


Proyecto IT21I0028

“Desarrollo de sistemas silviculturales ecológicos para la mitigación del cambio climático, recuperación de la biodiversidad y generación de productos maderables en plantaciones dominadas por *Nothofagus dombeyi* y *Nothofagus alpina*”

Dr. Celso Navarro Cárcamo

Temuco, 26 de junio de 2024

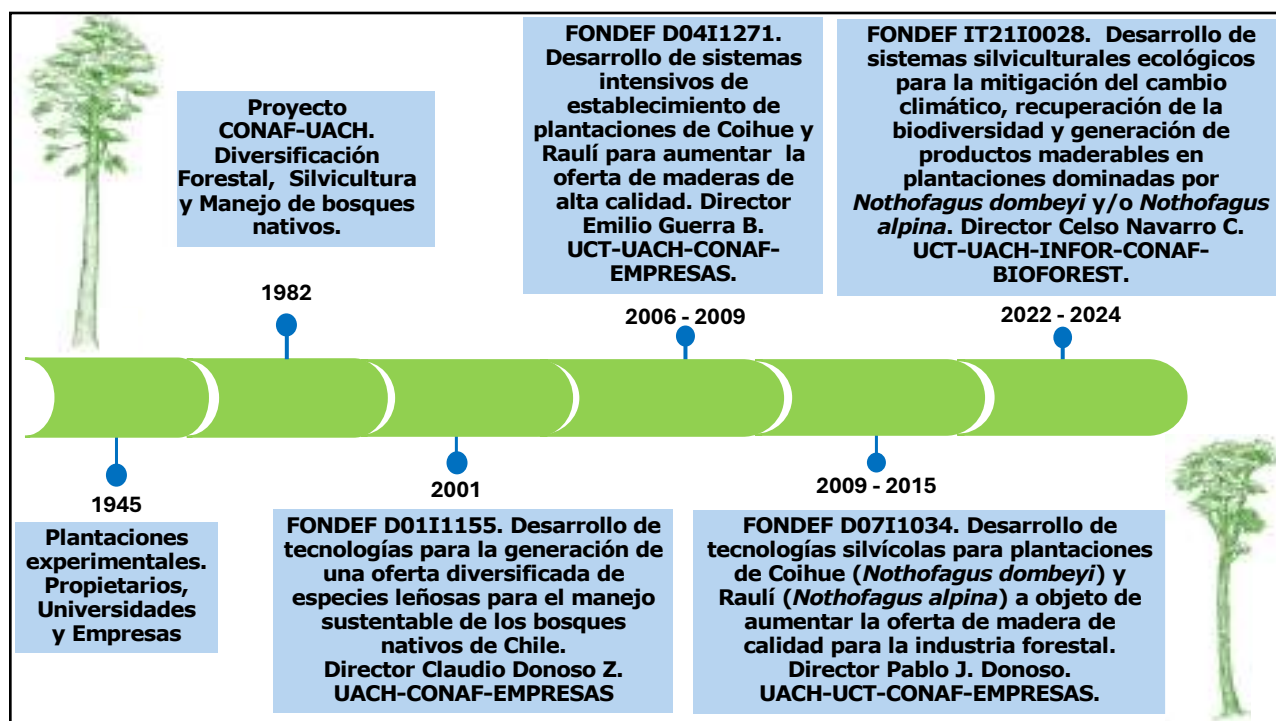


CONTENIDOS

- Antecedentes generales del proyecto.
- Objetivos.
- Metodología.
- Resultados.
- Conclusiones.



Antecedentes generales



Origen e Historia del proyecto













CAPÍTULO 12. SISTEMAS SILVICULTURALES PARA PLANTACIONES CON ESPECIES NATIVAS





Participantes















Empresas y propietarios de las plantaciones evaluadas



- Universidad Austral de Chile
- Agrícola y Forestal Taquihue S. A.
- Sociedad Ganadera y Forestal Quechumalal S. A.
- Corporación Nacional Forestal
- The Nature Conservancy (TNC)
- Forestal Arauco S. A.
- BOPAR S. A.
- Familia Donoso Hiriart
- Forestal Neltume Carranco S. A.
- Sra. Carmen Muñoz
- Sr. Carlos Soto
- Inversiones Quitrusco S.A.
- Bienes Nacionales
- Manulife Investment Management
- Timberland and Agriculture SPA,
- Inmobiliaria e Inversiones Vulcano S.A.
- Forest Service Provider Latam SPA.

Equipo del proyecto		
Nombre	Rol dentro del Proyecto	
Celso Navarro	Director	
Pablo Donoso Hiriart	Director Alterno	
Mario Romero Mieres	Investigador	
Paulo Dumont	Investigador	
Angélica Vásquez Grandón	Investigadora	
Mauricio González Chang	Investigador	
Oscar Larraín Larraín	Investigador	
Gerardo Valdebenito	Investigador	
María Fernanda Aguayo	Técnico Administrativo	
Natalia Gallardo	Geógrafa y Tesista Magister FONDEF	
Adrián Ibarra	Ing. Forestal y Tesista Magister FONDEF	
Jorge Donoso	Tesis Pregrado FONDEF	






Comité Directivo	
Nombre	Institución
Rodrigo Aedo	Representante UCT
Germán Rehren	Representante UACH
Marta González	Representante INFOR
Leonardo Balbontín	Representante CONAF
Pamela Moreno	Representante CONAF
Pablo Ramírez de Arellano	Representante BIOFOREST
Lilia Peigñan	Ejecutiva ANID
Celso Navarro C.	Director(a) proyecto*



Objetivo general

Desarrollar sistemas silviculturales ecológicos en plantaciones dominadas por Coihue (*Nothofagus dombeyi*) y Raulí (*Nothofagus alpina*) para la mitigación del cambio climático, la recuperación de la biodiversidad y la generación de productos maderables en Chile.





Objetivos específicos

1. Evaluar la captura y secuestro de carbono, la diversidad, y la producción maderera en plantaciones dominadas por Coihue en diversas condiciones de sitio, edad y manejo.
2. Evaluar la captura y secuestro de carbono, la diversidad y la producción maderera en plantaciones dominadas por Raulí en diversas condiciones de sitio, edad y manejo.
3. Definir sistemas silviculturales ecológicos, basados en la evaluación y análisis de la diversidad florística, la regeneración de especies arbóreas, la captura y almacenamiento de carbono, y la productividad en plantaciones de especies nativas con dominancia de Coihue y con dominancia de Raulí a diferentes edades y y condiciones de sitio.
4. Determinar unidades de gestión silvicultural a nivel regional para forestación con las especies Coihue y Raulí.



Resultado de producción: Sistemas silviculturales ecológicos (SSE) para plantaciones con dominancia de Coihue y plantaciones con dominancia de Raulí.

Hito 1: Evaluación integral de plantaciones con dominancia de Coihue y plantaciones con dominancia de Raulí.

Hito 2: Propuestas silviculturales ecológicas para plantaciones con dominancia de Coihue y plantaciones con dominancia de Raulí.





Metodología

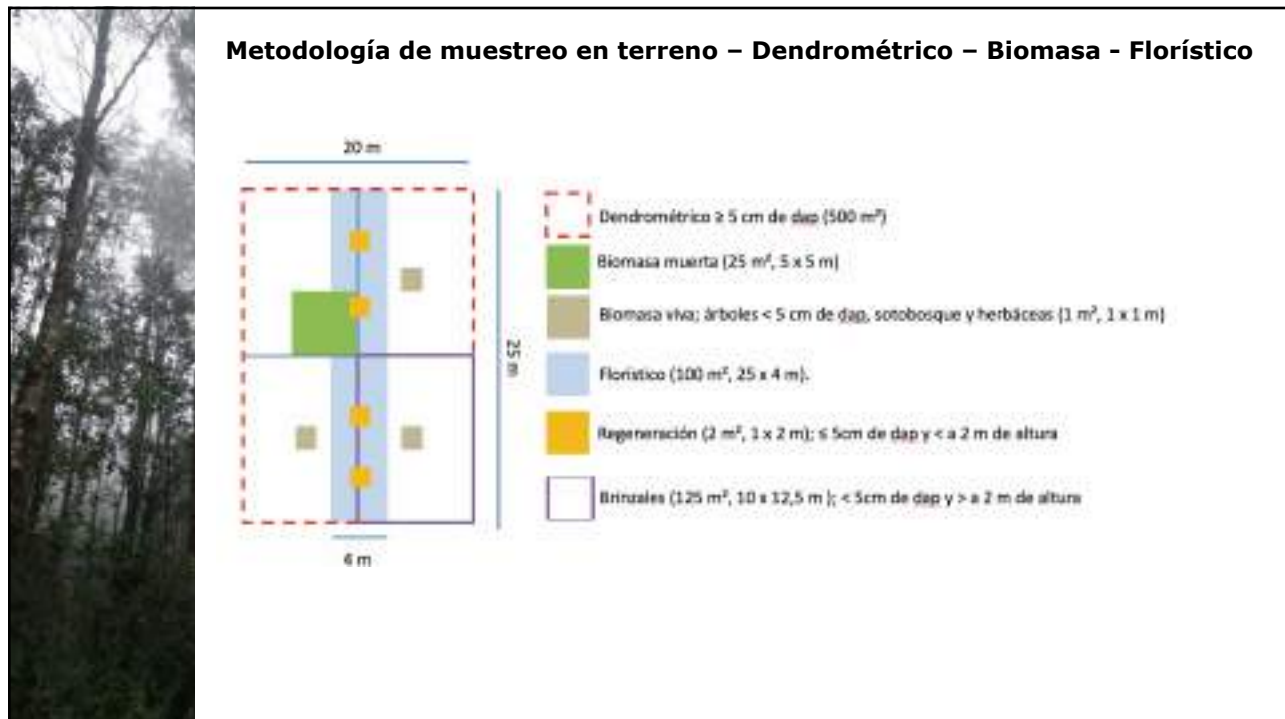
**CARBONO
DIVERSIDAD FLORÍSTICA
PRODUCTOS MADERABLES**

Madera y Bosques vol. 24, núm. especial, e2401894 Invierno 2018

Metodología de muestreo en terreno

Cuadro 2. Componentes a evaluar en la unidad muestral y subunidades muestrales.

Componente para evaluar	Tributaria	Tamaño de unidad muestral	Tamaño muestral (n)
Carbono de biomasa aérea de árboles de DAP > 5 cm	Cálculo de biomasa aérea	500 m ²	200
Carbono de biomasa aérea de árboles de DAP < 5 cm	Cálculo de biomasa aérea	125 m ²	200
Biomasa viva	Cálculo de biomasa aérea	1 m ²	200
Biomasa muerta	Cálculo de biomasa aérea	25 m ²	200
Muestra de suelo	Cuantificación de carbono en el suelo	1 muestra de suelo compuesta por 8 submuestras	96 (16 plantaciones por 3 U.M. por 2 horizontes)
Muestra de hojarasca y residuos leñosos ligeros	Cuantificación de carbono	1 m ²	48 (16 plantaciones por 3 U.M.)
Inventario florístico	Diversidad florística	100 m ²	200
Regeneración de especies arbóreas	Diversidad florística	8 m ² , cuatro subunidades de 2 m ²	800
Brizales	Diversidad florística	125 m ²	200
Muestra de suelo	Diversidad microbiana del suelo	1 muestra de suelo compuesta por 8 submuestras	96 (16 plantaciones por 3 U.M. por 2 horizontes)
Muestra de suelo	Análisis químico de suelos	1 muestra de suelo compuesta por 8 submuestras	40 plantaciones (16 plantaciones por 3 U.M. por 2 horizontes, y en 24 plantaciones 1 muestra compuesta)

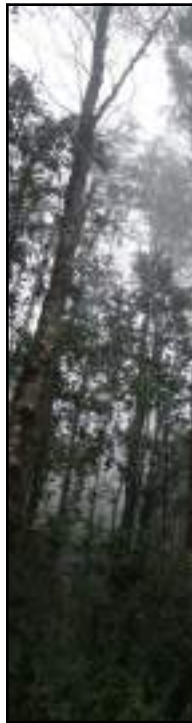


Metodología de muestreo en terreno – Dendrométrico – Biomasa - Florístico



Metodología de muestreo en terreno – Dendrométrico – Biomasa - Florístico







Metodología de muestreo en terreno - Suelos



Metodología de muestreo en terreno – Suelos



Metodología – Análisis de Tarugos

1. Montaje y lijado. 
2. Fechado y medición. 
3. Cofechado.

Datos de Terreno			Cofechado							
Id	Código tarugo	Parcela	Intervalo		Número de anillos	Correlación con la master	Ancho medio del anillo	Ancho máximo del anillo	Observación	Médula, arco. Sin nada
1	LP-Co1-P1-T1	GS-1	1990	2021	32	0,574	5,73	8,7		Con arco
2	LP-Co1-P1-T2	GS-1	1991	2021	31	0,316	5,31	13,98		Con arco
3	LP-Co1-P1-T3	GS-1	1990	2021	32	0,204	5,01	12,28		Con arco
4	LP-Co1-P2-T1	GS-2	1991	2019	29	0,508	5,45	9,25		Con arco
5	LP-Co1-P2-T2	GS-2	1993	2021	29	0,303	4,02	12,33		Con arco
6	LP-Co1-P2-T3	GS-2	1992	2021	30	0,565	4,12	7,93		Con arco

Metodología – Análisis Florístico

- ✓ Generación de la base de datos florísticos (Predio, plantación, parcelas).
- ✓ Tablas florísticas (matriz presencia-ausencia) por plantación.
- ✓ Cada tabla florística se compone de:
 - Nombre científico de las especies ordenadas alfabéticamente
 - Los porcentajes promedio de cobertura por parcela
 - Valores de frecuencia (absoluta y relativa) y cobertura (absoluta y relativa)
 - Valor de importancia.








