamental mantener en los bosques, sean plantados o nativos, suficiente variabilidad genética para adaptarse a los efectos de este cambio sobre la supervivencia de los bosques y su capacidad de proporcionar hábitat para la biodiversidad. Nuevamente destaca la creciente importancia de la silvicultura para estos efectos.

En lo que se refiere al cumplimiento de metas relacionadas con los objetivos de desarrollo sostenible nacionales e internacionales, aunque hay algunos avances, Chile y los países en general se encuentran con un nulo o bajo cumplimiento de estas.

RECONOCIMIENTOS

INFOR y los autores agradecen a la Sociedad Nacional Forestal AG, por el estímulo para concretar esta revisión y al Dr. Juan Schlatter Vollmann por sus sugerencias para mejorar el análisis.

REFERENCIAS

- Alonso, V., Ayala, M. & Chamas, P. (2019). Compensaciones por pérdida de biodiversidad y su aplicación en la minería: Los casos de la Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile, Colombia y el Perú, Serie Medio Ambiente y Desarrollo, N° 167 (LC/TS.2019/125), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 73 p.
- Alvarez, D. & Duran, P. (2020). Plataforma Nacional Chilena IPBES. Presentación 20 de enero 2020. Santiago de Chile. 11 p. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/02/Plataforma-Nacional-Chilena-IPBES_Daniel-Alvarez-Paz-Duran_.pdf.
- Barbault, R. (1997). Biodiversité. Introduction à la Biologie de la Conservation. Les Fondamentaux, Hachette, Paris.
- Bertomeu, M. & Romero, C. (2001). Managing Forest Biodiversity: A zero-one goal programming approach. *Agricultural Systems*, 68. Pp: 197-213. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(01\)00007-5](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00007-5).
- Bickford, D., Posa, M.R.C., Qie, L., Campos-Arceiz, A. & Kudavidanage, E.P. (2012). Science Communication for Biodiversity Conservation. *Biol. Conserv.*, 151. Pp: 74-76. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.016>.
- BIOFIN CHILE. (2017). PolicyBrief Biodiversidad en Chile Propuestas para Financiar su Conservación y Uso Sostenible. Resumen Ejecutivo. Hacia el Desarrollo Sostenible. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Iniciativa Finanzas para la Biodiversidad. 8 p.
- Brockerhoff, E.G., Jactel, H., Parrotta, J., Quine, J., & Sayer, J. (2008). Plantation Forests and Biodiversity: Oxymoron or opportunity?. *Biodivers Conserv*, 17. Pp: 925–951. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9380-x>.
- Brook, B.W., Sodhi, N.S. & Bradshaw, C.J.A. (2008). Synergies among extinction drivers under global change. *Trends Ecol Evol.*, 23(8): 453–460. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.03.011>.
- Campos, C. (2013). Sección Especial – Percepción de la Biodiversidad. En *Ecología Austral*. National Scientific and Technical Research Council Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina Diciembre 2013. Pp: 145-146. <https://doi.org/10.25260/EA.13.23.3.0.1168>.

