


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

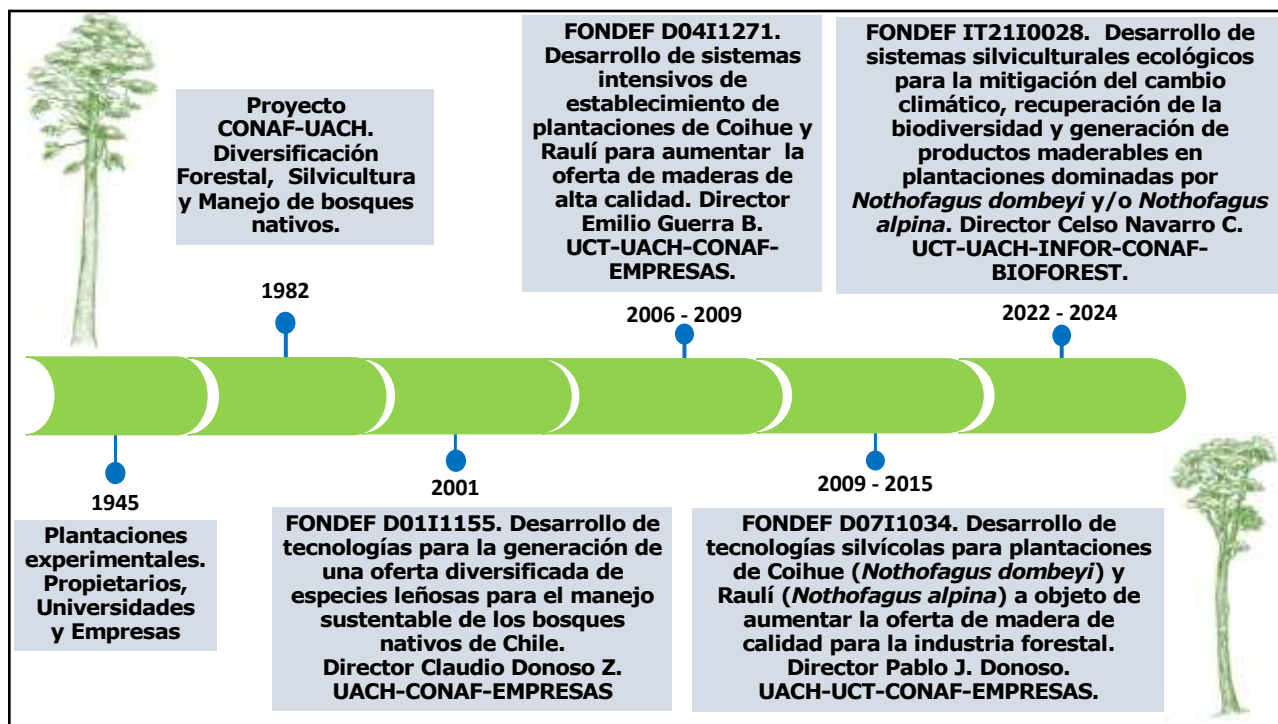


CONTENIDOS

- 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.

Hipótesis General del Proyecto

Las plantaciones dominadas por Coihue o Raulí manejadas con sistemas silviculturales ecológicos que incluyen esquemas de raleos y cortas intermedias innovadores, rotaciones extendidas y métodos silviculturales (o de cosecha y regeneración) para bosques de cubierta continua (protección irregular o selección), promueven el desarrollo de regeneración natural complementaria a la regeneración artificial (plantación) para generar bosques mixtos, multiestratificados y diversos, de alta capacidad de captura de carbono y generación de productos madereros, en comparación a utilizar sistemas silviculturales de fundamentos agrícolas basados en rotaciones cortas y el método tala rasa.