Metodología – Análisis de suelo

1. Análisis de laboratorio de suelos básico:

- P 8,5 (Olsen); S disponible: extracción con Ca (H₂PO₄) 0,01 mol/L; Ca, Mg, K y Na intercambiables: extracción con CH₃COONH₄ 1 mol/L a pH 7,0; Al intercambiable: extracción con KCl 1 mol/L; CICE: Ca+Mg+K+Na+Al intercambiables; saturación de Al: (Al intercambiable x100)/CICE; Técnicas analíticas según normas de la CNA de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo.

2. Análisis de laboratorio de suelos - fraccionamiento de carbono:

- Fraccionamiento de agregados y preparación de muestras de suelo.
- Determinación de Carbono en macro y micro agregados de suelo.

3. Análisis de laboratorio de suelos - diversidad microbiana:

- Extracción ADN genómico: Suelo.
- Librería y secuenciación.
- Análisis amplicón NGS y diversidad microbiana.



Metodología – Carbono en el suelo

Cantidad de Carbono por Unidad de Volumen

La cantidad de carbono por unidad de volumen de suelo se calculó a partir de los valores del contenido de carbono (%), la densidad aparente del suelo (g/cm³) y la profundidad del suelo con la siguiente fórmula:

$$CS = C \times DA \times P$$

Donde: CS = Cantidad de carbono en el suelo (t/ha)

C = Contenido de carbono (%)

DA = Densidad aparente (g/cm³)

P = Profundidad del muestreo (cm)

En ninguna muestra de suelo se encontró pedregosidad, por lo que no fue necesario considerar esta variable en el cálculo de la cantidad de carbono.

Rojas, Y., Gerding, V., Bahamondez, C., Molina, E., & Sagardia, R. (2020).

Rojas, J., Ibrahim, M., & Andrade, H. J. (2009). Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(2), 214-223.

Metodología de estimación de carbono sobre el suelo

Funciones estimadoras de biomasa

Cuadro 1. Fórmulas y modelos matemáticos utilizados para el procesamiento de datos.

Coihue	Peso seco aéreo (PSA en Kg)	Función alométrica parte aérea	Milla et al. (2013)
		$PSA = \text{EXP} \{-3,85690 - 3,89926 \times \ln(DAP) + 2,39620 \times \ln(DAP^2 \times Ht)\}$ $R^2: 100 \%; \text{EMC: } 11,5 \%; \text{Sxy: s/l}$	
Raulí	Peso seco aéreo (PSA en Kg)	Función alométrica parte aérea	Milla et al. (2013)
		$5 \leq Dap < 7: \ln PSA = -3,438 + 2,03 \times \ln(DAP) + 0,779 \times \ln(Ht)$ $7 \leq Dap < 10: \ln PSA = -3,33799 + 1,44943 \times \ln(DAP \times Ht) + (0,083)^2 / 2$ $Dap \geq 10: PSA = 14,37562 - 0,01885 \times DAP^{1,81388} \times Ht^{1,24822}$	Milla et al. (2013)
Coihue y Raulí	Biomasa en raíces (Kg)	Factor de conversión de PSA aéreo a biomasa de raíces	Gayoso et al. (2013)
		0,29 %	
Todas	Kg.	Contenido de Carbono = Biomasa Total x 0,5	IPCC (1996)

Metodología – Definición de productos maderables

1.- Trozo debobinable o premium, de 4 m de largo y diámetro mínimo 35 cm. y que la suma de sanidad y forma sea 2.

2.- Trozo aserrable tradicional, de largo entre 2,5 y 4 m y diámetro mínimo 20 cm, y que la suma de sanidad y forma sea 3.

3.- Leña u otros usos, aquellos árboles cuya suma de la sanidad y forma sea mayor o igual a 4.





Metodología – estimación de productos maderables

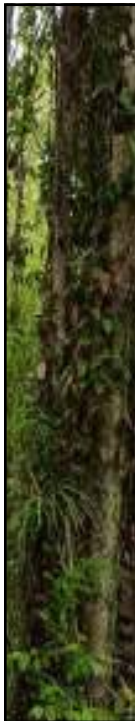
Cuadro 1. Fórmulas y modelos matemáticos utilizados para el procesamiento de datos.

Especie(s)	Parámetro	Función o fórmula	Fuente
Todas	N	$\sum Xi \cdot Fj$ (sumatoria de los árboles (Xi) en la unidad muestral (UM) por factor de expansión (10.000/a), donde a es el tamaño de la UM)	Prodan et al. (1997)
Todas	AB	$\sum Xi \cdot Fj$ (sumatoria del área basal de los árboles (Xi) en la unidad muestral (UM) por factor de expansión (10.000/a), donde a es el tamaño de la UM),	Prodan et al. (1997)
Todas	V	$\sum Xi \cdot Fj$ (sumatoria del volumen de los árboles (Xi) en la unidad muestral (UM) multiplicado por el factor de expansión (10.000/a), donde a es el tamaño de la UM).	Prodan et al. (1997)
Todas	DMC	$\sqrt{(AB \cdot 40.000 / \pi \cdot N)}$. Corresponde al diámetro medio cuadrático o árbol de área basal media.	Prodan et al. (1997)
Todas	Índice de Gini Modificado (H)	$E Ni / (E Ni - ABi)$ Ni = Sumatoria del porcentaje de árboles hasta la clase i (i=1 hasta n-1). ABi = Sumatoria del porcentaje de área basal hasta la clase i (i=1 hasta n-1).	De Camino (1976)



Metodología – estimación de productos maderables

Especie(s)	Parámetro	Función o fórmula	Fuente
Raulí	v	$0,00073074 + 0,000035216 \cdot DAP^2 \cdot HT$	Donoso et al. (2015)
Coihue	v	$-0,033758 + 0,005159 \cdot DAP + 0,000026 \cdot DAP^2 \cdot HT$	Donoso et al. (2015)
Varias	v	$0,0000799 + 0,000033318 \cdot DAP^2 \cdot HT$	Drake et al. (2003)
Arrayán	v	$0,0381 + 0,4731 \cdot (DAP/100)^2 + (-5,081 + 0,7704 \cdot HT)$	Drake et al. (2003)
Canelo	v	$0,05 + 0,00063 \cdot DAP^2$	Drake et al. (2003)
Lingue	v	$0,003155 + 0,000475 \cdot DAP^2$	Drake et al. (2003)
Ulmo	v	$EXP(-8,666544 + 2,149093 \cdot LN(DAP) + 0,2508636 \cdot LN(DAP)^2)$	Drake et al. (2003)
Maqui	v	$0,0381 + 0,4731 \cdot (DAP/10)^2$	Drake et al. (2003)
Roble	v	$-0,073996 + 0,000848 \cdot DAP^2$	Drake et al. (2003)
Pino Oregón	v	$0,01297 + 0,0000312 \cdot DAP^2 \cdot HT$	Drake et al. (2003)
Roble	v	$-0,073996 + 0,000848 \cdot DAP^2$	Drake et al. (2003)
Notro, Tiaca	v	$-EXP(7,79199 + 2,0737 \cdot LN(DAP))$	Drake et al. (2003)
Olivillo	v	$0,00003915 \cdot DAP^2 \cdot HT + 0,0000802 \cdot DAP^2$	Drake et al. (2003)
Varias	v	$0,0000799 + 0,000033318 \cdot DAP^2 \cdot HT$	Drake et al. (2003)
Coihue	y= di	Modelo de ahusamiento $Y = DAP(a(x) - b(x^2) + c(x^3) - d(x^4) + 2(x^5))$ $X = (h - hi) / (h - 1,3)$ a=2,16, b=5,438, c=11,457, d= -11,438 e= 4,282	Donoso et al. (2015)
Raulí	y= di	Modelo de ahusamiento $Y = DAP (a - b \cdot (hi/h) + c / (DAP + (hi)^3))$ a=1,090075, b= -1,028921, c=0,0630310	Donoso et al. (2015)



Metodología - Procesamiento y análisis de datos

Se usaron modelos de efectos mixtos generalizados (GLMMs) para evaluar:

1. La relación entre el volumen o la biomasa y el tiempo, usando como co-variables (predictores) el sitio y el tipo de manejo.
2. La diversidad de sotobosque y el carbono como variables dependientes del tiempo y el volumen y con las mismas co-variables predictoras.

En cada GLMM se utilizó la distribución Gamma de errores.

Los modelos serán evaluados por el coeficiente Log Lik (Log Likelihood), la desviación y el coeficiente de determinación.

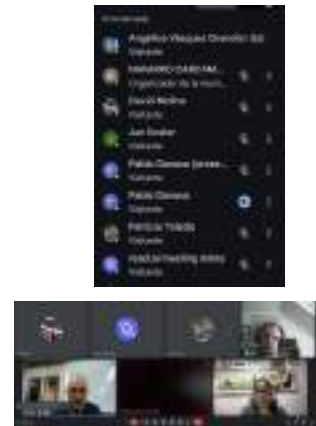
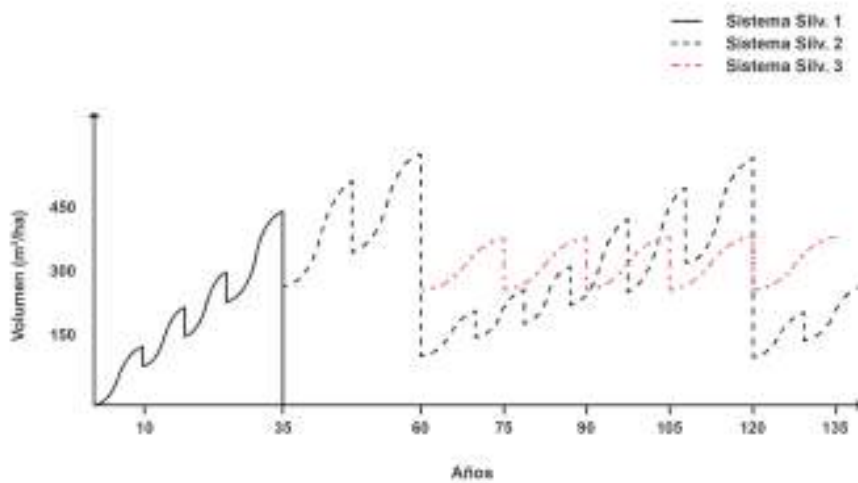
```
#####
##### MODEL 2 - Poisson (Link=log) #####
#####
model_2 = glmer(C ~ Specie + MO + FOTD + N + pH + (1|COD) + (1|COD:Manejo), fam=poisson(Link = 'log'), data = data)
summary(model_2)

Fixed effects:
(Intercept)  1.152e+00  3.724e+01  16.152  < 2e-16 ***
SpecieCas1  -3.222e-01  2.328e+01  -0.212  0.331
MO           -1.935e-02  2.383e+03  -5.708  1.29e-08 ***
FOTD         2.327e-04  2.782e+05  4.304  1.55e-08 ***
N            -7.138e-04  1.702e+03  -0.398  0.698
pH           -2.673e-01  5.273e+02  -0.867  4.84e-07 ***

SigUIC codes: 0 '***' 0.002 '**' 0.05 '*' 0.85 '.' 0.1 ' ' 1.
```

Metodología – Sistemas silviculturales ecológicos.

