



Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

Relaciones topoedáficas en bosques siempreverdes Norpatagónicos de la región de Los Lagos, Chile

Patrocinante: Sr. Óscar Thiers E.

Trabajo de tesina presentado como parte
de los requisitos para optar al Título de
Ingeniero Forestal

OMAR KARYM PONCE GUZMÁN

VALDIVIA

2026

i	Calificación del Comité de Titulación	i
ii	Agradecimientos	ii
iii	Resumen	iii
1	INTRODUCCIÓN	1
2	MATERIAL Y MÉTODO	5
2.1	Área de estudio	5
2.1.1	Geología	7
2.1.2	Geomorfología	7
2.1.3	Suelo	8
2.1.4	Vegetación	9
2.2	Muestreo de terreno	10
2.2.1	Caracterización de los bosques	10
2.2.2	Reconocimiento de suelos	11
2.3	Análisis en laboratorio	12
2.4	Análisis de datos	12
2.4.1	Análisis de componentes principales	13
2.4.2	Análisis de Clúster	14
3	RESULTADOS PRELIMINARES	15
3.1	Características topográficas por sector	15
3.2	Características físicas y morfológicas de los perfiles de suelo	16
3.3	Características químicas del suelo	17
3.4	Caracterización de la vegetación por sector	18
4	CONCLUSIONES PRELIMINARES	20
5	REFERENCIAS	21
Anexos	1 Diagrama de intensidad de manejo según base ecológica y consideraciones técnicas	28
	2 Formas geológicas de la zona de estudio	29
	3 Geomorfología de la zona distal cuenca Vodudahue	29
	4 Valores químicos de referencia para análisis	30
	5 Características morfológicas de los suelos por sector	31
	6 Características químicas de los suelos por sector	32
	7 Parámetros de estructura forestal de todas las especies evaluadas en los sectores de estudio	34

Calificación

Seminario de Investigación (GFOR305-15)

Nota
6,2

El (La) profesor(a) patrocinante certifica que este trabajo cumple con los requisitos de contenido y forma exigidos por el Reglamento de Titulación de la Escuela de Pregrado Ingeniería en Conservación de Recursos Naturales-Ingeniería Forestal. En virtud del Acuerdo de Vinculación Pregrado-Magíster, aprobado por Resolución N°AV-038 de 04 de octubre de 2022, la nota obtenida en la asignatura GFOR305-15 Seminario de Investigación se homologa como nota de la asignatura EPFO298-17 Tesina o ECRN298-18 Tesina, según corresponda.



Sr. Óscar Thiers E.

Agradecimientos

A mi abuela, la Sra. Teresa Pereira por su apoyo incondicional en este proceso universitario, por haberme criado con amor, paciencia y entregarme valores de los cuales estoy orgulloso de portar. También por ser la única persona que ha estado presente desde mi primer día de vida hasta hoy. Sin duda el pilar más importante en todo este camino.

A mis compañeros y amigos que formé durante esta etapa; Priscila, Dafne, Alen, Furkan y Cristian. Gracias por el apoyo, compañía, buenos momentos y ser los oídos que he necesitado durante estos años.

A mi pareja Camila, por su gran apoyo durante la elaboración del presente proyecto de tesis, gracias por todo el cariño entregado y también por ser una de las personas que más confiaron en mí para hacer este proceso.

A mi profesor patrocinante Sr. Óscar Thiers E. por permitirme desarrollar mi proyecto de tesis de pregrado y tesis de postgrado sobre esta temática. A los profesores Felipe Zúñiga U. y Pablo Donoso H. por compartirme su apoyo, experiencia, conocimiento y sugerencias.

Al “Team Vodudahue” en la campaña de terreno. Integrado por: Rayen Neira, Valentina Rojas, Dafne Velásquez, Marco Barrientos, Carlos Luco, Sebastián Valenzuela, Raúl Vásquez, Furkan Riaz, Prof. Óscar Thiers y yo. Por la gran colaboración, camaradería y disposición en terreno, siendo el hincapié inicial para desarrollar esta tesis.

También dar agradecimientos a la Fundación San Ignacio de Huinay por contribuir al desarrollo de esta investigación, a través del programa POETA. Por la facilitación de datos climáticos de la zona de estudio.

Resumen

En la Patagonia chilena se encuentran unas de las masas boscosas continuas más extensas a nivel mundial, donde el conocimiento sobre estas áreas remotas es limitado. En ese sentido, el diagnóstico de las condiciones de sitio a pequeña escala es importante, ya que, los factores que influyen en el sitio son distintos en contraste con grandes escalas, donde la topografía y en consecuencia fertilidad del suelo juegan un papel importante en el establecimiento y desarrollo de los bosques. La hipótesis planteada es que bajo condiciones macroclimáticas homogéneas, la fertilidad y particularmente las propiedades químico-nutritivas del suelo condicionarán la existencia y productividad de las asociaciones boscosas en diferentes posiciones en el relieve. Por lo tanto, el objetivo general es determinar relaciones entre las características de los bosques siempreverdes y los sitios de la Norpatagonia. Se hizo un muestreo de suelo y vegetación en bosques siempreverdes ubicados en la provincia de Palena, región de Los Lagos. El análisis preliminar consistió en la caracterización de la topografía y morfología de los perfiles de suelos en los distintos sectores, también se diagnosticó la fertilidad actual de los suelos y por último se caracterizaron los bosques en toda la zona de estudio. Los resultados preliminares muestran que la topografía es muy heterogénea, los suelos tienen altos niveles de acidez ($\text{pH} < 5$), altos contenidos de carbono y niveles de macronutrientes medios a bajos. Los bosques se encuentran en distintos estados de desarrollo, con áreas basales desde los 33,4 hasta 148,3 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$, dominando en los doseles superiores tanto especies intolerantes como tolerantes a la sombra. Estos resultados reflejan que la fertilidad del suelo es baja a media, donde la pedregosidad y la profundidad aparecen como factores limitantes.

Palabras clave: Patagonia, Sitio, Topografía, Fertilidad, Siempreverde.

1. INTRODUCCIÓN

La superficie total de bosques en el mundo asciende a ~ 4.000 millones de hectáreas (ha), de la cual cerca del 16% corresponden a bosques de templados (FAO 2020). Dentro de esta superficie, la mayor parte se concentra en el hemisferio norte, mientras que en el hemisferio sur la extensión de estos bosques es menor, donde Chile y Argentina concentran cerca de 18,3 millones de ha (Donoso *et al.* 2022, CONAF 2025). Los bosques chilenos, en particular, se encuentran aislados por barreras biogeográficas: la cordillera de Los Andes, el desierto de Atacama y el océano Pacífico; siendo clasificados como una “isla” biogeográfica (Armesto *et al.* 1995). Este aislamiento ha favorecido la permanencia de elementos florísticos y faunísticos relictos de la era Gondwánica con altos niveles de endemismos, que, sumado al rápido crecimiento de las especies arbóreas (Donoso 2015), posicionan a los bosques chilenos como bosques con un alto valor científico.

Chile cuenta con aproximadamente 15,5 millones de ha de bosque nativo, clasificados en 12 tipos forestales según la tipología propuesta por Donoso (1981) y actualizada por CONAF (2025). Entre estos, los tipos forestales siempreverde, Coihue de Magallanes y Lengua destacan tanto por su extensión como por su relevancia ecológica, concentrando en conjunto 10 millones de ha (CONAF 2025). Estas formaciones boscosas se distribuyen predominantemente en la zona sur y austral del país, donde las condiciones climáticas y geomorfológicas determinan su estructura y composición florística. En este contexto territorial, la Patagonia chilena constituye la principal unidad biogeográfica donde se emplazan estos bosques. Esta región se extiende desde el seno de Reloncaví (41°42' S; 73°02' O) hasta las islas Diego Ramírez (56°29' S; 68°44' O), en el extremo sur del cabo de Hornos (Armesto *et al.* 2021, Martínez-Harms *et al.* 2022). Se caracteriza por una compleja morfología de fiordos y estuarios, considerada la más extensa del hemisferio sur, con una superficie total de 452.204 km² (Armesto *et al.* 2021). De esta superficie, aproximadamente 25,6 millones de ha corresponden a territorio emergido (Barros 2022), lo que representa cerca del 34 % de la superficie nacional, consolidando a la Patagonia chilena como un componente fundamental del patrimonio forestal del país.