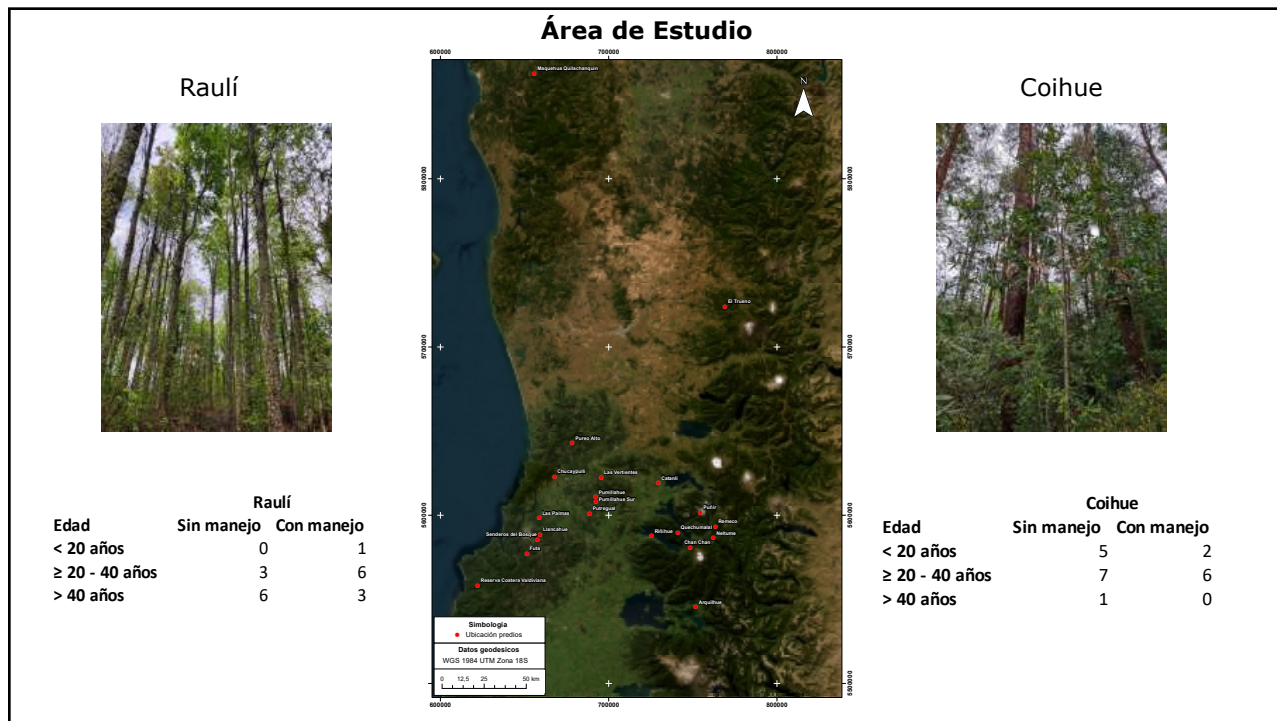
Resultado de producción: Sistemas silviculturales ecológicos (SSE) para plantaciones con dominancia de Coihue y plantaciones con dominancia de Raulí.

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.



Plantaciones evaluadas



Fichas prediales



PREDIO LAS PALMAS

Área de estudio

Ubicación:
Se encuentra ubicado a 18 km al norte de la ciudad de Valdivia en la depresión intermedia de la provincia del mismo nombre, en la región de Los Ríos.

Propietario:
Universidad Austral de Chile.

Superficie predial:
360 ha.

Plantaciones evaluadas:

- Coihue con manejo (LP-CO1).
- Raulí con manejo (LP-RA1).

Mapa de ubicación



Características climáticas

Presenta un clima templado lluvioso con leve sequedad estival e influencia costera, con precipitaciones medias anuales de 1,800 mm y temperatura media anual de 11 °C.

Geología, geomorfología y suelos

Corresponde a un suelo Ultisol profundo, de la serie Los Ulmos, clase de uso VII. Presenta buen drenaje, desarrollado sobre rocas metamórficas en cerros de 25 % pendiente a una altitud de 100 m s.n.m., en la Cordillera de la Costa.

