



INFORME

Reconstrucción histórica, análisis dendrocronológico y evaluación de la estructura y dinámica sucesional de un bosque templado andino en sucesión secundaria en Kodkod, Región de La Araucanía.

Ignacio Urrea

Julio 2025 – Septiembre 2025

Pontificia Universidad Católica de Chile

Kodkod - *Field Studies Center*

Supervisora: Fernanda Barz

Tabla de Contenidos

I.Resumen.....	3
II.Introducción.....	3
III.Metodología	4
III.1 Área de estudio	4
III.2 Diseño de muestreo y enfoque general	5
III.3 Recolección de antecedentes históricos	6
III.4 Levantamiento de datos.....	6
III.5 Definiciones operacionales y criterios	9
III.6 Procesamiento y análisis de datos	11
III.7 Aseguramiento de calidad y limitaciones.....	12
IV.Resultados.....	13
IV.1Recolección de antecedentes históricos	13
IV.2 Análisis Dendrocronológico	22
IV.3 Ecología y bosque actual.....	23
V.Conclusión	47
VI.Bibliografía	48
VII.Anexos	53

I. Resumen

Este estudio caracteriza la historia de perturbaciones, la estructura actual y la etapa sucesional de un bosque templado andino en el *Kodkod Field Studies Center* (Pucón, Región de La Araucanía, Chile). Se integraron tres aproximaciones: (i) revisión documental y entrevistas para reconstruir disturbios históricos; (ii) análisis dendrocronológico de *Nothofagus obliqua*; y (iii) muestreo estructural mediante transectos de ancho variable ($DAP \geq 55$ cm) y parcelas circulares ($DAP \geq 5$ cm).

Los antecedentes históricos revelan que el área estuvo influenciada por incendios, extracción maderera y el gran incendio de 1943–1944, lo que originó un bosque secundario dominado por *N. obliqua*. El análisis dendrocronológico de una troza de roble talado en 2024 indicó una edad aproximada de 217 años, sugiriendo la existencia de remanentes pre-incendio y evidenciando la resiliencia de la especie.

La caracterización estructural mostró un rodal con alta densidad (≈ 1.700 árboles/ha), área basal de 77 m²/ha y predominio de diámetros medios ($Dq \approx 16$ cm). Los transectos identificaron un bajo porcentaje de sobremaduros en sectores altos, pero mayor presencia en áreas bajas, donde coexisten *N. obliqua* y *Laurelia sempervirens*. Según los indicadores de Oliver y Larson (1996), el bosque se encuentra en fase de exclusión de tallos con tendencia a reiniciación de sotobosque, mientras que la composición se corresponde a un bosque mixto rico en *Nothofagus*.

II. Introducción

Los bosques templados del centro-sur de Chile presentan hoy amplias superficies de bosque secundario, debido en gran medida a disturbios naturales y antrópicos que remueven el dosel y reinician la sucesión (incendios, aprovechamientos madereros, deslizamientos, vientos extremos, erupciones volcánicas; González et al., 2015; Donoso et al., 2018a). En la Región de La Araucanía, el fuego es un agente dominante que estructura el paisaje *Araucaria–Nothofagus* tanto a escala de rodal como de paisaje (González et al., 2005).

La dinámica de bosques describe cambios en estructura y composición a lo largo del tiempo y en múltiples escalas espaciales (desde claros de cientos de metros cuadrados hasta mosaicos de miles de hectáreas) y surge de la interacción entre disturbios alogénicos (exógenos a la comunidad, por ejemplo incendios, deslizamientos y erupciones) y procesos autogénicos (propios de la comunidad, por ejemplo competencia, mortalidad de árboles viejos y apertura de copas) (Lara et al., 2014; Oliver & Larson, 1996). Para interpretar trayectorias post-disturbio a escala de rodal, el modelo de desarrollo de rodales de Oliver y Larson distingue cuatro etapas: iniciación tras el disturbio, exclusión de fustes con cierre de copas y mortalidad por competencia, reiniciación del sotobosque asociada a la heterogeneidad creada por microclaros y una fase madura o vieja caracterizada por estructura vertical compleja, presencia de árboles grandes y dinámica dominada por la formación de claros (Oliver & Larson, 1996).

En el centro-sur de Chile, *Nothofagus obliqua* (roble), *Nothofagus alpina* (raulí) y *Nothofagus dombeyi* (coigüe) suelen comportarse como especies pioneras después de disturbios de alta severidad, con trayectorias que transitan desde bosques pobres o ricos en *Nothofagus* hacia bosques mixtos y, posteriormente, hacia comunidades con mayor tolerancia a la sombra (Donoso et al., 2018a). Esta pauta

coincide con la hipótesis regional que, bajo aproximadamente 1000 m s. n. m., vincula asociaciones dominadas por *Nothofagus* a historias de eventos catastróficos y a una dinámica de reemplazo por claros en etapas avanzadas (Veblen & Donoso, 1987; Figura 1).

En particular, el área de estudio corresponde al Kodkod Field Studies Center, en Pichares (Pucón), inserto en el tipo forestal roble–raulí–coigüe, con dominancia local de roble y presencia relevante de laurel (*Laurelia sempervirens*) y coigüe (*N. dombeyi*). El sitio conserva un bosque secundario con evidencias de perturbaciones pasadas (tocones de extracción y cicatrices de incendio), por lo que resulta pertinente reconstruir su historial de perturbaciones y caracterizar su estado sucesional y estructural como línea base para la conservación y el manejo adaptativo.

Objetivo general:

Reconstruir el historial de perturbación y caracterizar el estado sucesional actual de un bosque templado andino en Kodkod.

Objetivos específicos:

- Determinar las perturbaciones naturales y antrópicas ocurridas en el sitio;
- Estimar la edad del bosque secundario actual
- Caracterizar la estructura forestal (DAP, altura, estado y forma)
- Clasificar el bosque según su etapa sucesional.

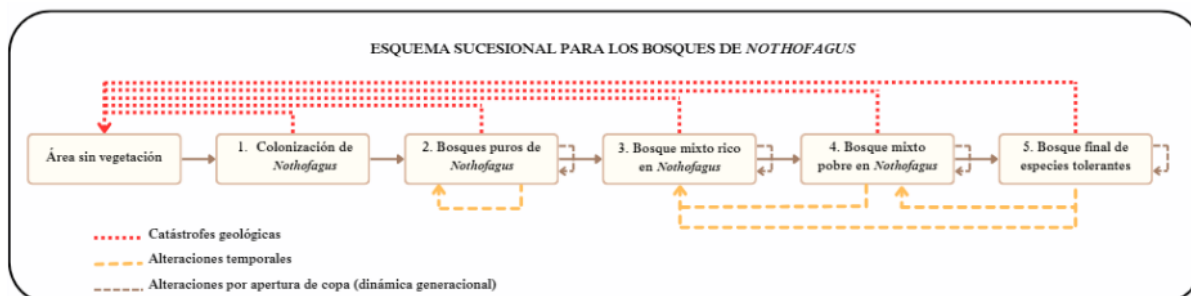


Figura 1. Esquema sucesional para bosques del centro-sur de Chile con *Nothofagus* como grupo pionero (adaptado de Uebelhoer, como se citó en Grosse, 2009): 1) colonización; 2) bosque pobre en *Nothofagus*; 3) bosque mixto rico en *Nothofagus*; 4) bosque mixto pobre en *Nothofagus*; 5) etapa final con especies más tolerantes. Las líneas punteadas distinguen reinicios por disturbios catastróficos (rojo), alteraciones temporales (ocre) y aperturas de copa (dinámica generacional).

III. Metodología

III.1 Área de estudio

El área de estudio se localiza en el bosque templado andino de la comuna de Pucón, Región de La Araucanía (39° S, 71° O). En concreto, se sitúa dentro de la subregión del bosque caducifolio del llano, correspondiente a los bosques caducifolios del sur, donde predominan asociaciones vegetacionales como *Nothofagus obliqua* y *Laurelia sempervirens*, con base en los pisos vegetacionales descritos por Pliscoff (2017; IDEA, 2020; Figura 2).

Según la clasificación de Köppen–Geiger, el área presenta un clima templado lluvioso con leve sequedad estival entre enero y marzo, con precipitaciones anuales del orden de 2100 mm y una temperatura media anual de 9.5°C (IDEA, 2017).

Los suelos del sitio son arcillosos–orgánicos, con alto contenido de materia orgánica en descomposición, rasgo que influye en la regeneración del bosque y es clave para comprender los procesos ecológicos actuales (Dillehay et al., 2010).

El predio Kodkod corresponde a un bosque secundario de sucesión tardía, ubicado entre 200 y 500 m s. n. m., con una superficie aproximada de 5,5 ha. Es adyacente al Santuario de la Naturaleza El Cañi (entrada Pichares) y muy próximo a la Reserva Nacional Villarrica, lo que refuerza su valor como corredor biológico y zona de amortiguación. Asimismo, presenta relativo aislamiento de asentamientos humanos y baja perturbación reciente, condiciones favorables para el estudio de procesos sucesionales (Barz, 2024).

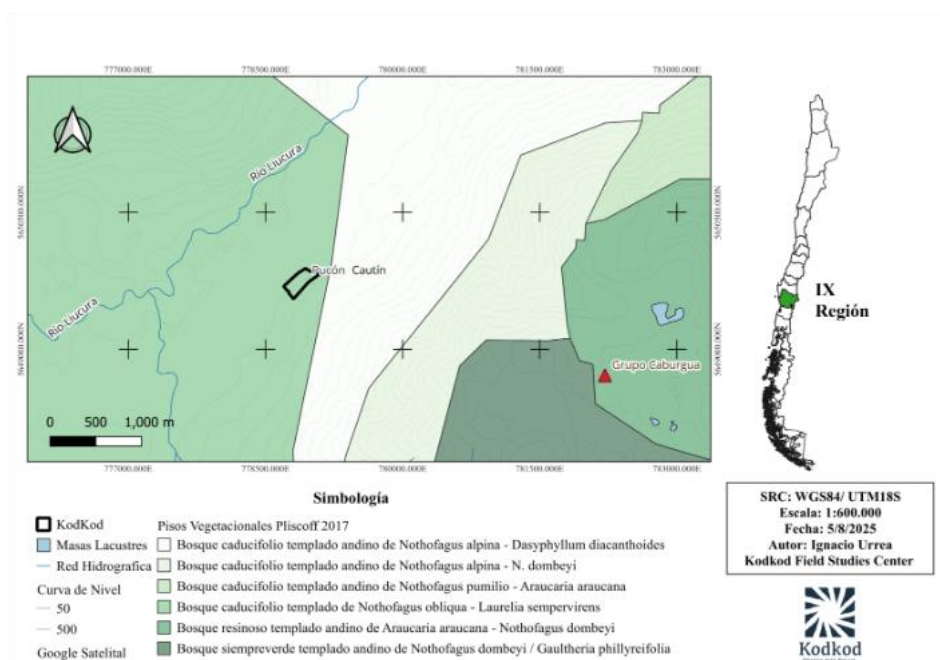


Figura 2. Área de estudio en la Región de La Araucanía, con caracterización de pisos vegetacionales según Plissock (2017).

III.2 Diseño de muestreo y enfoque general

Se aplicó un enfoque multiescala con tres componentes integrados. Primero, se levantó información histórica mediante revisión bibliográfica y testimonios locales para identificar los principales disturbios del paisaje y del predio.

Segundo, se realizó un análisis dendrocronológico acotado para identificar indicios de incendios en trozas de *Nothofagus obliqua*, con el fin de anclar cronologías y discriminar posibles remanentes pre-

disturbio; en la muestra analizada no se evidenciaron cicatrices de incendio y la datación cruzada quedó pendiente, de modo que las inferencias se consideran preliminares.

Tercero, se ejecutó un muestreo de estructura y composición con dos dispositivos complementarios: tres transectos de ancho variable (~350 m cada uno) para individuos con $DAP \geq 55$ cm y parcelas circulares de 25 m de diámetro para individuos con $DAP \geq 5$ cm.

La población objetivo corresponde al bosque del predio Kodkod dentro de su rango altitudinal. Las unidades de muestreo fueron, por una parte, los transectos georreferenciados, y por otra, las parcelas circulares distribuidas al interior del predio. En ambos se registró, para cada individuo, la especie y el diámetro a la altura del pecho (DAP). En los transectos, además se midió presencia de incendio y presencia de pudrición central y en las parcelas la altura de los individuos tomando el punto más alto. El DAP se midió con forcípula cuando la apertura lo permitió y con huincha en árboles de mayor diámetro, aplicando luego la conversión $DAP = \text{Perímetro}/\pi$.

Este diseño permite vincular procesos y patrones en escalas complementarias. La revisión histórica y la dendrocronología informan los supuestos sobre cronología de disturbios, en conjunto los transectos capturan legados de gran porte y las parcelas describen la estructura diamétrica, la composición específica y el estado del rodal actual. La combinación de fuentes ofrece una línea base replicable para futuras comparaciones.

III.3 Recolección de antecedentes históricos

III.3.1 Fuente documentada

Para reconstruir el historial de perturbaciones en el área del Kodkod *Field Studies Center*, se realizó una revisión bibliográfica centrada en antecedentes históricos y ambientales. En cuanto a perturbaciones de origen humano, se consideraron los periodos prehispánicos y la etapa poscolonial; además, se incorporaron antecedentes sobre actividad volcánica regional. La revisión incluyó el repositorio Memoria Chilena, tesis universitarias, publicaciones científicas de carácter arqueológico y forestal, y planes de manejo de parques nacionales cercanos al área de estudio. Respecto de la actividad volcánica, se recopiló información del Servicio Nacional de Geología y Minería para identificar volcanes aledaños, su estado actual y su historia eruptiva, así como eventuales impactos sobre el área de estudio; adicionalmente, se revisaron publicaciones científicas específicas sobre el tema.

III.3.2 Memoria local

Además, se realizaron tres entrevistas semiestructuradas (Díaz et al., 2013) entre el 22 y el 24 de julio. El criterio de selección consideró informantes clave con conocimiento directo y prolongado del territorio: (1) el ex propietario del predio y fundador del Santuario El Cañí, y (2-3) dos personas que han residido toda su vida en el sector. Las entrevistas se aplicaron después de la revisión documental, con el objetivo de contrastar y complementar los antecedentes encontrados, precisando qué eventos globales o locales afectaron directamente el área del Kodkod *Field Studies Center*.

III.4 Levantamiento de datos

III.4.1 Dendrocronología

Se muestrearon dos trozas de tocones de roble con $DAP \geq 55$ cm y fecha de tala conocida. Las secciones transversales se extrajeron con motosierra, se secaron 21 días y se lijaron con granulometrías 50–280. Los anillos se dataron visualmente y se midieron con pie de metro. Se registró el número de cicatrices de fuego visibles. La datación cruzada se efectuó comparando patrones de crecimiento entre individuos y se verificó en R (RStudio).

En presencia de pudrición central o ausencia de anillos internos visibles se utilizará el modelo de Duncan (1989; Anexo 1) para estimar anillos faltantes y completar la edad total. En esta campaña, una troza completó el proceso de secado y fue analizada; la segunda no alcanzó el secado necesario, por lo que la datación cruzada quedó pendiente.

III.4.2 Transectos de ancho variable

Se establecieron tres transectos de ancho variable de aproximadamente 350 m de longitud, en los que se censaron todos los árboles con $DAP \geq 55$ cm. Los individuos se clasificaron según etapa de desarrollo en fustal grueso y sobremaduro, considerando sobremaduro a aquel con $DAP \geq 55$ cm y evidencia de pudrición central.

El análisis se sustenta en la hipótesis de que los sobremaduros corresponden a remanentes anteriores al incendio de la década de 1940, mientras que los individuos sin pudrición central, pero de gran diámetro, representan la cohorte pionera que colonizó el sitio tras la perturbación. La confirmación estricta requiere fechado de edades y, cuando existan, datación de cicatrices de fuego.

Para cada individuo se registraron la especie, el DAP, la posición a lo largo del transecto y la distancia perpendicular al eje del transecto (siempre medida). Además, se anotó la presencia de marcas compatibles con incendio y la presencia de pudrición central. Se registraron también árboles muertos con evidencia de incendio, clasificados como Muerto en la condición de los gráficos.

Convención de graficado. En las figuras, el eje X corresponde a la distancia paralela al transecto (m) y el eje Y a la distancia perpendicular (m), asignando valores positivos al lado izquierdo (I) y valores negativos al lado derecho (D), para estandarizar la lectura y la comparación entre transectos.

III.4.3 Parcelas circulares

Para estudiar la estructura de los rodales se establecieron cinco parcelas circulares aleatorias de 25 m de diámetro, categorizadas topográficamente según su posición fisiográfica, exposición y pendiente.

La identificación de especies se realizó por observación en terreno. Las especies que no pudieron ser reconocidas se consignaron como N.I.

Los datos dendrométricos incluyeron la altura total del árbol y el diámetro a la altura del pecho (DAP). El DAP se midió con forcípula en individuos con diámetro < 50 cm y con cinta métrica en individuos de ≥ 50 cm, transformando el perímetro a diámetro mediante la fórmula:

$$DAP = \frac{\textit{Perimetro (cm)}}{\pi}$$

Se utilizó un umbral de DAP ≥ 5 cm, por las siguientes razones:

1. **Estándar técnico:** umbral común para caracterizar el estrato arbóreo y distinguir árboles establecidos de la regeneración reciente.
2. **Relevancia estructural:** individuos con DAP ≥ 5 cm influyen en la estructura y en la competencia por luz, y pueden conservar señales de historia del rodal.
3. **Eficiencia en terreno:** censar individuos < 5 cm enlentece el trabajo y sobrerrepresenta brinzales, con baja contribución a métricas de rodal.

En árboles dominantes de gran altura, la combinación de pendiente y densidad del dosel dificultó una lectura confiable de la punta, por lo que en esos casos la altura total se estimó a partir del DAP mediante un modelo alométrico específico para roble, según se describe en la sección II.4.4.

Para expresar densidades, áreas basales y otras sumas a escala de hectárea, cada parcela (por su área) se extrapolaró con un factor de 20,37; cuando se analizaron de manera agregada las cinco parcelas, se empleó un factor equivalente derivado del área total muestreada (4,08), manteniendo la coherencia de las unidades y la comparabilidad entre métricas.

III.4.4 Estimación de altura a partir de DAP

Cuando la medición directa de la altura total no fue confiable por pendiente y cierre de copas, la altura se estimó desde el DAP con un modelo alométrico de Chapman–Richards calibrado para *N. obliqua*. La ecuación operativa utilizada fue:

$$H(DAP) = 1.3 + (40 - 1.3)(1 - e^{0.012334 \cdot DAP})^{0.699506}$$

Donde H es la altura total (m) y DAP es el diámetro a la altura del pecho (cm); se fija $H_{max} = 40$ m y se emplea $k = 0.012334$ y $m = 0.699506$ según el ajuste seleccionado.

Este estimador se eligió por su coherencia biológica (arranque a 1,3 m y techo en 40 m), su mejor desempeño local tras la recalibración y su comparabilidad entre rodales; los detalles del ajuste y validación están documentados en el resumen ejecutivo.