- CIPMA. (2003). Manual para Guardaparques. Parte I Las Áreas Silvestres Protegidas y la Conservación de Espacios Naturales. Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente CIPMA. Santiago.
- CONAF. (2017). Manual para la Planificación del Manejo de las Áreas Protegidas del SNASPE. Santiago. 230 p.
- CBD. (2011). COP 10 Decision X/2: Strategic Plan for Biodiversity 2011–2020. Convention on Biological Diversity <http://www.cbd.int/decision/cop/?id=12268> (CBD, 2011).
- Corona, P. (2016). Consolidating new paradigms in large-scale monitoring and assessment of forest ecosystems. *Environmental Research*, 144. Pp:8-14. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.10.017>.
- Declaración de Río Sobre Medio Ambiente y Desarrollo. (1992). Paper presentado en la Conferencia sobre Desarrollo y Medio Ambiente, Rio de Janeiro, Brasil. <https://doi.org/10.18356/8d87f981-es>.
- Denevan, W.M. (1995). Prehistoric agricultural methods as models for sustainability. *Adv. Plant. Pathol.*, 11. Pp: 21-43. [https://doi.org/10.1016/S0736-4539\(06\)80004-8](https://doi.org/10.1016/S0736-4539(06)80004-8)
- De la Maza, C.L. & Rodríguez, M. (2010). Desarrollo de un modelo de gestión sustentable en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) para el fortalecimiento de la oferta de turismo de intereses especiales. Informe de Proyecto. CORFO, Santiago.
- Diario Oficial de Chile. (1984). Ley 18.362. Crea Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado. Ministerio de Agricultura. Promulgada: 8 de noviembre de 1984. Publicada: 27 de diciembre de 1984.
- Diaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N. et al. (2015). The IPBES Conceptual Framework — connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14. Pp: 1-16.
- FAO. (2008). Biodiversidad agrícola en la FAO. 46 p. <http://www.fao.org/3/i0112s/i0112s.pdf>.
- FAO. (2010). Global Forest Resources Assessment FRA 2010 – main report. FAO Forestry. Rome, Paper. 163 p.
- FAO. (2012). Forest management and climate change: a literature review. Forests and climate change working paper 10. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. En: <http://www.fao.org/docrep/015/md012e/md012e00.pdf>. Consulta: 28 July, 2012.
- FAO. (2015). Términos y definiciones. Documento de Trabajo de la Evaluación de los Recursos Forestales No. 180. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, 2012. 37 p.
- FAO. (2020). Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales FRA 2020 – Principales resultados. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8753es>.
- Filloy, J., Zurita, G.A., Corbelli, J.M. & Bellocq, M.I. (2010). On the similarity among bird communities: Testing the influence of distance and land use. *Acta Oecologica*, 36(3): 333-338. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2010.02.007>.
- Fischer, M., Bossdorf, O., Gockel, S., Hänsel, F., Hemp, A., Hessenmöller, D. et al. (2010). Implementing large-scale and long-term functional biodiversity research: The Biodiversity Exploratories. *Basic and Applied Ecology*, 11. Pp: 473–485. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.07.009>.
- Franklin, J.F. (1993). Preserving Biodiversity: Species, Ecosystems or Landscapes?. *Ecological Applications*, 3(2): 202-205. <https://doi.org/10.2307/1941820>.
- Gilliam, F.S. & Roberts, M.R. (1995). Impacts of Forest Management on Plant Diversity. *Ecological Applications*, 5(4): 911-912. <https://doi.org/10.2307/2269342>.
- Hendee, J.C. & Dawson, C.P. (2009). *Wilderness Management. Stewardship and Protection of Resources and Values*. The Wild Foundation and Fulcrum Publishing, Boulder, Colorado, USA. Chapter 1.
- Hermosilla, R. (2014). Tratados internacionales vigentes en Chile en materia de protección a la biodiversidad y su relación con la legislación interna. Memoria para optar al grado de Licenciado en Ciencias Jurídicas Sociales. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales. Escuela de Derecho. 63 p.
- Horák, J. (2017). Insect ecology and veteran trees. *J. Insect Conserv.*, 21. Pp: 1–5. <https://doi.org/10.1007/s10841-017-9953-7>.
- Horak, J., Vodka, S., Kout, J., Halda, J.P., Bogusch, P. & Pech, P. (2014). Biodiversity of most dead wood-dependent organisms in thermophilic temperate oak woodlands thrives on diversity of open landscape structures. *Forest Ecol. Manage.*, 315. Pp:80–85. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.12.018>.
- Horák, J., Brestovanská, T., Mladenović, S., Kout, J., Bogusch, P., Halda, J.P. & Zasadil, P. (2019). Green desert?: Biodiversity patterns in forest plantations. *Forest Ecology and Management*, 433. Pp: 343–348. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.019>.
- INFOR. (2020). Anuario Forestal 2020. Chilean Statistical Yearbook of Forestry 2020. Boletín Estadístico/Statistical Bulletin N° 174. 274 p.
- Knocke, T., Ammer, C., Stimm, B., & Mosandl, R. (2008). Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on yield, ecological stability and economics. *Eur. J. For. Res.*, 127(2): 89–101. <https://doi.org/10.1007/s10342-007-0186-2>.
- Králová, K. & Masarovicová, E. (2006). Plant for the future. En *Ecological Chemistry and Engineering*. S = Chemia i Inżynieria Ekologiczna, 13(11): 1179-1207.