En la Patagonia chilena se reconocen nueve tipos forestales, de los cuales la mayor parte de la superficie corresponde a los tipos forestales lenga, siempreverde y coihue de Magallanes (Donoso 1981), que en conjunto agrupan poco más del 90% de la masa forestal de la Patagonia. El tipo forestal siempreverde se distribuye entre la provincia de Palena y la región de Aysén, en tanto los tipos forestales lenga y coihue de Magallanes entre las regiones de Aysén y Magallanes (CONAF 2025). Además de los tipos forestales, la vegetación presente permite representar ecosistemas templado-fríos únicos en el

hemisferio sur tales como; bosques de coníferas dominados por alerce (*Fitzroya cupressoides*) y ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*), bosques de *Nothofagus* dominados por diferentes tipos de coihues (*N. dombeyi*, *N. nitida*, *N. betuloides*), ñirre (*N. antártica*) y lenga (*N. pumilio*) (Thiers 1997, Donoso 2015, Pliscoff *et al.* 2021). Esta diversidad vegetal está fuertemente condicionada por la compleja y extensa geografía de la región, climas templados húmedos, estepa, tundra, etc., que contienen un gran número de especies vegetales en función de las condiciones particulares de los sitios (Barros 2022).

Dentro de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), el número 15 tiene como una de las metas al 2030 asegurar la conservación de los ecosistemas montañosos (ONU 2015), ya que los bosques de estos ecosistemas provisionan bienes y servicios. Estos bosques son clasificados como “centinelas” del cambio climático, debido a la capacidad que tienen para reflejar los efectos de cambio en los patrones del clima en su comportamiento (Zveushe *et al.* 2025). Los bosques montañosos también cumplen una función de estabilizar suelos volcánicos, los cuales son conocidos por su alto contenido de carbono orgánico del suelo (SOC), gran capacidad retención de agua, y poseen alta fragilidad (Simon *et al.* 2025).

La Patagonia chilena se caracteriza por una importante continuidad de cubierta boscosa, sin embargo, es posible identificar para esta condición de uso de suelo diferencias entre sitios basadas en características propias de las especies presentes, así como también de los objetivos ecológicos y sus limitaciones operativas para los propietarios (Nyland 2016). Para el caso de la Patagonia, los bosques de estas zonas tienen una capacidad productiva variable (Thiers y Gerding 2007, Rojas *et al.* 2025), donde las condiciones de sitio limitan las actividades plausibles de desarrollar, centrándolas en labores extensivas de conservación y de protección o restauración sobre el bosque (anexo 1). Por ello resulta interesante la entrega de información asociada a estos ecosistemas en áreas remotas o áreas protegidas para apoyar su gestión (Schlatter *et al.* 2003, Nyland 2016).

El sitio forestal es la combinación de los factores clima y suelo en un área de la superficie terrestre con condiciones homogéneas para el desarrollo de la vegetación (Schlatter y Gerding 2024). Estos factores tienen un orden jerárquico: siendo los factores macro y microclimáticos (e.g. topografía y elevación) de mayor impacto seguido de las propiedades físicas y químicas del suelo (Schlatter 1994). Las evaluaciones de la calidad de sitios en bosques naturales es mucho más compleja en contraste con plantaciones forestales (Yan *et al.* 2024), debido a la estructura irregular de edad, diámetros y altura total, y además por las condiciones topográficas en las que se establecen y desarrollan estos bosques (Pretzsch 2020, Yan *et al.* 2024).

La topografía del paisaje influye significativamente en la formación del suelo, entendiéndose la topografía como la configuración y disposición de la superficie terrestre (Weil y Brady 2017). La topografía juega un rol determinante en la distribución espacial de flujos y reserva de nutrientes influenciando el desarrollo y los procesos del suelo (Tokuchi *et al.* 1999, Hazlett y Foster 2002), modificando la disponibilidad en diversos gradientes en cuanto a pendiente, exposición, elevación, etc. En zonas boscosas, las diferentes posiciones en el relieve (forma del terreno) que se encuentren los bosques condicionan a una diversa composición y estructura de la vegetación a lo largo de estos gradientes (Cheraghi *et al.* 2025). El relieve genera condiciones de forma tal que el suelo puede ver modificada sus propiedades, pudiendo crear heterogeneidad en el microclima, la vegetación y las propiedades fisicoquímicas/morfológicas del suelo (Kumi *et al.* 2022, Cheraghi *et al.* 2025), lo que podría derivar en una toposecuencia determinada. En ese sentido, una toposecuencia es aquella sucesión de suelos que se forman en distintas secciones del paisaje donde las condiciones microclimáticas difieren debido a factores como la pendiente, exposición, elevación, etc. Esta modificación en los suelos ocurre pese a tener un material parental similar y encontrarse en una misma zona macroclimática (Luzio *et al.* 2006, Hillel 2007), siendo la topografía la causa principal de las diferencias entre los suelos (Weil y Brady 2017). Lo que en consecuencia condicionará a características físicas y químicas del suelo distintas, lo que genera cambios en el establecimiento y desarrollo de la vegetación (Gerding y Thiers 2002).

Una de las interrogantes más importantes a conocer de la calidad de los sitios es la fertilidad del suelo, ello principalmente cuando a nivel macroclimático existe homogeneidad. Schlatter y Gerding (2024) definen la fertilidad de suelo como la capacidad del suelo para ser utilizado como un lugar para el desarrollo de las plantas y su posible rendimiento. La fertilidad está determinada por cinco regímenes: de profundidad (principalmente efectiva), agua, aire, temperatura y elementos nutritivos (Schlatter *et al.* 2003). Las relaciones entre la vegetación y el suelo son una herramienta importante para la evaluación de los sitios, siendo posible tener conocimiento de la condición fisicoquímica del suelo y su variabilidad a pequeña escala (Zas y Alonso 2002, De Castilho *et al.* 2006) para la formulación de estrategias eficaces para la gestión forestal (Yan *et al.* 2024).

En general, se espera que en aquellos bosques con mayores dimensiones (en altura total y diámetro) se encuentren en sitios de mayor calidad con suelos más fértiles, bajo la justificación de que los suelos con mayor fertilidad disponen de más recursos para el desarrollo de la vegetación (De Castilho *et al.* 2006), aunque también pueden alcanzar grandes dimensiones ante la ausencia de perturbaciones antrópicas, o naturales durante periodos de tiempo prolongados (Lara *et al.* 2014). Estudios sobre la

relación entre biomasa aérea y altitud muestran resultados diversos: algunos indican un aumento de la biomasa con la elevación, atribuido a una menor perturbación antropogénica a mayores elevaciones; mientras que otros reportan una disminución, asociada principalmente a la reducción de la temperatura del aire y menor calidad de suelo (Kumi *et al.* 2022, Perry *et al.* 2008).

Como se mencionó anteriormente la topografía juega un papel importante en las propiedades físicas y químicas del suelo (Perry *et al.* 2008). Características físicas importantes incluyen textura, contenido de materia orgánica, agregados, etc., mientras que las características químicas están definidas principalmente por la acidez, contenido de nutrientes y el carbono orgánico del suelo (SOC) (Perry *et al.* 2008), este último es definitorio como indicador de la degradación del suelo (Lal 2015). Diversos autores mencionan que existe una subrepresentación de la topografía en modelos de variación de suelo (Patton *et al.* 2019). Desafortunadamente, hay escasa información sobre la influencia de la elevación (topografía) en el crecimiento de la biomasa forestal en plantaciones como en bosques naturales (Kumi *et al.* 2022, Perry *et al.* 2008). Aún más en la Patagonia, donde existe poca información sobre relaciones entre ecosistemas forestales (bosques naturales) y las condiciones de los suelos para diversos sitios (Rojas *et al.* 2025).

Los bosques siempreverdes Patagónicos se desarrollan desde los 39°52' (Corral) en altitudes > 400 m s.n.m. hasta los 47°S en la península de Taitao desde el nivel del mar¹. Los estudios de dinámica, estructura y estado de los bosques siempreverdes de la Norpatagonia son escasos (Innes 1992, Soto y Flores 2011, Bannister y Donoso 2013, Cáceres *et al.* 2024), y la información acerca de los suelos en los que se encuentran los bosques es escasa (p.e. Casanova *et al.* 2013). Cáceres *et al.* (2024), analizaron el estado actual de los bosques nativos en islas menores en la región de Los Lagos, donde la zona de estudio abarcó islas relativamente cercanas al fiordo Comau. Entre los resultados principales destaca que el 16% de la superficie total estudiada (~16.000 ha) corresponden a bosques adultos, siendo el resto de la superficie bosques degradados y bosques secundarios.