III.4.5 Estimación de edades por el Índice de crecimiento Medio Anual (IMA)

La edad de los árboles se estimó con el Índice de Crecimiento Medio Anual (IMA), definido como la razón entre el diámetro a la altura del pecho y la edad del individuo, con unidades de cm/año:

$$IMA = \frac{DAP (cm)}{Edad (años)}$$

La edad se estimó de la forma:

$$Edad estimada (años) = \frac{DAP(cm)}{IMA de referencia}$$

Esta decisión metodológica se adoptó para evitar daño a los árboles en un área de conservación y ante la ausencia de elementos que permitieran fechar con exactitud a todos los individuos. El método presenta limitaciones conocidas: el crecimiento no es lineal en el tiempo, varía por etapa ontogénica y estrategia de adquisición de recursos, y la edad a la altura del pecho puede diferir de la edad real del árbol si falta madera cercana a la médula. Por lo tanto, las edades derivadas por IMA se interpretan como aproximaciones y no como edades exactas, y se contrastan con evidencia dendrocronológica cuando está disponible.

Los IMA de referencia se obtuvieron desde literatura para especies dominantes de ecosistemas afines, seleccionando valores consistentes con las condiciones del sitio. Para ajustar estos valores al contexto local, se estimó un IMA local para *Nothofagus obliqua* a partir de individuos recientemente cortados, midiendo DAP y contando anillos desde médula a cámbium para obtener un promedio. Si el IMA bibliográfico de *N. obliqua* es distinto al estimado, se consideró discrepante y se calculó un coeficiente de ajuste:

$$\text{Coeficiente de ajuste} = \frac{\text{IMA local de } N. \text{ obliqua}}{\text{IMA bibliográfico de } N. \text{ obliqua}}$$

Este coeficiente se aplicó de forma multiplicativa a los IMA bibliográficos del resto de las especies, bajo el supuesto de que las diferencias entre condiciones locales y referenciales afectan proporcionalmente a especies dominantes. El uso de este ajuste en especies distintas de *N. obliqua* se considera conservador y sujeto a revisión si se obtienen cronologías o cortes adicionales.

III.5 Definiciones operacionales y criterios

III.5.1 Diagnóstico de Composición (peso de *Nothofagus*) del rodal (Grosse & Martin)

Para el análisis de composición se utilizaron los criterios descritos por Grosse (2009), creados por Uebelhoer (Figura 1).

- **Métrica principal:** % de área basal viva aportada por *Nothofagus* (%G_*Nothofagus*).
- **Métrica complementaria:** % de individuos vivos de *Nothofagus* (%N_*Nothofagus*).

Tabla 1. Composición por *Nothofagus* (según % de área basal viva y % de individuos)

Etapa sucesional de <i>Nothofagus</i>	Porcentaje de área basal de densidad de <i>Nothofagus</i>
(1) Colonización de <i>Nothofagus</i>	%N > 60
(2) Bosques puros de <i>Nothofagus</i>	%G ≥ 80 y %N ≥ 50
(3) Bosques mixtos rico en <i>Nothofagus</i>	%G ≥ 50 y no (1-2)
(4) Bosques mixtos pobres en <i>Nothofagus</i>	Resto de combinaciones
(5) Bosque final de especies tolerantes	%G < 20 y %N < 20

III.5.2 Diagnóstico estructural del rodal (Oliver & Larson)

El diagnóstico estructural se asignó usando indicadores derivados de la estructura diamétrica, la distribución de área basal y la presencia de legados (árboles muertos, tocones), interpretados con el marco de Oliver y Larson (1996; Tabla 2).

Donde:

Convenciones generales:

- Unidades: Nha (árb/ha), G (m²/ha), DMC/Dq (cm), H/D.
- Clases diamétricas: 5 cm.
- Cálculo de % solo con vivos (excluye “Muerto” y “Tocón”).
- H_dom: Promedio de los 25 árboles más grandes del total de la muestra.
- Estratos (proxy Kraft modificado (Donoso, 1993) por altura relativa): Emer ($\geq 1.1 H_dom$), Dom (0.98-1.1), Codo (0.8–0.98), Interm (0.60–0.8), Supr (<0.60).

Parámetros (Anexo 2):

- **Nha (árb/ha)**: Densidad ($DAP \geq 5$ cm), extrapolada a ha.
- **G (m²/ha)**: Área basal viva total a ha.
- **DMC / Dq (cm)**: Diámetro medio cuadrático.
- **%G(5–20)**: Porcentaje de área basal en diámetros de 5–20 cm.
- **I_grandes**: Índice armónico de “grandes” ($DAP \geq 55$ cm).
- **%N(5–15)**: Porcentaje de individuos en clases diamétricas entre 5–15 cm.
- **H/D**: relación altura-diámetro (Promedio de h/DAP).
- **%G_tolerantes**: Porcentaje de área basal de especies tolerantes a la sombra.
- **Nº de estratos ($\geq 10\% G c/u$)**: conteo de pisos sociológicos de Kraft modificado con $\geq 10\%$ de G.
- **%G_Estratos**: reparto de área basal entre Emer/Dom/Codo/Interm/Supr.
- **IBA (Ponce, 2014)**: índice de bosque adulto (Anexo 3).

Criterio de clasificación:

- Mayoría sobre ejes principales (Nha, G, Dq, I_grandes) + 2 estructurales (%G_tolerantes, Nº estratos, %G_Estratos, H/D).
- Zonas grises: resolver con sub-indicadores y IBA como chequeo final.

Tabla 2. Diagnóstico estructural (Oliver & Larson, 1996)

Criterio	Iniciación	Exclusión de tallos	Re-iniciación del sotobosque	Bosque maduro
Nha (árb/ha)	≥ 2.500	1.500-2500 (tendencia ↓ si hay re-medición)	800-1.500	< 800
G (m²/ha)	≤ 25	25-45	45-80	> 80
DMC / Dq (cm)	5–15	15–25	25–40 (latizal→fustal)	> 40
%G(5–20)	$\geq 45\%$	20-35%	10-25%	$\leq 10\%$
I_grandes	<10%	10–25 %	25-45 %	$\geq 45\%$

%N(5–15)	≥ 65–75 %	40–60 %	45–65 %	≤ 20–30 %
H/D	60–80 (bajo–medio)	> 80 (alto)	60–80 (medio)	≤ 60 (bajo)
%G_tolerantes	≤ 30 %	< 35 %	35–50 % (en alza)	> 50 %
Nº estratos (≥10% G c/u)	1–2	1–2	2–3	≥ 3
%G_Estratos	Un estrato >70–80 %	1–2 estratos concentran ≥80–90 %	Reparto más balanceado (ningún estrato > 60%)	≥3 estratos con ≥10 % c/u
Índice (IBA)	< 60	< 60	60–75	> 75

III.5.3 Diagnostico de etapa de desarrollo del rodal (Grosse)

Para el análisis de composición se utilizaron los criterios del anexo 9.5 de Grosse (2009), complementados con el Manual de operaciones en terreno de Martin (2009).

- **Regeneración:** Individuos ya establecida de una altura menor a 2 metros.
- **Monte bravo** Árbol joven de una altura entre 2 – 8 metros.
- **Latizal:** Árbol joven con una altura entre 2 y 20 metros con un diámetro entre 5 cm y 20 cm.
- **Fustal delgado:** individuos con DAP entre 20 a 35 cm.
- **Fustal grueso** individuos con DAP entre 35 a 55 cm.
- **Sobre maduro:** Individuos que se caracterizan por sobresalir en altura y diámetro con presencia de pudrición central.

III.5.4 Coetáneidad y Multietaniedad (distribución de edades)

- **Coetáneo (mismo origen):** ≥ 75–80 % de los árboles dentro de un rango estrecho ($\approx \pm 20$ años); distribución de edades **unimodal** marcada; típico de regeneración post perturbación severa.
- **Multietáneo (regeneración continua o mixta):** distribución **amplia** (> 30–40 años entre clases) con dos o más cohortes discernibles; típico de disturbios parciales, aperturas pequeñas o mosaicos.

Dado que la edad se estimó mediante IMA, el diagnóstico de coetaneidad se aplicó solo a las especies dominantes y codominantes de los estratos superior e intermedio. Las edades se interpretaron como aproximaciones y las diferencias entre clases se evaluaron dentro de sus intervalos de confianza.

III.6 Procesamiento y análisis de datos

Depuración y codificación. Se revisó consistencia de campos, unidades y códigos. Se corrigieron duplicados, se estandarizaron nombres científicos y se codificó N. I. cuando la identificación no fue posible en terreno. Se verificó que DAP estuviera en centímetros y alturas en metros.

Conversión perímetro a diámetro. En individuos medidos con huincha, el DAP se obtuvo como $DAP (cm) = \text{perímetro} (cm) \div \pi$, a 1,3 m del suelo.

Alturas. La altura total se usó cuando la medición directa fue confiable. En roble (*Nothofagus obliqua*) la altura se estimó a partir del DAP con el modelo alométrico de Chapman–Richards ya descrito en II.4.5, aplicado solo dentro del rango de DAP observado en la calibración local.

Extrapolación a hectárea. Cada parcela circular de 25 m de diámetro equivale a 0,049087 ha. Para expresar densidades y sumas a hectárea se empleó un factor de 20,37 por parcela. Cuando se analizaron las cinco parcelas como un conjunto, se utilizó el factor 4,08, derivado del área total muestreada.

Área basal y densidad. Para cada árbol se calculó el área basal individual como:

$$g_i (m^2) = \pi \cdot \left(\left(\frac{DAP(cm)}{100} \right)^2 \right)$$

El área basal por hectárea se estimó como: $Gha = k \cdot \sum g_i$

La densidad por hectárea se estimó como: $GNha = k \cdot \sum n_i$

Donde k es 20.37 por parcela o 4.08 para el agrado de cinco parcelas.

Gráficos y tablas. Se elaboraron histogramas diamétricos, diagramas de dispersión para transectos (X paralelo al transecto; Y perpendicular con izquierdo positivo y derecho negativo), barras apiladas de composición por especie y tablas de densidad y área basal por parcela y total.

Software. La depuración y los cálculos se realizaron en planillas Excel y R; la estimación alométrica de alturas, los transectos y comparación de medias entre parcelas se implementó en R.

III.7 Aseguramiento de calidad y limitaciones

Identificación de especies. La identificación se realizó en terreno; cuando no fue posible, se consignó N. I. de forma consistente entre parcelas.

Dendrocronología. Se analizaron dos trozas; una completó secado y conteo de anillos, la segunda no alcanzó el secado necesario, por lo que la datación cruzada quedó pendiente. No se observaron cicatrices de incendio en la muestra analizada. Las inferencias dendrocronológicas se consideran preliminares hasta completar la validación.

Estimaciones alométricas. La estimación de altura a partir de DAP en roble se aplicó dentro del rango de DAP observado en la calibración; sus resultados se interpretan como aproximaciones sujetas a variación por sitio, competencia y arquitectura de copa.

Edades por IMA. El uso de IMA para estimar edades se considera una solución de compromiso. No constituye la mejor estimación a nivel individual y su precisión disminuye en extremos diamétricos y en especies con alta plasticidad de crecimiento. Los valores se reportan como aproximaciones y se interpretan conjuntamente con la estructura del rodal y la evidencia dendrocronológica disponible.

Representatividad espacial. Las extrapolaciones asumen que las parcelas son representativas del rodal muestreado. Puede existir heterogeneidad espacial no capturada.

Entrevistas y ética. Las entrevistas semiestructuradas se realizaron con consentimiento informado y resguardos de confidencialidad solicitados por las personas consultadas.

Revisión asistida por IA. Para apoyar la consistencia del diagnóstico estructural y la asignación de etapas, se realizó una revisión asistida por inteligencia artificial basada en los indicadores definidos en II.5; todas las sugerencias fueron revisadas y validadas por el autor, y las decisiones reportadas son de responsabilidad humana por criterio observacional.

IV. Resultados

IV.1 Recolección de antecedentes históricos



Figura 3. Línea temporal de perturbaciones y acontecimientos en el área de Kodkod -*Field Studies Center*

IV.1.1 Etapa prehispánica

La presencia de suelos de origen volcánico en el sector puede atribuirse a los antiguos eventos eruptivos de los Centros Eruptivos Menores Caburgua-Huelmolle (CHSEC), también conocidos como grupo Caburgua, compuestos por cerca de 20 conos piroclásticos distribuidos en ocho centros. Estas estructuras, asociadas a flujos de lava basáltica y vinculadas a la Falla Liquiñe-Ofqui, corresponden a un vulcanismo de origen Holoceno temprano, con actividad más antigua datada en al menos 9.000 años A.P. Por tanto, la formación volcánica de los suelos constituye una perturbación antigua y no recurrente en el período histórico reciente (Morgado, 2015).

La presencia del ser humano en la zona lacustre andina de La Araucanía es ancestral. Según Adán et al. (2004), existen evidencias de una ocupación temprana entre el 7500 a.C. y el 3600 a.C., correspondiente a grupos con un modo de vida cazador-recolector, enfocado principalmente en la recolección de recursos del bosque templado. Estas poblaciones practicaban una movilidad estacional amplia, conectando el litoral con la precordillera mediante circuitos territoriales (Flores, 2013). La actual composición florística del bosque, caracterizada por encontrarse en una zona ecotonal entre el bosque laurifolio y el bosque caducifolio, se habría establecido hacia los 3.000 años A.P. (Adán *et al.*, 2004).

Por otra parte, diversos estudios arqueológicos e históricos documentan la presencia de comunidades indígenas que utilizaron canoas monóxilas desde al menos hace 2.000 años A.P. Su uso ha sido registrado en lagos como Villarrica, Calafquén y Panguipulli, manteniéndose vigente hasta bien entrado el siglo XX (Carabias, 2010).

A esta ocupación temprana le sucede una transición cultural hacia formas de vida agroalfareras, evidenciada en la aparición de complejos cerámicos como Pitrén (400-1100 d.C.), cuya economía aún se basaba en la recolección y la caza, aunque ya incorpora elementos agrícolas incipientes (Quiroz, 2001; Bengoa, 2018). En sitios arqueológicos como los alrededores del lago Calafquén y sectores altos de Curarrehue, se han encontrado evidencias asociadas a estos complejos, lo que sugiere una continuidad de ocupación en altura y una tradición cultural cordillerana (Quezada, 2008); posteriormente, el complejo El Vergel (1000-1500 d.C.) muestra un avance en la domesticación de camélidos y el desarrollo agrícola, particularmente en sectores más al norte como Angol y Arauco (Quiroz, 2001). Para establecer su economía hortícola, estos grupos utilizaban la técnica de tala y quema en sectores boscosos, asentándose con huertos familiares que, una vez agotado el suelo, se desplazaban dentro de un territorio definido (Aldunate et al., 1991). Estas actividades no se generaban de forma intensiva; el sistema ecológico araucano no entraba en conflicto con el ambiente natural circundante, permitiendo conservar grandes áreas prístinas (Torrejón et al., 2003).

Desde una mirada etnocultural, el territorio mapuche ha sido comprendido históricamente según una organización espacial transversal que reconoce distintas zonas ecológicas, cada una con un nombre y significado propio en mapudungun. *Lafken mapu*, o “tierra del mar”, corresponde a la franja costera entre la Cordillera de la Costa y el Océano Pacífico, y está asociada al poniente y al mundo de los ancestros. *Lelfun mapu*, o “tierra extendida”, se refiere al valle central, caracterizado por su fertilidad y uso agrícola. Por su parte, *inapire mapu*, o “tierra cercana a las nieves”, representa los sectores cordilleranos altos, vinculados al oriente (Puel) y considerados sagrados por su cercanía a volcanes y entidades espirituales. Estas tres zonas reflejan no solo una comprensión ecológica y geomorfológica del paisaje, sino también una organización simbólica del territorio mapuche (Aldunate et al., 1991; Quezada, 2008).

En este contexto, la ubicación actual del Centro Kodkod se inserta dentro de la zona *lelfun mapu*. Esto debido a que se localiza en el valle y presenta una composición florística dominada por bosques deciduos de *Nothofagus*. Esta se caracteriza por su uso más forestal y potencial agrícola (Aldunate et al., 1991). Sin embargo, se encuentra cercano a bosques de *Araucaria araucana* que predominan en comunidades *inapire mapu*, las cuales basaban su economía mayormente en la recolección y la caza, vinculadas a actividades de piñoneo (Quezada, 2008).

IV.1.2 Llegada de los españoles

La llegada de los españoles a la Araucanía fue de la mano de Pedro de Valdivia en el año 1550 y trajo consigo una cosmovisión distinta del medio natural. La concepción antropocéntrica fomentada por una perspectiva cristiana percibía que la naturaleza se encontraba al servicio del hombre por designio divino (Torrejón et al., 2003). El impulso conquistador español obedecía a la atracción ejercida por los recursos naturales presentes en la Araucanía (Pacheco, 1991). La intención de los conquistadores era dominar el área para su explotación minera, aurífera, tala de madera y actividades agropecuarias intensivas.

Sobre el avance del gobernador Pedro de Valdivia, en 1552 funda la ciudad de Villarrica cerca del lago Mallolafquén (actual lago Villarrica), con los objetivos de recompensar a sus soldados con tierras e indígenas encomendados, acceder a minas de oro y abrir paso hacia el “Mar del Norte” (Gordon, 2011).

Frente a la muerte de Pedro de Valdivia en diciembre de 1553, la población nativa se rebela contra sus opresores y se destruye la recién fundada ciudad de Villarrica. Sin embargo, el nuevo gobernador, García Hurtado de Mendoza, ordena a los vecinos de Villarrica regresar, reconstruir y fortificar la ciudad, y recuperar sus solares, estancias e “indios” encomendados (Gordon, 2011).

En base a datos arqueológicos localizados a 4,1 km al suroeste del Centro Kodkod, Gordon (2011) reconstruye la historia hipotética de la **Casa-Fuerte Santa Sylvia**, una residencia fortificada y lavadero de oro levantado por un encomendero español tras la reconstrucción de la ciudad de Villarrica en 1556. Este sitio colonial funcionó gracias al trabajo forzado de cientos de indígenas encomendados, que eran obligados a participar en labores agrícolas, mineras y domésticas. La ocupación de Santa Sylvia se mantuvo hasta el alzamiento indígena de 1598, momento en que el encomendero habría sido convocado para la defensa de Villarrica, dejando el sitio abandonado y posteriormente incendiado por las comunidades mapuche.

Este episodio local se inserta dentro del contexto más amplio de la Guerra de Arauco, un conflicto prolongado que tuvo profundos efectos ecológicos en el paisaje del sur de Chile. Las campañas militares, la introducción de especies foráneas y la sobreexplotación del territorio provocaron alteraciones ambientales notorias, incluyendo la reducción de cultivos nativos, la perturbación de la fauna silvestre y la degradación de los ecosistemas locales. Aunque el alzamiento indígena de 1598 forzó el repliegue español al norte del río Biobío, los impactos ambientales derivados del modelo productivo colonial persistieron en el paisaje. Así lo demuestra el relato de Fray Diego de Ocaña, quien en 1600 observó en los valles del sur la presencia de cultivos europeos como trigo, cebada, papas y maíz, junto con ganado ovejuno español, evidencia de una transformación ecológica aún latente pese al retroceso militar hispano (Torrejón et al., 2003).

Pese a la derrota sufrida por los españoles, las autoridades coloniales no renunciaron a su control sobre el territorio. Entre 1601 y 1615, el gobernador Alonso de Ribera instauró una línea de fuertes militares en el curso inferior del Biobío, buscando contener a los mapuches y proteger los últimos enclaves coloniales. La construcción y mantenimiento de esta infraestructura supuso una tala sistemática de árboles nativos, reflejo de una deforestación continua motivada por la necesidad de abastecer a las guarniciones y reparar daños estructurales ocasionados por los ataques indígenas (Torrejón et al., 2003). Este proceso marca el inicio de una nueva etapa en la transformación del paisaje araucano, donde la militarización del territorio y la explotación de recursos naturales pasaron a ser estrategias centrales del proyecto colonial.