Características de las plantaciones


Usó anterior: el sitio originalmente estaba plantado con *Pinus radiata*, la que fue cosechada en 1982 utilizando tractor articulado, lo que provocó el deterioro estructural del suelo (compactación y remoción) en algunos sectores.

A. Plantación Coihue (LP-CO1):

Año de plantación: 1988.
Densidad inicial (árboles/ha): 2500.
Densidad actual año 2022 (árboles/ha):

- Total: 720.
- Árboles vivos: 716.
- Coihue: 416.
- Otras especies: 300.

Tipo de planta: plantas 1:1 a raíz desnuda.
Espaciamiento inicial: 2 x 2 m.



Edad: 34 años.
Manejo:

- Poda.
- Raleo.

B. Plantación Raulí (LP-RA1):

Año de plantación: 1983.
Densidad inicial (árboles/ha): 2500.
Densidad actual año 2022 (árboles/ha):

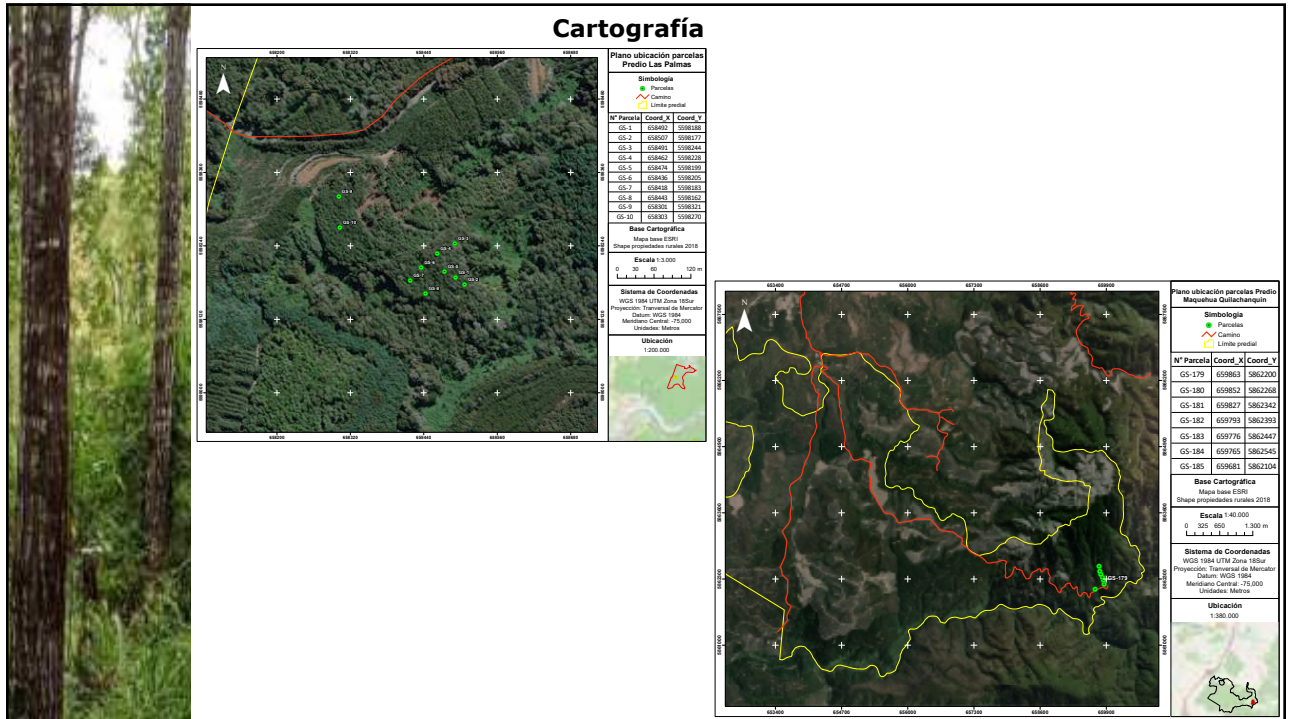
- Total: 924.
- Árboles vivos: 797.
- Raulí: 585.
- Otras especies: 212.