Validación mediante taller de expertos



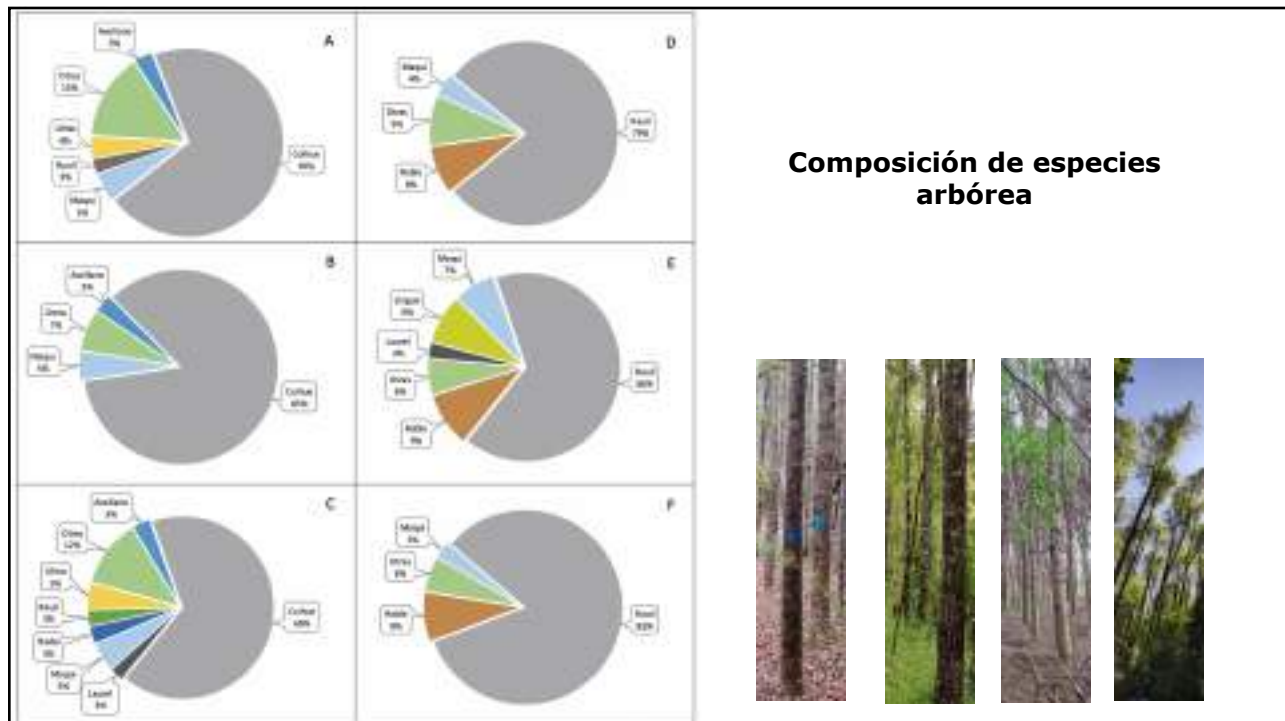
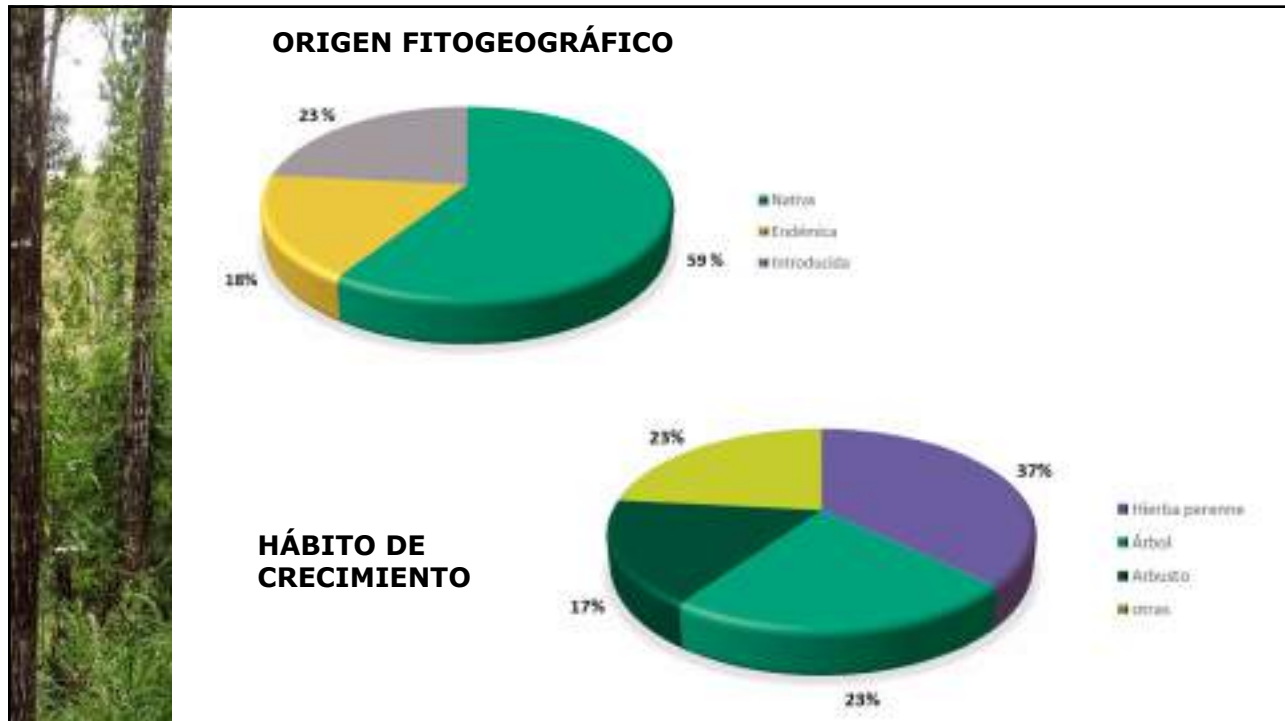


Metodología - Asignador silvicultural

1. Elaboración de cartografía con zonas priorizadas para forestación.
2. Asignación de sistemas silviculturales ecológicos) basados en las zonas factibles de forestar.



Resultados



Diversidad Florística

- Las plantaciones en general (Coihue y Raulí) presentaron una diversidad alta.
- El análisis por tipo de plantación y considerando solo las especies arbóreas presentes, mostró diferencias significativas principalmente entre los factores edad y predio.

Cuadro 4. Resumen valores R y P de acuerdo a los factores estudiados. Donde R= valor estadístico de correlación y P= p-valor < 0,05.

Factor	Conjunto		Coihue		Raulí	
	R	P	R	P	R	P
Tipo de Plantación	0,79	0,001	-	-	-	-
Edad	0,488	0,001	0,516	0,001	0,849	0,001
Manejo	0,077	0,001	0,146	0,001	0,13	0,001
Uso anterior	0,176	0,001	0,296	0,001	0,232	0,001
Predio	0,68	0,001	0,782	0,001	0,803	0,001

Cuadro 5. Resumen valores R y P de acuerdo a los factores estudiados y solo considerando el cortejo florístico arbóreo. Donde R= valor estadístico de correlación y P= p-valor < 0,05.

Factor	Conjunto		Coihue		Raulí	
	R	P	R	P	R	P
Tipo de plantación	0,907	0,001	-	-	-	-
Edad	0,414	0,001	0,466	0,001	0,707	0,001
Manejo	0,053	0,002	0,063	0,037	0,169	0,001
Uso anterior	0,129	0,001	0,22	0,001	0,11	0,002
Predio	0,547	0,001	0,698	0,001	0,651	0,001

Parámetros dasométricos Coihue



Predio	Código	Edad	N (árbores/ha)	AS (m ² /ha)	DM (m ³ /ha)	V (m ³ /ha)	HT (m)	Índice de Gm
Con manejo								
Barchanatal	00.00E-ROBAC01	16	125 ± 126	112 ± 125	19,8 ± 8,6	156 ± 120	19,3 ± 2,4	1,1
Fina	23.FU-C01	19	776 ± 207	776 ± 207	22,8 ± 5,2	176 ± 20	16,9 ± 1,1	0,9
Netomar	24.NE-C01	21	737 ± 321	737 ± 321	29,4 ± 2,2	727 ± 531	18,1 ± 2,4	0,9
Catalá	26.CA-C01	22	486 ± 107	486 ± 107	17,8 ± 7,1	448 ± 197	18,7 ± 1,6	2,1
Hernoco	33.HE-C01	23	1.930 ± 180	1.930 ± 180	39 ± 4	1.988 ± 180	17,5 ± 0,7	0,8
Chocoypill	37a.CH-C01	30	881 ± 58	881 ± 58	47,5 ± 4,5	595 ± 56	28,6 ± 4	4,2
Chocoypill	38.CH-C02	30	888 ± 705	888 ± 705	37,6 ± 3,8	888 ± 285	25,2 ± 4,5	0,9
Las Palmeras	01.LP-C01	34	735 ± 208	735 ± 208	38,3 ± 5,7	720 ± 289	29,2 ± 2,4	0,2
Sin manejo								
LirioPino	11.LP-C01	10	688 ± 527	61,5 ± 5,3	101 ± 0,8	191,5 ± 44,3	11,6 ± 0,8	4,8
Hipulú & Putuyul	21.HU-C01	11	3102 ± 485	20,8 ± 0,1	9,1 ± 0,6	87,8 ± 102	14 ± 1,6	8,1
Purillalá	31.PU-C01	17	2.985 ± 1.697	2 ± 16,9	9,4 ± 1,2	300,8 ± 75,7	20,9 ± 0,4	0,3
Las Ventanas	33.VE-C01	18	1.894 ± 144	26,8 ± 1,7	9,2 ± 1,8	242,4 ± 114,8	14,2 ± 1,5	2,8
Purillalá	34.PU-C02	20	2.094 ± 1.041	9,5 ± 5,5	14,1 ± 4,2	252,5 ± 58,4	19,0 ± 1,5	0,7
Purillalá	35.PU-C01	21	1.982 ± 31	43,6 ± 1,8	19 ± 1,2	376,8 ± 55,2	18,9 ± 1,2	1,2
Netomar	26.NE-C02	25	1.688 ± 234	48,3 ± 0,5	28,6 ± 1,8	458,8 ± 54,1	18,7 ± 1,1	4,0
Purillalá	36.PU-C02	22	1.288 ± 340	52,5 ± 0,7	38,3 ± 2,1	268,7 ± 4,7	21 ± 1	4,5
Purillalá	38.PU-84001	22	2.900 ± 328	14,1 ± 8,1	12,9 ± 1,1	368,3 ± 102,3	21,0 ± 0,7	0,8
Hernoco	33.HE-C02	23	8.666 ± 194	28,3 ± 4,1	14,9 ± 0,4	424 ± 12,5	17,2 ± 0,8	0,3
Chocoypill	37b.CH-C01	30	2.630 ± 41	49,8 ± 1,4	65,5 ± 1	462,9 ± 81,4	27 ± 2,7	0,9
Huacolla	35.HU-C01	34	3.852 ± 2.495	18,8 ± 7,7	17,7 ± 0,5	665,8 ± 178,3	22,1 ± 5,7	5,3
Sandona del bosque	22.SA-C01	34	2.752 ± 987	14,2 ± 4,4	17,1 ± 1,8	418 ± 96,8	21,7 ± 1,2	1,3
Barchanatal	00.00E-C01	35	848 ± 177	30,3 ± 2,8	18,4 ± 1,4	191,2 ± 48,6	12,2 ± 1,9	4,0