Paralelamente, los militares avanzaban mediante la construcción de fuertes para incursiones punitivas (campanadas) con el objetivo de someter a la población indígena local. Estas incursiones producían un fuerte impacto en el paisaje, debido a incendios utilizados para despejar el bosque, abrir paso a las tropas y mantener alejadas a las comunidades mapuche de las inmediaciones de cada fuerte (Torrejón et al., 2003).

A medida que el conflicto bélico comenzó a declinar hacia fines del siglo XVII, varios de estos fuertes se transformaron en núcleos poblacionales estables, habitados por familias hispano-criollas ligadas a las guarniciones militares. Estas familias desarrollaron actividades agropecuarias tanto para su subsistencia como para aumentar sus ingresos, dando origen a los primeros focos de agroganadería hispano-mediterránea en la región. Así, estos asentamientos se convirtieron en polos de intervención

ambiental formalizada, alterando los ecosistemas locales mediante la tala sistemática, el uso intensivo del suelo y la introducción de especies foráneas (Torrejón et al., 2003).

El auge triguero que se desarrolló entre 1692 y 1695, impulsado por la alta demanda peruana, intensificó aún más el uso del suelo agrícola al norte del Biobío, desplazando otros cultivos y consolidando un modelo productivo más especializado. La evidencia documental también muestra que hacia 1698 ya existía una estancia establecida formalmente al sur del Biobío, en terrenos habitados por comunidades indígenas bajo régimen de encomienda. Estos procesos reflejan cómo, incluso antes de la ocupación militar definitiva del siglo XIX, se habían instalado formas tempranas de apropiación territorial y transformación ambiental de escala regional (Torrejón et al., 2003).

Aun cuando la colonización mediante fuerza militar fue repelida tras el alzamiento indígena de 1598, la influencia hispana continuó modelando el paisaje del sur de Chile. Esta presencia se reconfiguró bajo nuevas formas de apropiación territorial y transformación productiva, persistiendo en el territorio a través de legados agrícolas, especies introducidas y patrones de uso del suelo. Durante más de dos siglos, el territorio fue gobernado por las propias comunidades mapuche, quienes mantuvieron un control efectivo sobre la región, estableciendo relaciones esporádicas, aunque no inexistentes, con el mundo hispano. Este prolongado período de autonomía coexistió con una transformación ecológica en curso, resultado del impacto inicial del proyecto colonial, cuyas huellas permanecieron activas incluso en ausencia de una ocupación militar directa.

IV.1.3 “Pacificación de la Araucanía” (1860-1883)

La llamada “Pacificación de la Araucanía” fue un proceso político, militar y territorial mediante el cual el Estado chileno incorporó el territorio mapuche al espacio nacional, principalmente a través del uso de la fuerza. Este proceso implicó la ocupación sistemática del territorio, la instalación de fuertes, el reasentamiento forzoso de comunidades indígenas y la apertura del espacio mapuche a la colonización y explotación económica.

Este avance estatal debe comprenderse en relación con los antecedentes históricos inmediatos, especialmente el período de la independencia chilena (1810–1824). Aunque inicialmente la Araucanía no estuvo involucrada directamente en las campañas patriotas, su relevancia emergió durante el episodio conocido como la “Guerra a Muerte” (1819–1825), la cual se trasladó al sur de Chile. En este conflicto irregular, gran parte de los pueblos mapuche se alinearon con el bando español, enfrentándose a los patriotas chilenos. Esta elección no obedecía a una adhesión monárquica, sino a una estrategia de defensa territorial: para los mapuches, el nuevo gobierno republicano representaba una amenaza mayor que la Corona española, con la cual habían sostenido una relación diplomática y fronteriza relativamente estable a través de los parlamentos coloniales. En este sentido, su alianza con los españoles fue una forma de continuar su lucha histórica por la autonomía e independencia territorial (Bengoa, 1996).

Luego de la independencia de Chile, el avance del Estado chileno hacia el sur del Biobío fue paulatino, cruzando gradualmente la frontera con el territorio mapuche. En 1840 se construyó el fuerte Negrete, llegando a formar una población de 1.500 personas en donde existía una fuerza militar que los cuidaba. En 1852 se creó una nueva provincia con el nombre de Arauco en territorio mapuche. Sin embargo, en

1859 las tropas tuvieron que retirarse, dando paso a que los araucanos invadieran los terrenos tomados por los chilenos. Con estos hechos inicia el proceso de la “pacificación de la Araucanía” (Vera, 1905).

En 1869, luego de un periodo de observación, se intentó incorporar una nueva frontera sur prolongando las plazas militares de Toltén hasta el nacimiento de dicho río en la laguna de Villarrica. Sin embargo, la posesión de Villarrica, y con esto los últimos periodos de la pacificación, no llegó hasta 1882 con el General Urrutia (Vera, 1905).

En el texto *Memorias de la campaña a Villa-Rica (1882-1883)*, escrito por Francisco A. Subercaseaux (1888), se documenta cómo el coronel Gregorio Urrutia lideró una expedición desde Angol hacia el sector cordillerano del río Toltén. Esta crónica no solo enseña el paso militar por el sector, sino que también ofrece una descripción del entorno natural de la cordillera de La Araucanía en las últimas décadas del siglo XIX. Por medio de su relato es posible interpretar las perturbaciones al paisaje vegetal resultantes del avance militar, el asentamiento de tropas y el establecimiento de infraestructura en territorio mapuche.

El texto describe vastas extensiones de “tupidos i gigantescos bosques” desde la cordillera hasta la costa, y hace referencia a las “selvas de Nucañanco, Millalighen i Allipen”, que los soldados despejaron para abrir camino (“oyose el seco i rudo golpear del hacha en los gruesos troncos”). Estas intervenciones, repetidas a lo largo del relato, reflejan una remoción sistemática de cobertura boscosa para facilitar el movimiento militar en la zona. También se menciona el uso del fuego como técnica para habilitar terrenos agrícolas por medio de quema deliberada del bosque (Subercaseaux, 1888).

El texto también ofrece una imagen rica en biodiversidad, mencionando arbustos como la murta y las zarzas, y flores como el copihue. Esta diversidad contrasta con la visión colonizadora de los campos, que los valoraba exclusivamente según su potencial agrícola, clasificándolos como “buenos” o “malos” terrenos según su utilidad productiva (Subercaseaux, 1888).

En conjunto, el relato permite interpretar que el proceso de ocupación militar en Villarrica no solo alteró la estructura social y territorial del pueblo mapuche, sino que también constituyó una perturbación ecológica profunda. La tala, la quema, el tránsito militar y la reorganización productiva del paisaje natural marcaron el inicio de un proceso de transformación que reemplazó los usos tradicionales del bosque por una lógica de ocupación, explotación y extracción impuesta por el Estado.

IV.1.4 Reserva forestal Villarrica (1912 - 1940)

Las primeras reservas forestales en Chile no constituían exactamente unidades territoriales para la conservación y protección de los recursos naturales, sino más bien para su explotación racional y como reserva de bosques fiscales con uso exclusivo del estado con prohibición de la explotación de particulares o cualquier acto de dominio en dichas tierras (Cabeza, 1988).

El 18 de octubre de 1912, a través del decreto Supremo N° 1722 se creó la Reserva Forestal Villarrica en los terrenos sobrantes de aquellos otorgados a la Sociedad Ganadera de Lanín. La administración de la reserva quedó a cargo de la Sección de Aguas y Bosques del Ministerio de Industrias con la instrucción de destinar 20.000 ha a campos de maniobras de la IV División militar (Cabeza, 1988) la cual se derogó en noviembre de 1913 dado la poca utilidad del terreno para maniobras del ejército

otorgándole ese mismo año esa superficie a la formación de colonias nacionales a las personas que utilizaban el sector si un título de ocupación.

La reserva tuvo originalmente alrededor de 273.000 ha de superficie (CONAF, 2013) donde en el primer informe sobre la reserva realizada por los señores C.E. Nazarit y A. Velosos en enero de 1913 se señala la vegetación dominante en distintas zonas donde Cabeza relata (1988):

*“El árbol dominante en la reserva era el roble (*Nothofagus obliqua*) que cubría gran parte de las montañas. Le seguía en importancia el raulí (*Nothofagus alpina*) particularmente abundante en las montañas de Huanpoche a Puesco, con una superficie aproximada de 30.000 ha.*

*Por su parte el lingue (*Persea lingue*) estaba presente especialmente entre el lago Caburga y Reigolil, junto a ejemplares de ulmo (*Eucryphia cordifolia*). En las localidades de Trancura, Curarrehue y Remeco, el lleu que (*Prumnopitys andina*) tenía una importancia relativa.*

*Por otro lado, el coigüe (*Nothofagus dombeyi*), era junto al roble la especie más abundante, ocupando sectores donde la presencia de otras especies era mínima, encontrándosele particularmente en las vertientes montañosas a ambos lados del río Maichín, entre Remeco, Reigolil y Guzmán. En tanto el ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) sólo aparecía en bosques y mezclado con otras especies, siendo su localización principal al oriente de los ríos Maichín y Trancura. Similar era la situación del Tique u Olivillo (*Aextoxicon punctatum*) y el laurel (*Laurelia sempervirens*) siendo más notorios en Pichaye, Carrileufú y Caburga. En los sectores altos y en las cumbres la araucaria (*Araucaria araucana*) señalaba su - presencia.”*

En base a este análisis vegetaciones histórico, se puede inferir que en el sector donde actualmente se encuentra el Centro de Investigación Kodkod, ubicado en Pichares junto a la entrada del Santuario El Cañí, existió una alta presencia de roble (*Nothofagus obliqua*), especie dominante en las zonas bajas y medias entre Caburgua, Trancura y Maichín. Asimismo, el coigüe (*Nothofagus dombeyi*) habría tenido una presencia significativa, ya que es característico de los bosques mixtos del sector y se encuentra ampliamente distribuido en áreas cercanas como Remeco, Reigolil y Trancura.

Entre las especies con presencia media en el sector se encuentra el raulí (*Nothofagus alpina*), frecuente en sectores montañosos entre Huanpoche y Puesco, cuya presencia en Kodkod podría darse en laderas umbrías y de mayor altitud. También destacan el lingue (*Persea lingue*) y el ulmo (*Eucryphia cordifolia*), especies propias de ambientes húmedos, presentes entre Caburgua y Reigolil, con alta probabilidad de encontrarse en quebradas y sectores boscosos bien conservados del área. El lleuque (*Prumnopitys andina*), con registros en Trancura y Curarrehue, podría mantenerse en rodales relictos de bosque adulto. Finalmente, el laurel (*Laurelia sempervirens*) y el olivillo (*Aextoxicon punctatum*), si bien más frecuentes en zonas húmedas como Caburgua y Carrileufú, podrían encontrarse en microambientes específicos del valle de Pichares, particularmente en quebradas profundas o sectores con alta humedad edáfica.

Dado el gran valor del bosque y de las tierras por decreto Supremo N° 1082, del 30 de noviembre de 1917, se separaron de la reserva forestal cinco lotes de terrenos que sumaban 127.444 ha, las cuales fueron rematadas (Cabeza, 1988).

Evolución territorial: ubicación estimada de Kodkod dentro de la Reserva Forestal Villarrica (1912-1925)

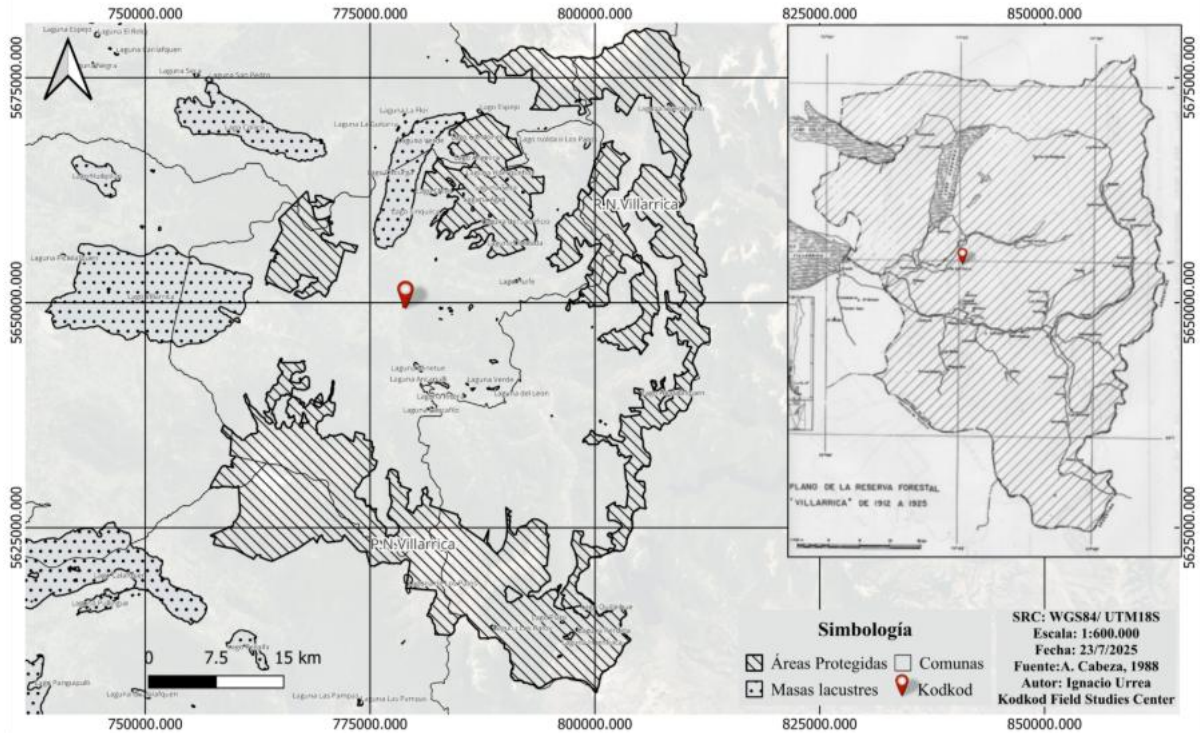


Figura 4. Mapa comparativo que muestra los límites históricos de la Reserva Forestal Villarrica según plano oficial de A. Cabeza (1988), con la localización referencial del área actualmente ocupada por Kodkod *Field Studies Center*

En esta época ya se concebía el concepto de proteger y preservar el conjunto de los recursos naturales de la mano de visionarios como Federico Albert que lo venía promoviendo desde 1910, es así como el 21 de Julio de 1925 por medio del entonces recién creado Ministerio de Tierras y Colonización se constituyó el Primer Parque Nacional que inicialmente se llamaría “Parque Nacional de Colico” que luego termino llamándose “Parque Nacional Benjamín Vicuña Mackenna” con una superficie de 71.600 ha de terrenos fiscales de la Provincia de Cautín correspondientes a superficie de la Reserva Forestal (Cabeza, 1988).

En 1929 la situación de Villarrica era confusa por la colonización dado los límites estatales y particulares presentes en el sector es a raíz de esto que en el Decreto N° 3654 refundió en una sola categoría la Reserva Forestal Villarrica y el Parque Nacional Benjamín Vicuña Mackenna con nuevos límites dado que se habían excluido un total de 90.300 ha destinadas a la colonización (Cabeza, 1988).

Evolución territorial: ubicación estimada de Kodkod dentro de los terrenos destinados a Colonización en 1929

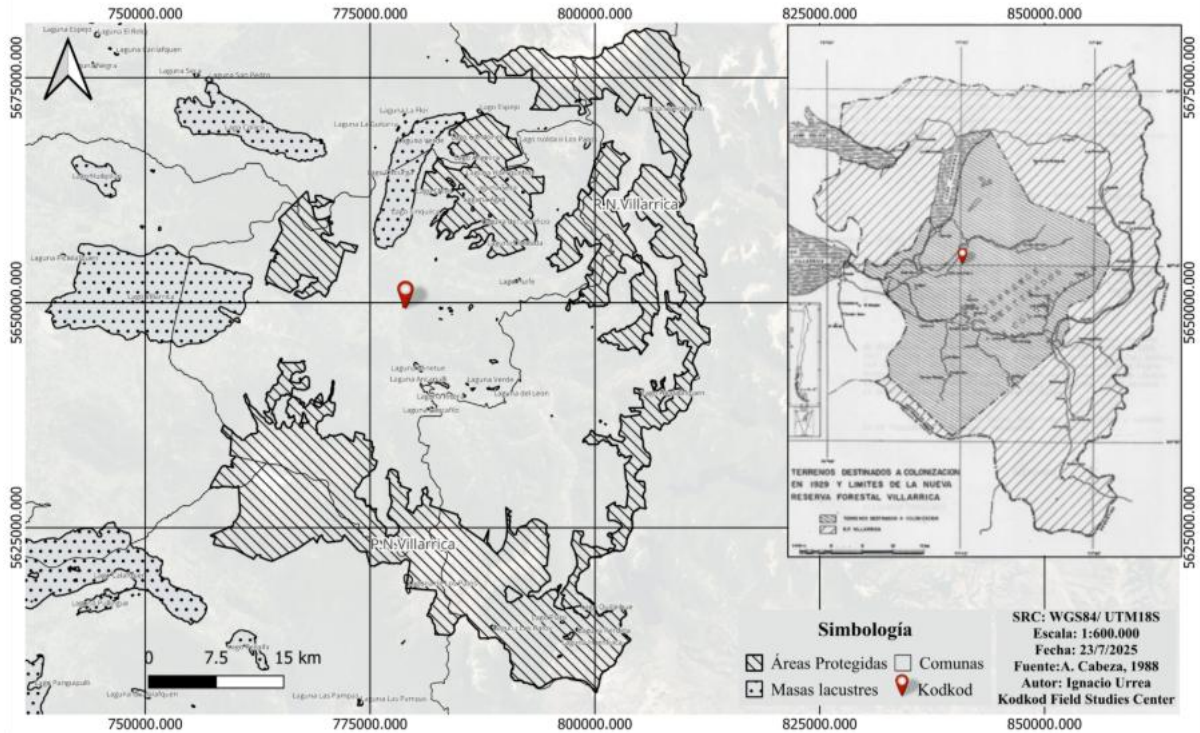


Figura 5. Mapa comparativo que muestra los límites históricos de los terrenos destinados a colonización según plano oficial de A. Cabeza (1988), con la localización referencial del área actualmente ocupada por Kodkod *Field Studies Center*

En 1940, una porción significativa de su superficie fue destinada a la creación del Parque Nacional Villarrica, con 62.988 hectáreas, y posteriormente, en 1967, se estableció el Parque Nacional Huerquehue, con 12.500 hectáreas, ambos conformados a partir de terrenos originalmente pertenecientes a la reserva (CONAF, 2008).

Actualmente, lo que subsiste de esta histórica unidad es conocido como la Reserva Nacional Villarrica (CONAF, 2008). Esta reserva representa el remanente de un extenso territorio que, en su origen, superaba las 270.000 hectáreas, y cuya historia refleja los vaivenes de las políticas forestales y de conservación en Chile, desde la lógica de aprovechamiento fiscal hasta la consolidación del sistema nacional de áreas protegidas.

IV.1.5 Época Post-Reserva forestal

Luego de los registros oficiales vinculados a la Reserva Forestal, los acontecimientos históricos en el sector de Kodkod se vuelven más difusos y dependen, en gran parte, de la memoria oral. Según el testimonio de don Martín Quartermaine (Don Martin Quartermaine, comunicación personal, 22 de julio de 2025) parte del área que actualmente ocupa la reserva habría sido entregada como parte de pago a la familia Compton, en el contexto del saldado de una deuda del Estado chileno con Inglaterra tras la Guerra del Pacífico.