A pesar de la importancia ecológica de los bosques, su interacción en el territorio y los sitios en la Norpatagonia chilena, no existen estudios sobre la relación suelo, topografía y vegetación en esta zona, y mucho menos en bosques del tipo forestal siempreverde en bajas elevaciones. Este tipo de estudios resultan relevantes para conocer las relaciones entre las propiedades topográficas con estos bosques nativos en sus diferentes estados de conservación y sitios, principalmente en condiciones de bajas

¹ Dr. Pablo Donoso H., Ingeniero Forestal, Académico del Instituto de Bosques y Sociedad, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Comunicación personal.

elevaciones en contraste con bosques de mayor altitud. Los bosques de la provincia de Palena particularmente representan un nicho de investigación importante, puesto que evidencian una baja intervención humana, conservando una alta superficie de bosques prístinos. Además, existen ventajas logísticas, existiendo una gran capacidad de movilización hacia estas zonas derivadas de proyectos de conservación presentes (p.e. Segura y Charrier 2022, Nazal *et al.* 2024, Rojas y Neira 2024,).

Visto lo anterior, se plantea como hipótesis para esta investigación, que bajo condiciones macroclimáticas homogéneas, la fertilidad y particularmente las propiedades químico-nutritivas del suelo condicionarán la existencia y productividad de las asociaciones boscosas en diferentes posiciones en el relieve. El objetivo general del estudio es determinar relaciones entre las características de los bosques siempreverdes y los sitios de la Norpatagonia chilena, teniendo énfasis en la topografía y las características químico-nutritivas del suelo. Los objetivos específicos son:

- (i) Caracterizar las propiedades de los suelos y la topografía presentes en la zona de estudio,
- (ii) Analizar la variación de las comunidades boscosas del tipo forestal siempreverde en las diferentes condiciones de sitio, y
- (iii) Relacionar la composición y el desarrollo de los bosques con la variación del sitio, con énfasis en las variaciones topográficas y propiedades químicas del suelo.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde a la reserva Vodudahue perteneciente a la fundación Alerce 3000². Este predio se encuentra próximo al estuario del Río Vodudahue, fiordo de Comau, comuna de Hualaihué, provincia de Palena, región de Los Lagos (42°29' 24" S, 72°21'12" O; 5-1.300 m s.n.m.). La superficie abarca aprox. 1.500 ha con diversos tipos de uso de suelos: bosque nativo, plantaciones forestales, praderas y matorrales. Entre los bosques nativos presentes, destacan los tipos forestales siempreverde, Ciprés de Las Guaitecas y Alerce (Donoso 1981), también existen plantaciones forestales, las cuales son principalmente de las especies *F. cupressoides* y *P. uviferum* (figura 1).

² fundacionalerce3000.com

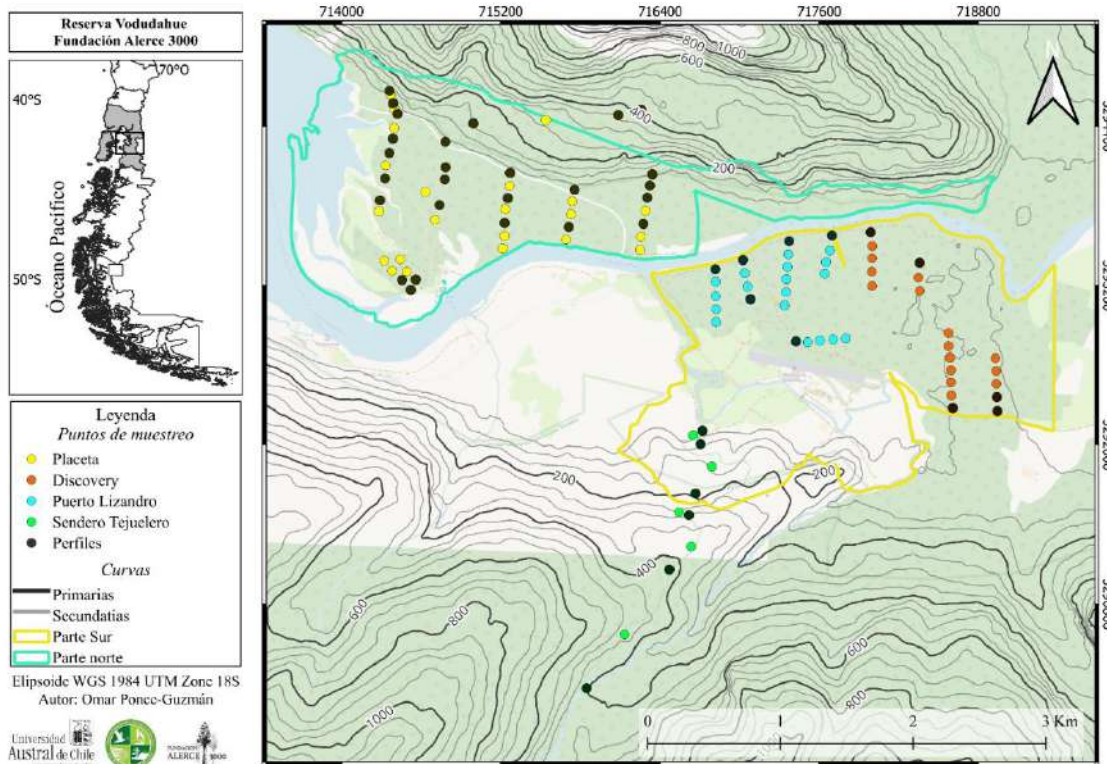


Figura 1. Zona de estudio de la reserva Vodudahue. Transectos, puntos y calicatas realizadas en la campaña de terreno. Los puntos con color representan donde se realizó muestreo de la vegetación, y puntos en color negro representan aquellos puntos en los que se realizaron calicatas (donde también se tomaron datos de vegetación). Elaboración propia en programa QGIS versión 3.38.1.

El clima en la zona corresponde al frío-templado a muy húmedo, la temperatura media de 10,3 °C y las precipitaciones de poco más de 4.100 mm al año, siendo el mes de junio el más húmedo y febrero el más seco (Camarero y Fajardo 2017, Fundación Huinay 2025³). El predio se divide en cuatro sectores: Sector Placeta, Puerto Lizandro, Sendero Tejuelero y Discovery. El sector Placeta concentra la mayor superficie (parte norte del predio) (figura 1), los restantes tres sectores se encuentran en la parte sur del Río Vodudahue. Parte del sector Sendero Tejuelero atraviesa la reserva hasta el límite norte del Parque Nacional Pumalín Douglas Tompkins (figura 1).

³ Datos climáticos facilitados por la Fundación San Ignacio de Huinay por medio del programa POETA.

2.1.1 Geología

La zona de estudio se encuentra alineada con la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO), la cual tiene una extensión aprox. de 1.000 km desde el sector de Liquiñe, Provincia de Valdivia hasta el Golfo de Penas en la Región de Aysén a los 47°S (Hervé 1984, Molina 2016). En esta zona de fallas intra-arco de rumbo se encuentra una cadena de estratovolcanes andesíticos a causa de la subducción de la placa de Nazca con la placa de Sudamérica (Hervé 1994). Su estructura de desplazamiento lateral dextral con movimiento predominante hacia la derecha caracteriza un sistema de deformación inducida por la convergencia de tipo oblicua entre ambas placas (Molina 2016, Astudillo 2022). En Chiloé continental, las unidades que abarcan la mayor superficie corresponden a rocas intrusivas tales como granitos, granodioritas, tonalitas, etc., que representan al Batolito Norpatagónico (40-47°S) del periodo cretácico inferior (SERNAGEOMIN 2003, Náquira 2009, Molina 2016), sobre el cual se formó el arco magmático mencionado anteriormente (Hervé 1994).

En la zona oriental de la falla, las cuencas acumularon principalmente depósitos fluviales (Mora 2018). En la zona de estudio, la mayoría de la superficie se encuentra sobre un área con secuencias sedimentarias: depósitos fluviales y aluviales (Qf y Q1 respectivamente, anexo 2) de la época del Pleistoceno-Holoceno originarios de la era Cenozoica. En zonas altas del área de estudio las composiciones de las montañas derivan de rocas intrusivas, donde la exposición sur (sector Placeta) corresponde a una zona de secuencias volcánicas de la época Jurásica inferior (~200 Millones de años), mientras que las laderas con exposición norte (sector Sendero Tejuelero) corresponde a secuencias volcánicas de la época Cretácica Inferior (~120 Millones de años) (SERNAGEOMIN 2003, Mora 2018).

2.1.2 Geomorfología

Durante la era Cenozoica, la actividad de la ZFLO modificó las cuencas, y el fiordo Comau es parte de una falla estructural longitudinal que también fue remodelada por glaciares (Mora 2018). Estos tipos de estuarios en la Patagonia tienen las características de ser profundos, excavados y modificados por glaciares (Syvitski y Shaw 1995, Molina 2016). El Último Máximo Glacial en Chile abarcó desde los 36° S por el interior y a partir de los 43°S llegó hasta el Océano Pacífico cubriendo toda la superficie hasta los 56°S (Denton *et al.* 1999). Durante el periodo glacial tardío se conoce Glaciación Llanquihue (GLL) entre 29.000 y 14.450 años, la cuenca de Vodudahue estuvo bajo la extensión del Glaciar Comau que avanzó hasta la costa oriental de la Isla Grande de Chiloé, los cuales se estiman que retrocedieron hace 14.600 - 14.300 años (Mora 2018).