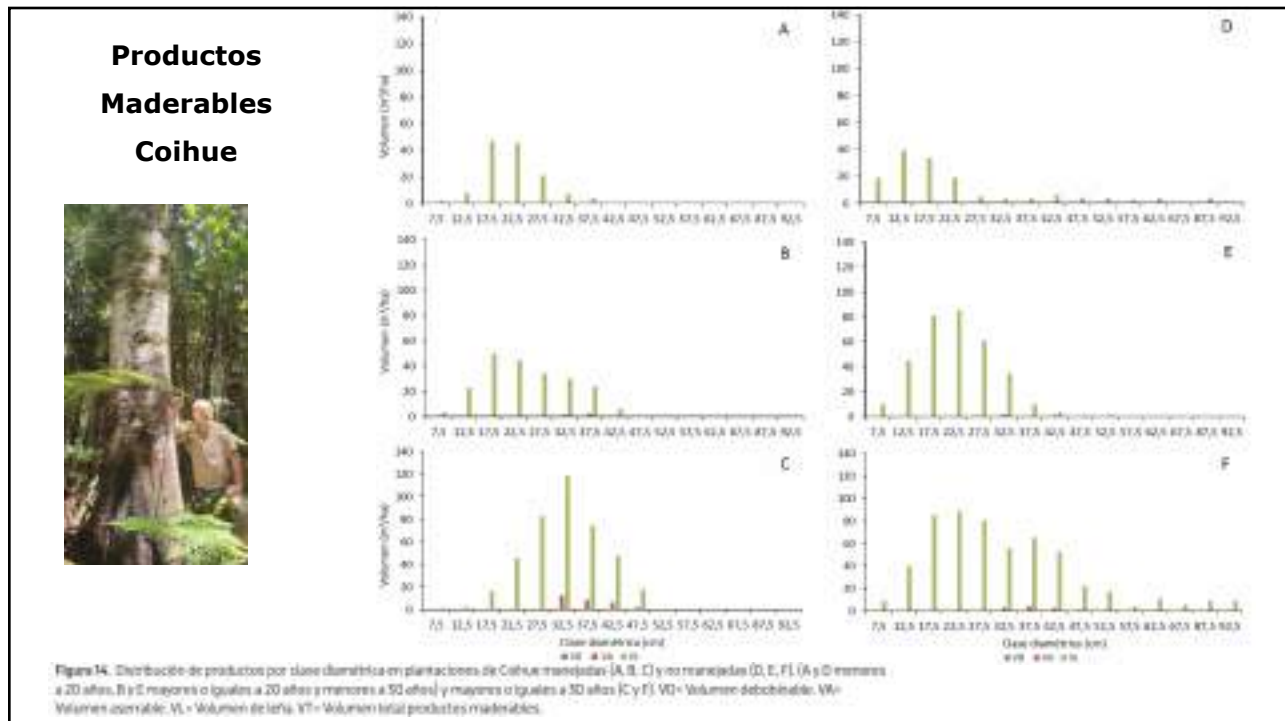
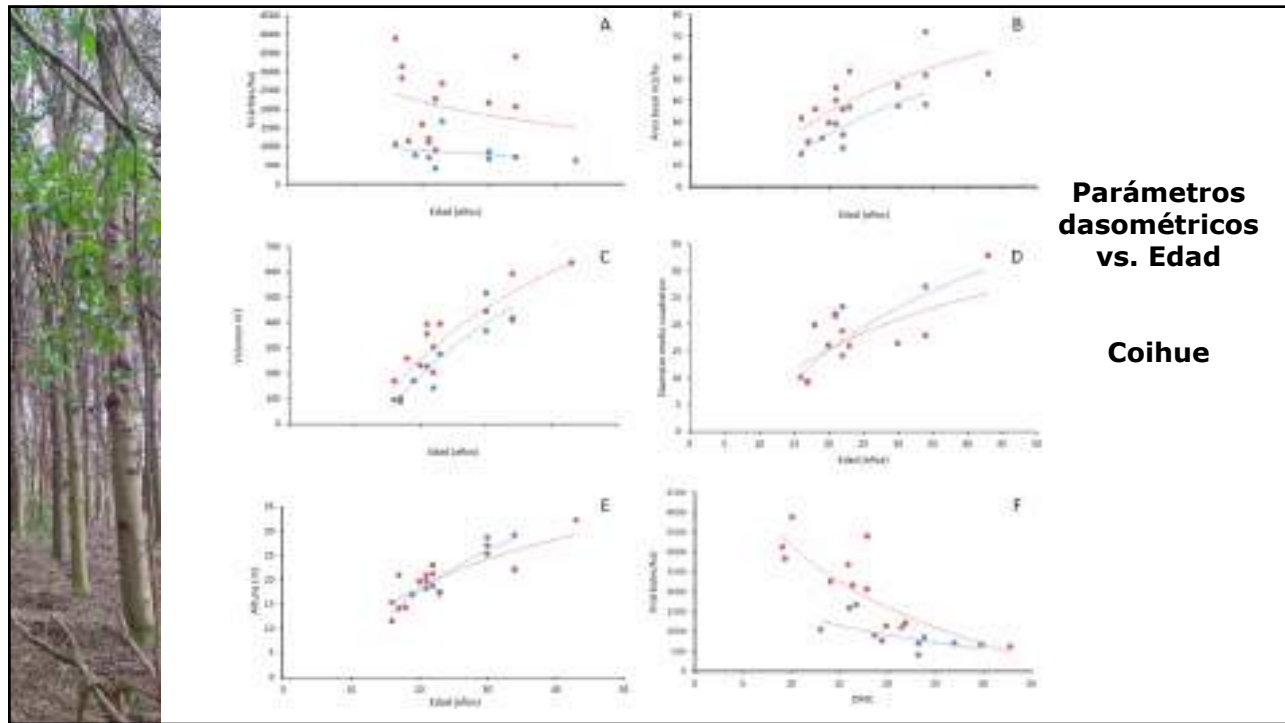
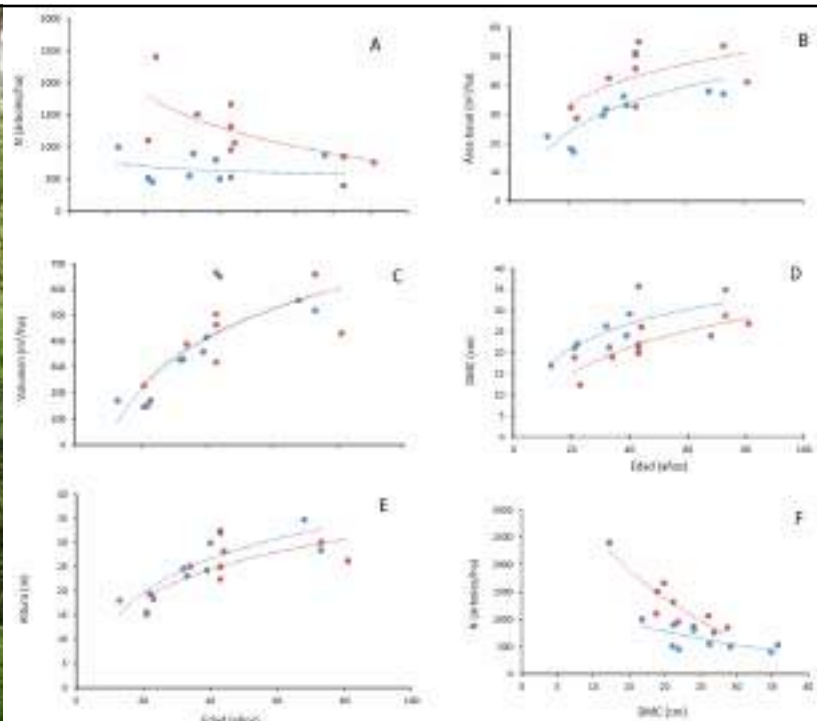


Figura 14. Distribución de productos por clase diamétrica en plantaciones de Coihue manejadas (A, B, C) y no manejadas (D, E, F) (A y D menores a 20 años, B y E mayores o iguales a 20 años y menores a 50 años) y mayores o iguales a 50 años (C y F). VD= Volumen de bobinado, VW= Volumen aserrado, VL= Volumen de leña, VT= Volumen total productos maderables.

Parámetros dasométricos Raulí



Predio	Código	Edad	N (árboles/ha)	AB (m ² /ha)	DMC (cm)	V (m ³ /ha)	HT (m)	Índice de Gini	Índice de Sitio	
Con manejo										
El Hual	11. EL-HUAL	11	1.020 ± 31	22,5 ± 2,1	16,7 ± 3,9	171,5 ± 34,4	18 ± 1,8	6,3	25	
Catalán	19. CA-RA2	21	528 ± 52	36,4 ± 6,3	21 ± 3,8	148,5 ± 60,8	35,5 ± 2	6,2	30	
Catalán	18. CA-RA1	22	460 ± 79	9,2 ± 0,8	22 ± 2,3	102,7 ± 20,4	39,4 ± 4	4,2	25	
Arquílate	04. AR-RA2	32	556 ± 76	29,6 ± 9,4	26 ± 3,7	330,5 ± 94,8	24,6 ± 2,6	2,4	25	
Arquílate	05. AR-RA1	33	912 ± 171	31,8 ± 8,2	21 ± 2,2	338 ± 127,5	23 ± 3,5	2,4	30	
Los Pinos	02. LP-RA1	39	924 ± 791	17,1 ± 9,8	22,6 ± 2,3	379,5 ± 92,7	24,2 ± 3,1	2,9	30	
Neleuse	23. NE-RA2	40	552 ± 701	33,2 ± 5,8	28,4 ± 4,3	452,3 ± 86,5	29,9 ± 1,9	2,4	25	
Charchar	06. (HAM-RA)	41	580 ± 387	51,6 ± 4,2	34,9 ± 5,9	675,9 ± 62,5	32,4 ± 2,2	5,5	25	
Quechumal	10. QJE-RA2	68	1.004 ± 318	19,1 ± 8,1	22,8 ± 6	390,2 ± 135,7	34,8 ± 2,9	3,0	25	
Trumo	12. TRU-RA1	75	496 ± 704	19,1 ± 4,8	32,2 ± 4,1	538 ± 67	26,4 ± 1,8	4,8	25	
Sin manejo										
Neleuse	24. NE-RA1	21	1.152 ± 279	32,5 ± 17,3	18,8 ± 4,1	227,9 ± 125,2	16,1 ± 1,1	5,7	20	
Bemot	17. BE-RA1	25	2.431 ± 279	28,9 ± 2,9	12,2 ± 9,4	395,7 ± 45,2	36,5 ± 0,8	3,6	25	
Purichur Sur	16. PUS-RA1	11	1.648 ± 790	43,7 ± 5,4	18,2 ± 17,5	593,6 ± 64,8	25 ± 1,6	4,8	25	
Quechumal	07. QJE-RA2	43	2.608 ± 635	57,6 ± 8,2	17 ± 5,3	565,1 ± 196,8	22,4 ± 1,7	3,7	30	
Quechumal	09. QJE-RA3	43	2.188 ± 682	32,7 ± 8,8	18,1 ± 5	353,2 ± 57	24,9 ± 3,1	3,9	30	
Puro	11. PUS-RA1	43	1.148 ± 743	34,4 ± 7	20,6 ± 5	332,3 ± 85,9	31,9 ± 2	2,5	25	
El Hual	10. EL-RA1	44	1.152 ± 524	56,2 ± 7,5	25,4 ± 2,6	638,8 ± 80,5	28,9 ± 1	4,4	25	
Trumo	13. TRU-RA2	75	1.084 ± 219	62,6 ± 6	24,5 ± 1,5	658 ± 48,7	33,8 ± 5,6	4,6	25	
Mapachay	10. MA-RA1	81	962,8 ± 183	50,5 ± 5,6	26,1 ± 2,7	621,7 ± 65,5	26,1 ± 2,3	5,8	15	
Quechumal										