Tipo de planta: plantas 1:1 a raíz desnuda.
Espaciamiento inicial: 2 x 2 m.
Edad: 39 años.
Manejo:

- Replantes en años 1984 y 1985.
- Raleo.

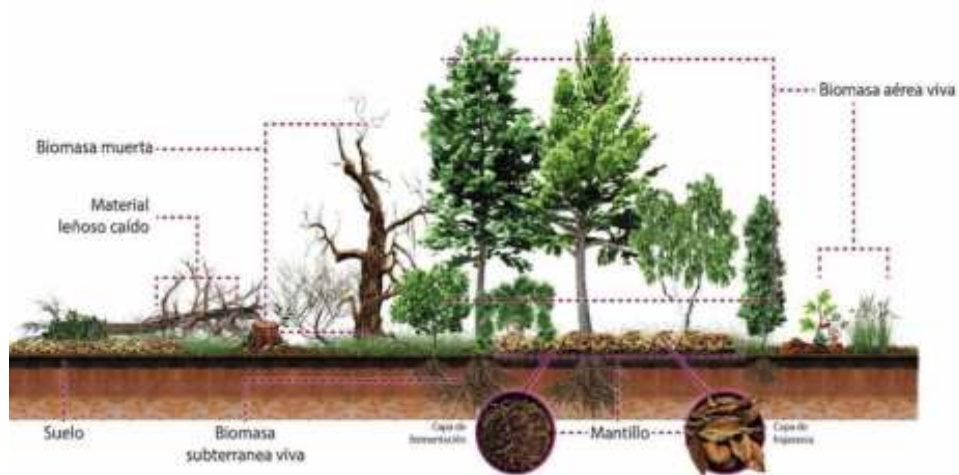
PROYECTO FONDEF: "Desarrollo de sistemas silviculturales ecológicos para la mitigación del cambio climático, recuperación de la biodiversidad y regeneración de productos maderables en plantaciones dominadas por *Nothofagus dombeyi* y/o *Nothofagus Alpina*"

Figura 1. Plantación de coihue con manejo evaluada en diciembre de 2022.



Metodología

CARBONO DIVERSIDAD FLORÍSTICA PRODUCTOS MADERABLES



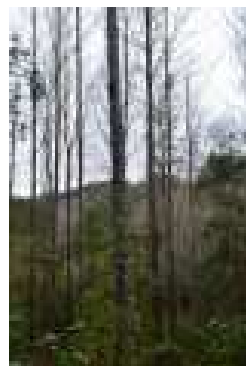
Madera y Bosques vol. 24, núm. especial, e2401894 Invierno 2018