- Krebs, Ch. J. (1978). *Ecology. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 2nd. Ed. Harper & Row Publishers, NewYork.
- ONU. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3)*, Organización de las Naciones Unidas. Santiago. 93 p.
- OECD. (2012). *Perspectivas ambientales de la OCDE hacia 2050, Consecuencias de la inacción*, Organization for Economic Cooperation and Development. Puntos principales. 8 p.
- Paquette, A. & Messier, C. (2010). The role of plantations in managing the world's forests in the Anthropocene. *Front. Ecol. Environ.*, 8(1): 27–34. <https://doi.org/10.1890/080116>.
- Paquette, A. & Messier, C. (2011). The effect of biodiversity on tree productivity: from temperate to boreal forests. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 20(1): 170–180. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00592.x>.
- Pauchard, A. & Villarroel, P. (2002). Protected Areas in Chile: History, Current Status, and Challenges. *Natural Areas Journal*, 22. Pp: 318-330.
- Pawson, S. M., Brin, A., Brockerhoff, EG., Lamb, D., Payn, TW., Paquette, A. & Parrotta, J.A. (2013). Plantation forests, climate change and biodiversity. *Biodivers Conserv.*, 22. Pp: 1203–1227. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0458-8>.
- Pérez, C. (2014). *Acuerdos Ambientales Multilaterales para la Conservación de la Biodiversidad Análisis de Cumplimiento en Chile. Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental*. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza Programa Interfacultades. Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. 168 p.
- Plath, M., Mody, K., Potvin, C. & Dorn, S. (2011). Establishment of native tropical timber trees in monoculture and mixed-species plantations: small-scale effects on tree performance and insect herbivory. *For. Ecol. Manag.*, 261(3): 741-750. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.12.004>.
- Prado, J.A. (2015). *Plantaciones Forestales. Más allá de los árboles*. Colegio de Ingenieros Forestales. 172 p.
- Puettmann, K. J., Coates, K. & Messier, C. (2016). *Crítica de la Silvicultura el manejo de la complejidad*. Editorial: ACCL ediciones - Asociación cultural y científica iberoamericana. 294 p.
- Redford, K.H. & Mansour, J.A. (1996). *Traditional people and biodiversity in large tropical landscapes*. America Verde Press (The Nature Conservancy), Arlington. Virginia.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F.S., Lambin, E.F. et al. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461. Pp: 472-475. <https://doi.org/10.1038/461472a>.
- Rozzi, R., Armesto, J. & Figueroa, J. (1994). Biodiversidad y conservación de los bosques nativos de Chile: una aproximación jerárquica. *Bosque*, 15(2): 55-64. <https://doi.org/10.4206/bosque.1994.v15n2-09>.
- Sala, O.E., Chapin, F.S., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R. et al. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287. Pp: 1770–1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>.
- Santibañez, F. & Royo, A. (2002). Capítulo 5: Suelos. En: Instituto de Asuntos Públicos. Informe País Estado del Medio Ambiente en Chile. 2002. Universidad de Chile. Lom Ediciones. Santiago.
- Santibañez, F. & Santibañez, P. (2018). Evaluación de las forzantes bioclimáticas en la sustentabilidad de las comunidades de Araucarias en Chile. Hacia una estrategia de conservación del patrimonio natural frente a la amenaza del cambio climático. INFODEP. Santiago, Agosto de 2018.
- Secretaría de la Convención sobre la Diversidad Biológica. (2014). History of the Convention on Biological Diversity. <http://www.cbd.int/history/default.shtml>.
- Solbrig, O.T. & Solbrig, D.J. (1994). *So Shall You Reap: Farming and Crops in Human Affairs*, Island Press. Better World Books. Mishawaka, IN, USA. 284 p.
- Soto, L. (2014). Régimen jurídico de conservación de la biodiversidad en Chile. Tesis Doctoral. Programa de Doctorado en Derecho Ambiental. Facultad de Derecho. Universidad de Alicante, España. 685 p.
- Spellerberg, I.F. (1991). *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press, UK, 334 p.
- Stephens, S.S. & Wagner, M.R. (2007). Forest Plantations and Biodiversity: A Fresh Perspective. *Journal of Forestry*, 105(6): 307-313.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M. et al. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. (January 15, 2015) *Science*, 347 (6223).
- Swift, M.J. & Anderson, J.M. (1993). Biodiversity and ecosystem function in agricultural systems. En: Schulze, E.D. & Mooney, H.A. (Eds). *Biodiversity and ecosystem function*. Springer, Berlin Heidelberg New York Berlin. Pp: 17-38.
- Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C. et al. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970): 145–148. <https://doi.org/10.1038/nature02121>.
- Torras, O. & Saura, S. (2008). Effects of silvicultural treatments on forest biodiversity indicators En: the Mediterranean. *Forest Ecology and Management*, 255. Pp: 3322–3330. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.02.013>.

- Unda, A. (2016). Pautas para Identificación, Manejo y Monitoreo de Altos Valores de Conservación de FSC en Chile. FSC-CHILE. 159 p.
- UICN. (2008). La conservación forestal con un enfoque de derechos. Arborvitae. Boletín del Programa de Conservación de Bosques de la UICN n.36. 16 p.
- Universidad de Chile. (2016). Informe País: Estado del Medio Ambiente en Chile. Instituto de Asuntos Públicos, Centro de Análisis de Políticas Públicas. 605 p.
- Uribe, A. & Estades, C. (2010). Manejo de Plantaciones de *Pinus radiata* y Conservación de Fauna Silvestre. Ambiente Forestal. Revista de Extensión, 5(9): 12-19.
- Vivanco Font, E. (2019). Biodiversidad global. Impacto del cambio climático en el Reporte de Biodiversidad 2019. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile | Asesoría Técnica Parlamentaria. N° SUP: 121124. 9 p.
- Weber, C. & Gutiérrez, A. (1985). Áreas Silvestres Protegidas. Capítulo 4: 139163. Medio Ambiente en Chile. Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente (CIPMA). Santiago.
- Wolynski, A. (2002). Notas breves sobre la evolución histórica de la silvicultura naturalística. El Boletín de Prosilva, 1. Pp: 28-35.
- WWF. (2016). Planeta Vivo. Informe 2016. Riesgo y resiliencia en una nueva era. WWF International Avenue du Mont-Blanc 1196 Gland, Suiza www.panda.org. 148 p.
- WWF. (2018). Living Planet Report – 2018: Aiming Higher. Gland, Switzerland.
- WWF. (2019). Clima, Naturaleza y un Futuro con 1,5 °C. WWF International. 40 p.
- Zaninovich, S.C. (2017). Dinámica y almacenamiento del carbono en la necromasa y el suelo de ecosistemas forestales: Efecto de la degradación del bosque nativo y su reemplazo por plantaciones de *Pinus taeda* L. en el NE de Argentina. Tesis Doctoral. Doctor de la UNNE en Biología Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. 178 p.