En esta zona se pueden distinguir tres unidades morfológicas: Cordillera de la costa, Cordillera de los Andes Patagónicos, y el Golfo de Ancud que correspondería al valle central en esta latitud (Molina, 2016). La zona correspondiente al fiordo Comau se caracteriza por tener costas abruptas, donde las pendientes alcanzar valores cercanos al 100% (Náquira 2009).

La ubicación específica de la zona de estudio se encuentra próxima a la desembocadura (sección distal) de la cuenca del Río Vodudahue, colindante con el Fiordo Comau. Esta sección de la cuenca del Río Vodudahue se caracteriza por la presencia de un valle glacial en forma de U relleno durante el periodo cuaternario, con material de laderas circundantes en sentido norte y sur de distintas formaciones geológicas y de altas pendientes (Mora 2018). Así, a medida que aumenta la distancia desde el río hacia las montañas, la topografía posee forma de terrazas aluviales con leves pendientes (0 a 15°) hasta zonas de quebradas y paredes montañosas con pendientes superiores a 100% de orígenes volcánicos antiguos y zonas de depositación coluvial (SERNAGEOMIN-BRGM 1995). En la zona de Vodudahue se distinguen cuatro tipos de morfologías: fluvial, fluviomarina, de laderas y aluvial (anexo 4). Las montañas pueden tener elevaciones de hasta 2.000 m s.n.m. (Molina 2016, Mora 2018).

2.1.3 Suelos

La información respecto a los suelos de esta zona es escasa o casi inexistente. Los autores Casanova *et al.* (2013) mencionan que los suelos de los valles de la provincia de Palena están rellenos por distintos tipos de materiales, como pueden ser morrenas y depósitos aluviales mencionados anteriormente (Mora 2018). Sobre ellos se depositaron materiales volcánicos provenientes de los volcanes Michimahuida, Hornopirén, Apagado, Yate y Chaitén durante el Terciario, derivado de una intensa actividad volcánica que depositó cenizas, lava y pómez que fueron redistribuidas por los cursos de agua (Casanova *et al.* 2013).

Casanova *et al.* (2013) mencionan que entre los 42 y 50°S se pueden encontrar dos grupos de suelos, el primer grupo corresponde a los andosoles, los cuales están taxonómicamente bien expresados, con un sustrato glacial (morrenas), fluvioglacial y aluvial. El segundo grupo corresponden a suelos con un desarrollo intermedio, con la presencia de un horizonte cámbico, que se encuentran en terrazas aluviales y sedimentos fluvioglaciales. Estos suelos no presentan propiedades ándicas bien desarrolladas, esto se condice con lo mencionado por Besoain (1985) y Soto y Flores (2011), donde mencionan que en Huinay los suelos corresponden a tipo trumao de cordillera, originados por depositación de arenas volcánicas recientes de naturaleza basáltica andesítica, derivadas de la actividad cuaternaria.

2.1.4 Vegetación

Los autores Soto y Flores (2011) caracterizaron las formaciones boscosas de la localidad de Huinay (unos 30 km al norte de la zona de estudio), distinguieron tres tipos de formaciones boscosas distribuidas a lo largo de gradientes altitudinales: (i) bosque siempreverde (0-600 m s.n.m.), (ii) bosque de coníferas (600-1.000 m s.n.m.) y (iii) bosque caducifolio (>1.000 m s.n.m.).

Los bosques siempreverdes poseen dos asociaciones vegetales, la primera asociación corresponde al “bosque de Coihue de Chiloé” (*Luzuriago polyphyllae-Nothofagetum nitidae*) donde coihue de Chiloé (*Nothofagus nitida*) tiene una marcada presencia, como también de ulmo (*Eucryphia cordifolia*) y tiaca (*Caldcluvia paniculata*) en los estratos superiores, mientras en los estratos intermedios se encuentran especies como canelo (*Drimys winteri*) y avellano (*Gevuina avellana*). En zonas edáficas higrófilas (saturadas) se encuentran presentes bosques de tepú (*Tepualia stipularis*) (Soto y Flores 2011). La zona es representativa de los fiordos pertenecientes a la Patagonia Norte. La otra asociación presente en la zona corresponde al “bosque de Tapa-Tineo” (*Laurelio philippianae-Weinmanietum trichospermae*). El estrato arbóreo superior se encuentra dominado por ulmo y tepa (*Laureliopsis philippiana*) entre 20 y 40 metros de altura total, en estos bosques se encuentra una ausencia absoluta de coihue de Chiloé, esto debido a que la presencia de tepa en los estratos superiores es reflejo de que estos bosques son más antiguos en contraste con el otro tipo de bosque siempreverde (Soto y Flores 2011). En ese sentido, puede catalogarse que los bosques siempreverdes de la Reserva Vodudahue en las bajas elevaciones se encuentran entre los subtipos forestales siempreverde de intolerantes emergentes y siempreverde de tolerantes (Donoso 1981).

Sobre estos bosques siempreverdes (> 600 m s.n.m.) se encuentran los bosques de coníferas dominados por alerce y bosques caducifolios dominados por lenga y ñirre (Soto y Flores 2011). Los bosques dominados por alerce se encuentran en pendientes variables (5- 60°), se presentan igualmente individuos de coihue de Magallanes, coihue de Chiloé y tineo de grandes dimensiones, también es frecuente presencia de mañío de hoja larga (*Podocarpus salignus*). La regeneración es menos abundante en estos bosques en contraste con los del tipo siempreverdes de menor elevación. El estrato herbáceo se encuentra principalmente caracterizado por helechos y arbustos de tepú (Soto y Flores 2011).

Los bosques dominados por *N. pumilio* y *N. antartica* se encuentran sobre los 1.000 m s.n.m. hasta el ecotono con la estepa altoandina (Soto y Flores 2011). Corresponden a bosques achaparrados debido a las condiciones climáticas extremas en estas elevaciones. La vegetación cambia abruptamente su fisionomía, siendo principalmente matorrales discontinuos con alturas totales < 4 metros.

2.2 Muestreo de terreno

La campaña de terreno fue desarrollada entre los meses de enero y febrero del año 2024. La metodología de terreno para el estudio está basada en las metodologías presentadas por Cottam y Curtis (1956) para el muestreo de la vegetación, y Schlatter *et al.* (2003) para el muestreo de suelos. El trazado y ubicación preliminar de los transectos y puntos se determinó mediante material cartográfico disponible otorgada por la fundación Alerce 3000, y revisión de las condiciones topográficas de la zona en la aplicación Google-Earth Pro. Para el desplazamiento logístico dentro de la reserva, se utilizó las cartografías disponibles y se ingresaron en la aplicación Avenza Maps.

2.2.1 Caracterización de los bosques

Para la caracterización general del bosque en terreno se utilizó el “método de los cuartos” de Cottam y Curtis (1956), este método se utiliza para muestreos puntuales en transectos equidistantes o para gradientes altitudinales/topográficos. Así, en cada punto de muestreo, se trazó una línea en el sentido del rumbo -principalmente norte a sur- que se lleva en la brújula, y otra perpendicular a modo de formar cuatro cuadrantes o cuartos (Donoso 2015) (figura 2).

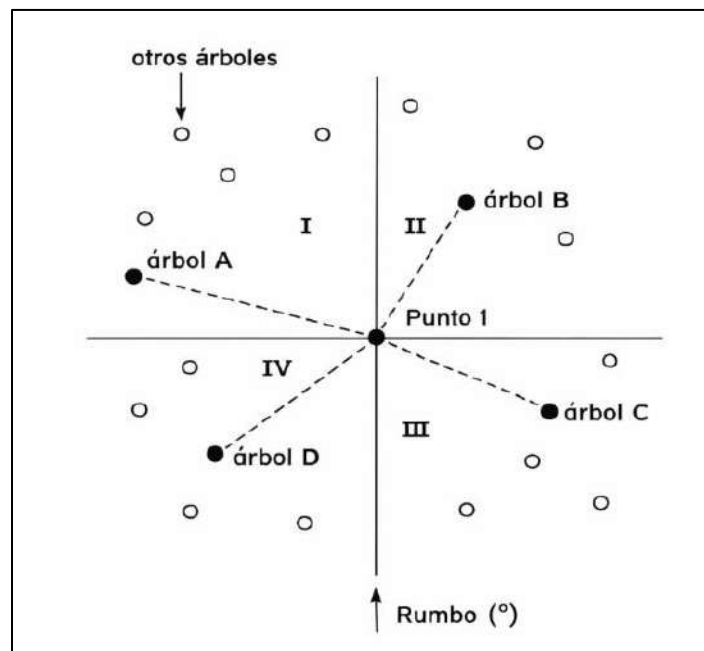


Figura 2. Demostración gráfica del método de los cuartos. Extraído de Donoso (2015).