Don Martín afirma:

“En la Guerra del Pacífico la influencia británica era muy grande, quedando Chile muy endeudado con Gran Bretaña hasta 1922 o 1923, que se la vendió a tres particulares, uno llamado Percy Compton, que negoció con el pueblo chileno pidiendo terreno desde Freire hasta el límite.”

Este proceso estaría relacionado con la posterior creación de la Villa San Pedro, ubicada a 2,2 km de Kodkod. Según relatos locales, los terrenos de dicha villa fueron donados por Peter Compton, hijo de Percy Compton, como forma de reconocimiento a los campesinos que cuidaron las tierras de la familia durante el periodo de la Reforma Agraria.

Con base en los antecedentes revisados en la sección anterior, es posible inferir que este traspaso de propiedades se habría realizado en torno al año 1929, según lo registrado por Cabeza (1988). No obstante, la información genealógica disponible en el sitio *Geneanet*, en un árbol familiar elaborado por Martín Etchart (s.f.), indica que Percy Compton vivió entre 1910 y 1952, falleciendo en Pucón. Esto implica que, entre 1922 y 1929, Percy tenía entre 12 y 19 años, lo que genera dudas respecto de su rol directo en una transacción de esta magnitud en esas fechas.

Luego de este periodo, el orden y registro de propietarios en el sector de Kodkod se torna poco claro. Sin embargo, un hito ampliamente reconocido por la comunidad es el gran incendio ocurrido entre 1943 a 1944, el cual arrasó con la mayor parte del bosque nativo. Este evento también fue registrado en el Parque Nacional Villarrica, donde fue analizado mediante estudios dendrocronológicos de anillos de crecimiento en árboles afectados (González et al., 2005; Quezada, 2008). Se dice que se quemó casi todo el bosque, quedando apenas algunos laureles en la planicie y un pequeño grupo de *Nothofagus*, una especie más sensible al fuego que otras (González et al., 2020).

Relatos de habitantes locales, como don Manuel y la señora Luli, coinciden en que durante su niñez los árboles eran muy pequeños, y que solían jugar buscando digüeñes entre los brotes jóvenes del bosque. Durante este periodo, hasta aproximadamente 1983, las principales perturbaciones en el paisaje fueron el gran incendio, junto con la ganadería extensiva y la agricultura. En la zona baja de Kodkod se sembraba trigo (Don Manuel, comunicación personal, 24 de julio de 2025).

Tras el incendio, los árboles de mayor envergadura que quedaron en pie fueron talados para leña, y según comentarios de vecinos recogidos por don Martín, es posible que también se hayan cortado ejemplares sanos. Algunos relatos señalan que *“llegaban camiones y camiones”* a sacar madera del lugar antes de su llegada (Don Martín, comunicación personal, 22 de julio de 2025). Sin embargo, aún se evidencia remanentes del incendio en el predio (Figura 6)



Figura 6. Evidencia de incendio en individuos presentes en Kodkod.

IV.2 Análisis Dendrocronológico

IV.2.1 Resultados



Figura 7. Troza de *Nothofagus obliqua* de árbol cortado el año 2024. 1 corresponde a la troza completa, 2 corresponde a un rebrote dentro de la troza y 3 corresponde a los tres núcleos adicionales presentes.

El análisis dendrocronológico se realizó sobre una única troza de *Nothofagus obliqua* extraída de un árbol talado en 2024. Previo a datación cruzada, se contaron 125 anillos visibles a lo largo del trayecto principal de medición. Como la médula no estaba presente, se aplicó el método de Duncan (1989): con un trayecto medido de 28.8 cm desde la corteza hacia el centro y 16.2 cm faltantes hasta la médula, se ajustó un modelo exponencial sobre los anchos de anillo para proyectar los años necesarios hasta completar el radio ausente, obteniéndose una edad total aproximada de ~217 años para el individuo.

No se evidenciaron cicatrices de incendio en la superficie observada: ni en el intervalo asociado al evento regional de hace ~80–81 años, ni en otras secciones de la troza. En cambio, dentro de la misma rodaja se identificaron tres núcleos (médulas) adicionales en sectores donde el corazón no se perdió; en cada uno se midieron anillos desde la médula hasta la corteza, arrojando conteos entre 80 y 87 anillos (estimaciones previas a la datación cruzada).

IV.2.2 Discusión

La edad estimada de la troza (~217 años) sitúa el establecimiento del individuo aproximadamente en 1842, es decir, anterior al incendio de 1943–1944; incluso sin el ajuste de Duncan (125 anillos) sigue quedando previo al evento. Esto es congruente con un remanente sobreviviente al incendio, lo que es relevante dado que *Nothofagus* presenta alta susceptibilidad a mortalidad bajo incendios severos (González et al., 2005). De ello se infiere menor presión de fuego en el sector o protección por individuos vecinos. Dada la posición baja del individuo (zona de valle en Kodkod) y la mayor presencia de sobremaduros en la parte baja (*N. obliqua* y *Laurelia sempervirens*, ver III.3.1), la interpretación es una menor severidad del fuego en esa micro zona, lo cual es consistente con la literatura que muestra severidades más altas en laderas medias y altas que en posiciones bajas/valle (Estes et al., 2017)

La ausencia de cicatrices visibles no invalida la ocurrencia del incendio regional; es plausible una baja severidad local o que la cicatriz haya quedado fuera del plano de corte o haya sido sobrecrecida. Nuestra hipótesis es que, tras el incendio, el daño no fue letal, pero sí suficiente para inducir rebrote basal. Lo sustentamos en el conteo realizado en un núcleo con médula expuesta ubicado dentro de la misma troza, correspondiente a una médula sectorial (no céntrica) asociada a un eje de rebrote de cepa/tocón; en ese núcleo se registraron 80–87 anillos desde la médula hasta la corteza (previo a datación cruzada), rango coherente con el evento de 1943–44. Esta interpretación concuerda con la morfología observada y con la estrategia adaptativa de *N. obliqua* frente a perturbaciones (rebrote de cepa/tocón) (Corvalán, 2015; Armesto et al., 2009; Vargas et al., 2024).

La datación cruzada aún no se ha realizado (la troza complementaria no ha alcanzado el secado requerido), por lo que las inferencias deben considerarse preliminares hasta completar ese procedimiento.

IV.3 Ecología y bosque actual

IV.3.1 Resultados

El bosque actual de Kodkod corresponde a un bosque secundario moldeado principalmente por el incendio de 1943–1944 y por extracciones madereras desarrolladas hasta inicios de la década de 1980.

Tras la llegada de Martín Quartermaine al predio, el bosque inició un proceso de recuperación con especies pioneras como *Nothofagus obliqua*, seguido por la incorporación progresiva de especies más tolerantes a la sombra bajo su dosel.

Para caracterizar su estado sucesional y estructural se utilizaron dos aproximaciones complementarias. En primer lugar, se establecieron tres transectos de ancho variable (~350 m cada uno), en los cuales se censaron todos los individuos con $DAP \geq 55$ cm. Este criterio responde a la hipótesis de que los árboles con pudrición central corresponden a remanentes sobrevivientes al incendio, mientras que los individuos sin pudrición constituyen la cohorte pionera que colonizó tras la perturbación. En segundo lugar, se instalaron cinco parcelas circulares de 25 m de diámetro, donde se registraron todos los individuos con $DAP \geq 5$ cm, lo que permite describir la composición, densidad y condición del arbolado a escala de rodal (Figura 8).

Con estas dos aproximaciones se integra la estructura del bosque actual, su composición florística y los remanentes de disturbios, para caracterizar el tipo de bosque presente hoy.

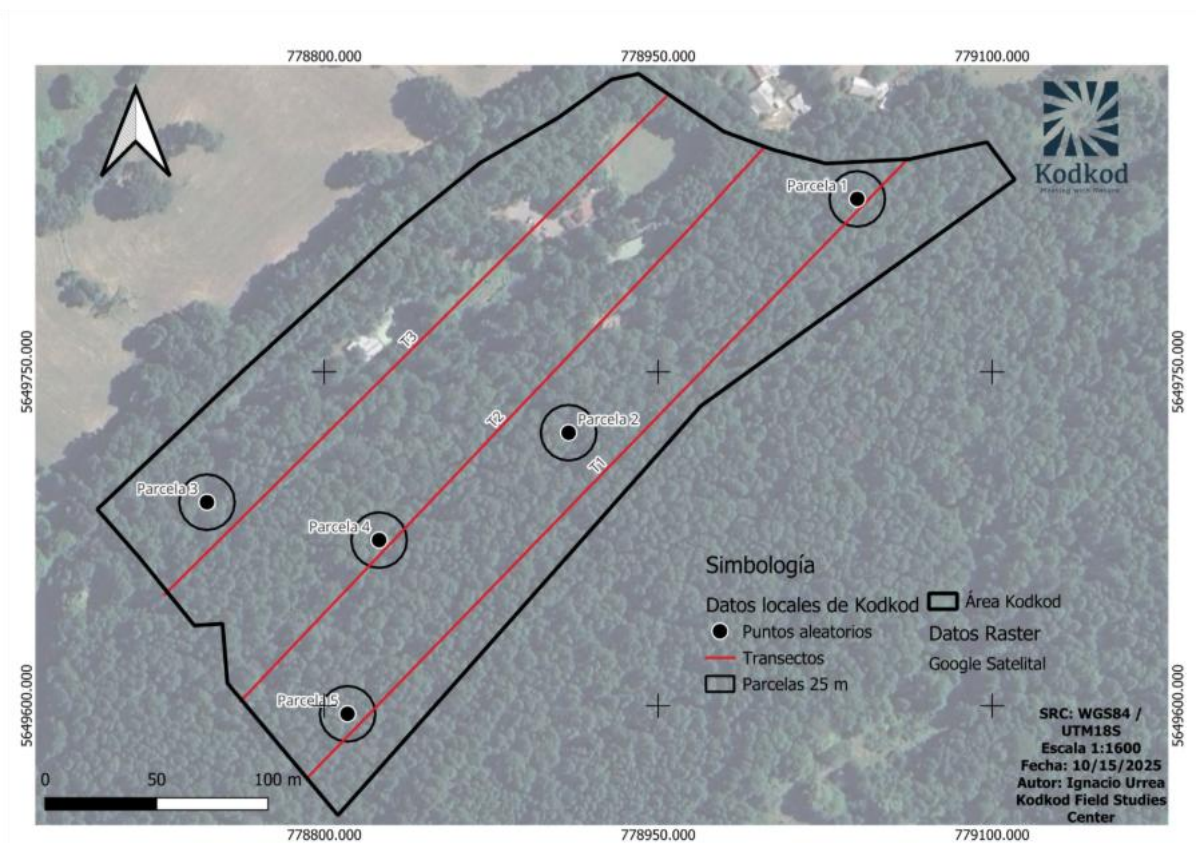


Figura 8. Ubicación de transectos (T1–T3) y parcelas circulares (1–5) dentro del predio Kodkod. Base satelital (Google), SRC: WGS84/UTM18S, escala 1:1600. Fecha: 15/10/2025.

IV.3.1.1 Transectos

Para T1, T2 y T3, el censo de árboles con $DAP \geq 55$ cm entregó las siguientes proporciones de sobremaduros y frecuencias por especie, que se muestran seguidamente (Tabla 3–5).

En conjunto, la fracción sobremadura entre los árboles vivos fue de 8 % en T1 (IC95%: 3–21%), 3% en T2 (IC95%: 0,1–16%) y 30% en T3 (IC95%: 16–49%) (Tabla 3). En T3, 3 de los individuos sobremaduros (30% de los sobremaduros del transecto) corresponden a laurel (*Laurelia sempervirens*), especie que además representa el 12% del total de individuos de ese transecto (Tabla 4). En T1–T2, la mayoría de los sobremaduros corresponden a roble (*Nothofagus obliqua*). En síntesis, descriptiva, los transectos muestran una matriz dominada por roble de gran DAP, con sobremaduros escasos en T1–T2 y más frecuentes en T3 (incluyendo laurel).

Tabla 3. Resumen por transecto de condición de individuos ≥ 55 cm: Total observado (n), muertos, vivos sin pudrición (fustal grueso), sobremaduros con pudrición y proporción de sobremaduros ($n_{sob}/(n_{sob}+n_{vivos})$ con IC95%)

Transecto	n	Muertos	Fustal Grueso	Sobremaduros	Vivos totales	Proporción Sobremaduros	IC95%
1	60	12	44	4	48	0.083	0.027 - 0.209
2	41	4	36	1	37	0.027	0.001 - 0.158
3	35	2	23	10	33	0.303	0.162 - 0.489

Tabla 4. Porcentaje de especies con DAP ≥ 55 cm en cada transecto. T1 corresponde al transecto 1, T2 corresponde al transecto 2 y T3 al transecto 3.

Especie	T1	T2	T3	Total
Coigüe	4%	0%	0%	2%
Laurel	0%	0%	12%	3%
Roble	96%	100%	88%	95%
Total general	100%	100%	100%	100%

Tabla 5. Porcentaje de especies en estado sobremaduro en cada transecto. T1 corresponde al transecto 1, T2 corresponde al transecto 2 y T3 al transecto 3.

Especie	T1	T2	T3	Total
Coigüe	0%			0%
Laurel			30%	19%
Roble	100%	100%	70%	81%
Total general	100%	100%	100%	100%

Transecto 1. Ubicado en la parte más alta de Kodkod (39°15'21" S, 71°45'57.2" W hasta 39°15'30.1" S, 71°46'06.7" W; Avenza Maps), con altitud media ~ 421.8 m s. n. m. Registró el mayor número de individuos con DAP ≥ 55 cm y un bajo porcentaje de sobremaduros. En este transecto se observó la mayor cantidad de árboles muertos con evidencia de incendio (Figura 9). Es el único transecto con presencia de coigüe (*Nothofagus dombeyi*) con DAP ≥ 55 cm (2 individuos).

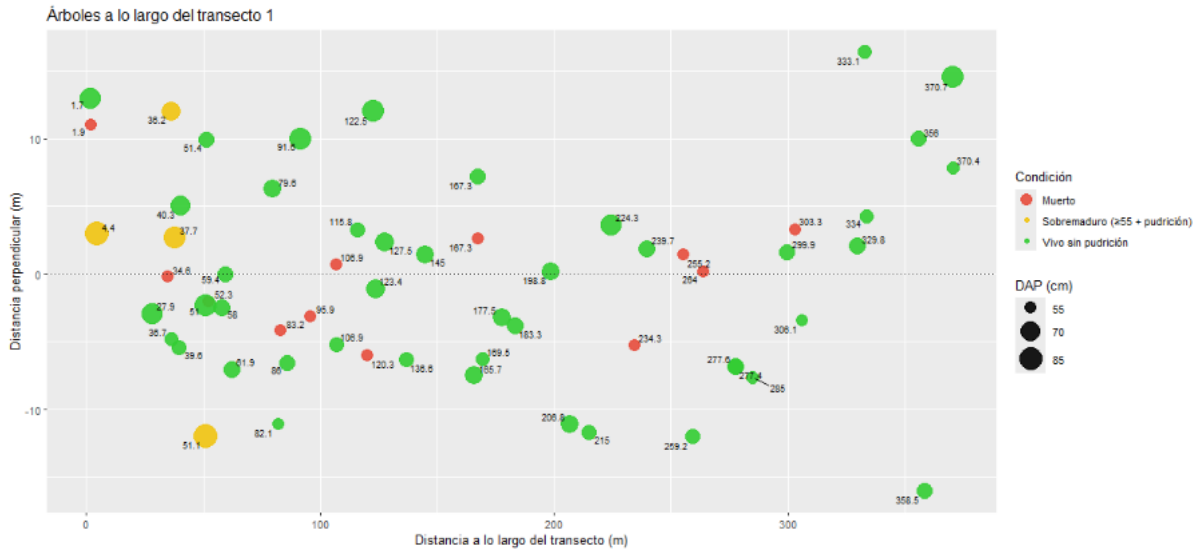


Figura 9. Distribución de árboles con DAP ≥ 55 cm en el transecto 1.

Orientación: en el eje X, izquierda = parte alta (arriba) del transecto y derecha = parte baja (abajo). Los números junto a cada punto indican su posición a lo largo del transecto (m). El color indica la condición: Muerto (árbol muerto con evidencia de incendio), Sobremaduro (árbol vivo con DAP ≥ 55 cm y pudrición central) y Vivo sin pudrición. En árboles vivos, el tamaño del punto es proporcional al DAP (con mínimo visual fijado en 55 cm); en los muertos, el tamaño es constante.

Transecto 2. Ubicado en la zona media ($39^{\circ}15'20.9''$ S, $71^{\circ}45'59.9''$ W hasta $39^{\circ}15'28.5''$ S, $71^{\circ}46'08.6''$ W; Avenza Maps), con altitud media ~ 402.6 m s. n. m. En los primeros 200 m del transecto hay infraestructura a mano derecha y el nido a mano izquierda. Se registraron 41 individuos con DAP ≥ 55 cm, 100 % roble (*Nothofagus obliqua*), con un caso clasificado como sobremaduro.



Figura 10. Distribución de árboles con DAP ≥ 55 cm en el transecto 2.

Orientación: en el eje X, izquierda = parte alta (arriba) del transecto y derecha = parte baja (abajo). Los números junto a cada punto indican su posición a lo largo del transecto (m). El color indica la condición: Muerto (árbol muerto con evidencia de incendio), Sobremaduro (árbol vivo con DAP ≥ 55 cm y pudrición central) y Vivo sin pudrición. En árboles vivos, el tamaño del punto es proporcional al DAP (con mínimo visual fijado en 55 cm); en los muertos, el tamaño es constante.

<i>Maytenus boaria</i>	Semitolerante		X	X		X
<i>Nothofagus dombeyi</i>	Intolerante		X	X	X	
<i>Nothofagus obliqua</i>	Intolerante	X	X	X	X	X
<i>Persea lingue</i>	Tolerante	X	X		X	X
<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	Intolerante	X	X		X	
<i>Rubus</i> sp	Semitolerante	X			X	X

Tabla 7. Composición global por especie (sitio completo, ≥ 5 cm DAP). Valores estandarizados a 1 hectárea.

Donde, Nha es el número de individuos por especie en una hectárea, %N corresponde al porcentaje de individuos por especie, Gha corresponde al área basal por hectárea que ocupa cada especie y %G corresponde al porcentaje de área basal que abarca cada especie.

Especie	Nha	%N	Gha	%G
<i>Aristotelia chilensis</i>				
Maqui	506	31%	2.07	4.4%
<i>Azara integrifolia</i>				
Corcolén	45	3%	0.25	0.5%
<i>Laurelia sempervirens</i>				
Laurel	147	9%	1.93	4.1%
<i>Lomatia dentata</i>				
Avellanillo	69	4%	0.29	0.6%
<i>Lomatia hirsuta</i>				
Radal	8	1%	0.08	0.2%
<i>Luma apiculata</i>				
Arrayán	45	3%	0.14	0.3%
<i>Maytenus boaria</i>				
Maitén	16	1%	0.05	0.1%
N.A				
N.I	20	1%	0.06	0.1%
<i>Nothofagus dombeyi</i>				
Coigüe	33	2%	0.79	1.7%
<i>Nothofagus obliqua</i>				
Roble	588	36%	40.47	85.9%
<i>Persea lingue</i>				
Lingue	65	4%	0.76	1.6%
<i>Rhaphithamnus spinosus</i>				
Arrayán macho	69	4%	0.25	0.5%
Total general	1612	100%	47.1	100%

Tabla 8. Condición y huellas de perturbación sitio completo. Donde, Nha es el número de individuos por especie en una hectárea, %N corresponde al porcentaje de individuos por especie, Gha corresponde al área basal por hectárea que ocupa cada especie y %G corresponde al porcentaje de área basal que abarca cada especie.