EQUIPO EDITORIAL

Consejo Editor

Instancia de carácter estratégico, conformado por 8 miembros que ejercen cargos estratégicos en organizaciones nacionales representativas de instituciones académicas, sector público y asociaciones gremiales privadas del área forestal. Está conformado por los profesionales que ejercen los siguientes cargos

Director Ejecutivo de INFOR
Gerente I+D+i de INFOR
Presidente de la Sociedad Chilena de Ciencias Forestales
Gerente de Desarrollo y Fomento Forestal de CONAF
Presidente del Colegio de Ingenieros Forestales
Gerente de Estudios de CORMA
Presidente de PYMEMAD
Presidente de APROBOSQUE

Comité Editorial

Instancia técnica encargada del proceso editorial y de cautelar la calidad de las contribuciones que se publiquen en la revista. Está conformado por Editores Jefe y Editores Asociados, estos últimos vinculados las áreas temáticas correspondientes a la Áreas de Investigación de INFOR.

En el caso de los Editores Asociados, el primero corresponde al investigador de INFOR coordinador del Área de Investigación mencionada y el segundo es un profesional externo.

- Editores Jefe

Santiago Barros sbarros@infor.cl
Braulio Gutiérrez bgutierr@infor.cl

- Editores Asociados

Inventario y Monitoreo Recursos Forestales

Carlos Bahamondez - Horacio Bown

Información y Economía Forestal

Daniel Soto - Verónica Fuentes

Silvicultura y Manejo de Ecosistemas Forestales

Oscar Larraín - Carlos Magni

Diversificación Forestal

Gerardo Valdebenito - Paulina Fernández

Tecnología y Productos de la Madera

Gonzalo Hernández - Pablo Guindos

Árbitros Revisores

Instancia conformada por profesionales y especialistas seleccionados para la revisión y arbitraje, en modalidad de doble ciego, de las contribuciones enviadas a **Ciencia & Investigación Forestal**. Su labor es *ad honorem* y son escogidos por los Editores Jefe o Asociados. Entre ellos se incluyen evidentemente

todos aquellos profesionales que hasta el Vol. 26 N° 3 aparecían identificados uno a uno como Comité Editor de la revista.

Equipo de Apoyo Editorial

Equipo conformado por profesionales de apoyo permanente al proceso editorial, encargados de los aspectos relacionados al manejo del formato, diseño y difusión de la revista. El equipo incluye a los profesionales de INFOR encargados de Comunicaciones, de Informática y del Centro de Documentación (CEDOC); incluye además a otros miembros convocados directamente por el Editor Jefe, para la revisión final de los artículos aceptados para publicación. Este último grupo recibirá los manuscritos ya arbitrados y aceptados, encargándose de cautelar los aspectos de lenguaje, ortografía y formato de modo de dejarlos listos para publicación.

PROPIEDAD INTELECTUAL

Los trabajos publicados en **Ciencia & Investigación Forestal** se rigen por la licencia *Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)*.

En lo esencial esta licencia involucra que los autores conservan sus derechos de autor y que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar y distribuir la versión final aprobada y publicada del trabajo, siempre y cuando se realice sin fines comerciales y se cite la fuente y autoría de la obra.

La manera recomendada para citar los trabajos publicados en **Ciencia & Investigación Forestal** es:

Autor(es), Año. Título del trabajo. En: Ciencia & Investigación Forestal Vol N°. N° pp-pp. Instituto Forestal, Chile.

DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los autores que presenten trabajos para su publicación en **Ciencia & Investigación Forestal** consienten en facilitarle a la Revista un correo electrónico de contacto, así como los datos personales necesarios para la identificación de la autoría del artículo. A su vez, autorizan a la Revista a publicar junto con el artículo, los datos personales necesarios para la identificación del autor (nombre y apellidos, especialidad, institución, cargo, ciudad/país, correo electrónico) y a usar esta información para los sistemas de indexación y búsqueda de los trabajos publicados. Cualquier otro dato personal distinto a los previamente indicados no será divulgado ni transferido a terceros sin el consentimiento de los autores.

TIPO DE CONTRIBUCIONES

Ciencia & Investigación Forestal recibe y publica contribuciones en español, en las categorías de: Artículo, Apunte y Opinión. Ellas deberán estar basadas en evidencias y metodologías científicas y en literatura verificable, y serán sometidas a un proceso de revisión por pares previo a su aceptación para publicación.

- **Artículo:** Categoría en que tienen cabida los Artículo de Investigación y estudios de casos con método científico. Poseen una extensión máxima de 7000 palabras. Corresponde a documentos originales, inéditos, que muestran, en forma sintética, nuevos avances y resultados en el conocimiento y desarrollo de métodos. Describen avances en el conocimiento basándose en el análisis de datos experimentales de acuerdo a las directrices y estructura del método científico.

Pueden corresponder a estudios de alcance general o circunscribirse a estudios específicos a nivel de casos puntuales. Independiente de su alcance, el uso del método científico para generar y analizar datos y resultados es una condición obligatoria que define a la categoría Artículos.

- **Apunte:** Categoría en que tienen cabida documentos que presentan síntesis informativas sobre temas específicos como revisiones o comunicaciones. Estos documentos pueden corresponder a revisiones bibliográficas con síntesis de un tema en específico, el cual ha sido desarrollado

sobre la base de una revisión detallada de información disponible en literatura sujeta a un sistema de revisión de pares o proceso editorial.

También se aceptan en esta categoría aquellos documentos que describen en forma sintética los resultados, metodologías o técnicas novedosas que contribuyan al desarrollo del sector. Estas comunicaciones informan sobre proyectos en desarrollo, resultados preliminares o finales de una investigación, desarrollo de plataformas, etc. Su extensión máxima es de 4.000 palabras.