En cada punto de muestreo se midió; la distancia entre el centro y el árbol más próximo en cada cuadrante (cuatro individuos por punto), la especie, el diámetro a la altura del pecho (\geq a 5 cm), altura total (m) y posición sociológica del individuo en base a los criterios de clasificación de copa de Kraft: emergente, dominante, codominante, intermedio y suprimido/sumergido según tolerancia a la sombra (Donoso 2014).

2.2.2 Reconocimiento de suelos

Para el reconocimiento de suelos se realizaron calicatas distribuidas en toda la zona de estudio, en función de los transectos orientados según la variación topográfica y la vegetación, de acuerdo con los criterios señalados por Schlatter *et al.* (2003). Para cada uno de los transectos, en el primer punto de muestreo se comenzó con la elaboración de un perfil de suelo a modo de caracterizar los suelos en cada transecto. Posteriormente, en los siguientes puntos se realizaron barrenados con bastón pedológico (~100 barrenados), a modo de ir constatando la variación en las características morfológicas en el suelo (profundidad total, cantidad y profundidad de horizontes, color, etc.) donde en el punto en el que se identifiquen diferencias con el perfil de suelo analizado previamente, se procede con la confección de otra calicata y toma de datos del perfil de suelo. En el sector Placeta se excavaron 26 calicatas, 06 en Sendero Tejuelero, 06 en Puerto Lizandro, y por último 05 calicatas para el sector Discovery (figura 1), teniendo un total de 43 calicatas.

La elaboración de perfiles de suelo incorporó la descripción general de la topografía, con variables tales como: forma del terreno, posición fisiográfica, ubicación en el relieve, forma de la ladera, pendiente, elevación, exposición y drenaje externo (Schlatter *et al.* 2003). Para la descripción del mantillo (horizonte orgánico) incluyó: espesor, material, estructura y arraigamiento por y subhorizonte (Oi, Oe, Oa). Para el perfil de suelo, la descripción de los horizontes minerales se determinó: profundidad fisiológica, límites, contenido de raíces finas, estructura, consistencia, pedregosidad, drenaje interno, grado de erosión y factores limitantes (Thiers 1997, Schlatter *et al.* 2003). Además, se tomaron muestras (200 a 300 gramos aproximadamente) de los horizontes de todos los perfiles de suelo para su análisis químico-nutritivo, y se tomaron muestras físicas con cilindro (100 cm³) en cada uno de los perfiles a unas profundidades estándar de 0-20 y 20-40 cm para determinación de la densidad aparente (g cm⁻³).

2.3 Análisis en laboratorio

Se analizaron química y nutritivamente cada muestra por horizonte de todos los perfiles (176 muestras) en el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales (NSF) de la Universidad Austral de Chile. Los métodos de análisis en laboratorio fueron aquellos indicados por Sadzawka et al. (2006). Se determinaron; pH por determinación potenciométrica con agua destilada, fósforo (mg kg^{-1}) determinado en solución de bicarbonato de sodio 0,5 mol/L a pH 8,5, aluminio intercambiable (mg kg^{-1}) por extracto de cloruro de potasio 1 Mol/L y determinado por espectrofotometría de absorción atómica, nitrógeno total (%) por digestión Kjeldahl, carbono total (%) determinado por oxidación mediante dicromato de potasio en medio sulfúrico, fracción de elementos extraíbles (mg kg^{-1}); calcio, magnesio, potasio, sodio, hierro, manganeso, cobre, zinc y aluminio en acetato de amonio 1 mol/L-DTPA a pH 4,8. Y densidad aparente (g cm^{-3}) (Sadzawka *et al.* 2006, Thiers y Gerding 2007). Las variables tales como suma de bases, saturación de Aluminio, capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) fueron calculadas por el NSF y entregadas junto con los resultados de los análisis químicos. Las variables morfológicas del suelo se evaluaron de acuerdo con niveles de referencia utilizados por Schlatter *et al.* (2003) y por el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales para las variables químicas (anexo 4).

2.4 Análisis de datos

Se trabajó con el programa Microsoft Excel para el almacén y tabulación de la matriz de datos, y el análisis estadístico se realizará en el software estadístico R-studio versión 4.3.2 (R Core Team 2023)⁴. Respecto a los resultados preliminares, el análisis estadístico a utilizar serán estadísticas descriptivas (media, desviación estándar, mínimo, máximo, etc.) para las características morfológicas y químicas de los suelos y la topografía asociada en cada sector.

Para la caracterización del bosque, se determinaron las variables dasométricas tales como densidad absoluta (árboles ha^{-1}), dominancia absoluta (área basal $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) y valor de importancia (%), este último corresponde a la suma de los dos parámetros mencionados más la frecuencia absoluta (frecuencia de la especie por punto de muestreo) dividido entre tres (ecuación 1), dando un resultado de valor de importancia (VI) de 100 % (Cottam y Curtis 1956, Donoso 2015).

⁴ R Core Team. 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

$$VI (\%) = \frac{\left(\frac{n_i}{N}\right) \times 100 + \left(\frac{G_{ni}}{G_N}\right) \times 100 + \left(\frac{F_i}{F}\right) \times 100}{3} \quad [1]$$

Donde:

VI = valor de Importancia (%)

n_i = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos

G_{ni} = área basal de n_i ($m^2 ha^{-1}$)

G_N = área basal de N ($m^2 ha^{-1}$)

F_i = número de ocurrencia de la especie i

F = número total de puntos

Sin embargo, para el análisis estadístico posterior, para todas las variables se utilizará principalmente estadística no paramétrica, esto a raíz de la gran variabilidad en la distribución de los perfiles (figura 1) y frecuencia de horizontes por sector. Las diferencias de las propiedades químicas-nutritivas de los suelos entre sectores se evaluarán mediante la prueba no paramétrica de comparaciones entre medianas (Kruskal–Wallis), y comparaciones múltiples *post hoc* utilizando la prueba de Dunn, donde el factor de análisis serán los sectores ($n = 4$). El nivel de significancia a utilizar para todos los análisis estadísticos será del 95% ($P < 0,05$). Las variables por comparar en el análisis son las mencionadas anteriormente en el apartado de análisis en laboratorio.

2.4.1 Análisis de componentes principales

Con el objetivo de realizar un análisis exploratorio de la base de datos que contiene variables químico-nutritivas del suelo, se llevará a cabo un análisis factorial. Este tendrá como propósito sintetizar la información de dichas variables en un conjunto reducido de nuevas variables o factores (Hair *et al.* 2019). El método de extracción de variables con el que se llevará a cabo será por medio de un análisis de componentes principales (ACP) como técnica exploratoria, la cual es ampliamente utilizada para la reducción de dimensiones y capturar la mayor varianza explicada (Cheraghi *et al.* 2025). Este análisis multivariante es utilizado en diversas disciplinas, ya que transforma variables que estén correlacionadas en variables nuevas (Parra 2022), facilitando el análisis ya que es posible descartar aquellas variables con una variabilidad muy alta y que no se agrupe en ningún componente.

Para evaluar la factibilidad del ACP, previamente se calculará el índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y test de esfericidad de Bartlett. El índice KMO permite analizar la adecuación de la muestra para la cantidad de unidades de observación que tenemos en nuestro estudio, el cual requiere un valor superior a 0,5 (Kaiser 1974). La prueba de esfericidad de Bartlett es una prueba estadística para determinar la significación global de todas las correlaciones dentro de una matriz de correlaciones (Hair *et al.* 2019), donde se evaluará con un nivel de significancia del 95%. La unidad de análisis para la construcción del ACP será el primer horizonte mineral (horizonte A) de cada uno de los perfiles de suelo, lo que resulta en un total de 43 observaciones.

Paralelamente, se utilizará como fuente de correlación entre variables el coeficiente de correlación de Spearman (r_s) (no paramétrico), el cual permite cuantificar relaciones monótonas sin asumir normalidad en los datos (Triola 2009). Se utilizará la matriz de correlaciones de este para encontrar correlaciones significativas entre variables químicas-nutritivas del suelo y la topografía.