Parámetros dasométricos vs. Edad

Raulí

Productos Maderables Raulí

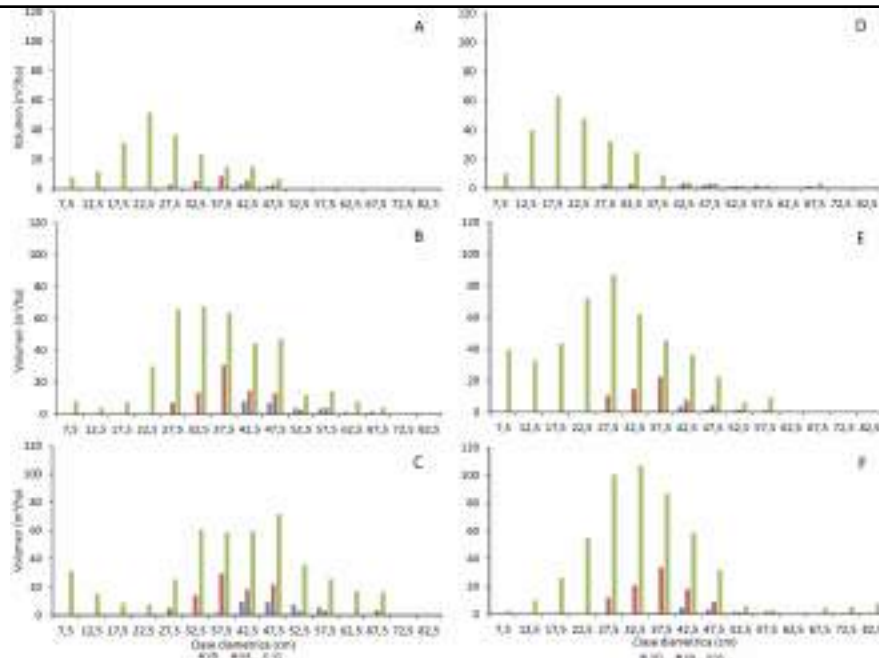
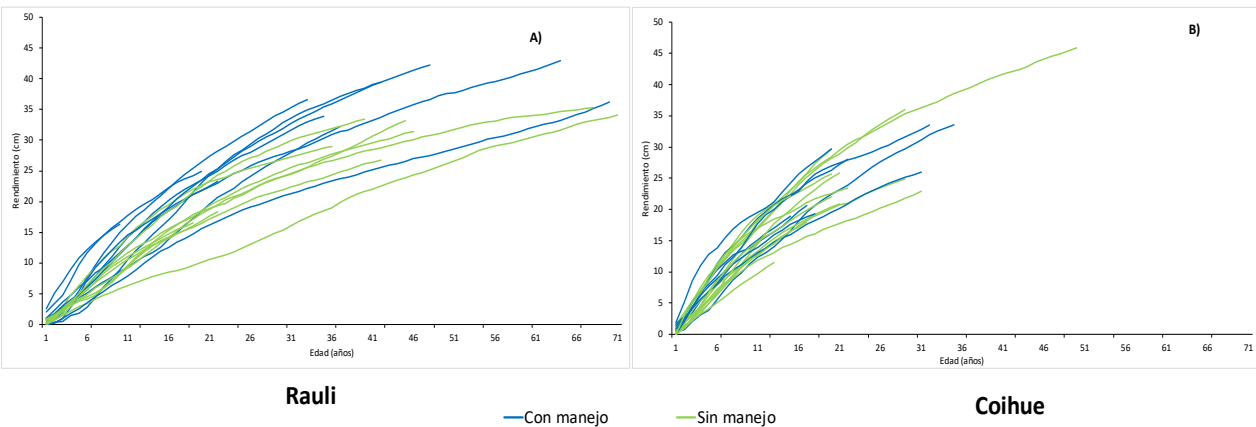
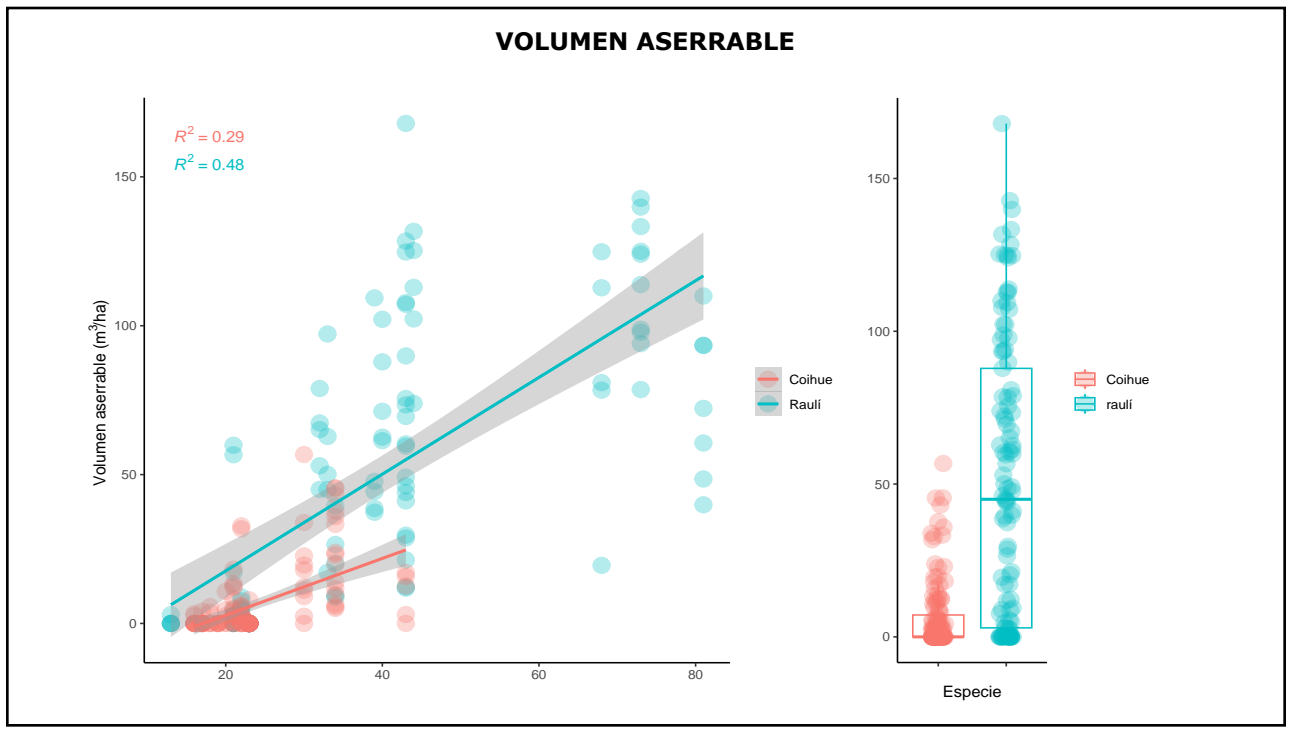
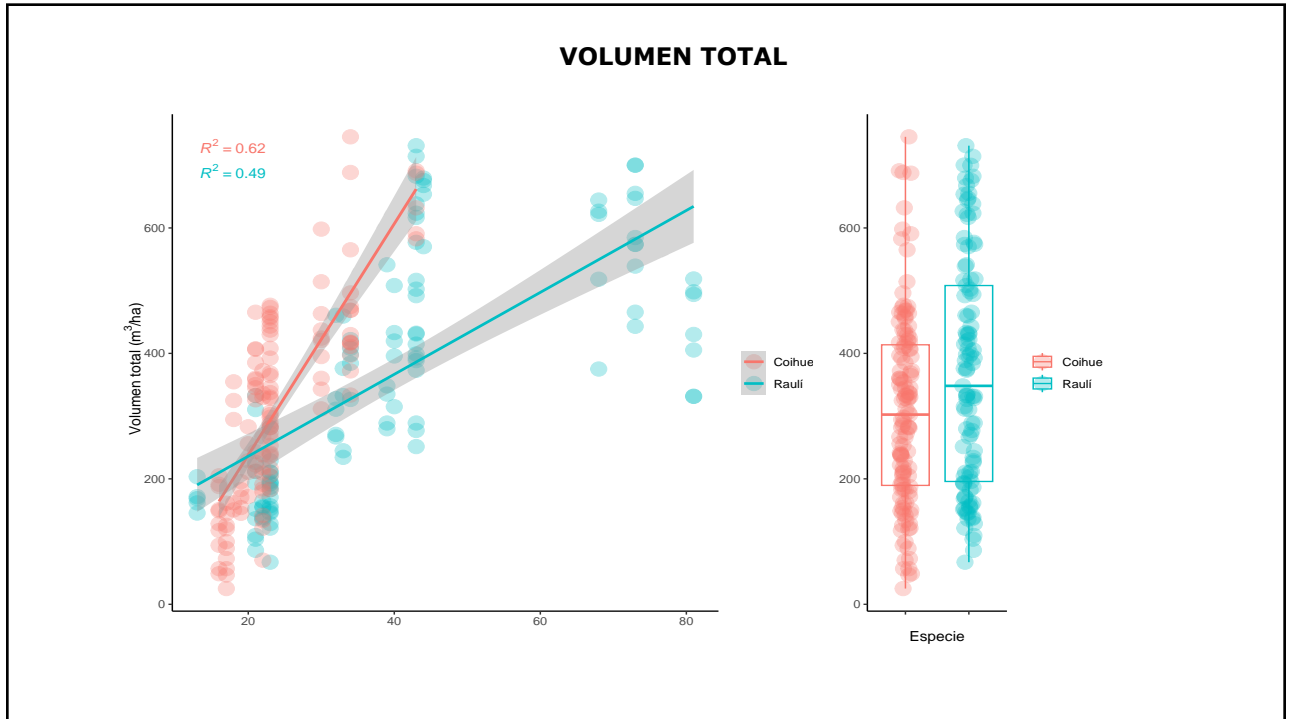
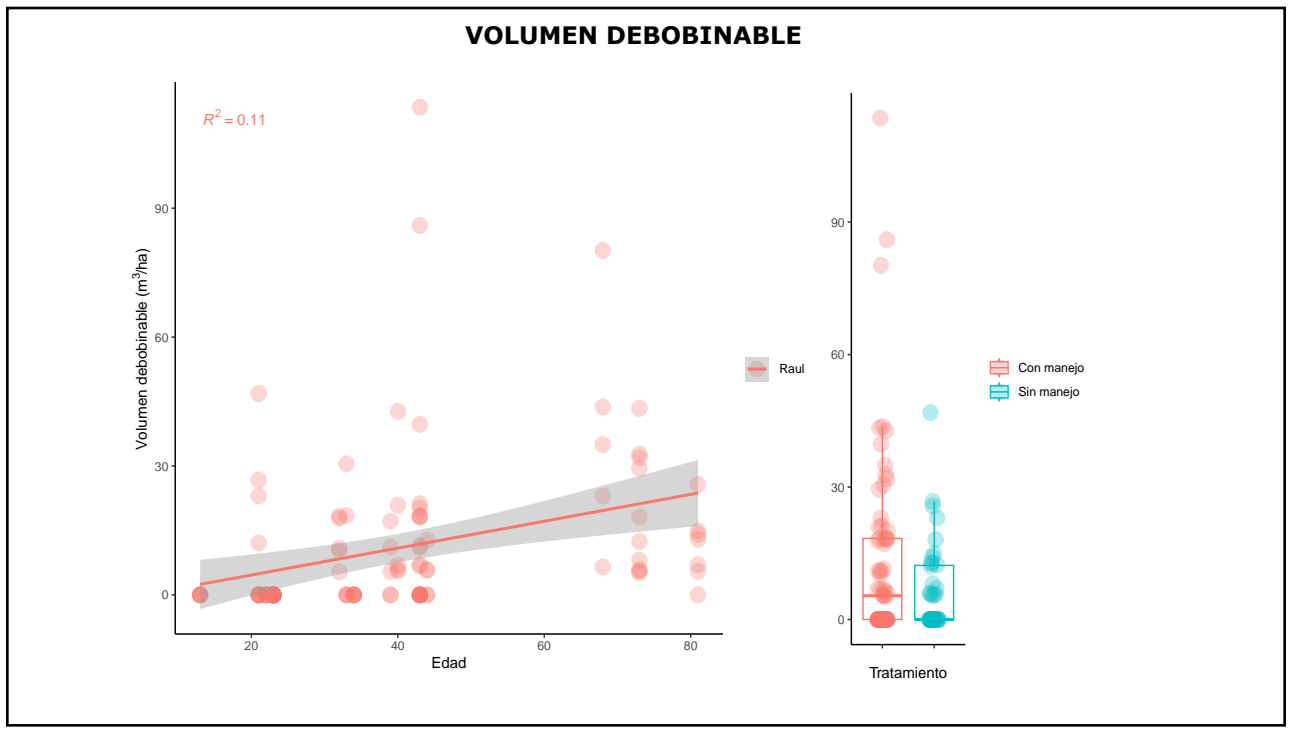
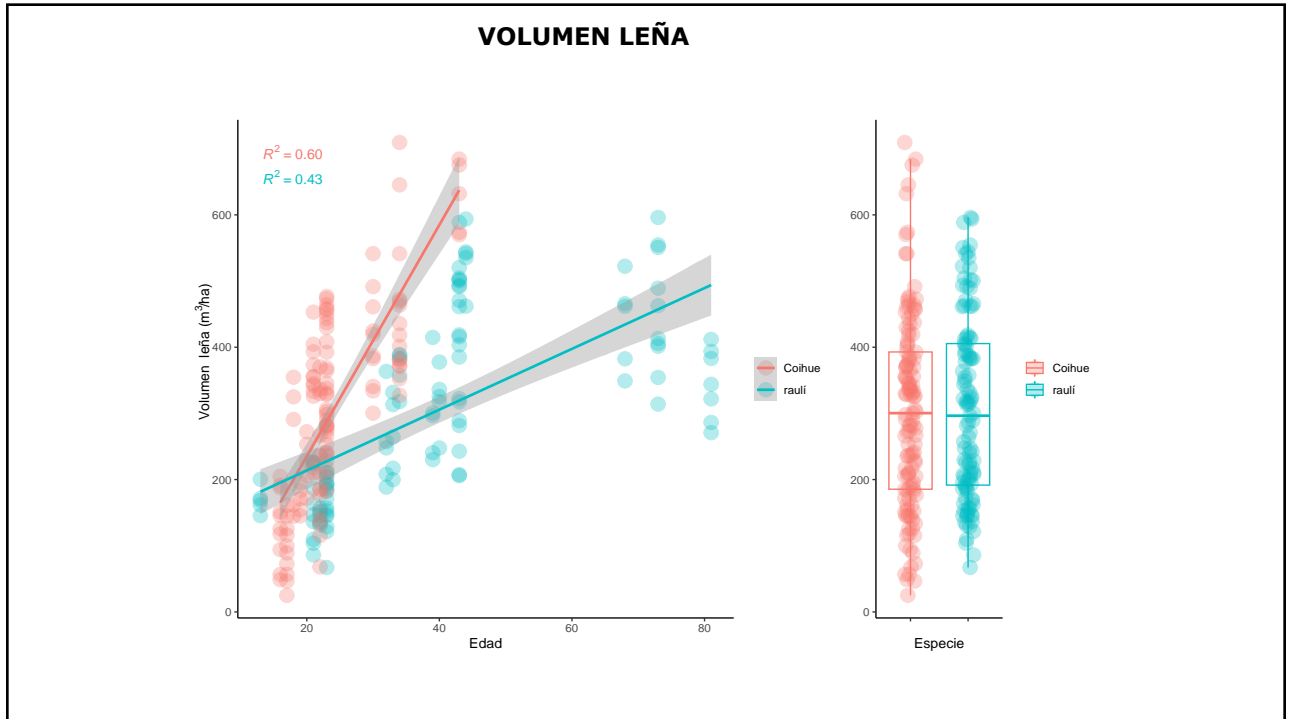