- **Opinión:** Categoría en que tienen cabida documentos breves que analizan desde un punto de vista personal, con respaldos verificables, algún tema forestal de interés.

En las opiniones, el autor o los autores exponen juicios, ideas, experiencias u observaciones sobre una temática de interés, apoyado en evidencias similares o discrepantes publicadas en literatura.

En esta categoría también se aceptan documentos breves en que el autor brinda comentarios, análisis, opiniones o discusiones bien argumentadas, respecto de libros, páginas web, proyectos de investigación, eventos o documentos en temas afines a los cubiertos por la revista. Su extensión máxima es de 2.500 palabras.

GUÍA Y RECOMENDACIONES PARA AUTORES

Estructura de los trabajos

Los trabajos presentados en la modalidad **Artículos** deberán contener: Tipo de contribución; Título; Autor(es); Resumen; *Summary*; Introducción y Objetivos; Material y Método; Resultados, Discusión y Conclusiones; Reconocimientos (optativo); y Referencias. En casos muy justificados Apéndices y Anexos. La estructura para las contribuciones en las categorías **Apunte** u **Opinión** puede simplificarse o modificarse a criterio del autor, no obstante, deberán contener necesariamente las secciones de: Título, Autores, Resumen, *Summary*, Introducción, Conclusiones y Referencias.

Tipo de contribución: Debe indicar si corresponde a Artículo, Apunte u Opinión

Título: Debe ser representativo del contenido del artículo y construirse con el mínimo de palabras, preferentemente no debe exceder de tres líneas.

Autores: Debe contener la identificación de los autores y especificar al autor para correspondencia, de acuerdo al formato que posteriormente se detalla.

Resumen: Descripción breve del trabajo, preferentemente no mayor de 250 palabras, de acuerdo al formato que se detalla posteriormente. Al final debe incluir al menos 3 palabras clave que faciliten la clasificación del documento.

Summary: Es la versión en inglés del resumen. Debe incluir también la traducción de las palabras clave, precedidas por la expresión *Keywords*.

Introducción: Como lo dice el título, este punto está destinado a introducir el tema, describir lo que se quiere resolver o aquello en lo que se necesita avanzar en materia de información, proporcionar antecedentes generales necesarios para el desarrollo o comprensión del trabajo, revisar información bibliográfica y avances previos, situar el trabajo dentro de un programa más amplio si es el caso, y otros aspectos pertinentes.

Los *Antecedentes Generales* y la *Revisión de Bibliografía* pueden en ciertos casos requerir especial atención y mayor extensión, si así fuese, en forma excepcional puede ser reducida la Introducción a lo esencial e incluir estos puntos separadamente.

Objetivos: Breve enunciado de los fines generales del trabajo o de la línea de investigación en que se inserta y definición de los objetivos específicos del artículo en particular.

Material y Método: Descripción clara de la metodología aplicada y, cuando corresponda, de los materiales empleados en las investigaciones o estudios que dan origen al trabajo. Si la metodología no es original se deberá citar claramente la fuente de información.

Resultados: Punto reservado para presentar los resultados obtenidos, estadísticamente respaldados cuando corresponda, y asociados directamente a los objetivos específicos antes enunciados. Puede incluir Cuadros y Figuras indispensables para la presentación y comprensión de los resultados. Debe evitar describir en texto aquellos aspectos que sean evidentes en los Cuadros y Figuras, así como repetir la misma información en distintas modalidades de presentación.

Discusión y Conclusiones: En la discusión se presentará el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, sus limitaciones y su posible trascendencia. Relación con la bibliografía revisada y citada. Las conclusiones destacan lo más valioso de los resultados y pueden plantear necesidades consecuentes de mayor investigación o estudio o la continuación lógica de la línea de trabajo. Las conclusiones podrán estar integradas en la discusión o, preferentemente, constituir un capítulo único separado.

Reconocimientos: Punto optativo, donde el autor, si lo considera necesario, puede dar los créditos correspondientes a instituciones o personas que han colaborado en el desarrollo del trabajo o en su financiamiento. Obviamente se trata de un punto de muy reducida extensión.

Referencias: Ordenamiento alfabético por autor principal de todas las fuentes bibliográficas citadas en el documento, no debe incluir referencias que no han sido citadas en texto y deben aparecer todas aquellas citadas en este.

Apéndices y Anexos: Deben ser incluidos solo si son indispensables para la comprensión del trabajo y su incorporación se justifica para reducir el texto. Es preciso recordar que los Apéndices contienen información o trabajo original del autor, en tanto que los Anexos contienen información complementaria que no es de elaboración propia.

Formato General de Presentación de Contribuciones

Los trabajos deben presentarse como archivos de Microsoft Word con tamaño inferior a 10Mb, con los cuadros y figuras insertos en su lugar dentro del texto; complementariamente los cuadros y figuras podrán enviarse además como archivos independientes, adecuadamente identificados. Se debe usar tamaño carta (21,6 x 27,9 cm), en una columna, con márgenes de 2,5 cm en todas las direcciones; interlineado sencillo; párrafos sin sangría, separados por un espacio libre, alineados a ambos lados, con letra arial 10 (excepto donde se especifique otro tamaño); sin usar saltos de página ni de sección; y siguiendo estrictamente las siguientes consideraciones de formato.