2.4.2 Análisis de Clúster

Posteriormente se aplicará un análisis de Clúster (AC) no jerárquico. Estos análisis de conglomerados tienen el propósito de buscar grupos en función de un conjunto de observaciones (Hair *et al.* 2019). El análisis de conglomerados se realizará mediante métodos no paramétricos basados en distancias, sin asumir una distribución específica de las variables (Fernández 1991). La matriz de datos a utilizar corresponderá a las puntuaciones (eigenvalores) del ACP para las observaciones, y los componentes resultantes serán las variables que aporten a la identificación de grupos entre observaciones. Se utilizará distancia Euclídea como medida de distancia para el AC, esta corresponde a la longitud de la hipotenusa de un triángulo rectángulo. Se utilizará el método K-medoids (PAM, *Partitioning around medoids*) como método de clustering, ya que es más tolerante con posibles outliers (Hair *et al.* 2019).

3. RESULTADOS PRELIMINARES

3.1 Características topográficas por sector

En el sector Placeta, se encontraron sitios mayoritariamente en terrenos planos a ligeramente ondulados y ondulados a quebrados, en menor proporción se encontraron sitios bajos planos a ligeramente ondulados. Las posiciones fisiográficas principales en el sector fueron planos fluvio-glaciales y pendientes de piedemonte. La mayoría de las exposiciones en los puntos de muestreo fue plana o sin exposición. El rango de elevaciones varió entre 7 y 416 m s.n.m. Las pendientes variaron entre 0 y 72,4%, donde la mayoría se encontraron en laderas convexas, mientras que las laderas rectas presentaron una menor variación de pendientes.

Para el sector de Discovery se observaron solo sitios en terrenos bajos, plano a ligeramente ondulados. La única posición fisiográfica encontrada en el sector fue de plano fluvio-glacial, en los puntos de muestreo se observaron un relieve y forma principalmente plana. Los rangos de elevaciones fluctuaron entre 37 y 69 m s.n.m. Las pendientes variaron entre 0 y 13,9%, y las exposiciones fueron variables en sentido noreste, noroeste y sur. En el sector de Puerto Lizandro se observaron solo sitios en terrenos bajos, planos a ligeramente ondulados, este sector es correspondiente con la posición fisiográfica de planos fluvio-glaciales. Se registraron elevaciones entre 20 y 39 m s.n.m, y la pendiente fluctuó entre 0 y 13%, siendo en su mayoría plana.

Para el sector de Sendero Tejuelero se encontraron sitios en terrenos intermedios, altos montañosos y ondulados a quebrados, terrenos intermedios, bajos montañosos y planos a ligeramente ondulados. La posición fisiográfica dominante corresponde a la de cerros con relieves de laderas medias y bajas. Las exposiciones en los puntos de muestreo fueron norte y noreste. Los rangos de elevación fluctuaron entre 29 y 420 m s.n.m. Las pendientes variaron entre 5 y 50%, siendo el promedio de las pendientes de un 25,6%. La mayoría de los contornos de ladera en el sector fueron cóncavos, siendo solo uno convexo.

3.2 Características físicas y morfológicas de los perfiles de suelo

Los suelos presentaron profundidades fisiológicas hasta 100 cm, también se encontraron sectores con suelos delgados a muy delgados, donde la profundidad alcanzó solo 40 cm. El contenido de raíces fue abundante en los horizontes superficiales de los perfiles (20-50, >50 dm²), disminuyendo en función de la profundidad, esta tendencia fue constante para los cuatro sectores (anexo 5).

Los límites entre el primer y segundo horizonte de cada perfil variaron entre lineal claro y ondulado claro, en los horizontes más profundos los límites se vuelven más difusos, siendo para estos casos una forma de distinguir los horizontes el cambio de tonalidad entre estos. La consistencia en húmedo varió entre muy friable a friable en todos los sectores, se encontraron horizontes con una consistencia firme, pero estos se encontraron en el primer horizonte de cada sector. La estructura para los horizontes fue granular a subpoliédrica en los horizontes superficiales hasta masiva a subpoliédrica en los inferiores. La estructura subpoliédrica estuvo presente en todos los horizontes de cada sector. Se evidencia pedregosidad en algunos perfiles, el mayor porcentaje de pedregosidad se encontró frecuentemente en el segundo horizonte con valores máximos de 50%, y menor porcentaje en el primer y último horizonte para todos los sectores, excepto en Discovery (anexo 5).

Con respecto al mantillo, se encontraron subhorizontes Oi/Oe/Oa en todos los sectores, también se clasificaron en Oe/Oa para los casos en los que no fue clara su diferenciación. El espesor varió entre 3 y 18 cm, siendo el subhorizonte Oi con mayor espesor (casi 4 cm) y el Oa el más delgado con un promedio cercano a 1 cm. El material presente en los subhorizontes Oi y Oe fueron hojas, ramas, ramillas, corteza en todos los sectores y en algunos puntos se encontraron frutos. La estructura fue suelta a muy suelta en todos los sectores, como también se encontraron puntos con una estructura del mantillo densa, esta principalmente entre los horizontes Oe y Oa (cuadro 1).

Cuadro 1. Propiedades morfológicas de los matillos por sector.

Horizonte	Espesor (cm)		Material	Estructura
	$\bar{x} \pm S_x$	Min Máx		
Placeta				
Oi	3,7 ± 1,4	1,5 8,0	Hojas, ramas, ramillas, corteza, frutos	Suelta a Muy Suelta
Oe	1,7 ± 0,7	0,0 3,0	Hojas, ramas, ramillas, corteza, raíces	Suelta a Densa
Oa	2,2 ± 1,4	0,0 4,0	Raíces	Suelta a Muy Densa
Oe/Oa	1,7 ± 0,8	0,0 3,0	Hojas, ramas, ramillas, corteza, raíces	Suelta a Densa
Discovery				
Oi	3,9 ± 1,3	2,5 5,5	Hojas, ramas, ramillas, corteza, raíces, musgo	Muy Suelta, Suelta
Oe	3,0 ± 0,0	0,0 3,0	Hojas, ramillas, raíces	Suelta a Densa
Oa	3,3 ± 0,0	0,0 3,3	Raíces	Suelta a Densa
Oe/Oa	2,7 ± 1,2	0,0 4,0	Hojas, ramillas, raíces y raicillas	Suelta a Densa
Puerto Lizandro				
Oi	4,4 ± 1,7	2,0 6,5	Hojas, ramas, ramillas, corteza, frutos	Suelta a Muy Suelta
Oe	1,7 ± 0,6	0,0 2,0	Hojas, ramillas, cortezas, raíces	Suelta a Densa
Oa	2,5 ± 0,5	0,0 3,0	Raíces	Suelta a Densa
Oe/Oa	2,4 ± 1,3	0,0 4,0	Hojas, ramillas, raíces y raicillas	Suelta a Densa
Sendero Tejuelero				
Oi	3,5 ± 1,7	1,5 6,0	Hojas, ramas, ramillas, corteza, frutos	Suelta a Muy Densa
Oe	5,5 ± 5,4	0,0 15,0	Hojas, ramas, ramillas, corteza, raíces	Suelta a Densa
Oa	1,2 ± 0,9	0,0 2,0	Raíces	Suelta a Densa
Oe/Oa	2,0 ± 0,0	0,0 2,0	Hojas, raíces, raicillas	Densa

El material principal distinguible en subhorizonte Oa fueron raíces y estos presentaron una estructura suelta a muy densa en algunas condiciones (cuadro 1). El tipo de humus clasificado para los mantillos de los sitios fue *Moder Mulliforme* (Schlatter *et al.* 2003).

3.3 Características químicas del suelo

Para las características químicas de los suelos en la reserva Vodudahue, los niveles de acidez en el suelo se encuentran entre fuertemente ácidos a extremadamente ácidos (pH < 4,5) con valores mínimos de pH de hasta 3,4, esto es esperable ya que los suelos más al sur en Chile poseen valores de pH más bajos (Thiers *et al.* 2014). Respecto a los niveles de los macronutrientes en el suelo, estos repiten el mismo comportamiento, el cual corresponde a un nivel medio de sodio, potasio, calcio y magnesio en el primer horizonte mineral que disminuye con la profundidad. Los contenidos de macronutrientes (Na, K, Ca, Mg) se encuentran en términos generales en niveles bajos a muy bajos en todos los sectores. Los niveles de aluminio intercambiable son altos a muy altos con tendencia a aumentar en función de la profundidad en el perfil salvo en Discovery que presenta en el último horizonte una disminución en

comparación a los otros sectores, los niveles de aluminio intercambiable en el suelo presentaron valores máximos de hasta 4.000 mg kg⁻¹ de suelo. Esto está estrechamente relacionado con el bajo contenido de nutrientes en el suelo, ya que le otorgan una mayor disponibilidad al aluminio en zonas de intercambio. Los niveles de carbono y fósforo varían desde un nivel medio a muy alto. El contenido de carbono (%) del primer horizonte tiene un nivel alto (> 10%), el cual decae gradualmente en profundidad, sin embargo, existe un aumento en el contenido de carbono en el tercer horizonte en cada sector, con valores de contenido de carbono de hasta 24% (anexo 6).