Especie	N (arb/ha)	%N	DAP (cm)	Altura (m)	G (m ² /ha)	%G
<i>Nothofagus obliqua</i>						
Tocón Roble	37	2%	29.7	1.9	5.4	10%
N.A						
Muerto	159	9%	13.4	3.5	4.0	7%
Total	196	11%	43.2	5.3	9.5	17%

Para caracterizar la estructura y composición del predio, se combinaron los registros de las cinco parcelas circulares (0,049 ha c/u) y se estandarizaron a 1 ha. La Tabla 7 resume la contribución de cada especie en densidad (N/ha) y área basal (G, m²/ha), junto con el promedio de DAP (cm) y altura (m) por especie.

La comunidad está estructuralmente dominada por roble (*Nothofagus obliqua*), que aporta ~86 % del área basal (40,47 m²/ha) con 36 % de los individuos. El estrato inferior presenta alta abundancia de maqui (*Aristotelia chilensis*), con 31 % de los individuos y 4,4 % del área basal.

Lingue (*Persea lingue*) y laurel (*Laurelia sempervirens*) aportan en conjunto <14 % de los individuos y ~6 % del área basal, ubicándose principalmente en clases de DAP intermedias. Coigüe (*Nothofagus dombeyi*) está representado por pocos individuos de gran DAP y mayor altura relativa. Radal (*Lomatia hirsuta*) y maitén (*Maytenus boaria*) presentan baja frecuencia, y junto con arrayán (*Luma apiculata*), arrayán macho (*Rhaphithamnus spinosus*) y avellanillo (*Gevuina avellana*), contribuyen a la carga del sotobosque con baja G/ha.

Considerando el rodal completo, los remanentes de perturbaciones (árboles muertos en pie + tocones) suman ~17 % del área basal, con mayor contribución de árboles muertos que de tocones de roble.

Tabla 9. Conteo de árboles (DAP ≥ 5 cm) por especie y parcela (1–5) según clase sociológica de Kraft (modificada). La posición sociológica se asignó con altura relativa respecto a la altura dominante del rodal (Hdom), con umbrales: E = emergente (≥1,10 Hdom), D = dominante (1,00–1,09), C = codominante (0,70–0,99), I = intermedio (0,40–0,69) y S = suprimido (<0,40).

Especie por parcela	E	D	C	I	S	Total general
1	2	2	13	12	56	85
Arrayán					1	1
Arrayán macho					3	3
Avellanillo				2	4	6
Laurel			5	6	5	16
Lingue				2	6	8
Maqui					32	32
N.I					2	2

Radal					1	1
Roble	2	2	8	2	2	16
2	1	1	6	11	80	99
Arrayán					3	3
Arrayán macho					7	7
Avellanillo					2	2
Coigüe	1	1	2			4
Corcolén					6	6
Laurel				5	6	11
Lingue					4	4
Maitén				1	1	2
Maqui				4	49	53
Roble			4	1	2	7
3	1		5	28	66	100
Arrayán					1	1
Avellanillo				2	1	3
Coigüe				1	1	2
Laurel			2	2	3	7
Maitén					1	1
Maqui				1	13	14
Roble	1		3	22	46	72
4	1	2	2	5	37	47
Arrayán					3	3
Arrayán macho					7	7
Avellanillo					4	4
Coigüe				1	1	2
Corcolén					2	2
Laurel					2	2
Lingue					3	3
Maqui					13	13

N.I					2	2
Roble	1	2	2	4		9
5			15	18	31	64
Arrayán					3	3
Avellanillo					2	2
Corcolén					3	3
Lingue					1	1
Maitén					1	1
Maqui					12	12
N.I					1	1
Radal					1	1
Roble			15	18	7	40
Total general	5	5	41	74	270	395

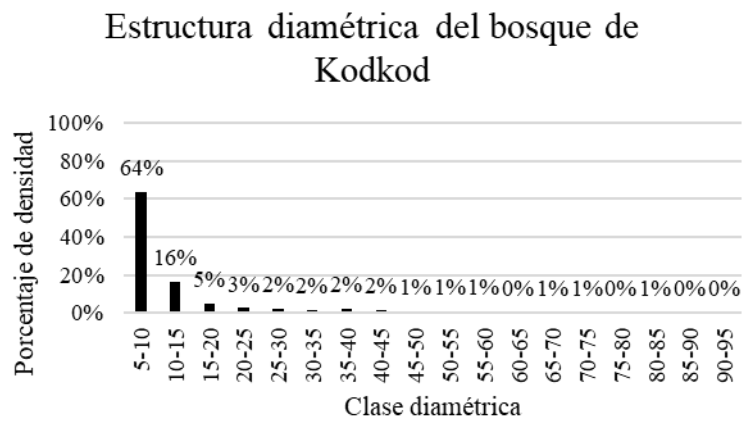


Figura 12. Histograma global de DAP. Estructura diamétrica global del sitio (≥ 5 cm DAP).

Aporte de área basal por clase diamétrica (vivos)

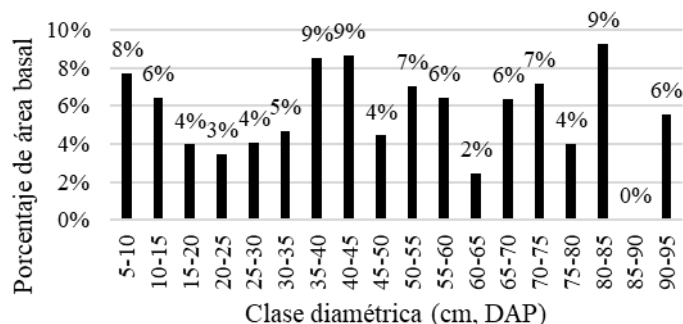


Figura 13. Aporte de área basal por clase diamétrica (vivos, DAP \geq 5 cm)

Estructura vertical: Contribución de área basal por clase sociológicas de Kraft modificado

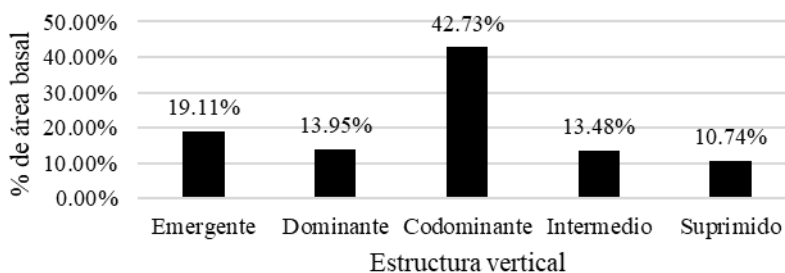


Figura 14. Contribución de área basal por clase sociológica de Kraft modificado.

Parcela 1. Se ubica en ladera inferior de exposición noroeste ($39^{\circ}15'21.6''$ S; $71^{\circ}45'58.3''$ O), con 35–45% de pendiente a 394 m s. n. m. En total, el rodal aporta \sim 1.730 árboles/ha y 77 m²/ha de área basal viva, con un diámetro medio cercano a 16 cm.



Figura 15. Vista general de la parcela 1. exposición NO, 35–45% de pendiente, 394 m s. n. m.

La composición muestra un dosel sostenido casi por completo por roble (*N. obliqua*), que concentra ~83% del área basal (Tabla 10) y domina el estrato superior (Tabla 9). La abundancia numérica del sotobosque la aporta sobre todo maqui (*A. chilensis*, ~38% de los tallos), seguido por laurel (*L. sempervirens*) y lingue (*P. lingue*). En conjunto, esto refleja dominancia estructural por pocos individuos de gran diámetro y dominancia numérica por numerosos individuos de pequeño diámetro. Con el criterio de Grosse (porcentaje de área basal e individuos de *Nothofagus*), la parcela se clasifica como Bosque Mixto rico en *Nothofagus*.

Además, se identificaron otros individuos que no cumplían el umbral de $DAP \geq 5$ cm presentes en la parcela, correspondientes a olivillo (*Aextoxicon punctatum*), quila (*Chusquea quila*), zarzamora (*Rubus* sp.) y corcolén (*Azara integrifolia*).

Tabla 10. Composición por especie (vivos y muertos) en la Parcela 1 Donde Nha corresponde a individuos por especie extrapolado a ha (factor 20.37) y Gha corresponde a el área basal en m2 extrapolado a ha (factor 20.37).

El primer total corresponde al total de especies vivas mientras que el total general incorpora arboles muertos (muertos + tocón de roble)

Especie	Nha	%N	DAP	Gha	%G
Arrayán	20	1.2%	6.0	0.06	0.1%
Arrayán macho	61	3.5%	6.5	0.22	0.3%
Avellanillo	122	7.1%	7.3	0.58	0.8%
Laurel	326	18.8%	14.2	6.59	8.5%
Lingue	163	9.4%	13.2	3.26	4.2%
Maqui	652	37.6%	6.5	2.32	3.0%
N.I	41	2.4%	5.6	0.10	0.1%
Radal	20	1.2%	14.5	0.34	0.4%

Roble	326	18.8%	44.6	63.72	82.6%
Total	1731	100%	15.9	77.2	100%
Muerto	143	7%	23.8	10.45	10%
Tocón roble	81	4%	46.9	19.01	18%
Total, General	1956	100%	17.7	106.6	100%

Parcela 2. La parcela se ubica en ladera inferior de exposición noroeste (39°15'25.2" S; 71°46'03.5" O), con 35-45% de pendiente a 413.47 m s. n. m. en total, el rodal aporta ~ 2017 árboles/ha y 26.16 m²/ha de área basal viva, con un diámetro medio cercano a 9.6 cm.



Figura 16. Vista general de la parcela 2. exposición NO, 35-45% de pendiente, 413.47 m s. n. m.

La composición muestra un dosel sostenido por ambas especies de *Nothofagus* (coigüe y roble; Tabla 9) con un aporte del 12.3% y 56% de área basal respectivamente (Tabla 11). La mayor densidad de individuos se encuentra atribuida a maqui (*A. chilensis*; 53.5% de N) que se encuentra en la estrato inferior (suprimida) principalmente. Según el criterio de Grosse, la parcela se clasifica como Bosque mixto rico en *Nothofagus* (G alto, N bajo).

Tabla 11. Composición por especie (vivos y muertos) en la Parcela 2 donde: Nha corresponde a individuos por especie extrapolado a ha (factor 20.37) y Gha corresponde a el área basal en m² extrapolado a ha (factor 20.37).

El primer total corresponde al total de especies vivas mientras que el total general incorpora arboles muertos (muertos + tocón de roble)

Especie	Nha	%N	DAP	Gha	%G
---------	-----	----	-----	-----	----

Arrayán	61	3.0%	5.2	0.13	0.5%
Arrayán macho	143	7.1%	6.7	0.53	2.0%
Avellanillo	41	2.0%	7.0	0.16	0.6%
Coigüe	81	4.0%	22.1	3.21	12.3%
Corcolén	122	6.1%	8.2	0.67	2.5%
Laurel	224	11.1%	8.5	1.36	5.2%
Lingue	81	4.0%	6.3	0.28	1.1%
Maitén	41	2.0%	6.5	0.13	0.5%
Maqui	1080	53.5%	7.3	5.05	19.3%
Roble	143	7.1%	31.1	14.65	56.0%
Total	2017	100%	9.6	26.16	100%
Muerto	81	4%	22.0	0.21	0.5%
Tocón roble	20	1%	63.7	0.18	0.4%
Total General	2118	100%	10.6	41.2	100%

Parcela 3. La parcela se ubica en ladera inferior de exposición noroeste ($39^{\circ}15'26,4''$ S; $71^{\circ}46'10,3''$ O), con pendiente fuerte (45–60 %) a 378,5 m s. n. m. El rodal aporta ~2 037 árboles/ha y 39,19 m²/ha de área basal viva, con un diámetro medio de 11,1 cm.



Figura 17. Vista general de la parcela 3. exposición NO, 45–60% de pendiente, 378.5 m s. n. m.

La composición se encuentra dominado por *N. obliqua* que concentra el 91.1% del área basal y 72% del número de individuos (Tabla 12), por lo que su dominancia es simultánea tanto estructural (G) como numérica (N). Bajo estos dos criterios, la unidad se clasifica como bosque “puro” de *Nothofagus*.

El dominio vertical se encuentra principalmente desde la etapa codominante (con solo 1 individuo en emergente) en donde se encuentra las especies de roble y laurel principalmente habiendo una gran cantidad de roble en etapas intermedias y suprimidos (Tabla 9)

Tabla 12. Composición por especie (vivos y muertos) en la Parcela 3 donde: Nha corresponde a individuos por especie extrapolado a ha (factor 20.37) y Gha corresponde a el área basal en m² extrapolado a ha (factor 20.37).

El primer total corresponde al total de especies vivas mientras que el total general incorpora arboles muertos (muertos + tocón de roble)

Especie	Nha	%N	DAP	Gha	%G
Arrayán	20	1.0%	6.9	0.08	0.2%
Avellanillo	61	3.0%	8.0	0.32	0.8%
Coigüe	41	2.0%	11.3	0.49	1.2%
Laurel	143	7.0%	11.2	1.52	3.9%
Maitén	20	1.0%	5.2	0.04	0.1%
Maqui	285	14.0%	6.6	1.05	2.7%
Roble	1467	72.0%	12.3	35.69	91.1%
Total	2037	100%	11.1	39.19	100%
Muerto	326	14%	6.3	1.03	3%
Tocón roble	20	1%	13.0	0.27	0.7%
Total General	2383	100%	10.5	40.5	100%

Parcela 4. La parcela se ubica en ladera inferior de exposición noroeste (39°15'26,8" S; 71°46'07.0" O), con pendiente leve (<35%) a 405.42 m s. n. m. El rodal aporta ~ 957 árboles/ha y 36.96 m²/ha de área basal viva, con un diámetro medio de 13.3 cm (Figura 18).



Figura 18. Vista general de la parcela 4. exposición NO, <35% de pendiente, 378.5 m s. n. m.

La composición está fuertemente sesgada a *Nothofagus*: roble (*Nothofagus obliqua*) concentra 91,9 % de la G con 19,1 % de los individuos, mientras coigüe (*N. dombeyi*) aporta 0,7 % de G y 4,3 % de N. Los acompañantes (p. ej., maqui *Aristotelia chilensis*, laurel *Laurelia sempervirens*, avellanillo *Lomatia dentata*, corcolén *Azara integrifolia*, arrayán *Luma apiculata*, etc.) son numerosos, pero con bajo peso estructural. Con los criterios de Grosse aplicados a árboles ≥ 5 cm, la unidad se clasifica como Bosque mixto rico en *Nothofagus* (alto %G de *Nothofagus* con %N moderado-bajo).

Tabla 13. Composición por especie (vivos y muertos) en la Parcela 4 donde: Nha corresponde a individuos por especie extrapolado a ha (factor 20.37) y Gha corresponde a el área basal en m² extrapolado a ha (factor 20.37).

El primer total corresponde al total de especies vivas mientras que el total general incorpora arboles muertos (muertos + tocón de roble).

Especie	Nha	%N	DAP	Gha	%G
Arrayán	61	6.4%	6.9	0.26	0.7%
Arrayán macho	143	14.9%	6.4	0.48	1.3%
Avellanillo	81	8.5%	6.3	0.25	0.7%
Coigüe	41	4.3%	8.9	0.26	0.7%
Corcolén	41	4.3%	10.7	0.37	1.0%
Laurel	41	4.3%	6.8	0.15	0.4%
Lingue	61	6.4%	6.3	0.19	0.5%
Maqui	265	27.7%	6.5	0.89	2.4%
N.I	41	4.3%	6.7	0.15	0.4%
Roble	183	19.1%	40.5	33.97	91.9%
Total	957	100%	13.3	36.96	100%
Muertos	81	7.8%	13.5	0.07	0.2%
Total general	1039	100%	13.3	37.03	100%

Parcela 5. La parcela se ubica en ladera inferior de exposición noroeste (39°15'29.4" S; 71°46'07.5" O), con pendiente moderada (35-45%) a 421.55 m s. n. m. El rodal aporta ~ 1304 árboles/ha y 55.81 m²/ha de área basal viva, con un diámetro medio de 18.8 cm. En la parcela, un cuarto del territorio está cubierto por quila (*Chusquea quila*).



Figura 19. Vista general de la parcela 5. exposición NO, <35% de pendiente, 421.55 m s. n. m.

En composición existe dominancia de roble (*N. obliqua*) que concentra el 96.8% del área basal y 62.5% de los individuos donde le sigue maqui (*A. chilensis*) con un 18.8% (Tabla 14). Con los criterios combinados de %G y %N, la unidad se clasifica como bosque “puro” de *Nothofagus*.

Tabla 14. Composición por especie (vivos y muertos) en la Parcela 5 donde: Nha corresponde a individuos por especie extrapolado a ha (factor 20.37) y Gha corresponde a el área basal en m² extrapolado a ha (factor 20.37).

El primer total corresponde al total de especies vivas mientras que el total general incorpora arboles muertos (muertos + tocón de roble)

Especie	Nha	%N	DAP	Gha	%G
Arrayán	61	4.7%	6.1	0.18	0.3%
Avellanillo	41	3.1%	5.8	0.11	0.2%
Corcolén	61	4.7%	7.0	0.23	0.4%
Lingue	20	1.6%	6.5	0.07	0.1%
Maitén	20	1.6%	7.4	0.09	0.2%
Maqui	244	18.8%	7.1	1.01	1.8%
N.I	20	1.6%	5.6	0.05	0.1%
Radal	20	1.6%	5.0	0.04	0.1%
Roble	815	62.5%	26.1	54.03	96.8%
Total	1304	100%	18.8	55.81	100%
Muertos	163	11%	14.4	0.14	0.2%
Tocón Roble	61	4.0%	68.7	1.25	2.2%
Total general	1528	100%	20.4	57.20	100%

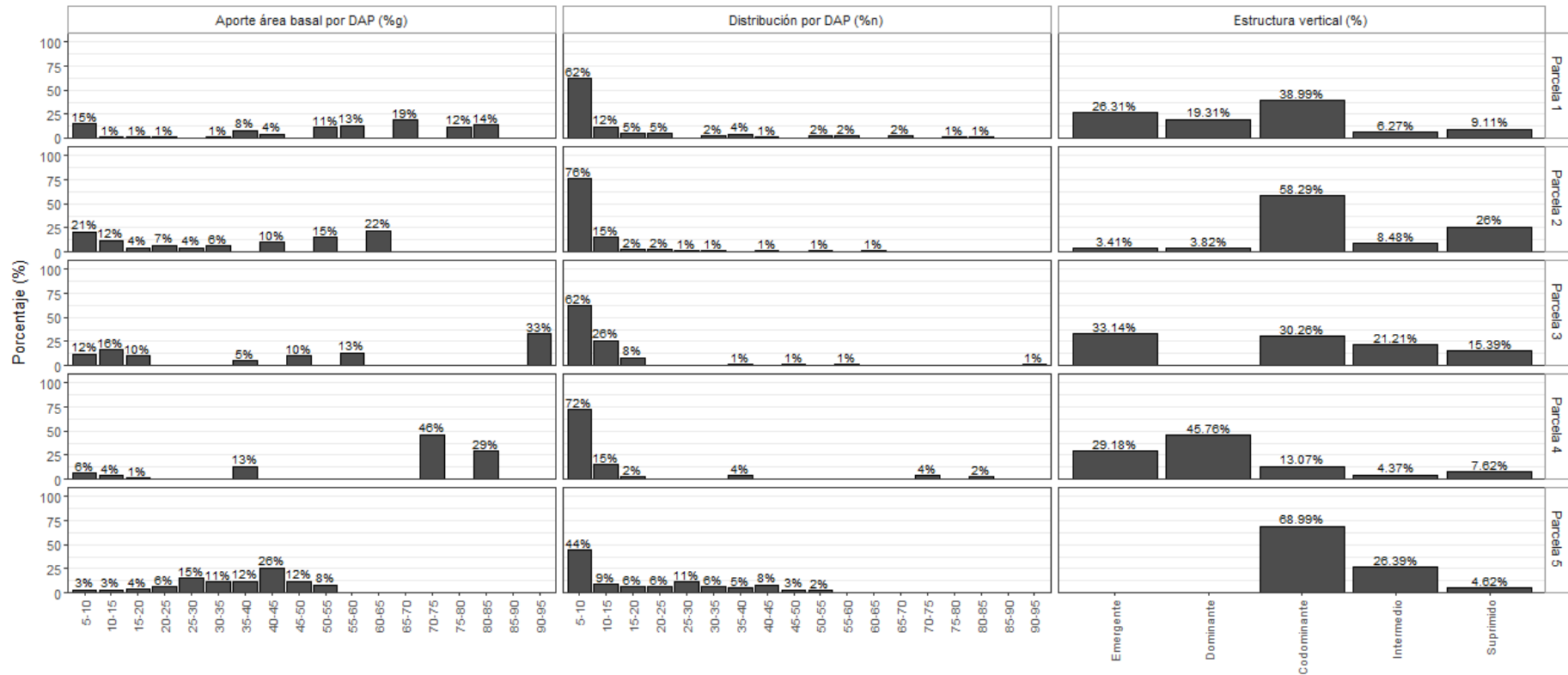


Figura 20. Distribución de la estructura del rodal en cinco parcelas. Cada fila corresponde a una parcela (1–5). La primera columna muestra la distribución relativa de individuos por clase diamétrica (%Densidad), la segunda columna el aporte relativo de área basal por clase diamétrica (%Área basal) y la tercera columna la proporción de individuos en cada estrato vertical (emergente, dominante, codominante, intermedio y suprimido). Los valores se expresan en porcentajes.