Primera Página

En primera línea, arriba a la izquierda se debe indicar el tipo de contribución con la palabra “ARTÍCULO”, “APUNTE” u “OPINIÓN”, según corresponda, usando letra arial 10 mayúscula. La clasificación propuesta inicialmente podría modificarse durante la edición

Separado de la línea anterior por una línea en blanco, se escribirá el título de la contribución con letra arial 12 negrita, con inicial mayúscula y restantes en minúsculas, con una extensión que no sobrepase de tres líneas y justificadas a la izquierda.

Separado del título por una línea en blanco se escribirán secuencialmente en una misma línea, o más si fuese necesario, los nombres de los autores usando letra arial 10 alineada a la izquierda. A cada autor se le agregará un superíndice numérico para relacionarlo con la información de filiación; al autor encargado de correspondencia se le agregará junto al superíndice un asterisco para diferenciarlo de los restantes.

Separado de los autores por una línea en blanco, se consignará la información de los mismos (título, institución, cargo, ciudad/país, correo electrónico) con letra arial 8, justificada a ambos lados, e iniciando la información de cada autor en una línea nueva. En la línea siguiente al último autor se agregará un asterisco seguido de la expresión “Autor para correspondencia”.

Separado del texto anterior por dos líneas en blanco se agregará el Resumen en letra arial 8, el título en mayúscula negrita e inmediatamente debajo el texto correspondiente, con una extensión que no sobrepase de 250 palabras. Separado por una línea en blanco se agregará la expresión “Palabras clave:” en arial 8 negrita y a continuación 3 a 4 palabras que permitan clasificar el trabajo. La misma estructura se utilizará para el *Summary* y las *keywords*. Todo el texto de Resumen, *Summary* y sus respectivas palabras claves deben tener el margen izquierdo desplazado en 8 caracteres hacia el interior.

Separado de las *keywords* por dos líneas en blanco, se iniciará la Introducción del trabajo. Si en esta página no alcanzan al menos 3 líneas del texto de la introducción, entonces ella se iniciará en la página siguiente.

La Figura muestra el aspecto de la primera página de las contribuciones de acuerdo a las instrucciones anteriores.

TIPO DE CONTRIBUCIÓN [Artículo, Apunte u Opinión, en arial 10 mayúscula]

Título de la contribución [en arial 12, negrita, minúscula alineado a la izquierda, interlineado 1,15 líneas, preferentemente no más de dos líneas]

Primer autor¹*; Segundo autor²; Tercer autor³; etc. [en arial 10]

¹ Profesión, institución, Ciudad, País, Correo electrónico. [en arial 8, interlineado 1,15 líneas]
² Profesión, institución, Ciudad, País, Correo electrónico.
³ Profesión, institución, Ciudad, País, Correo electrónico.
* Autor para Correspondencia

Recibido: xx mes, 2021; Aceptado: xx mes año; Disponible en línea: xx mes año

RESUMEN [arial 8 negrita mayúscula]
[Texto del resumen en arial 8 negrita, espaciado 1,15 líneas] Se analiza un ensayo de germinación en laboratorio para evaluar el efecto de cinco dosis de radiación gamma (10, 20, 30, 40 y 50 Gy) más un testigo sin irradiar, sobre los parámetros capacidad de germinación (CG), energía germinativa (EG) y periodo de energía (PE) de semillas de *Eucalyptus nitens*. Se concluye la existencia de un efecto significativo de radio-hórmesis asociado al tratamiento de 10 Gy, el cual aumenta la capacidad germinativa respecto al testigo sin irradiar. Ninguno de los tratamientos restantes resulta diferente al testigo en capacidad germinativa, energía germinativa ni periodo de energía.

Se comparan los resultados con los registrados en la bibliografía y se plantean recomendaciones para estudios posteriores en esta materia.

Palabras clave: palabra 1, palabra 2, palabra 3.

SUMMARY [arial 8 negrita mayúscula]
[Texto del summary en arial 8 negrita, espaciado 1,15 líneas] A laboratory germination test is analyzed to evaluate the effect of five doses of gamma radiation (10, 20, 30, 40 and 50 Gy) plus a control without irradiation, on the parameters of germination capacity (GC), germination energy (GE) and energy period (EP) of *Eucalyptus nitens* seeds. The existence of a significant effect of radio-hormesis associated with the 10 Gy treatment is concluded. This treatment increases the germination capacity compared to the no irradiated control. None of the remaining treatments is different from the control in germination capacity, germination energy or energy period.

The results are compared with those recorded in the bibliography. Recommendations are made for further studies in this area.

Keywords: *Eucalyptus nitens*, gamma radiation, hormesis, germination

INTRODUCCIÓN [arial 10, mayúscula negrita]

[Texto en arial 10, espaciado 1,15 líneas, alineado a ambos lados, sin sangría] La inducción de mutaciones mediante radiación nuclear ha jugado un rol importante en el mejoramiento de diversas especies de cultivo agrícola (FAO/IAEA, 2020), sin embargo no ha sido utilizada en forma exitosa en especies forestales. El prolongado ciclo reproductivo de estas últimas especies (Gustafsson y Mergen, 1964; Mukhtar et al., 2013; Riyal, 2011), así como la gran diversidad genética que ellas presentan, constituyen importantes desventajas y limitaciones para realizar mejoramiento genético vía mutagénesis inducida, técnica que es especialmente efectiva en cultivos con una base genética angosta, donde la diversidad alélica natural es limitada (Kumar, 2012; Jankowicz-Cieslak y Till, 2015), situación precisamente opuesta a la presente en especies forestales.