3.4 Características de la vegetación por sector

Respecto a la vegetación en la reserva Vodudahue, en los sectores de Placeta y S. Tejuelero los bosques presentaron mayor área basal (m² ha⁻¹) y Puerto Lizandro presentó mayor densidad (2.360 árboles ha⁻¹), mientras que Discovery presentó una menor área basal y densidad de árboles por hectárea (anexo 7). En cuanto a riqueza de especies por sector, Placeta presentó mayor riqueza de especies arbóreas con un total de 16 especies, seguido de los sectores Discovery y S. Tejuelero con 13 especies y por último P. Lizandro con un total de 12; esto refuerza la idea planteada anteriormente en que estos bosques siempreverdes tienen una pérdida de especies características del siempreverde Valdiviano (p.e. *Persea lingue*, *Aextoxicon punctatum*), pero aun así conservan una alta diversidad y complejidad. En el sector P. Lizandro se encuentra la especie alerce (*F. cupressoides*), aunque esta situación corresponde a una plantación⁵.

Luma (*Amomyrtus luma*) fue la especie con mayor valor de importancia en tres de los cuatro sectores muestreados, debido a las altas densidades que tiene esta especie teniendo valores superiores a 1.000 árboles ha⁻¹ en uno de los sectores (P. Lizandro). En Placeta las especies ulmo (*E. cordifolia*), coihue de Chiloé (*N. nitida*) tuvieron altos valores de importancia, pero este valor se explica por sus áreas basales más que por sus densidades, misma situación para tino (*Weinmannia trichosperma*) y mañío hembra (*Saxegothaea conspicua*), pero estos últimos presentan un VI más bajo. Se encontraron individuos de ulmo (*E. cordifolia*) y coihue de Chiloé (*N. nitida*) de hasta 67 y 110 cm de DAP, respectivamente, pero mañío hembra (*S. conspicua*) fue la especie con mayor diámetro con individuos de más de 130 cm (figura 3A). S. Tejuelero fue el sector que presentó mayor área basal por hectárea entre todos los sectores, y tiaca (*C. paniculata*), ulmo (*E. cordifolia*), coihue de Chiloé (*N. nitida*) fueron las especies con mayor valor de importancia (anexo 7), estas dos últimas presentaron mayor área basal ha⁻¹,

⁵ Sr. Helmut Huber G. Ingeniero Forestal. Bopar, Valdivia, Chile. Comunicación personal.

y tiaca (*C. paniculata*) mayor densidad. Se encontraron individuos de canelo (*D. winteri*) y avellano (*G. avellana*) de grandes dimensiones (70 y 50 cm, respectivamente), tiaca (*C. paniculata*) dominó en los estratos intermedios e inferiores (figura 3D).

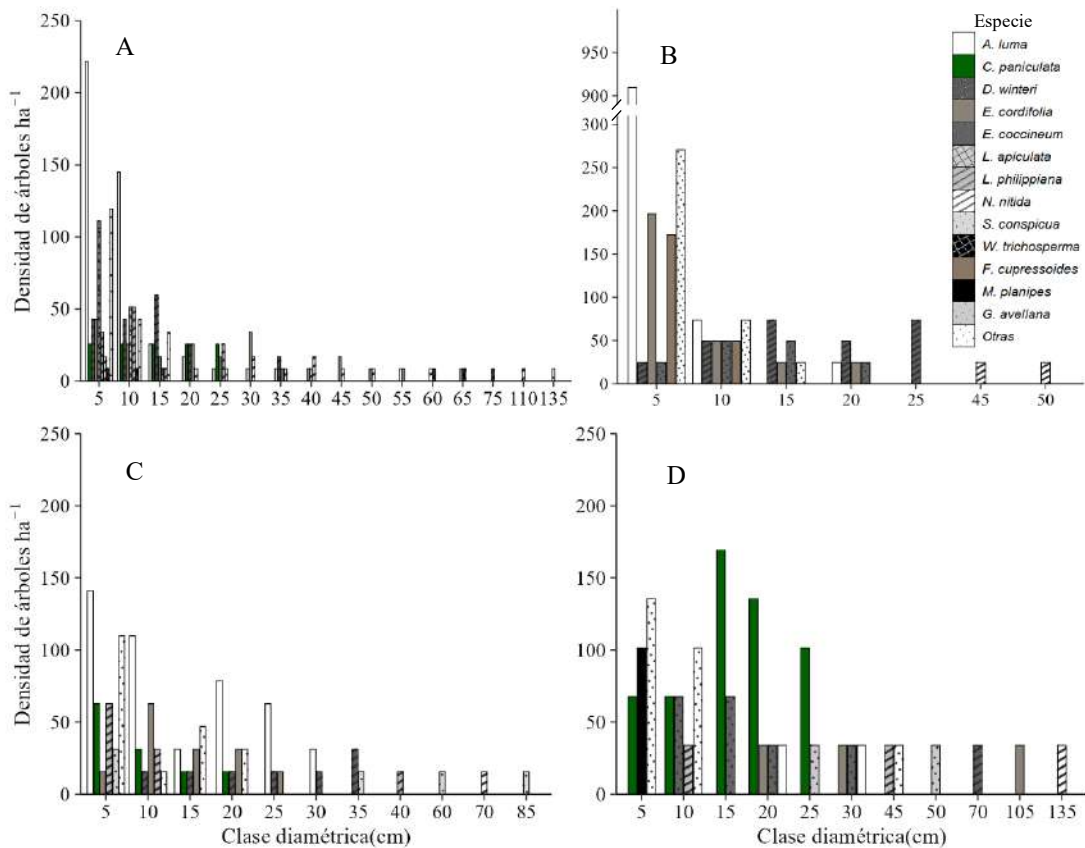


Figura 3. Distribución diamétrica por especie del sector Placeta (A), Puerto Lizandro (B), Discovery (C) y Sendero Tejuelero (D).

Para los cuatro sectores se presentan las distribuciones diamétricas de los bosques (figura 3). Placeta y S. Tejuelero presentaron una distribución de jota invertida con diámetros sobre los 100 cm (figura 3A y D). En ambos sectores se identifica un tipo de bosque multietáneo con estructura irregular, esto no es apreciable a simple vista debido a que no se incluyeron las clases sin individuos, pero esta característica de clases diamétricas ausentes en los diámetros intermedio-superiores condiciona a esta asignación. En P. Lizandro y Discovery las distribuciones diamétricas de las especies se diferencian sustancialmente con Placeta y S. Tejuelero, siendo estas también de tipo jota invertida, pero con una amplitud de clases diamétrica menor (figura 3B y C). Representando un estado de desarrollo más joven, quizás en etapa de reinicio de sotobosque para Discovery, y de exclusión fustal para Puerto Lizandro. Esto también se fundamenta con sus áreas basales, siendo 33,4 y 49,8 m² ha⁻¹, respectivamente.

4. CONCLUSIONES PRELIMINARES

A través de los análisis descriptivos iniciales de las características topografías y de los suelos de la Reserva Vodudahue, se evidencia que los suelos tienen una fertilidad baja a media, donde se observan factores limitantes como la profundidad de raíces y pedregosidad presente en el perfil, y con ello, el arraigamiento concentrado en los horizontes superficiales del suelo. Las propiedades químico-nutritivas de los suelos presentan niveles de acidez altos como también un contenido de aluminio alto.

Los resultados preliminares muestran una diferencia estructural de los bosques entre sectores. Existen bosques con un estado de desarrollo más joven a pesar de que todos los sectores tengan una distribución de J invertida. La participación de coihue de Chiloé (*N. nitida*) en estos bosques siempreverdes es notoria, demostrando su gran capacidad de establecimiento y desarrollo en sitios con diferentes calidades. Un aspecto destacable -preliminarmente- en estos bosques patagónicos es la variación en la dominancia del dosel superior en función de la exposición. En laderas con exposición sur, mañío hembra (*S. conspicua*) predomina en los estratos superiores del dosel por sobre ulmo (*E. cordifolia*). En contraste, en laderas con exposición norte se observa una inversión de este patrón, donde ulmo (*E. cordifolia*) presenta mayor dominancia relativa que mañío hembra (*S. conspicua*).