El análisis de las parcelas permitió distinguir distintas etapas de desarrollo sucesional según los criterios estructurales aplicados (densidad, área basal, diámetro cuadrático medio, reclutamiento, cociente H/D, proporción de tolerantes y presencia de estratos; Tablas 10-14; Figura 20).

- **Bosque:** Los valores de Nha (1612 árb/ha), G (47,1 m²/ha), Dq (19,3 cm) y un cociente H/D de 85% se corresponden con un estado de exclusión de tallos avanzado, sin evidencias claras de transición hacia etapas posteriores.
- **Parcela 1 (P1):** Con G elevado (77,2 m²/ha), Dq de 23,8 cm y %N(5–15)=74%, se clasifica como exclusión tardía, caracterizada por alta competencia y ausencia de señales de re-iniciación.
- **Parcela 2 (P2):** Presenta Dq reducido (12,9 cm), %N(5–15) muy alto (91%) e I_grandes bajo (2%). Aunque los valores de G (26,2 m²/ha) la sitúan en exclusión temprana, la estructura sigue mostrando rasgos dominantes de iniciación. Se clasifica como iniciación tardía en transición hacia exclusión.
- **Parcela 3 (P3):** Con Nha=2037 árb/ha, G=39 m²/ha y H/D muy elevado (98%), corresponde a exclusión de tallos. No obstante, la alta proporción de individuos pequeños (88%) indica que aún conserva señales de iniciación, lo que sugiere una exclusión temprana.
- **Parcela 4 (P4):** Con Nha=957 árb/ha (cerca al umbral de re-iniciación) y tres estratos reconocibles, pero %N(5–15)=87% e I_grandes=12%, se clasifica como exclusión tardía. Si bien muestra cierta complejidad vertical, la baja proporción de grandes y tolerantes (2%) impide considerarla en re-iniciación.
- **Parcela 5 (P5):** Los valores de Nha (1304 árb/ha), G (56 m²/ha) y H/D=75% sugieren condiciones cercanas a re-iniciación del sotobosque. No obstante, la ausencia de individuos grandes (I_grandes=0%) y la mínima proporción de tolerantes (1%) indican que aún corresponde a exclusión tardía en transición hacia re-iniciación.

Tabla 15. Edades por especie dominantes y codominantes medidas en base al IMA con IC95% por parcela.

Especie	IMA usado	Edad promedio	Rango estimado (años)
Parcela 1			
<i>Nothofagus obliqua</i> (roble)	1.33	43.6	~ 33.5 - 63.6
<i>Nothofagus dombeyi</i> (coigüe)	0.72	-	-
<i>Laurelia sempervirens</i> (laurel)	1.7	15.4	~ 10 - 16.4
<i>Persea lingue</i> (lingue)	0.22	68.2	~ 34.1 - 92.2
Parcela 2			
<i>Nothofagus obliqua</i> (roble)	1.33	31.5	~ 23.2 - 40.9
<i>Nothofagus dombeyi</i> (coigüe)	0.72	36.8	~ 28 - 53.5
<i>Laurelia sempervirens</i> (laurel)	1.7	11.8	~ 9.6 - 13.8
<i>Persea lingue</i> (lingue)	0.22	34.4	~ 19.4 - 46.4
Parcela 3			
<i>Nothofagus obliqua</i> (roble)	1.33	15.3	~ 12.1 - 17.1
<i>Nothofagus dombeyi</i> (coigüe)	0.72	21.1	~ 16 - 27.9
<i>Laurelia sempervirens</i> (laurel)	1.7	13.5	~ 11.2 - 18.1
<i>Persea lingue</i> (lingue)	0.22	-	-

Parcela 4			
<i>Nothofagus obliqua</i> (roble)	1.33	38.9	~ 27.5 - 50
<i>Nothofagus dombeyi</i> (coigüe)	0.72	17.7	~ 13.7 - 23
<i>Laurelia sempervirens</i> (laurel)	1.7	10.7	~ 9.2 - 12.9
<i>Persea lingue</i> (lingue)	0.22	34.3	~ 22.8 - 56.8
Parcela 5			
<i>Nothofagus obliqua</i> (roble)	1.33	28.3	~ 21.7 - 37.7
<i>Nothofagus dombeyi</i> (coigüe)	0.72	-	-
<i>Laurelia sempervirens</i> (laurel)	1.7	-	-
<i>Persea lingue</i> (lingue)	0.22	35.3	~ 22.1 - 55.4

Tabla 16. Etapa de desarrollo por especie (conteo) por parcela. Latizal, fustal delgado, fustal grueso y sobremaduro. Criterio diamétrico usado en este estudio.

Especie	Sobremaduro	Fustal Grueso	Fustal Delgado	Latizal
1	6	6	6	67
Arrayán				1
Arrayán macho				3
Avellanillo				6
Laurel			4	12
Lingue		1		7
Maqui				32
N.I				2
Radal				1
Roble	6	5	2	3
2	1	2	4	92
Arrayán				3
Arrayán macho				7
Avellanillo				2
Coigüe			3	1
Corcolén				6
Laurel				11
Lingue				4
Maitén				2
Maqui				53
Roble	1	2	1	3
3	2	2	1	95
Arrayán				1
Avellanillo				3
Coigüe				2
Laurel				7
Maitén				1
Maqui				14

Roble	2	2	1	67
4	3	2		42
Arrayán				3
Arrayán macho				7
Avellanillo				4
Coigüe				2
Corcolén				2
Laurel				2
Lingue				3
Maqui				13
N.I				2
Roble	3	2		4
5		11	16	37
Arrayán				3
Avellanillo				2
Corcolén				3
Lingue				1
Maitén				1
Maqui				12
N.I				1
Radal				1
Roble		11	16	13
Total general	12	23	27	333

En la parcela 1 las edades estimadas indican que *N. obliqua* presenta una mediana ~44 años (≈ 34 –64 años), *L. sempervirens* ~15 años, y *P. lingue* arroja valores altos, pero con tamaño muestral reducido y DAP atípico, por lo que su estimación debe interpretarse con cautela (Tabla 15). Por etapa de desarrollo, las especies acompañantes se ubican mayoritariamente en latizal, con laurel alcanzando algunos fustales delgados y lingue un fustal grueso aislado; en cambio, el roble concentra los fustales gruesos y sobremaduros que sostienen el dosel (Tabla 16).

Por otro lado, en la parcela 2 las edades estimadas indican medianas aproximadas de: *N. obliqua* ~32 años (≈ 23 –41), *N. dombeyi* ~37 (≈ 28 –54), *L. sempervirens* ~12, *P. lingue* ~34 (Tabla 15). Por etapa de desarrollo, predominan latizales, con muy pocos fustales y sobremaduros (estos últimos restringidos a *Nothofagus*; Tabla 16). Se observó además abundante regeneración <5 cm DAP (no censada en los datos de parcelas).

La parcela 3, en edades, se observa una distribución coetánea de los dominantes (<20 años de diferencia), con cohortes muy jóvenes de *Nothofagus* y acompañantes recientes (Tabla 15). En etapas de desarrollo predomina latizal, con pocos fustales y sobremaduros de roble (Tabla 16), lo que explica la alta proporción de $G > 30$ cm concentrada en muy pocos individuos.

En la parcela 4. las estimaciones de edad muestran una cohorte principal de *N. obliqua* de ~30–50 años, con acompañantes más jóvenes (*N. dombeyi* ~14–23, *L. sempervirens* ~9–13, *Persea lingue* ~23–57).

Por etapa de desarrollo, predomina latizal en la mayoría de las especies; en roble coexisten 4 latizales, 2 fustales gruesos y 3 sobremaduros, evidenciando remanentes que sostienen parte del dosel.

Por último, en la parcela 5 solo contiene *N. obliqua* que presenta mediana ~28 años (IC95 % 22–38), sin evidencia de árboles muy viejos en la cohorte dominante.

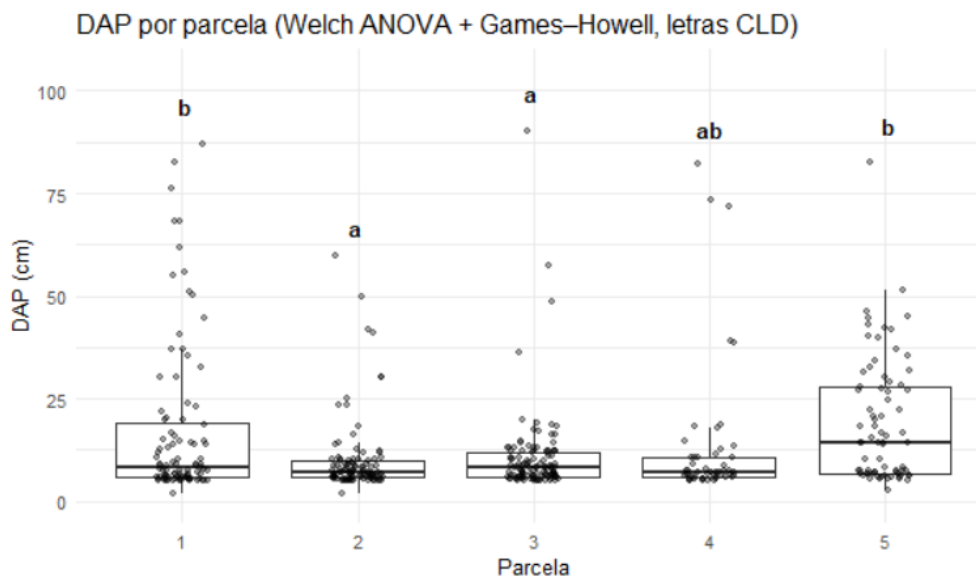


Figura 21. DAP por parcela (Welch Anova + Games-Howell; letras CLD). Las letras sobre cada caja indican grupos que no difieren entre sí (misma letra). Distintas letras corresponden a diferencias significativas

Tabla 17. Resumen de DAP por parcela.

Parcela	n	media	Desv. estandar	mediana	p25	p75	max	Letra
5	75	19.2	15.2	14.3	6.75	28	82.8	b
1	96	17.2	19.2	8.4	5.78	19	87.2	b
4	51	13.3	17.3	6.9	5.8	10.7	82.1	ab
3	117	10.5	10.4	8.1	6	11.7	90.1	a
2	104	10.0	9.22	6.9	5.7	9.93	60	a

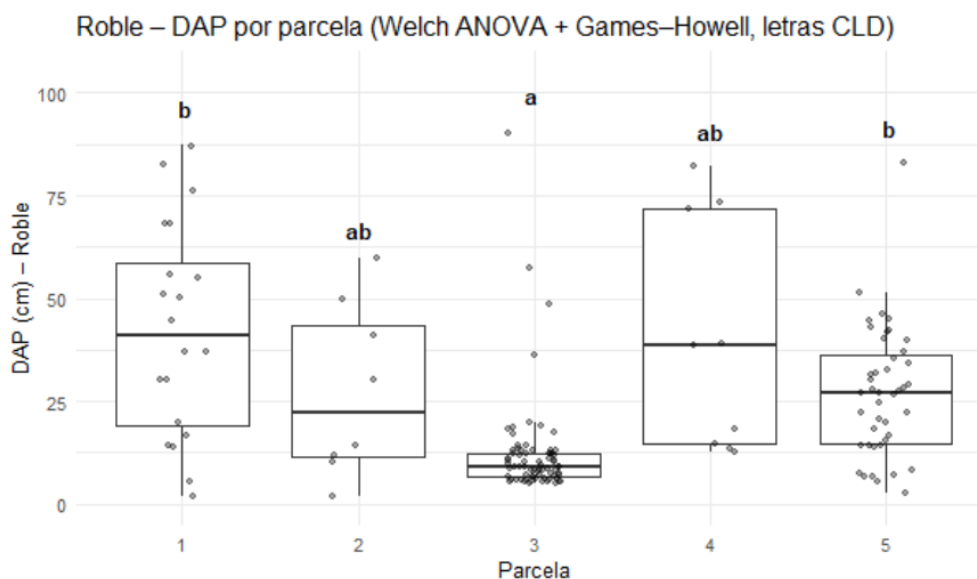


Figura 22. DAP de *Nothofagus obliqua* por parcela (Welch Anova + Games-Howell; letras CLD). Las letras sobre cada caja indican grupos que no difieren entre sí (misma letra). Distintas letras corresponden a diferencias significativas

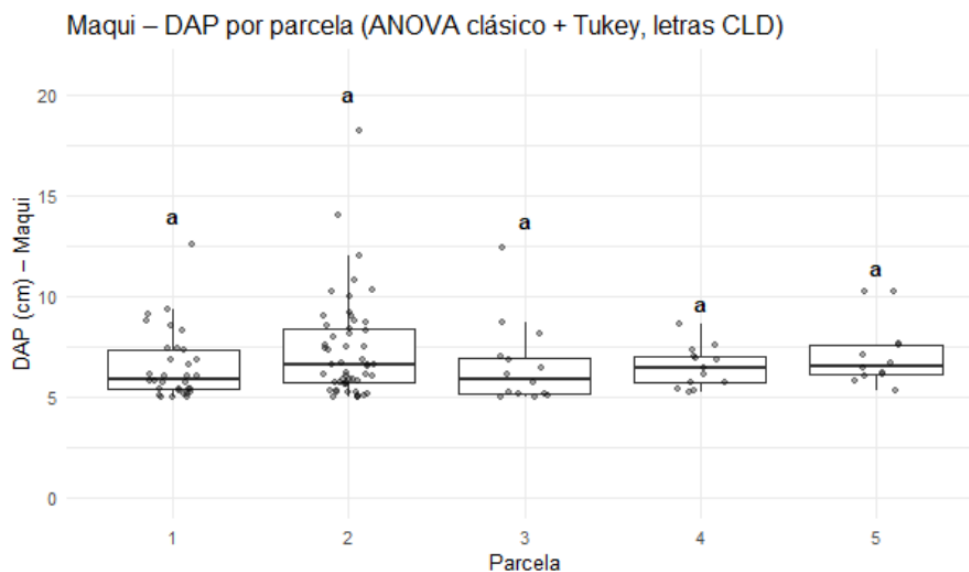


Figura 23. DAP por parcela (ANOVA clásico+ Tukey; letras CLD). Las letras sobre cada caja indican grupos que no difieren entre sí (misma letra). Distintas letras corresponden a diferencias significativas.

Los datos de DAP no cumplieron los supuestos de homogeneidad de varianzas (Levene, $p = 1.0 \times 10^{-5}$) ni de normalidad de residuos (Shapiro, $p < 2.2 \times 10^{-16}$), por lo que se aplicó ANOVA de Welch con prueba post-hoc de Games-Howell en escala original.

Se detectaron diferencias significativas entre parcelas (Welch ANOVA, $F_{4,180} = 7.80$, $p = 8.1 \times 10^{-6}$). El post-hoc separó dos grupos:

- P1 y P5 con diámetros mayores (grupo b).
- P2 y P3 con diámetros menores (grupo a).
- P4 quedó en una posición intermedia (grupo ab), sin diferencias significativas con los demás (Figura 21; Tabla 17).

El patrón observado es coherente con los diagnósticos estructurales: P5 y P1 se encuentran en transición hacia re-iniciación de sotobosque, mientras que P2 y P3 concentran tallos finos asociados a fases de iniciación. P4 se ubica en una condición intermedia.

En *Nothofagus obliqua*, tampoco se cumplió homogeneidad de varianzas (Levene, $p = 4.6 \times 10^{-8}$), aplicándose ANOVA de Welch + Games-Howell. Se encontraron diferencias significativas (Welch ANOVA, $F_{4,25.0} = 12.586$, $p = 9.55 \times 10^{-6}$). El post-hoc agrupó nuevamente a P1 y P5 con diámetros mayores (grupo b), sobre P3 (grupo a), mientras que P2 y P4 quedaron como intermedias (grupo ab; Figura 22). El test de Tukey confirmó solo la diferencia entre P5 y P3 ($P5 > P3$).

En *Aristotelia chilensis* no hubo diferencias de DAP entre parcelas (todas “a” en Tukey; Figura 23), mostrando diámetros homogéneos y bajos ($\approx 5-8$ cm). Su aporte estructural fue reducido (1,8–3,0 % de G), pero alcanzó alta densidad en P2 (53,5 % de N; 1080 arb/ha).

IV.3.2 Discusión

El enfoque de los transectos permite situar los resultados dentro de la dinámica sucesional de los bosques templados del centro-sur de Chile. Tras disturbios de alta severidad, especies pioneras del género *Nothofagus* suelen reclutarse masivamente gracias a la mayor disponibilidad de luz y espacio (Veblen & Donoso, 1987; Soto et al., 2018), alcanzando elevadas tasas de crecimiento diametral. Desde esta perspectiva, los árboles sobremaduros identificados corresponden probablemente a remanentes establecidos antes del incendio histórico de la década de 1940, mientras que los individuos sin pudrición central serían parte de la cohorte pionera post-incendio, que alcanzó grandes diámetros bajo condiciones de crecimiento liberado. La troza analizada en el capítulo III.2 respalda esta interpretación: con más de 125 anillos visibles y una edad estimada de 217 años según el modelo de Duncan, sugiere la existencia de árboles anteriores al incendio de 1943–44, además de presentar pudrición central típica de individuos sobremaduros.

En el transecto 1, ubicado en la parte alta de la ladera, se registró el mayor número de individuos con $DAP \geq 55$ cm. Este patrón podría estar vinculado a la ausencia de infraestructura dentro de la faja de muestreo y a la continuidad de un dosel cerrado. La presencia de *Nothofagus dombeyi* concuerda con su preferencia por altitudes medias a altas en la región (Veblen & Donoso, 1987). Asimismo, el elevado número de individuos muertos con cicatrices de fuego indica una severidad relativamente alta en este sector, consistente con estudios que documentan un mayor impacto del fuego en posiciones medias y altas de ladera (Estes et al., 2017).