Otro uso de la radiación ionizante, pero que no busca inducir cambios permanentes en el material genético, es la radio-hórmesis u hormesis por radiación, consistente en la aplicación de pequeñas dosis de radiación

Figura 1: Apariencia del formato de primera página de contribuciones a Ciencia & Investigación Forestal.

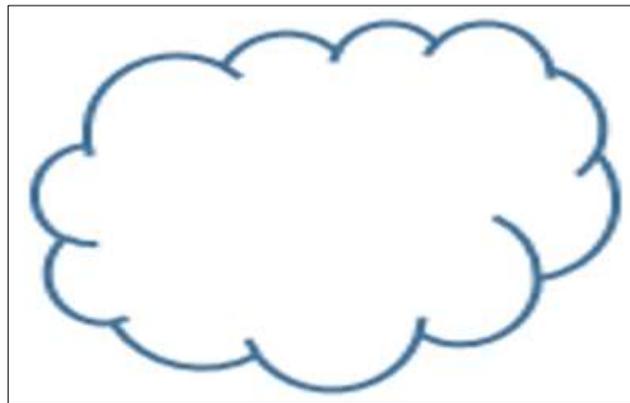
Introducción y Páginas Siguyentes

Texto en arial 10, espaciado sencillo justificado a ambos lados.

Los títulos de los puntos principales (Resumen, Introducción, Resultados, Referencias, etc) en arial 10, mayúsculas, negrita, justificados a la izquierda. El texto separado con dos líneas en blanco antes de un título principal y con una después de ellos.

Títulos secundarios en negrita, minúsculas, margen izquierdo. Títulos de tercer orden minúsculas negritas un tab (8 espacios) y anteponer un guión y un espacio. Si fuesen necesarios títulos de cuarto orden, usar minúsculas, margen izquierdo. Entre sub títulos y párrafo precedente y siguiente un espacio libre. En sub títulos con más de una palabra usar primera letra de palabras principales en mayúscula. No numerar puntos principales ni sub títulos.

Los cuadros y figuras deben ser autoexplicativos, no debe ser necesario leer el texto para interpretarlos; se enumerarán correlativamente y se presentarán centrados en la página cerca de donde se les cita por primera vez. Las figuras irán enmarcadas por una línea negra de 0,75 puntos de ancho. Sus títulos se escribirán en letra arial 8, encima de los cuadros y debajo de las figuras, ajustando la extensión de las líneas de título al ancho de las figuras o cuadros respectivos; justificando a ambos lados y usando negrita. De ser necesario incorporar fuente o crédito fotográfico, se agregará entre paréntesis inmediatamente a continuación del cuadro o figura, alineándose con el margen En las figuras siguientes se ejemplifica la forma de incorporar cuadros y figuras.



(Fuente: Johnson, 2016)

Figura 2: Ejemplo de cómo Presentar los Títulos de las Figuras

Cuadro N° 1. Ejemplo de cómo Presentar Títulos de Cuadros

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4
Fila 1			
Fila 2			
Total			

(Fuente: Modificado de Pérez, 2005)

Los nombres de especies vegetales o animales se escribirán en minúsculas normales cuando se trate de la denominación vernácula; los nombres científicos se escribirán en cursiva y minúsculas, excepto la inicial del género taxonómico que irá en mayúscula. Los nombres o abreviaturas de quienes describieron la especie solo se utilizarán la primera vez que esta se mencione, excepto si esta primera mención es en un título, en cuyo caso se procurará que tales nombres figuren en la siguiente ocasión en que se mencione la especie. Cuando una especie cuenta con nombre vernáculo conocido en español en lo sucesivo se podrá usar solo este.

Las citas bibliográficas seguirán el sistema autor, año. En el texto las referencias a obras de un autor se citarán como Autor (año) o (Autor, año); las de dos autores, como Autor1 y Autor 2 (año), o (Autor1 y Autor2, año); las de tres o más autores, como Autor1 *et al.* (año), o (Autor1 *et al.*, año). La expresión *et al.* siempre irá en cursiva y con un punto. En la eventualidad de que la combinación autor año no permita identificar a obras distintas, se usará una letra después del año para diferenciarlas, tanto en la cita en el texto como en las referencias al final del trabajo. Ejemplo: (Rodríguez, 1999a); (Rodríguez 1999b).

En las referencias, se listarán por orden alfabético todas las citas usadas en el texto o en las fuentes de cuadros o figuras. En lo posible se proporcionarán enlaces activos o identificación DOI para cada referencia empleada. Respecto al formato, ellas se presentarán en arial 8, la primera línea de cada cita se alinearán al margen izquierdo del documento, en tanto que las líneas siguientes tendrán su margen izquierdo desplazado 5 caracteres hacia el interior, como se muestra en el ejemplo siguiente. Un línea de separación entre cada cita.