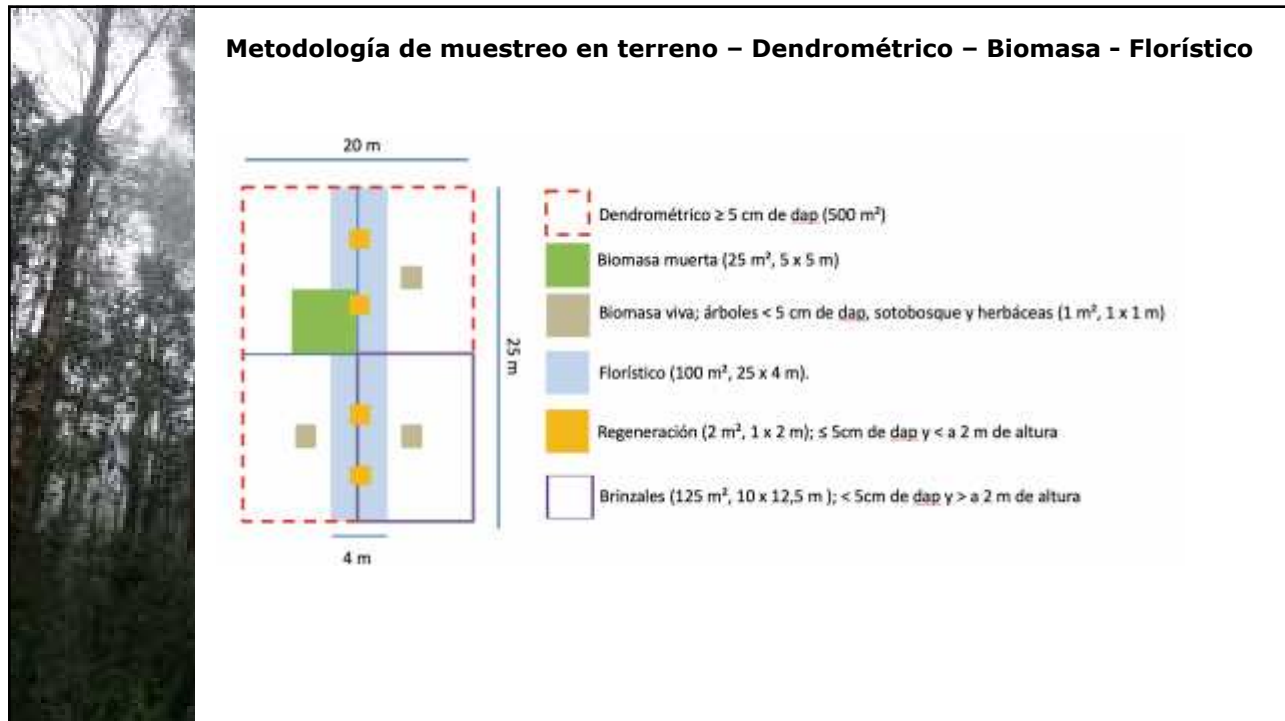


Metodología de muestreo en terreno

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

Componente para evaluar	Técnica	Tamaño de unidad muestral	Tamaño muestral (n)
Carbono de biomasa aérea de árboles de DAP \geq 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
Brinzales	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					Observación	Médula, arco. Sin nada.
Id	Código tarugo	Parcela	Intervalo	Número de anillos	Correlación con la master	Ancho medio del anillo	Ancho máximo del anillo			
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 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$ 0,01 mol/L; Ca, Mg, K y Na intercambiables: extracción con $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1 mol/L a pH 7,0; Al intercambiable: extracción con KCl 1 mol/L; CICE: $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K}+\text{Na}+\text{Al}$ intercambiables; saturación de Al: $(\text{Al intercambiable} \times 100)/\text{CICE}$; 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/cm^3) 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/cm^3)