Figura 15. Distribución de productos por clase diamétrica en plantaciones con dominancia de Raulí manejadas (A, B, C) y no manejadas (D, E, F) (A y D clase de edad menor a 15 años, B y E mayor o igual a 15 años y menor a 50 años, y C y F mayor o igual a 50 años) (V0= Volumen de abocable, V1= Volumen aserrable, V2= Volumen de leña, VT= Volumen total producido, m³/ha/año).

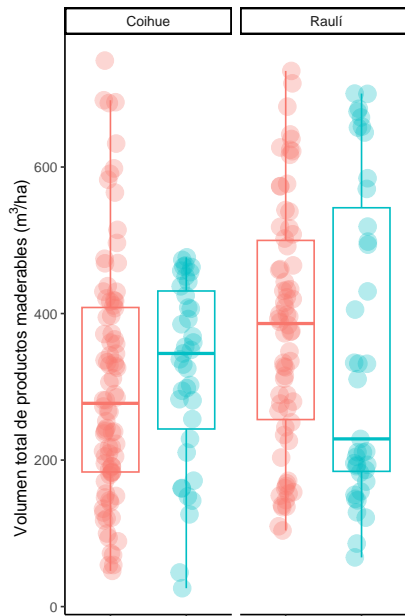
Crecimiento en diámetro según edad







Productos Maderables: volumen total de productos maderables

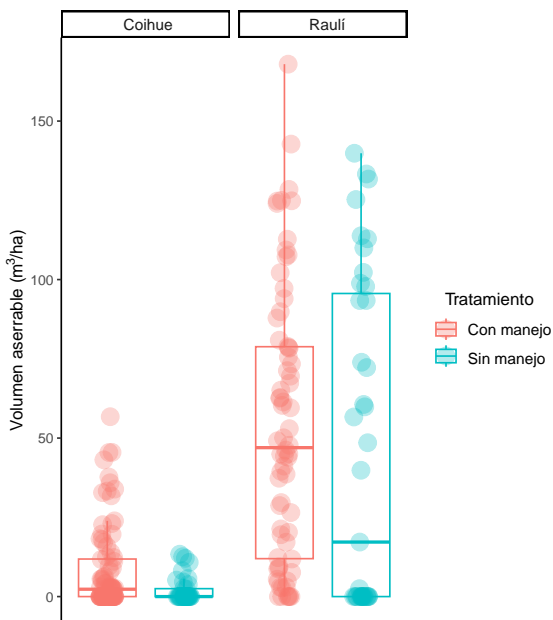


No existen diferencias significativas para el volumen total de productos maderables en plantaciones con y sin manejo ($p > 0,05$); mientras que los factores uso previo (praderas versus otros), especie dominante (Coihue y Raulí) y edad, afectan significativamente el rendimiento en el volumen total de productos maderables ($p < 0,001$).



Tratamiento
 Con manejo
 Sin manejo

Productos Maderables: rendimiento de volumen aserrable en plantaciones de Coihue y Raulí



El manejo (raleos y podas) tienen efectos significativos ($p < 0,001$) en el rendimiento de volumen aserrable.

Existen diferencias significativas para el volumen aserrable entre las plantaciones manejadas y no manejadas ($p < 0,001$), con un 54 % menos en plantaciones no manejadas, respecto de las manejadas. Mientras que, al analizar la especie dominante, también existen diferencias significativas ($p < 0,001$), determinando que en plantaciones con dominancia de Raulí existe un 141 % más de volumen aserrable que en plantaciones con dominancia de Coihue.

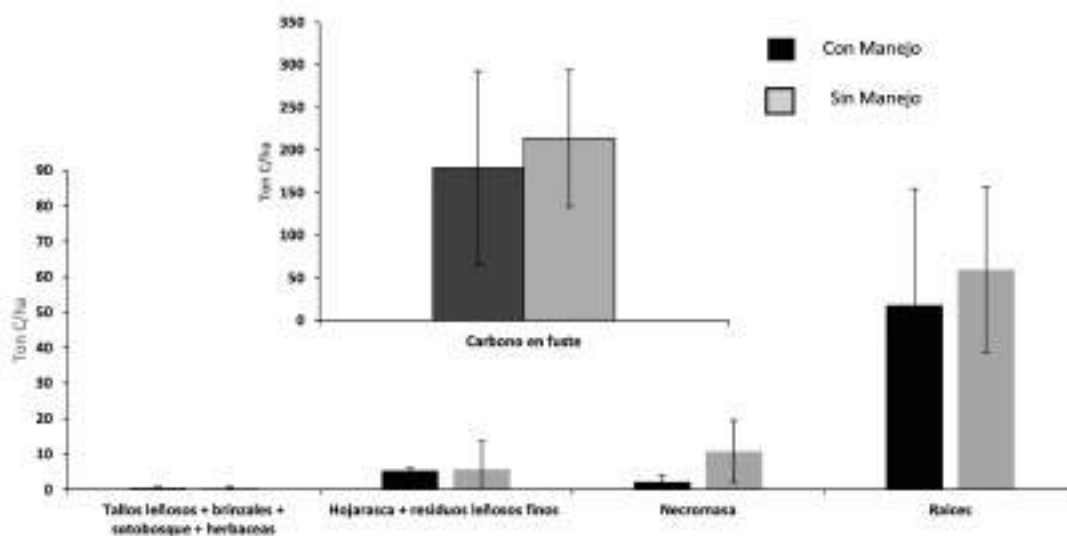
Cuadro 14. Rentabilidad de plantaciones de con dominancia de Coihue en diferentes escenarios (US\$/ha), con cortas intermedias predio Las Palmas (35 años) y sin cortas intermedias predio Quechumalal (43 años).

Indicadores	Tasa de interés (i) (%)	Madera en trozos	Madera aserrada verde	Madera aserrada seca
CON CORTAS INTERMEDIAS				
WM	6	1.458	5.576	16.546
	8	-493	1.905	7.958
	10	-1.711	-498	3.020
WPS	6	1.687	6.517	19.758
	8	-566	2.043	8.514
	10	-603	-514	5.151
TIR		7	9	12
SIN CORTAS INTERMEDIAS				
WM	6	-2.550		
	8	-3.755		
	10	-3.466		
WPS	6	-2.599		
	8	-3.275		
	10	-5.524		
TIR		4		

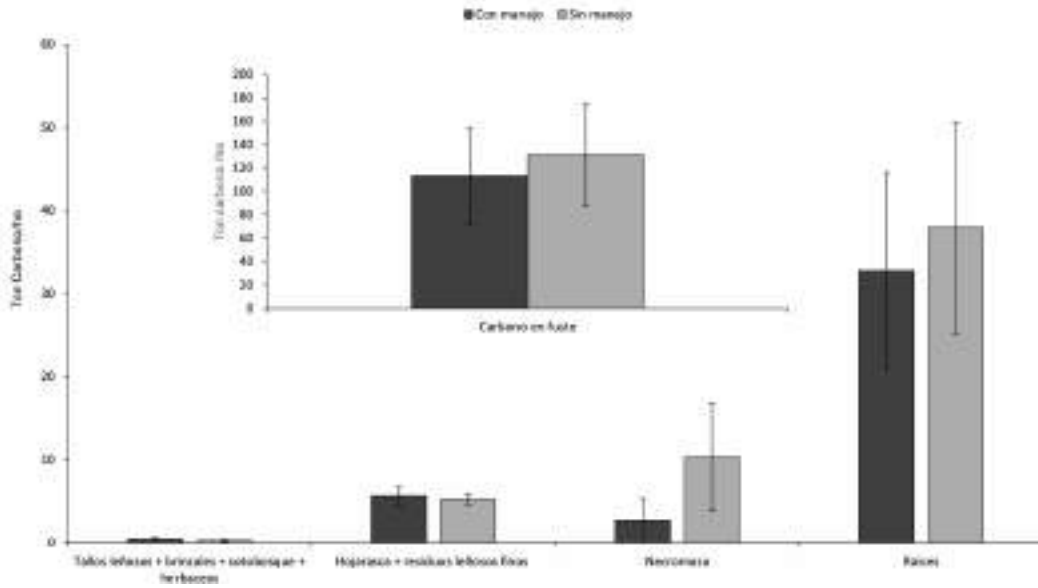
*Valor del dólar promedio año 2005: 5850 pesos chilenos.



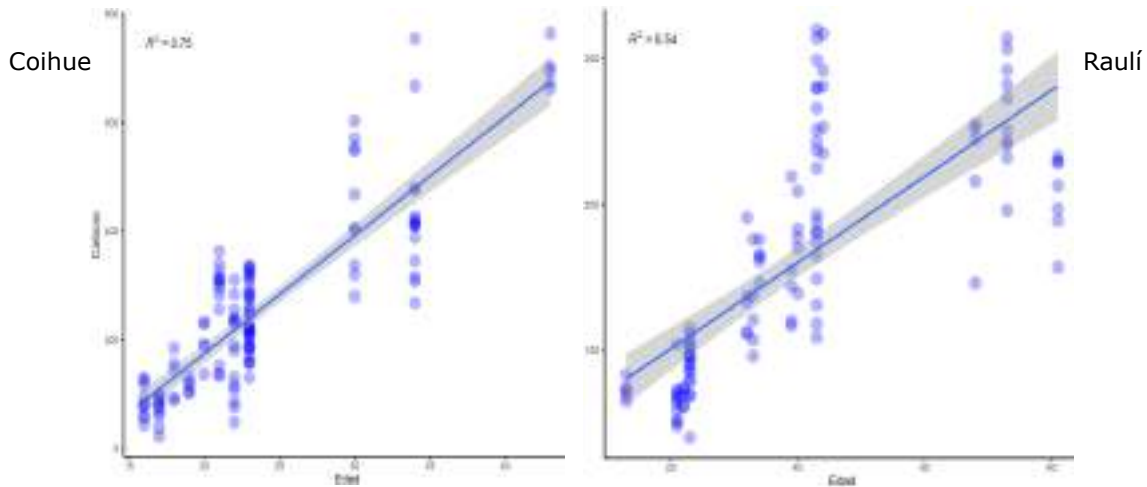
CARBONO SOBRE EL SUELO Y RAÍCES: Contenido de carbono de las plantaciones con dominancia de Coihue



CARBONO SOBRE EL SUELO Y RAÍCES: Contenido de carbono de las plantaciones con dominancia de Raulí

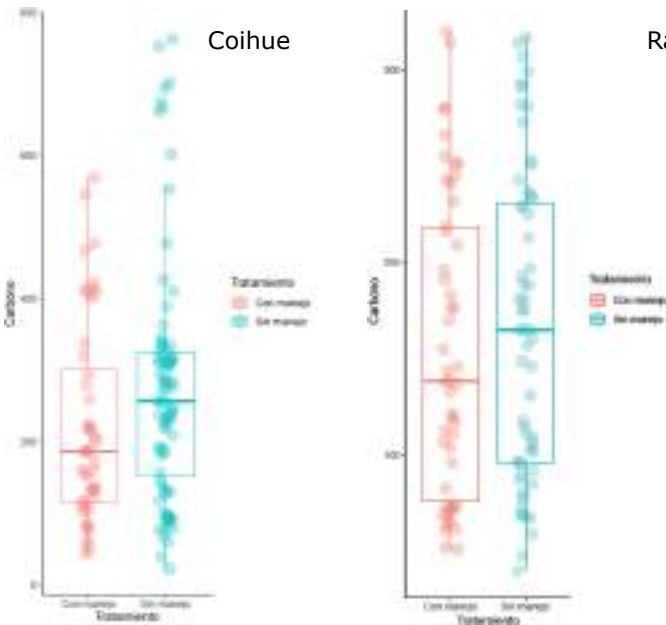


CARBONO SOBRE EL SUELO Y RAÍCES: Efecto de la edad el carbono almacenado.