El transecto 2, situado en la zona media, mostró baja proporción de sobremaduros y un dosel exclusivamente compuesto por roble (*N. obliqua*), lo que sugiere una matriz pionera más homogénea reclutada tras el incendio. La presencia de infraestructura en los primeros 200 metros podría haber modificado los espaciamientos y generado discontinuidades de combustible, aunque se requiere fechado adicional para diferenciar con certeza entre remanentes pre-incendio y la cohorte posterior.

En el transecto 3, correspondiente a la parte baja–media de la ladera, se observó la mayor proporción de sobremaduros, incluyendo individuos de *Laurelia sempervirens* de gran tamaño. Este patrón coincide con la persistencia de remanentes de dosel tardío en posiciones bajas y más húmedas, donde la severidad del fuego tiende a ser menor debido al efecto de amortiguación topográfica (Estes et al., 2017). La supervivencia de *L. sempervirens*, especie de baja resistencia al fuego (Peña, 2014), puede atribuirse a condiciones locales favorables, como mayor humedad edáfica y discontinuidades en la continuidad de combustibles. Esta interpretación se ve apoyada por relatos de memoria local, que recuerdan la presencia de “árboles pequeños reforestando el lugar y enormes laureles” en la zona baja (Doña Luly, com. pers., 22-jul-2025; Don Manuel, com. pers., 24-jul-2025).

En conjunto, los transectos reflejan un patrón en el que la cohorte pionera de roble domina la matriz actual, mientras que los remanentes sobremaduros, especialmente de laurel, son más frecuentes en las posiciones bajas. Este mosaico es coherente con un pulso de reclutamiento posterior al incendio de 1943–44 y con la persistencia localizada de árboles establecidos previamente.

En términos de composición, las parcelas muestran patrones coherentes con lo esperado para rodales secundarios post-incendio dominados por *N. obliqua*, aunque con diferencias relevantes entre ellas.

La parcela 1 se clasifica como bosque mixto rico en *Nothofagus*, con un dosel casi exclusivo de roble (~83 % del área basal) y un sotobosque denso de *A. chilensis*, acompañado por *L. sempervirens* y *P. lingue*. La coexistencia de especies tolerantes bajo la matriz de roble coincide con la trayectoria sucesional descrita por Veblen & Donoso (1987).

La parcela 2, también bosque mixto rico en *Nothofagus*, presenta un dosel compartido por roble y coigüe (*N. dombeyi*), mientras que el sotobosque está dominado numéricamente por maqui (>50 % de los individuos). Esto refuerza la idea de que las especies acompañantes tempranas elevan las densidades totales, aunque con escaso aporte estructural.

En contraste, la parcela 3 corresponde a un bosque puro de *N. obliqua* bajo los criterios de Grosse (2009), ya que más del 90 % del área basal y 72 % de la densidad corresponden a roble. La abundancia de individuos en estratos intermedios y suprimidos refleja competencia intensa y una fase más homogénea de exclusión temprana.

La parcela 4, pese a mantener la dominancia de roble (91,9 % del área basal), incorpora más acompañantes en el sotobosque, como maqui, laurel, avellanillo y corcolén, lo que permite clasificarla como bosque mixto rico en *Nothofagus*. La asimetría entre abundancia numérica y peso estructural sugiere que la trayectoria sucesional se orienta hacia una mayor diferenciación vertical.

Por último, la parcela 5 constituye un bosque puro de roble, con 96,8 % del área basal y 62,5 % de los individuos, acompañado solo por maqui en densidades moderadas. Este patrón refleja un rodal estructuralmente simplificado, pero con mayor desarrollo diamétrico en comparación con P2 y P3.

Las edades estimadas refuerzan esta interpretación: mientras P1 y P4 conservan remanentes sobremaduros que sostienen el dosel, P2 y P3 concentran cohortes más jóvenes de roble con acompañantes recientes. P5, en cambio, muestra una cohorte coetánea de ~28 años, sin evidencia de árboles longevos, confirmando su condición de rodal joven.

En conjunto, la comparación evidencia un gradiente sucesional: P2 y P3 representan fases más tempranas; P1 y P4 exhiben mayor complejidad estructural y coexistencia de cohortes; y P5 constituye un rodal de roble puro en transición hacia reiniciación del sotobosque.

La clasificación sucesional a nivel de rodal confirma un estado mayoritariamente de exclusión de tallos, con variaciones internas entre parcelas. Esto se condice con el índice de Bosque Adulto (IBA; Ponce, 2014) que arroja valores bajos (<30%). Esto indica un estado propio de bosques secundarios, lo que se condice con lo descrito por Donoso et al. (2018a), quienes plantean que la condición de bosque maduro se alcanza recién en etapas avanzadas de la reiniciación del sotobosque.

La mayoría de las parcelas se ubican en exclusión de tallos, lo que concuerda con la dinámica descrita por Oliver & Larson (1996). En esta etapa, la competencia por luz genera altas densidades, predominio de individuos suprimidos y relaciones H/D elevadas, reflejo de dominancia apical. Este patrón se observó en P3 y en el conjunto del rodal, donde los individuos de pequeño diámetro aportaron un porcentaje alto en número, pero con baja representación en área basal.

Algunas parcelas presentan señales de transición hacia reiniciación. P4 mostró densidad relativamente baja (957 árb/ha) y diferenciación vertical en tres estratos, aunque la escasa proporción de tolerantes (2 %) e individuos grandes (12 %) sugiere que el proceso es aún incipiente. En P5, la relación H/D moderada (75 %) y el área basal elevada (56 m²/ha) apuntan a condiciones cercanas a reiniciación; sin embargo, la ausencia de individuos grandes y la baja proporción de tolerantes (1 %) confirman su permanencia en exclusión. Estos matices reflejan la heterogeneidad típica de rodales secundarios en proceso de autorregulación (Donoso, 1993; Ponce, 2014).

La comparación entre P2 y P3 ilustra cómo parcelas con densidades similares pueden diferir en dinámica interna. P2 se aproxima a exclusión temprana, con tallos más robustos y cierre parcial del dosel, mientras que P3 presenta tallos más delgados y un sotobosque más iluminado, lo que la ubica en una condición más cercana a iniciación tardía. Estas diferencias confirman que la transición entre etapas no es lineal ni sincrónica, sino dependiente de condiciones locales y de la historia de disturbios.

En síntesis, el rodal se encuentra en una etapa dominada por la exclusión de tallos, con señales incipientes de avance hacia reiniciación en algunos sectores. Este patrón concuerda con lo planteado por Oliver & Larson (1996), quienes destacan la naturaleza transicional y espacialmente variable de estas fases, características de bosques secundarios post-disturbio.

V. Conclusión

El bosque estudiado en Kodkod corresponde a un rodal secundario dominado por *Nothofagus obliqua*, resultado de un disturbio severo (incendio de 1943–44) y de extracciones posteriores. La estructura actual refleja una cohorte pionera que sostiene el dosel, enriquecida por remanentes sobremaduros dispersos, principalmente de *N. obliqua* y *Laurelia sempervirens*, cuya presencia confirma la coexistencia de individuos pre-incendio y post-incendio. Este mosaico es consistente con trayectorias sucesionales típicas de los bosques templados del centro-sur de Chile.

Los transectos muestran un gradiente topográfico de severidad: en las partes altas predomina *N. obliqua* con mayor mortalidad asociada al fuego, mientras que en posiciones bajas sobreviven laureles y otros remanentes de dosel tardío. Esta heterogeneidad se traduce en una matriz pionera de roble con incorporación localizada de especies tolerantes y semitolerantes, que proyecta una transición futura hacia bosques mixtos más diversos.

Las parcelas confirman esta lectura: la composición está fuertemente dominada por *N. obliqua* en área basal, mientras que el sotobosque lo aportan en número principalmente *Aristotelia chilensis* y especies tolerantes y semitolerantes como *Persea lingue* y *Laurelia sempervirens*. La estructura se concentra en tallos finos, pero el soporte del área basal proviene de individuos grandes de *N. obliqua*. Según el marco sucesional de Oliver y Larson, la mayoría de las unidades se sitúa en exclusión de tallos, aunque P1 y P5 evidencian señales de transición a re-iniciación de sotobosque.

El análisis estadístico respalda esta diferenciación: P1 y P5 presentan diámetros significativamente mayores respecto de P2 y P3, mientras P4 ocupa una posición intermedia. En *N. obliqua*, las diferencias entre parcelas confirman su rol estructurador del bosque, mientras que *A. chilensis* mantiene diámetros homogéneos y bajos, con variaciones notorias en densidad. Estos contrastes reflejan un proceso sucesional heterogéneo y asincrónico, en el cual cada parcela representa un estado particular dentro de la trayectoria común post-disturbio.

En conjunto, los resultados permiten concluir que el bosque de Kodkod se encuentra mayoritariamente en un estado de exclusión de tallos con transiciones locales hacia re-iniciación de sotobosque. La dinámica observada reafirma la importancia de los remanentes y de la regeneración diferencial por topografía como moduladores del proceso sucesional, destacando un paisaje forestal en recuperación, pero aún lejos de un estado maduro multiespecífico.

VI. Bibliografía

- Adan, L., Mera, R., Becerra, M. & Godoy, M. (2004). Ocupación arcaica en territorios boscosos y lacustres de la región precordillerana andina del centro-sur de Chile. El sitio Marifilo-1 de la localidad de Pucura. <https://www.redalyc.org/pdf/326/32619794047.pdf>
- Aldunate, C. & Villagrán, C. (1991). Botánica Indígena de Chile. <https://www.memoriachilena.gob.cl/archivos2/pdfs/MC0027380.pdf>
- Arias, V. (2017). Efecto de las erupciones del volcán Calbuco sobre el patrón de establecimiento y crecimiento radial en renovales de *Nothofagus dombeyi* y *Drimys winteri* en el límite altitudinal arbóreo. [Tesis de título, Universidad Austral de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2017/fifa696e/doc/fifa696e.pdf>
- Armesto, J., Bustamante, M., Díaz, M., González, M., Holtz, A., Nuñez, M. & Smith, C. (2009). Fire Disturbance Regimes, Ecosystem Recovery and Restoration Strategies in Mediterranean and Temperate Regions of Chile. <file:///C:/Users/urrea/OneDrive/Escritorio/Armestoetal2009DraftBookChapterFireDisturbanceRegimesEcosystemRecoveryRestorationStrategiesMediterraneanTemperateRegionsChile.pdf>

- Barz, F. (2024). Coexistencia de la rata negra (*Rattus rattus*) con el monito del monte (*Dromiciops gliroides*) en la ocupación de cavidades artificiales en bosques templados andinos de la región de la Araucanía, Chile. [Tesis de título, Universidad de Chile].
- Bengoa, J. (1996). Historia del Pueblo Mapuche (Siglos XIX y XX). <https://www.sitiosur.cl/detalle-de-la-publicacion/?historia-del-pueblo-mapuche-siglos-xix-y-xx>
- Bengoa, J. (2018). Historia de los antiguos mapuches del sur. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QxhgDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT8&dq=Bengoa,+J.+2003.+Historia+de+los+antiguos+mapuches+del+sur%3B+Desde+antes+de+la+llegada+de+los+espa%C3%B1oles+hasta+las+pases+de+Quil%C3%ADn&ots=BaeMeE8av7&sig=ODJfEZctvxmwIxLpJFKAm-mJLFI#v=onepage&q&f=false>
- Cabeza, A. (1988). Aspectos históricos de la legislación forestal vinculada a la conservación, la evolución de las Áreas Silvestres Protegidas de la zona de Villarrica y la creación del primer Parque Nacional de Chile. <https://www.memoriachilena.gob.cl/archivos2/pdfs/mc0027524.pdf>
- CONAF. (2008). Plan de manejo Reserva Nacional Villarrica-Hualalafquén. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/c4dbe7cc-6fd6-46c2-a42e-30a9065625b4>
- CONAF. (2013). Plan de manejo Parque Nacional Villarrica Segunda Edición 2013. <https://www.conaf.cl/centro-documental/plan-de-manejo-del-pn-villarrica/>
- Carabias, D. (2010). Reflexiones en torno al uso de embarcaciones monóxilas en ambientes boscosos lacustres precordilleranos andinos, zona centro-sur de Chile. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-22442010000100006&script=sci_arttext
- Corvalán, P. (2015). Diagrama de manejo de la densidad de rodal para el control del tamaño de ramas basales en bosques septentrionales alto andinos dominados por roble en la Región del Maule. https://investigacion.conaf.cl/archivos/repositorio_documento/2018/10/56a_DIAGRAMAS-DE-MANEJO-ROBLE.pdf
- Díaz, L., Torruco, U., Martínez, M. & Varela, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-50572013000300009
- Dillehay, T. & Saavedra, J. (2010). Los valles de Purén-Lumaco, Chile: Arqueología e historia cultural. <https://irbe.library.vanderbilt.edu/server/api/core/bitstreams/e9088315-155e-491b-981a-93e277283255/content>
- Donoso, C. (1993). Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Ecología forestal. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Donoso, P. J., Ponce, D. B., & Salas-Eljatib, C. (2018a). Opciones de manejo para bosques secundarios de acuerdo a objetivos de largo plazo y su aplicación en bosques templados del centro-sur de Chile. Silvicultura de bosques nativos: Experiencias en silvicultura y restauración en Chile, Argentina y el oeste de Estados Unidos. Valdivia, Chile. The Chile Initiative, OSU College of Forestry, 93-115.

- Donoso, P., Ponce, D., Pinto, J. & Triviño, I. (2018b). Cambios en cobertura y regeneración arbórea en bosques siempreverdes en diferentes estados sucesionales en el sitio experimental de Llancahue, Cordillera de la Costa de Valdivia, Chile. <https://www.scielo.cl/pdf/gbot/v75n2/0717-6643-gbot-75-02-00657.pdf>
- Duncan, R. (1989). An evaluation of errors in tree age estimates based on increment cores in Kahikatea (*Dacrycarpus dacrydioides*). https://www.researchgate.net/publication/268371788_An_evaluation_of_errors_in_tree_age_estimates_based_on_increment_cores_in_Kahikatea_Dacrycarpus_dacrydioides
- Estes, B., Knapp, E., Skinner, C., Miller, J. & Preisler, H. (2017). Factors influencing fire severity under moderate burning conditions in the Klamath Mountains, northern California, USA. https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ecs2.1794?utm_source=chatgpt.com
- Etchart, M. (s. f.). Peter Thomas Compton Peddar. <https://gw.geneanet.org/tatatioteo1?lang=es&pz=martin+enrique&nz=etchart+kaempffer&p=peter+thomas&n=compton+peddar>
- Flores, J. (2013). Caracterización histórica de Pucón y su área de influencia. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45431637/LIBRO_TURISMO_CIT-libre.pdf?1462652606=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTurismo_de_intereses_especiales_Expierien.pdf&Expires=1753741661&Signature=gjCXyE8eM3tUf9AKUM5T9QG15Inn78MphZNVvwy3i-RUPoJDUuw6tO4veSx1Vnk2J14190jGtuqyJii8Ub5J0gBoA~Rqqr4bWP2Iv839-4LhNjqVvK5dkQbEbW8AA0LkxCqNRvp1VaOHGv9Q2p-54mkyfInhE7DJjSAkR5HAjIPbmJeKUrKq7t6Ylg~mIwGaOarjNFniIjINcF4pYqFEdwEEhIFkcNZGOyVogzFzUgLDscssF9dFMXgAiKH4QjN9T83DHZsKNDKHVYIB4If31mEIKW/DiEPi6yTuDaizATahZvFxJwo7VB-uvKy7rrHwiwnu0HCYnkzviOBhy2uDUw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=115
- González, M., Veblen, T. & Sibold J. (2005). Fire history of Araucaria–Nothofagus forests in Villarrica National Park, Chile. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2699.2005.01262.x>
- González, M., Szejner, P., Donoso, P. & Salas, C. (2015). Fire, logging and establishment patterns of second-growth forests in south-central Chile: implications for their management and restoration. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-16202015000300011&script=sci_arttext&tlng=pt
- González, M., Muñoz, A., González, A., Christie, D. & Sibold, J. (2020). Fire history in Andean Araucaria–Nothofagus forests: coupled influences of past human land-use and climate on fire regimes in north-west Patagonia. <https://www.publish.csiro.au/WF/fulltext/WF19174#R30>
- Gordon, A. (2011). Excavación de la Residencia Fortificada de un Encomendero Español Casa-Fuerte Santa Sylvia, Villa San Pedro, Pucón.

<https://irbe.library.vanderbilt.edu/server/api/core/bitstreams/e6e647b6-153c-435e-9e98-9b0e7fd3061b/content>

- Grosse, H. (2009). Silvicultura del bosque nativo chileno: Función histórica y opciones futuras sobre la base de manejo sustentable. INFOR.
- IDEA. (2017). Zonas climáticas de Chile según Köppen-Geiger escala 1:1.500.000. <https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/35414/Zonas%20clim%C3%A1ticas%20de%20Chile%20seg%C3%BAn%20K%C3%B6ppen-Geiger%20escala%201:1.500.000>
- IDEA. (2020). Pisos vegetacionales de Luebert y Pliscoff 2017. <https://www.geoportal.cl/index.php/geoportal/catalog/32581/Pisos%20vegetacionales%20de%20Luebert%20y%20Pliscoff%202017>
- Lara, A., Amoroso, M. & Bannister, J. (2014). Sucesión y Dinámica de Bosques Templados en Chile. https://www.researchgate.net/publication/266202418_Sucesion_y_Dinamica_de_Bosques_Templados_en_Chile
- Loguercio, G., Donoso, P. & Müller-Using, S. (2018). Silvicultura de bosques templados mixtos de Sudamérica. https://www.researchgate.net/publication/329191831_Silviculture_of_Temperate_Mixed_Forsts_from_South_America
- Martin, M. (2009). Manual de operaciones en terreno. <https://metadatos.mma.gob.cl/sinia/L1050MAR2009.pdf>
- Morgado, E., Parada, M.A., Contreras, C., Castruccio, A., Gutiérrez, F. & McGee, L.E. (2015). Contrasting records from mantle to surface of Holocene lavas of two nearby arc volcanic complexes: Caburgua-Huelemolle Small Eruptive Centers and Villarrica Volcano, Southern Chile. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377027315003091>
- Müller-Using, B., Rodríguez, R. & Gajardo, P. (2013). Desarrollo de una guía de manejo de la densidad en bosques de segundo crecimiento de roble (*Nothofagus obliqua*) en la región del Biobío. <https://www.scielo.cl/pdf/bosque/v34n2/art09.pdf>
- Muñoz, F., Cancino, J., & Rodríguez, R. Diagrama de manejo de densidad para renovales de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser en Chile. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2003000400004
- Oliver, C. & Larson. (1996). Forest Stand Dynamics, Update Edition. https://elischolar.library.yale.edu/fes_pubs/1/
- Pacheco, A. (1991). Una economía de conquista concepción siglo XVI. <https://revistas.udec.cl/index.php/historia/article/view/7173/6639>
- Peña, E. (2014). Consideraciones para la creación de una franja preventiva de incendios en la interfaz urbana rural. <https://www.corma.cl/wp-content/uploads/2020/03/consideraciones-para-la-creacion-de-una-franja-de-proteccion-de-incendios-en-la-interfaz.pdf>