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)
		$PSA = \text{EXP}(-3,85690 - 3,89926 \times \text{Ln}(\text{DAP}) + 2,39620 \times \text{Ln}(\text{DAP}^2 \times \text{Ht}))$ $R^2: 100\%; \text{EMC}: 11,5\%; \text{Sxy}: \text{s/i}$	
Raulí	Peso seco aéreo (PSA en Kg)	Función alométrica parte aérea	Milla et al. (2013)
		$5 \leq \text{Dap} < 7: \text{Ln PSA} = -3,438 - 2,03 \times \text{Ln}(\text{DAP}) + 0,779 \times \text{Ln}(\text{Ht})$ $7 \leq \text{Dap} < 10: \text{Ln PSA} = -3,33799 + 1,44943 \times \text{Ln}(\text{DAP} \times \text{Ht}) + (0,083)^2 / 2$ $\text{Dap} \geq 10: \text{PSA} = 14,37562 + 0,01885 \times \text{DAP}^{1,81388} \times \text{HT}^{1,24022}$	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)	$\sum Ni / (\sum Ni - ABi)$ 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	$0,00073074+0,000035216 \cdot \text{DAP}^2 \cdot \text{HT}$	Donoso et al. (2015)
Coihue	v	$-0,033758+0,005159 \cdot \text{DAP}+0,000026 \cdot \text{DAP}^2 \cdot \text{HT}$	Donoso et al. (2015)
Varias	v	$0,0000799+0,000033318 \cdot \text{DAP}^2 \cdot \text{HT}$	Drake et al. (2003)
Arrayán	v	$0,0381+0,4731 \cdot (\text{DAP}/100)^2 \cdot (-5,081+0,7704 \cdot \text{HT})$	Drake et al. (2003)
Canelo	v	$0,03+0,00063 \cdot \text{DAP}^2$	Drake et al. (2003)
Lingue	v	$0,003155+0,000475 \cdot \text{DAP}^2$	Drake et al. (2003)
Ulmo	v	$\text{EXP}(-8,666544+2,149093 \cdot \text{LN}(\text{DAP})+0,2508636 \cdot \text{LN}(\text{DAP}))$	Drake et al. (2003)
Maqui	v	$0,0381+0,4731 \cdot (\text{DAP}/10)^2$	Drake et al. (2003)
Roble	v	$-0,073996+0,000848 \cdot \text{DAP}^2$	Drake et al. (2003)
Pino Oregón	v	$0,01297+0,0000312 \cdot \text{DAP}^2 \cdot \text{HT}$	Drake et al. (2003)
Roble	v	$-0,073996+0,000848 \cdot \text{DAP}^2$	Drake et al. (2003)
Notro, Tiaca	v	$-\text{EXP}(7,79199+2,0737 \cdot \text{LN}(\text{DAP}))$	Drake et al. (2003)
Olivillo	v	$0,00003915 \cdot \text{DAP}^2 \cdot \text{HT}+0,0000802 \cdot \text{DAP}^2$	Drake et al. (2003)
Varias	v	$0,0000799+0,000033318 \cdot \text{DAP}^2 \cdot \text{HT}$	Drake et al. (2003)
Coihue	y=di	Modelo de ahusamiento $Y = \text{DAP}(a(x) - b(x^2) + c(x^3) - d(x^4) + 2(x^5))$ $X = (h - hi)/(h - 1,3)$ 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 $Y = \text{DAP} (a - b \cdot (hi/h) + c / (\text{DAP} + (hi)^3))$ 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.