No usar notas al pie para citas bibliográficas, estas deben aparecer como se indica en Referencias. Las fuentes de las comunicaciones personales tampoco deben citarse a pie de página, ellas deben incluirse dentro del texto mismo.

Otras Indicaciones

Expresiones en latín, como *et al.* y otras, así como palabras en idiomas distintos al español deben ser escritas en letra cursiva. También se podrá usar cursiva para hacer énfasis o representar citas textuales entre comillas. No se usará subrayado ni negritas para ninguno de estos efectos

Abreviaturas, magnitudes y unidades deben estar atentas a la Real Academia Española (RAE) y el Sistema Internacional de Unidades (SI). Se empleará en todo caso el sistema métrico decimal. Al respecto es conveniente recordar que las unidades se abrevian en minúsculas, sin punto, con la excepción de litro (L) y de aquellas que provienen de apellidos de personas como Watts (W), Newton (N) y otras. Algunas unidades de uso muy frecuente: metro, que debe ser abreviado **m**, metro cúbico **m³**, metro ruma **mr**; o hectáreas **ha**, toneladas **t**, metros cúbicos por hectárea **m³/ha**.

Los números serán utilizados con un punto como separador cada tres dígitos (excepto para los años) y por una coma para separar los decimales.

Las fórmulas, ecuaciones o expresiones matemáticas deben ingresarse en Word como texto, o usando la herramienta de diseño de ecuaciones, en ningún caso podrán incorporarse estas expresiones como imágenes. Se debe usar texto norma arial 10, sin embargo, para facilitar lectura de subíndices, superíndice, signos o símbolos en expresiones complejas se puede aumentar racionalmente el tamaño de la tipografía.

Las ecuaciones se deben escribir completas, ser referenciadas por un número entre paréntesis en su margen derecho y detallar el significado de sus componentes como en el ejemplo siguiente:

$$V = 0,05 + 0,00003151 * D^2 * H \quad (1)$$

Donde:

V: Volumen sólido sin corteza (m³)

D: Diámetro a 1,3 m de altura (cm)

H: Altura total (m)

Llamados a pie de página: Cuando estos son necesarios, serán numerados en forma correlativa y deben aparecer al pie en letra arial 8.

ENVÍO DE TRABAJOS Y PROCESOS DE PUBLICACIÓN

Las contribuciones para **Ciencia & Investigación Forestal** se deben enviar mediante la plataforma digital de la revista, o en última instancia por correo electrónico a las direcciones de contacto de los Editores Jefe (sbarros@infor.cl; bgutierrez@infor.cl). Previo al envío del manuscrito, los autores deberán

cautelar que el documento cumpla estrictamente con las especificaciones de estructura, formato y otras indicaciones señaladas precedentemente.

Junto con el trabajo se deberá remitir una carta señalando la intención de los autores de someter el documento al proceso de edición y publicación de la revista, y donde se manifieste conocer las declaraciones de privacidad y protección de datos personales, así como la política de propiedad intelectual de la revista (ambas en la página web de la misma). Esta carta debe estar firmada al menos por el autor principal de la contribución.

El Comité Editorial verificará si el documento cumple los requisitos generales que le son exigibles. Si no los cumple, se devolverá el manuscrito al autor señalando la causa del rechazo. En caso afirmativo, remitirá el manuscrito a dos revisores especialistas y se registrará esta fecha como "fecha de recepción". Esta primera fase demandará del orden de 10 días.

Una vez en poder de los revisores, estos tendrán un plazo de 30 días para arbitrar el documento y devolverlo al comité editorial, junto con el informe y ficha de revisión donde consignarán sus observaciones al manuscrito y su sugerencia respecto a aceptarlo, corregirlo o rechazarlo.

El Comité Editorial contrastará los informes de los árbitros revisores y, en consecuencia, tomará una de las siguientes decisiones, la que será comunicada al autor:

- Aceptar para publicación
- Devolver al autor para correcciones
- Solicitar nuevas revisiones
- Rechazar

Una vez que la contribución sea aceptada para publicación, se registrará esta fecha como "fecha de aceptación" y se enviará el manuscrito al Equipo de Apoyo Editorial para una revisión final (ortografía, formato, diseño, etc.) e incorporación a la revista. Finalizado el trabajo de este equipo, el documento se subirá a la web de la revista y se informará al autor las fechas de aceptación, de disponibilidad para consulta en web, el número, volumen y páginas en que se publicará su contribución y el código DOI asignado a la misma.

El periodo desde que el manuscrito es enviado por primera vez, hasta que esté disponible para consulta en la web de la revista y sea publicado, es variable y dependerá de las modificaciones requeridas y tiempos de respuesta involucrados, estimándose que en su totalidad no debería extenderse más de tres meses.

Declaraciones del autor en la plataforma OJS

El artículo está en archivo Microsoft Word

El artículo no ha sido publicado previamente

El artículo no es un plagio de otro trabajo

El artículo cumple con la estructura, formato y otras indicaciones detalladas en las "Instrucciones para los autores", disponible en: (enlace web)

Se adjunta carta de autorización firmada por autor para someter el artículo al proceso de edición y publicación en la revista.

CIENCIA & INVESTIGACIÓN FORESTAL