- ✓ Existe un efecto estadísticamente sig. de la edad sobre la cantidad de carbono acumulado en plantaciones de Coihue y Raulí. En las plantaciones con dominancia de Coihue, es posible observar un efecto significativo de la edad ($p < 0,0001$), en donde los coeficientes para la edad ($\beta_1 = 0,1295$) muestra una tasa de incremento del 9,38 % ton C/año.
- ✓ En el caso de las plantaciones con dominancia de Raulí, también existe un efecto significativo de la edad ($p < 0,0001$), en donde los coeficientes para la edad ($\beta_1 = 0,0279$) muestran una tasa de incremento del 1,95 % ton C/año.

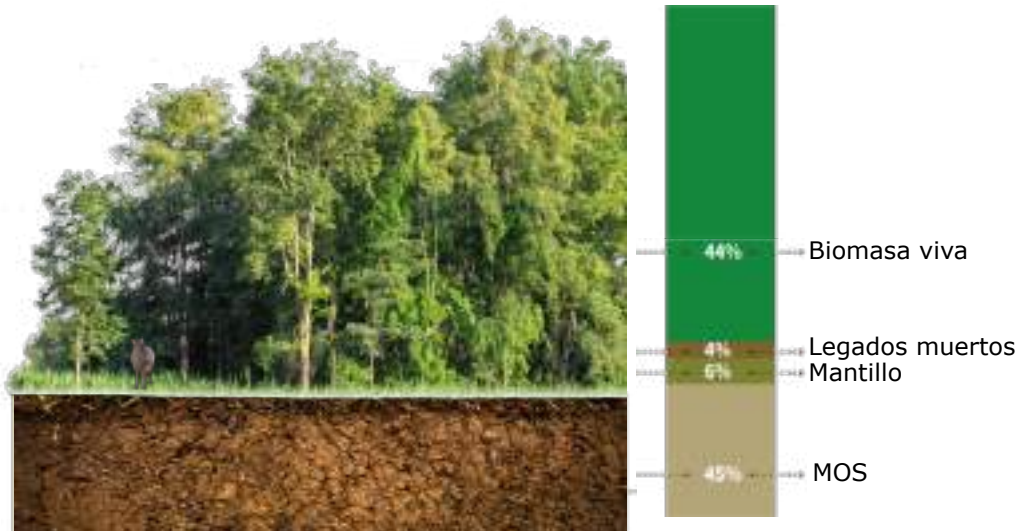
CARBONO SOBRE EL SUELO Y RAÍCES: efecto del manejo sobre el carbono almacenado.



Para los resultados carbono acumulado en plantaciones con dominancia de Coihue, es posible observar un efecto significativo del tratamiento ($p = 0,0012$), donde la ausencia de manejo ($\beta_2 = 0,4271$) incrementa en un 34,45 % las toneladas de carbono acumulado.

Para el caso de las plantaciones de Raulí no se observan diferencias significativas entre los valores de carbono en plantaciones con y sin manejo ($p = 0,22903$), en las toneladas de carbono.

Carbono orgánico del suelo



Fuente: Adaptado de FAO, 2020. Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome.

Carbono orgánico del suelo

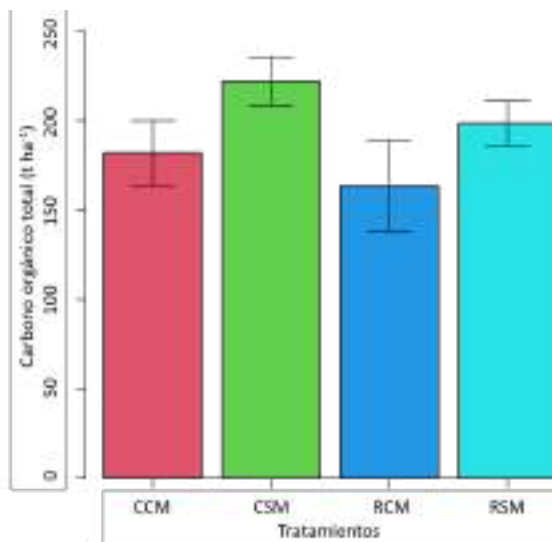
Proporción C \neq Masa total C

$$\% \text{ C} \times \text{m}^3 \times \text{g/m}^3 = \text{tC/ha}$$

$$8 \times 3000 \times 0.60 = 144$$

$$8 \times 3000 \times 0.90 = 216$$

CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (COS): Efecto de la especie y manejo forestal



Existen diferencias estadísticas entre tipos de manejo, tanto para plantaciones dominadas por Coihue ($t=3,06$; $p<0,05$) como para plantaciones dominadas por Raulí ($t=2,69$; $p<0,05$).

La mayor reserva de C se encontró en plantaciones con dominancia de Coihue sin manejo, con un contenido de 222 (t/ha), mientras que las con manejo, presentaron una reserva de 182 (t/ha).

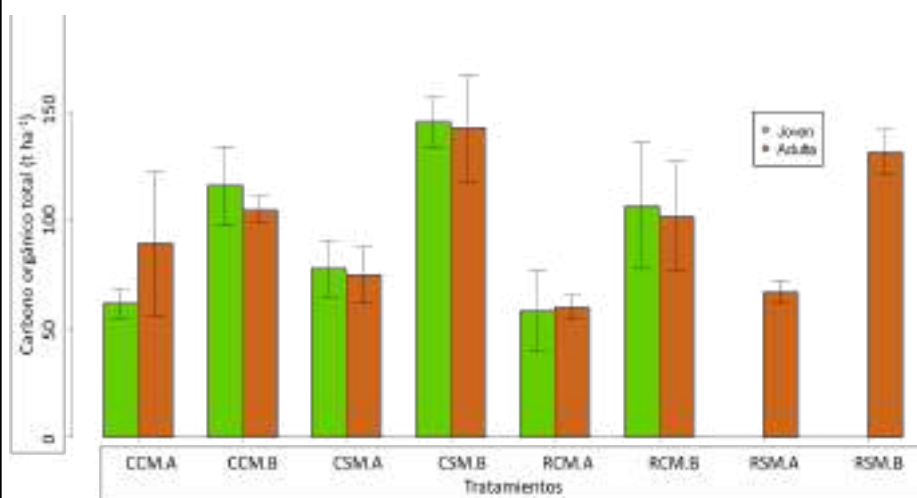
En las plantaciones con dominancia de Coihue se registraron 182 y 222 (t/ha), con y sin manejo, respectivamente.

En las plantaciones con dominancia de Raulí se observaron 163 y 198 (t/ha), con y sin manejo, respectivamente.

Se consideró una profundidad de suelo de 0 a 40 cm.

CCM: Coihue con manejo. CSM: Coihue sin manejo. RCM: Raulí con manejo. RSM: Raulí sin manejo.

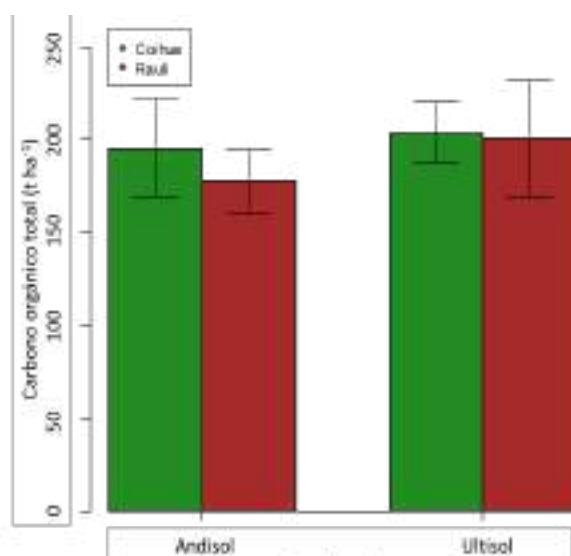
CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (COS): Efecto de la edad de la plantación



La edad de las plantaciones (<35 años y ≥35 años) no presentó un efecto significativo ($X^2=0,001$; $gl=1$; $p=0,86$) sobre la cantidad de C presente en los suelos estudiados.

A y B corresponden al rango de profundidad 0-10 cm y 10-40 cm, respectivamente, es decir, en volúmenes de suelo diferentes.

CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (COS): tipo de suelo



El tipo de suelo en las reservas de C muestra que, para el caso de las plantaciones con dominancia de Raulí, los Ultisoles contienen mayor reserva de C (201 t/ha) que los suelos Andisoles (178 t/ha).

Situación similar sucede con los suelos bajo plantaciones con dominancia de Coihue, en donde los Andisoles (196 t/ha) albergan menor contenido de C que Ultisoles (204 t/ha).

A pesar de lo anterior, no existen diferencias estadísticas entre suelos ($F_{1,45}=0,97$; $p=0,33$) ni especies ($F_{1,45}=3,89$; $p=0,055$)

Se consideró una profundidad de suelo de 0 a 40 cm.



DETERMINACION DE ZONAS POTENCIALMENTE FORESTABLES PARA COIHUE Y RAULI EN LA REGION DE LA ARAUCANIA

408.183 ha

Corresponden a los usos del suelo

- i) Praderas y matorrales y
- ii) Terrenos agrícolas

con aptitud preferentemente forestal


Simbología	
Subsuo - Cap. uso - Sup. (ha)	Subsuo - Cap. uso - Sup. (ha)
Matorral - VI - 6772,3	Praderas - VIII - 34590,3
Matorral - VII - 30991,6	Polisición Cultivo-Pradera - VI - 111202,8
Matorral - VIII - 38295,7	Polisición Cultivo-Pradera - VII - 80621,3
Matorral-Pradera - VI - 6899,3	Polisición Cultivo-Pradera - VIII - 40712,9
Matorral-Pradera - VII - 33374,9	Terrenos de Uso Agrícola - VI - 5779,2
Matorral-Pradera - VIII - 10873,1	Terrenos de Uso Agrícola - VII - 2581,9
Praderas - VI - 28077,9	Terrenos de Uso Agrícola - VIII - 1262
Praderas - VII - 49362,8	



Tipo de exclusiones y marco legal de las exclusiones para definir la superficie potencialmente forestable

N°	Exclusiones	Marco legal o técnico
1	Áreas comprendidas en las categorías de manejo con fines de preservación que integran el SNASPE y Bosques en régimen legal de preservación de adscripción voluntaria que se establezca (ASPP).	D.S. 4.363 de 1931, texto de Ley de Bosques D.L. 1.939 de 1977
2	Humedales RAMSAR y su zona de protección de 10 m de ancho.	Art. 10 y 12. Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales D. 82 de 2010 Art. 8. Artículos Transitorios Ley 20.283
3	Humedales urbanos	
4	Sitios prioritarios para conservación de la biodiversidad. 10 m.	Art. 10 y 12. Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales D. 82 de 2010 Art. 8. Artículos Transitorios Ley 20.283
5	Zona de protección de exclusión de intervención. 20 m (ríos y lagos). Zona de protección de manejo limitado. 20 m	Art. 2 literal p y Art. 3 del Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales D. 82 de 2010. Art. 2 literal q y Art. 4 del Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales D. 82 de 2010
	Quebradas con casco permanente o temporal (zona de protección de cauce). 20 m.	Art. 2, D. Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales D. 82 de 2010, modificación 12/2012
6	Suelos < 20 cm, excepto en la XII donde aplica para suelos < 10 cm o cuando el bosque adulto de Lengua y Coihue sea < 8 m de altura.	Art. 9. Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales D. 82 de 2010
7	En pendientes superiores a 60 %.	Acuerdo Taller Experto Art. 8. Artículos Transitorios Ley 20.283 Ley Sobre Recuperación Del Bosque Nativo y Fomento Forestal
8	Zona de exclusión de 100 m aledaña a Glaciares.	Art. 17. Ley 20.283