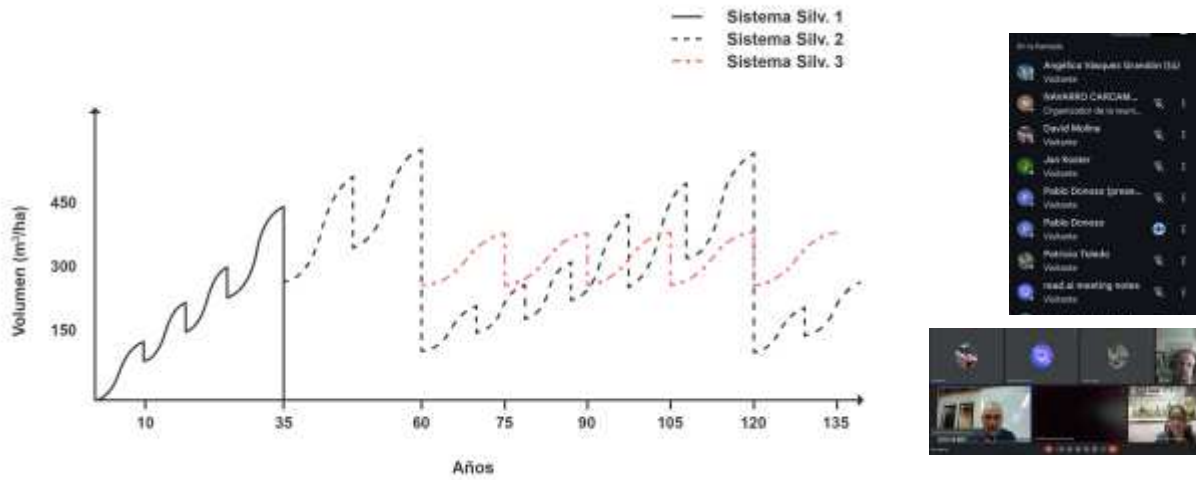
```
#####
#:##### MODEL 2 ~ Poisson (Link= log) #####
model_2 <- glmer(C ~ Specie + M0 + FOTU + N + pH + (1|COD) + (1|COD)Manejo, family=poisson(link = 'log'), data = data)
summary(model_2)

Fixed effects:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  7.151e+00  3.736e-01  19.152 < 2e-16 ***
SpecieRauli  -3.227e-01  3.320e-01  -0.972  0.332
M0           -1.031e-02  3.387e-03  -3.018  0.002 ***
FOTU         1.317e-04  2.782e-05  4.734  1.55e-05 ***
N            -7.136e-04  1.791e-03  -0.398  0.690
pH           -2.671e-01  5.271e-02  -5.067  4.04e-07 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```



Metodología – Sistemas silviculturales ecológicos.

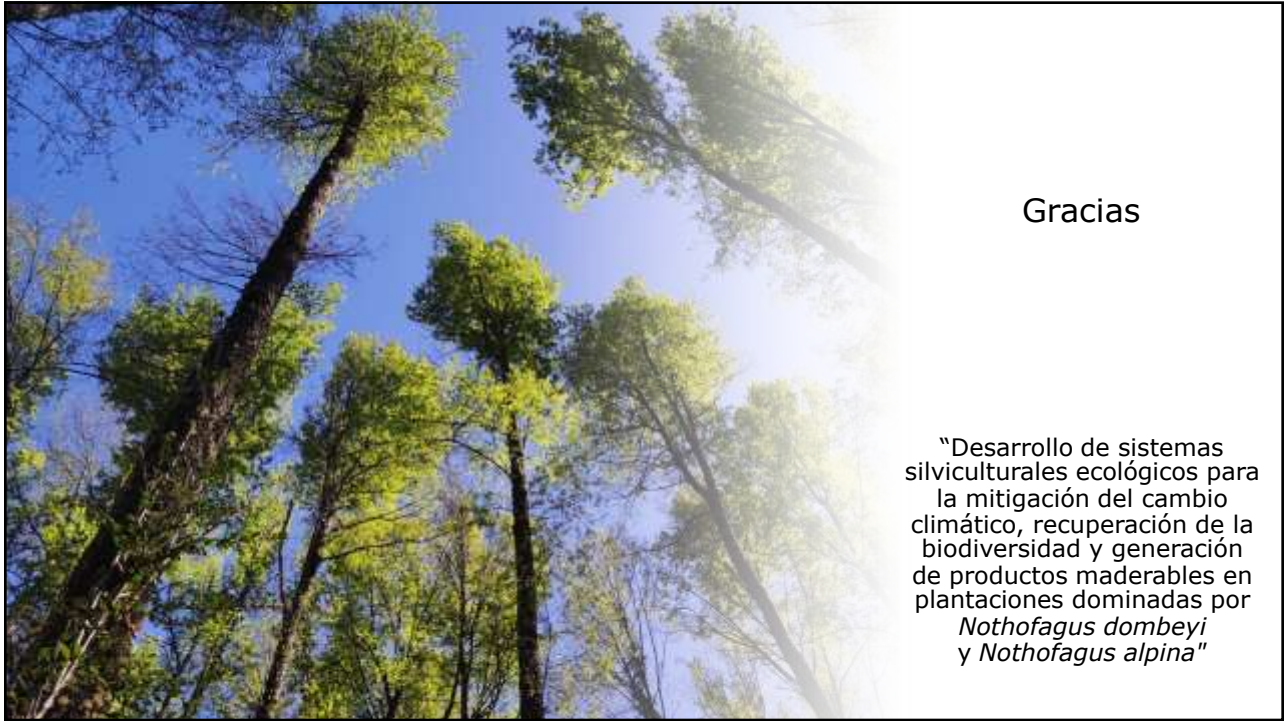
Validación mediante taller de expertos



Metodología - Asignador silvicultural

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





Gracias

“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*”