- Ponce, D. (2014). Comparación de atributos estructurales y de composición entre bosques adultos y bosques secundarios en la Depresión Intermedia del centro-sur de Chile. [Tesis de título, Universidad Austral de Chile].
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/egp792c/doc/egp792c.pdf>
- Quezada, J. (2008). Historia de incendios en bosques de Araucaria araucana (Mol.) Koch del Parque Nacional Villarrica, a partir de anillos de crecimiento y registros orales. [Tesis de título, Universidad Austral de Chile]. https://www.curriculumnacional.cl/estudiante/621/articulos-262010_recurso_01.pdf
- Quiroz, D. (2001). Ocupaciones El Vergel en las costas de la Araucanía. IV Congreso Chileno de Antropología. Colegio de Antropólogos de Chile A. G, Santiago de Chile.
<https://www.academica.org/iv.congreso.chileno.de.antropologia/209.pdf>
- Rejma, M. (2015). La invasión de *Rubus praecox* (Rosaceae) es promovida por el árbol nativo *Aristolelia chilensis* (Elaeocarpaceae) debido a la facilitación de la dispersión de semillas.
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-66432015000100004
- Soto, D. & Klaus, P. (2018). Manejo del nicho realizado a través de las alteraciones del suelo mejora la regeneración natural en bosques primarios con corta selectiva: Vinculando teoría con práctica.
https://www.researchgate.net/publication/324452582_Manejo_del_nicho_realizado_a_traves_de_la_alteracion_del_suelo_mejora_la_regeneracion_natural_en_bosques_primarios_con_corta_selectiva_Vinculando_teoria_con_practica
- Subercaseaux, F. (1888). Memorias de la Campaña a Villa-Rica 1882-1883.
<https://www.memoriachilena.gob.cl/archivos2/pdfs/mc0012729.pdf>
- Torrejon, F. & Cisterna, M. (2003). Impacto ambiental temprano en la Araucanía deducido de crónicas españolas y estudios historiográficos.
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002003000300005
- Valdebenito, G. & Aguilera, M. (2013). Información tecnológica de productos forestales no madereros del bosque nativo de Chile. Antecedentes silvícolas *Aristolelia chilensis* (Mol.) Stuntz.
<https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/32022/32022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vargas, P., Busby, S., Veblen, T., González, M. & Holz, A. Impacts of a short-interval severe fire on forest structure and regeneration in a temperate Andean *Araucaria-Nothofagus* Forest
https://fireecology.springeropen.com/articles/10.1186/s42408-024-00327-2?utm_source=chatgpt.com
- Veblen, T. & Shlegel, F. (1982). Reseña ecológica de los bosques del sur de Chile.
<http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v4n2/art03.pdf#:~:text=La%20transici%C3%B3n%20hacia%20bosques%20po%20bres%20en,extend%C3%ADa%20al%20sur%20hasta%2046%C2%B0%20y%2048%C2%B0>

Veblen, T. & Donoso, C. (1987). Alteración natural y dinámica regenerativa de las especies chilenas de *Nothofagus* de la región de Los Lagos. <http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v8n2/art09.pdf>

Vera, R. (1905). La Pacificación de Arauco. <https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-9598.html>

VII. Anexos

1. Aplicación del método geométrico de Duncan (1989)

Con el objetivo de estimar los anillos faltantes en la troza analizada, se aplicó el método geométrico propuesto por Duncan (1989), utilizado ampliamente en estudios dendrocronológicos para corregir la subestimación de la edad cuando la médula no está presente en la muestra. Este procedimiento se basa en la geometría del primer anillo incompleto visible en la sección, a partir del cual se construyen las siguientes medidas (Anexo 1, Figura 1):

- **L (cuerda):** línea recta que une los extremos del arco correspondiente al primer anillo incompleto.
- **H (sagita):** distancia perpendicular desde el punto medio de la cuerda hasta el arco del anillo.
- **X (ancho de anillo):** promedio del grosor de los tres primeros anillos completos observados después del arco.

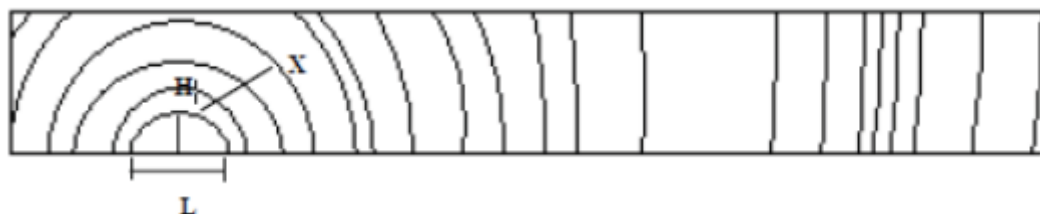
Con estas mediciones se calculó el número de anillos faltantes (NAF) según la fórmula:

$$NAF = \frac{L^2}{8H} + \frac{H}{2}$$

donde NAF corresponde al número estimado de anillos que faltan desde el último anillo completo visible hasta la médula. La edad corregida de la troza se obtuvo sumando este valor a los anillos contados directamente en la sección:

$$Edad\ corregida = N_{obs} + NAF$$

En el caso de la troza analizada, las medidas obtenidas fueron: L=39 cm, H=16,2 y X=0,216 cm. A partir de estos valores se estimó un total de ≈ 92 anillos faltantes, los que se sumaron a los anillos visibles para aproximar la edad real del árbol.



Anexo 1, Figura 1. Método de Duncan (1989). Elaborado por Árias (2017)

2. Parámetros análisis cuantitativo del modelo Oliver y Larson

El criterio de densidad de individuos por hectárea (N_{ha}) se sustenta en la evidencia presentada por Müller-Using et al. (2013) y Ponce (2014). En la etapa de iniciación de rodal, posterior a un disturbio, se registra una alta densidad de individuos con diámetros pequeños (bajo D_q), producto del establecimiento masivo de plántulas y brinzales (Oliver & Larson, 1996). En la etapa de exclusión de tallos, el cierre del dosel conlleva una intensa competencia por luz, iniciándose la mortalidad de individuos suprimidos, lo que reduce progresivamente la densidad (Oliver & Larson, 1996). Por su parte, Ponce (2014) reporta valores de densidad más bajos en bosques adultos del centro-sur de Chile, lo que permite establecer un rango de referencia para la etapa de bosque maduro. Entre ambas fases se reconoce una etapa de re-iniciación del sotobosque, que corresponde a una transición en la que la densidad disminuye respecto a la exclusión, pero aún supera a la de un bosque adulto, coexistiendo cohortes intermedias y nueva regeneración en el sotobosque. Así, los valores de N_{ha} para iniciación y exclusión se infieren a partir de la dinámica descrita por Oliver y Larson (1996) y Müller et al. (2013), mientras que los de madurez se apoyan en los datos empíricos de Ponce (2014), quedando la re-iniciación como rango intermedio asumido con base en esta secuencia sucesional.

El criterio de área basal por hectárea (G_{ha}) se respalda en la evidencia de Muñoz et al. (2018) y Ponce (2014). En las etapas iniciales (iniciación y exclusión de tallos) se observan valores relativamente bajos de G_{ha} , producto de la reciente incorporación de individuos post-disturbio, cuyo crecimiento se expresa más en número que en biomasa (Oliver & Larson, 1996). En la etapa de exclusión de tallos, aunque la densidad disminuye por mortalidad competitiva, el aumento en diámetro de los sobrevivientes compensa parcialmente la pérdida, de modo que la G_{ha} se mantiene o incrementa respecto de la iniciación (Muñoz et al., 2018). En la fase de re-iniciación de sotobosque, G_{ha} continúa aumentando junto con la aparición de nuevas cohortes en el sotobosque, lo que refleja una transición hacia estructuras más complejas. Finalmente, en las etapas maduras, los valores de G_{ha} se ajustan a los reportados por Ponce (2014) para bosques adultos de la Depresión Intermedia del centro-sur de Chile, alcanzando valores superiores a $80 \text{ m}^2/\text{ha}$, consistentes con rodales remanentes donde se concentran individuos de gran diámetro y se expresan atributos propios de bosques viejos.

El criterio de diámetro cuadrático medio (D_q) se justifica a partir de Müller-Using et al. (2013), quienes emplearon esta variable como descriptor central en la construcción de diagramas de manejo de densidad para renovales de *Nothofagus obliqua* en la Región del Biobío. El D_q sintetiza la estructura diamétrica del rodal y permite relacionar directamente la evolución de la densidad (N_{ha}) y

el área basal (Gha) en las distintas fases de desarrollo. De este modo, el incremento progresivo de D_q acompañado por la reducción de N_{ha} refleja el proceso de auto-raleo descrito por Oliver y Larson (1996) en la etapa de exclusión de tallos, mientras que valores más altos de D_q se asocian a fases avanzadas de desarrollo, con presencia de individuos de gran diámetro y mayor área basal (Ponce, 2014). En consecuencia, D_q constituye un indicador robusto y cuantitativo para clasificar rodales dentro de las etapas sucesionales propuestas.

Los criterios %G (5–20), %N (5–15) e $I_{grandes}$ se consideran operativos y fueron calibrados a partir del funcionamiento teórico de las etapas de desarrollo planteadas por Oliver y Larson (1996), con foco en la estructura horizontal del bosque. Los indicadores %G (5–20) y %N (5–15) capturan el reclutamiento en las distintas fases: su valor tiende a ser alto en iniciación y disminuye progresivamente en exclusión y re-iniciación, a medida que la competencia por recursos y la ocupación del sitio reducen la superficie y las condiciones favorables para el establecimiento de nuevos individuos.

Por su parte, el índice de grandes ($I_{grandes}$) se define como la media armónica entre la proporción de área basal y la proporción de individuos que superan un diámetro umbral operativo (55 cm):

$$I_{grandes} = \frac{2 \cdot \%G_{(DAP \geq 55 \text{ cm})} \cdot \%N_{(DAP \geq 55 \text{ cm})}}{(\%G_{(DAP \geq 55 \text{ cm})} + \%N_{(DAP \geq 55 \text{ cm})})}$$

donde %G es el porcentaje de área basal y %N el porcentaje de individuos con $DAP \geq 55$ cm. Este índice integra simultáneamente el peso estructural y la abundancia relativa de los árboles grandes, evitando que un único parámetro domine la clasificación. Además, la media armónica penaliza el desbalance: si pocos individuos concentran gran parte del área basal (escenario típico de secundarios con legados), el valor del índice disminuye; en cambio, valores altos se alcanzan solo cuando número y área basal de los grandes son ambos relevantes y equilibrados, condición característica de bosques maduros.

El criterio de la relación altura-diámetro (H/D) corresponde a un buen indicador de la competencia por luz y de la estabilidad mecánica de los árboles. En las etapas iniciales de desarrollo, los individuos priorizan la dominancia apical como estrategia típica de especies intolerantes a la sombra, lo que se traduce en una relación H/D elevada. Durante la fase de exclusión de tallos, esta relación alcanza sus valores más altos debido a la fuerte competencia por luz entre individuos de diámetros reducidos que buscan alcanzar el dosel. En etapas más avanzadas, la disminución de la densidad y la apertura de claros permiten que los árboles establezcan su crecimiento radial en relación a la altura, reduciendo la relación H/D.

Para este parámetro se consideraron los criterios de Grosse (2009), quien define la relación H/D como un indicador de estabilidad mecánica: valores $H/D > 1,0$ corresponden a individuos muy inestables; entre 0,8–1,0 se clasifican como inestables; entre 0,55–0,8 como estables; y $H/D < 0,55$ son característicos de árboles solitarios con bajo riesgo de vuelco. Estos umbrales permiten integrar el análisis de competencia y estabilidad, vinculando la dinámica sucesional del bosque con la arquitectura de los individuos dominantes.

El criterio de porcentaje de área basal de especies tolerantes a la sombra (%G_tolerantes) se fundamenta en la dinámica propia de los bosques del centro-sur de Chile, donde, una vez que el dosel se cierra, la disponibilidad de luz bajo copa disminuye y favorece progresivamente a las especies tolerantes/intermedias. En este contexto, el %G_tolerantes tiende a ser bajo en iniciación (predomina la cohorte pionera/intolerante), se mantiene moderado en exclusión de tallos (persisten dominantes de rápido crecimiento con sotobosque empobrecido), y aumenta en la re-iniciación del sotobosque, cuando la apertura de pequeños claros y la mortalidad natural de dominantes permiten el establecimiento y engrosamiento de tolerantes en los estratos intermedio y codominante. En etapas maduras, el %G_tolerantes alcanza sus valores más altos, reflejando una composición y estructura multiestratificada donde las tolerantes aportan una fracción sustantiva del área basal total.

El análisis de estructura vertical se basó en tres indicadores complementarios que leen cómo se reparte la masa forestal entre pisos sociológicos y cuánta “vida” ocurre en las capas medias.

En primer lugar, el número de estratos con aporte significativo se determinó considerando cuántos niveles sociológicos contribuyen al menos con un 10% del área basal total. Este indicador hace explícita la complejidad vertical efectiva del rodal. En las primeras fases, dominadas por cohortes coetáneas tras un disturbio, lo esperable es que la mayor parte del G se concentre en uno o dos estratos. Sin embargo, es importante destacar que este patrón no siempre es uniforme: aun cuando los individuos se establecen de manera sincrónica, las diferencias en micro-sitio, crecimiento y mortalidad pueden hacer que pasen varios años antes de que se diferencien y consoliden capas verticales distintas. En consecuencia, en bosques de exclusión de tallos lo más común es observar una estructura monoestratificada, pero en ocasiones ya pueden aparecer estratos adicionales incipientes. En la medida que el rodal evoluciona hacia la re-iniciación del sotobosque, esta multiestratificación se hace más marcada y el número de estratos significativos tiende a aumentar, estabilizándose en tres o más en bosques maduros.

En segundo lugar, la distribución porcentual del área basal por estratos (%G_Estratos) describe cómo se reparte el G entre dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos. Cuando un solo piso concentra la mayor parte del área basal (p. ej., $\geq 60-70\%$), la estructura es simple y típica de etapas tempranas o de exclusión; en cambio, a medida que ningún estrato supera la mitad del G total y el reparto se equilibra entre dos o tres pisos, se evidencia la complejidad propia de re-iniciación y madurez.

Como eje final se incorporó el Índice de Bosque Maduro (IBA) propuesto por Ponce (2014), utilizado aquí como herramienta de corroboración del análisis preliminar. Este índice permite ubicar un rodal en un gradiente entre bosque secundario y bosque maduro, aportando una visión de conjunto que ayuda a matizar errores de clasificación que podrían derivarse de la aplicación aislada de cada criterio estructural. De esta forma, el IBA no sustituye a los indicadores de composición y estructura previamente descritos, sino que los complementa y refuerza, funcionando como un filtro integrador que valida la coherencia de la etapa sucesional asignada.

3. Índice de bosque adulto (IBA)

El Índice de Bosque Adulto (IBA) fue propuesto por Ponce (2014) como una adaptación del índice de Acker et al. (1998), originalmente diseñado para bosques de *Pseudotsuga menziesii*. Mientras Acker consideraba cuatro variables estructurales, Ponce amplió la metodología a seis variables para ajustarla a las condiciones de los bosques nativos del centro-sur de Chile.

Las variables incorporadas son:

1. Densidad de árboles por hectárea
2. Área basal (m²/ha)
3. Coeficiente de Gini
4. Material leñoso muerto (Mg/ha)
5. Área basal aportada por los individuos de las especies tolerantes a la sombra (m²/ha)

Cada variable es estandarizada en relación con valores de referencia observados en bosques adultos de la Depresión Intermedia (Anexo 3, Figura 1). El índice general se expresa en una escala de 0 a 100, donde valores bajos reflejan condiciones de bosques secundarios y valores altos una mayor similitud con bosques maduros o viejos

$$IBA = 16.66 \sum_i \left| \frac{x_{i,obs} - x_{i,secundario}}{x_{i,adulto} - x_{i,secundario}} \right|$$

Anexo 3, Figura 1. Formula del índice de bosque adulto. Elaborado por Ponce, 2014.

Donde los valores se limitan de la siguiente forma:

“Si el valor observado es menor al valor de referencia de bosque secundario en las variables 2,3,4,5 y 6 (área basal, área basal aportada por arboles > 80 cm d, coeficiente de Gini, material leñoso muerto y área basal aportada por los individuos de especies tolerantes a la sombra) el valor observado se iguala al valor de referencia de bosque secundario.

Por otro lado, si el valor observado es mayor al valor de referencia de bosque secundario en la variable 1 (densidad) el valor observado se iguala al valor de referencia de bosque secundario. 44 Si el valor observado es mayor al valor de referencia de bosque adulto en las variables 2,3,4,5 y 6 (área basal, área basal aportada por arboles > 80 cm d, coeficiente de Gini, material leñoso muerto y área basal aportada por los individuos de especies tolerantes a la sombra) el valor observado se iguala al valor de referencia de bosque adulto. Por otro lado, si el valor observado es menor al valor de referencia de bosque adulto en la variable 1 (densidad) el valor observado se iguala al valor de referencia de bosque adulto (Ponce, 2014).”

$$x_{i,obs} = \begin{cases} x_{i,secundario}, & \text{si } x_{i,obs} < x_{i,secundario} \text{ para } i = 2, 3, 4, 5 \text{ y } 6 \\ & \text{si } x_{i,obs} > x_{i,secundario} \text{ para } i = 1 \\ x_{i,adulto}, & \text{si } x_{i,obs} > x_{i,adulto} \text{ para } i = 2, 3, 4, 5 \text{ y } 6 \\ & \text{si } x_{i,obs} < x_{i,adulto} \text{ para } i = 1 \end{cases}$$

Anexo3, Figura 2. Criterio de limitación de los parámetros.

La principal ventaja del IBA es que permite cuantificar la “distancia” de un rodal respecto a un bosque adulto de referencia, además de identificar qué atributos específicos (ej. presencia de árboles grandes, proporción de tolerantes, heterogeneidad estructural) son deficitarios y podrían ser potenciados mediante el manejo silvicultural.

En el estudio se usaron los criterios de Bosque secundario de *Nothofagus obliqua* y se corroboró con bosque secundario general (Anexo3, Tabla 1).

El coeficiente de Gini se calculo en excel de la forma:

=LET(par, VALOR([ID_PARCELA]), D, FILTRAR([TABLA_ID_PARCELAS],
[TABLA_DE_DAP]=par), n, FILAS(D), s, SUMA(D), Ds, ORDENAR(D, 1, 1), i, SECUENCIA(n),
(2SUMA(iDs)/(n*s)) - (n+1)/n)

Anexo 3, Tabla 1. Valores de referencia para cada una de las variables y tipos de bosque. Cada valor corresponde a la mediana. El campo “n” se refiere al número de unidades de muestreo utilizadas para determinar el valor de referencia (bosque adulto/bosque secundario). Elaborado por Ponce, 2014.

Variable	n	Bosque Adulto	B.s.* general	B.s. <i>Nothofagus dombeyi</i>	B.s. <i>Nothofagus obliqua</i>	B.s. <i>Drimys winteri</i>	B.s. Mixto siempreverde
Densidad (n°árb/ha)	80/48	872	2052	1344	1099	2340	4422
Área basal (m ² /ha)	80/48	84.52	66.02	65.00	73.68	64.86	55.71
Área basal árboles >80 cm d (m ² /ha)	80/48	30.00	0.00	0.00	7.00	7.00	7.00
Coeficiente de Gini	80/48	0.70	0.63	0.66	0.66	0.65	0.54
Material leñoso muerto (Mg/ha)	11**/48	35.86	14.37	11.16	12.15	43.22	9.40
Área basal especies tolerantes (m ² /ha)	19/48	48.75	6.22	2.15	5.60	21.00	7.62



*B.s.: Bosque secundario, **Se incluyen los valores reportados por Schlegel y Donoso (2008) y por Schnabel et al. (en preparación)