ZONAS POTENCIALMENTE FORESTABLES

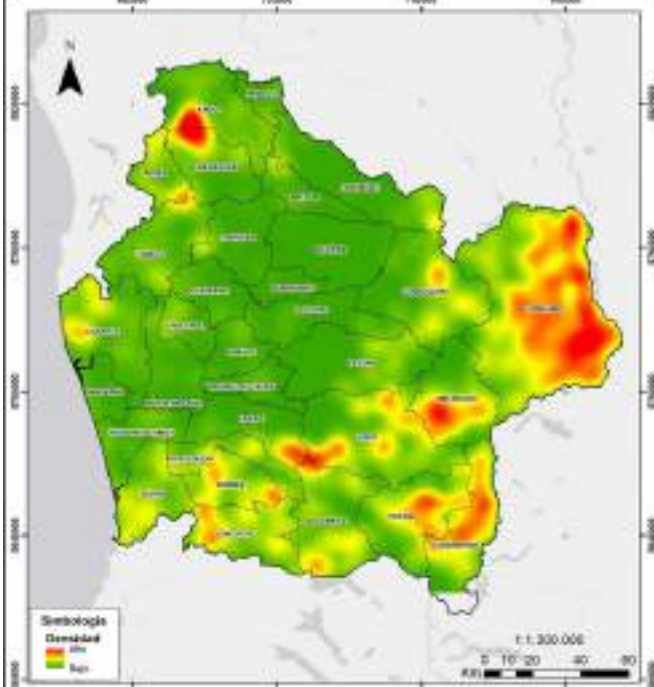
(con exclusiones)

368.029 ha

Superficie total de los usos del suelo praderas y matorrales, y terrenos agrícolas, según capacidad de uso del suelo

Uso del suelo	Capacidad de uso			Total [ha]
	VI [ha]	VII [ha]	VIII [ha]	
Matorral	6.464	26.163	11.171	43.799
Matorral-pradera	5.799	18.181	7.687	31.667
Praderas	28.530	47.929	19.327	95.793
Rotación cultivo-pradera	98.145	88.020	3.689	189.855
Terrenos de uso agrícola	4.589	2.202	124	5.915
Total	143.534	182.496	41.998	368.029

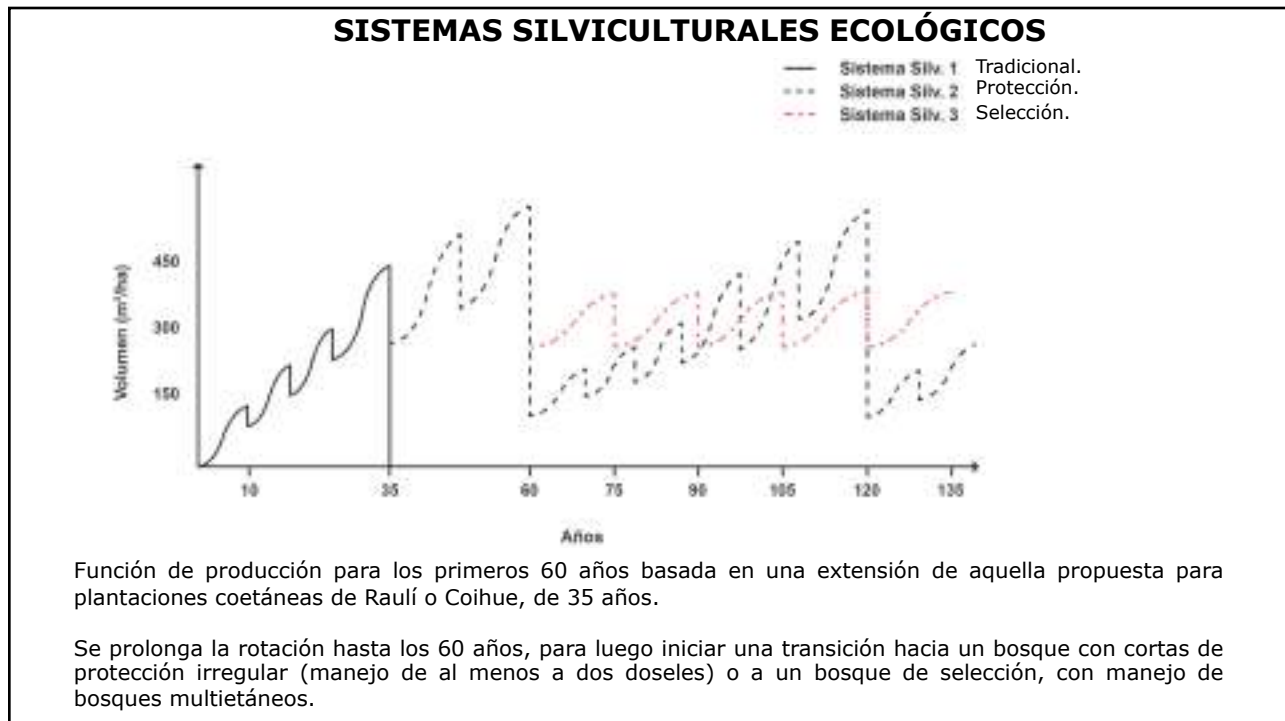
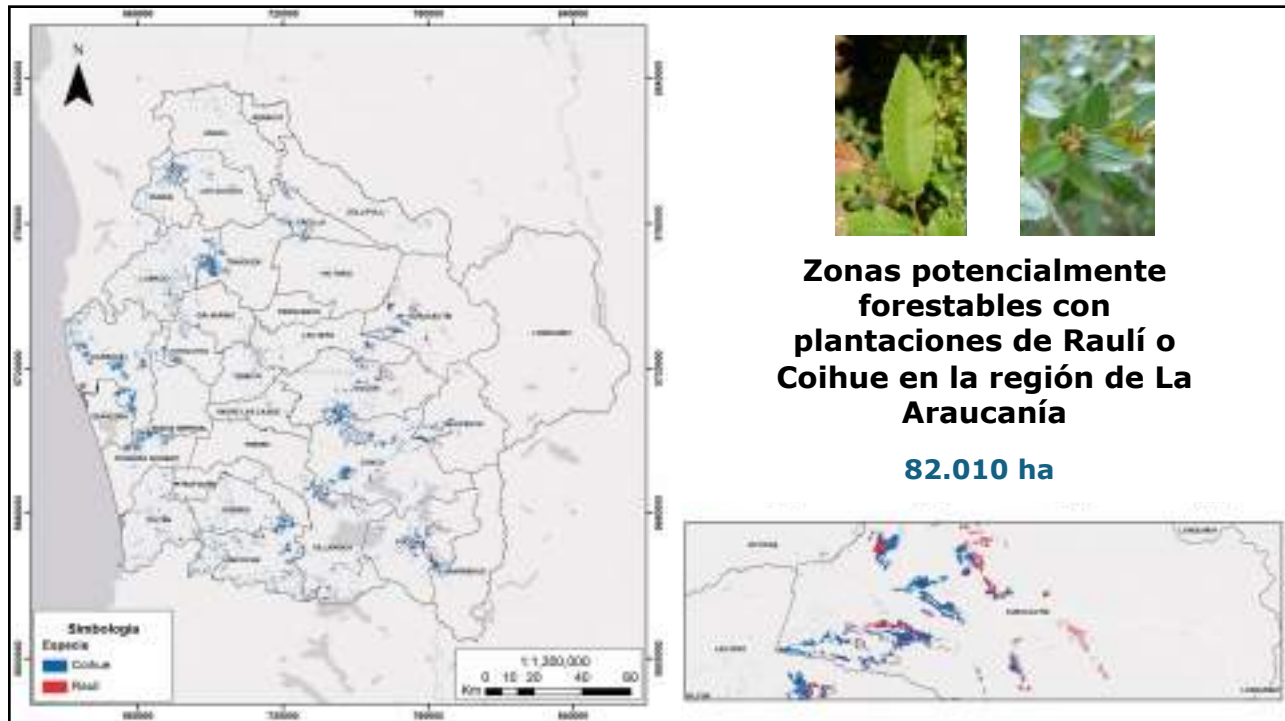




Densidad de zonas potencialmente forestables

Cuadro B. Superficie potencialmente forestable y número de polígonos por rango de hectáreas.

Rango de hectáreas	Superficie (ha)	Nº de polígonos
< 1	15.557	83.033
1 - 4	41.101	20.999
4 - 10	44.175	7.054
10 - 20	40.512	2.917
20 - 40	42.703	1.542
40 - 80	59.829	725
80 - 120	21.909	225
> 120	122.245	352
Total	368.029	116.047





Contribución de los resultados del proyecto para la industria o sector objetivo

- Los SSE contribuyen a recuperar la biodiversidad, mitigar el cambio climático y producir biomasa y fibra, mediante el establecimiento y/o manejo de plantaciones con dominancia de Coihue o de Raulí en terrenos de aptitud forestal descubiertos de vegetación. Esto permitirá recuperar áreas con bosque nativo y restaurar el paisaje y cumplir con compromisos internacionales vinculados a la adaptación y mitigación del cambio climático como a la conservación de la biodiversidad.
- Para los propietarios existirán beneficios intermedios por la extracción de madera de los raleos y podas, e ingresos anuales por la captura anual de CO₂ (venta de certificados de carbono a futuro) y potencialmente el pago por otros servicios debido a cambios legales y nuevos instrumentos (legales y comerciales) que deberían promoverse. Además, se generan ingresos cuando se aplica la corta de cosecha y regeneración.

Contribución de los resultados del proyecto para la industria o sector objetivo

- Esto requerirá ampliar la producción de plantas nativas de calidad en las diferentes áreas de distribución de las especies y contar con empresas de servicios que ejecuten las operaciones silviculturales. En una segunda etapa, o en paralelo, se debe promover el uso de la madera de especies nativas para usos nobles y para la industria de la construcción.
- Fortalecer la pequeña y mediana empresa vinculada a los bienes y servicios de las plantaciones con especies nativas y de esta forma contribuir a la implementación de la política forestal 2020 - 2035 y a la política de desarrollo rural promulgada el año 2020.
- Solo en la región de La Araucanía existen 82.010 hectáreas potencialmente forestables para plantaciones de Coihue o Raulí.



OTROS RESULTADOS

Tipo de Resultado	Detalle
Protección	<p>Manual de sistemas silviculturales ecológicos (SSE) en plantaciones de Coihue y Raulí para la mitigación y adaptación al cambio climático en Chile.</p> <p>Registro de obras y/o propiedad intelectual (Cámara Chilena del Libro ISBN).</p>
Colaboración, transferencia y negocios	<p>El modelo de transferencia de resultados del proyecto se estructura sobre la base de una modalidad de comunicación que considera tres elementos relevantes: un interlocutor especializado (UCT, UACH e IN FOR) que aporta con los conocimientos, la forma mediante la cual se moviliza este conocimiento (manual, publicaciones, plataformas digitales, cursos y seminarios) y, el interlocutor masivo (CONAF, INFOR y profesionales) hacia el cual se orienta el conocimiento.</p> <p>La estrategia es mantener programas de educación continua (cursos y diplomados) con los socios del proyecto en sistemas silviculturales ecológicos en plantaciones nativas, lo que facilitará futuras investigaciones.</p> <p>Se generó vinculación con 14 entidades propietarias de plantaciones de Coihue y Raulí, quienes se mostraron dispuestos a colaborar para continuar participando del desarrollo de esta investigación.</p> <p>Facilitaron sus predios, aportaron con cartografía y antecedentes de las plantaciones, dieron apoyo logístico y compartieron (no todos) su experiencia en silvicultura de plantaciones.</p>

OTROS RESULTADOS

Tipo de Resultado	Detalle
Producción científica	<ul style="list-style-type: none"> • Manual de sistemas silviculturales ecológicos • Tres publicaciones científicas • Una tesis de Magíster en Manejo de Recursos Naturales Universidad de la Frontera. • Una tesis de pregrado en Ingeniería en Recursos Naturales UCT • Una Tesis de Magíster en Recursos Naturales, UCT (en proceso)). • Seminario 1: Estado de las plantaciones nativas en Chile. • Seminario 2 : Cierre del proyecto
Formación de capacidades	<p>Se realizaron tres cursos de postítulo a profesionales de CONAF, INFOR, Consultores y empresas.</p> <p>Total: 70 estudiantes.</p>



Gracias