5. REFERENCIAS

- Armesto JJ, P León Lobos, M Kalin Arroyo. 1995. Los Bosques Templados de Chile y Argentina: Una Isla Biogeográfica. In: Armesto JJ, C Villagrán, M Kalin Arroyo eds. Ecología de los bosques nativos de Chile. Santiago, Chile: Editorial Universitaria, S.A. p. 23-49.
- Armesto JJ, MJ Martínez-Harms, JC Castilla, T Fuentes-Castillo. 2021. Una visión integrada de conservación para la Patagonia chilena. In: Castilla JC, JJ Armesto, MJ Martínez-Harms, D Tecklin eds. Conservación en la Patagonia chilena: evaluación del Conocimiento, Oportunidades y Desafíos. Santiago, Chile: Ediciones UC. p. 31–64.
- Astudillo L. 2022. Neotectónica de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui Entre los 39° S y los 40,5° S: Implicancias para la Evaluación de la Amenaza Sísmica. Tesis Doctor en Ciencias Geológicas. Concepcion, Chile. Facultad de Ciencias Química. Universidad de Concepción. 150 p.
- Bannister J, P Donoso. 2013. Forest Typification to Characterize the Structure and Composition of Old-growth Evergreen Forests on Chiloe Island, North Patagonia (Chile). *Forests*, 4(4): 1087-1105. <https://doi.org/10.3390/f4041087>
- Barros S. 2022. La Patagonia chilena en grandes cifras. *Ciencia & Investigación Forestal*, 28(1): 81–99. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.562>
- Besoain E. 1985. Los suelos. In: Tosso J ed. Suelos volcánicos de Chile. Primera Edición. Santiago, Chile. Talleres gráficos INIA. 712 p.
- Camarero JJ, A Fajardo. 2017. Poor acclimation to current drier climate of the long-lived tree species *Fitzroya cupressoides* in the temperate rainforest of southern Chile. *Agricultural and Forest Meteorology*, 239: 141-150. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.003>
- Cáceres N, F Meneses, J Fuenzalida, O Vidal Ojeda, J Bannister. 2024. Diagnóstico del estado actual de los bosques nativos de las islas menores de la región de Los Lagos, Chile. *Ciencia & Investigación Forestal*, 29(3): 21–44. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.597>
- Casanova M, O Salazar, O Seguel, W Luzio, 2013. The Soils of Chile. Springer Nature. Durham, NC, United States. 183 p.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL). 2025. Catastro de los Recursos Vegetacionales de Chile al año 2025. Departamento de Monitoreo. 70 p.

- Cottam G, J Curtis. 1956. The use of distance measurements in phytosociological sampling. *Ecology*, 37: 451-460. <https://doi.org/10.2307/1930167>
- Cheraghi J, M Heydari, M Rostaminia, R Omidipour, Y Kooch, DC Dey. 2025. Landscape Position and Shape as Drivers of Soil Properties and Quality Variation along Hillslope Sequences in a Semiarid Oak Forest. *Journal of Earth Science*, 36(5): 2279-2295. <https://doi.org/10.1007/s12583-023-1938-6>
- De Castilho CV, WE Magnusson, RNO De Araújo, RCC Luizão, FJ Luizão, AP Lima, N Higuchi. 2006. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of soil and topography. *Forest Ecology and Management*, 234(1-3): 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.06.024>
- Denton GH, CJ Heusser, TV Lowel, PI Moreno, BG Andersen, LE Heusser, C Schluhter, DR Marchant. 1999. Interhemispheric Linkage of Paleoclimate During the Last Glaciation. *Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography*, 81(2): 107-153. <https://doi.org/10.1111/j.0435-3676.1999.00055.x>
- Donoso C. 1981. Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Santiago, Chile: Proyecto CONAF/PNUD/FAO. 70 p.
- Donoso C. 2014. Conceptos en Ecología Forestal. In: Donoso C, ME González, A Lara eds. *Ecología forestal: Bases para el Manejo Sustentable y Conservación de los Bosques Nativos de Chile*. Valdivia, Chile. Ediciones UACH. 720 p.
- Donoso C. 2015. *Estructura y dinámica de los Bosques del Cono Sur de América*. Edición Universidad Mayor. Santiago, Chile. 406 p.
- Donoso PJ, A Promis, GA Loguercio, H Attis-Beltrán, M Casseli, LM Chauchard, G Cruz, M González-Peñalba, G Martínez-Pastur, C Navarro, P Núñez, C Salas-Eljatib, DP Soto, A Vásquez-Grandón. 2022. Silviculture of South American temperate native forests. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 52: 1-32. <https://doi.org/10.33494/nzjfs522022x173x>
- FAO (Food and Agriculture Organization, IT). 2020. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 – Principales resultados. Roma. 16 p. Consultado 3 ene. 2026. Disponible en <https://doi.org/10.4060/ca8753es>

- Fernández O. 1991. El Análisis de Clúster: aplicación, interpretación y validación. *Revista De Sociologia*, 37: 65–76. <https://doi.org/10.5565/rev/papers/v37n0.1596>
- Gerding V, O Thiers. 2002. Caracterización de suelos bajo bosques de *Nothofagus betuloides* (Mirb) Blume, en Tierra del Fuego, Chile. *Revista chilena de historia natural*, 75(4): 819-833 <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2002000400015>
- Hair J, B Babin, R Anderson, WC Black. 2019. *Multivariate Data Analysis*. 8th ed. England. Andover: Cengage Learning. 832 p.
- Hazlett P, W Foster. 2002. Topographic Controls of Nitrogen, Sulfur, and Carbon Transport from a Tolerant Hardwood Hillslope. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus 2*: 63–80. <https://doi.org/10.1023/A:1015834323946>
- Hervé F. 1984. Rejuvenecimiento de edades radiométricas en la zona de falla Liquiñe Ofqui en Aysén, Comunicaciones No. 34: 107–115.
- Hervé F. 1994. The Southern Andes Between 39° and 44°S Latitude: The Geological Signature of a Transpressive Tectonic Regime Related to a Magmatic Arc. In: Reutter KJ, E Scheuber, PJ Wigger eds. *Tectonics of the Southern Central Andes*. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 243-248
- Hillel D. 2007. *Soil in the environment: crucible of terrestrial life*. Elsevier Inc. San Diego, California, United States. 330 p.
- Innes JL. 1992. Structure of evergreen temperate rain forests on the Taitao Península, Southern Chile. *Journal of Biogeography*, 19(5): 555–562. <https://doi.org/10.2307/2845774>
- Kaiser HF. 1974. An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39(1): 31-36. <https://doi.org/10.1007/BF02291575>
- Kumi JA, M Ansong, W Asante, B Kyereh. 2022. Soil Properties Mediated by Topography Influence Carbon Stocks in a Teak Plantation in the Deciduous Forest Zone of Ghana. *International Journal of Forestry Research*, 2022:1-9. <https://doi.org/10.1155/2022/6165758>
- Lal R. 2015. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*, 7(5): 5875-5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>

- Lara A, M Amoroso, J Bannister, C Donoso, ME González, R Vargas, C Smith-Ramírez, G Arellano, ÁG Gutiérrez. 2014. Conceptos en Ecología Forestal. In: Donoso C, ME González, A Lara eds. *Ecología forestal: Bases para el Manejo Sustentable y Conservación de los Bosques Nativos de Chile*. Chile. Ediciones UACH. 720 p.
- Luzio W, M Casanova, W Vera. 2006. Génesis de suelos. In: Luzio W, M Casanova eds. *Avances en el conocimiento de los suelos de Chile (Re-edición, 2020)*. Santiago, Chile. 461 p.
- Martínez-Harms MJ, JJ Armesto, JC Castilla, A Astorga, J Aylwin, AH Buschmann, V Castro, G Daneri, M Fernández, T Fuentes-Castillo, S Gelcich, HE González, R Hucke-Gaete, PA Marquet, F Morello, L Nahuelhual, P Plissock, B Reid, R Rozzi, C Gyala, D Tecklin. 2022. A systematic evidence map of conservation knowledge in Chilean Patagonia. *Conservation Science and Practice*, 4(1): e575. <https://doi.org/10.1111/csp2.575>
- Molina C. 2016. Análisis de susceptibilidad de remociones en masa en las costas del Fiordo Comau, X Región, Chile. Tesis Geología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. 132 p.
- Mora J. 2018. Geomorfología de la sección distal de la cuenca de Vodudahue: Análisis de grupos de formas y relación con los procesos de la cuenca andina de sustentación. Tesis Geógrafo. Santiago, Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile. 77 p.
- Náquira M. 2009. Susceptibilidad de Remociones en Masa en las Costas de Fjordos Cercanos a Hornopirén, X Región. Tesis Geología. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología. Universidad de Chile. 212 p.
- Nazal N, M La Rosa, V Rojas, J Zapata. 2024. Plan de Restauración del Paisaje – Reserva Vodudahue. Fundación Alerce 3000. Consultado 18 mar. 2026. Disponible en: <https://fundacionalerce3000.com/biblioteca-de-investigaciones/#cont-investigaciones>
- Nyland RD. 2016. *Silviculture: Concepts and Applications* (3rd ed.). Long Grove, IL: Waveland Press. New York, USA. 680 p.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas, USDA). 2015. *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Consultado 10 ene. 2026. Disponible en https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf

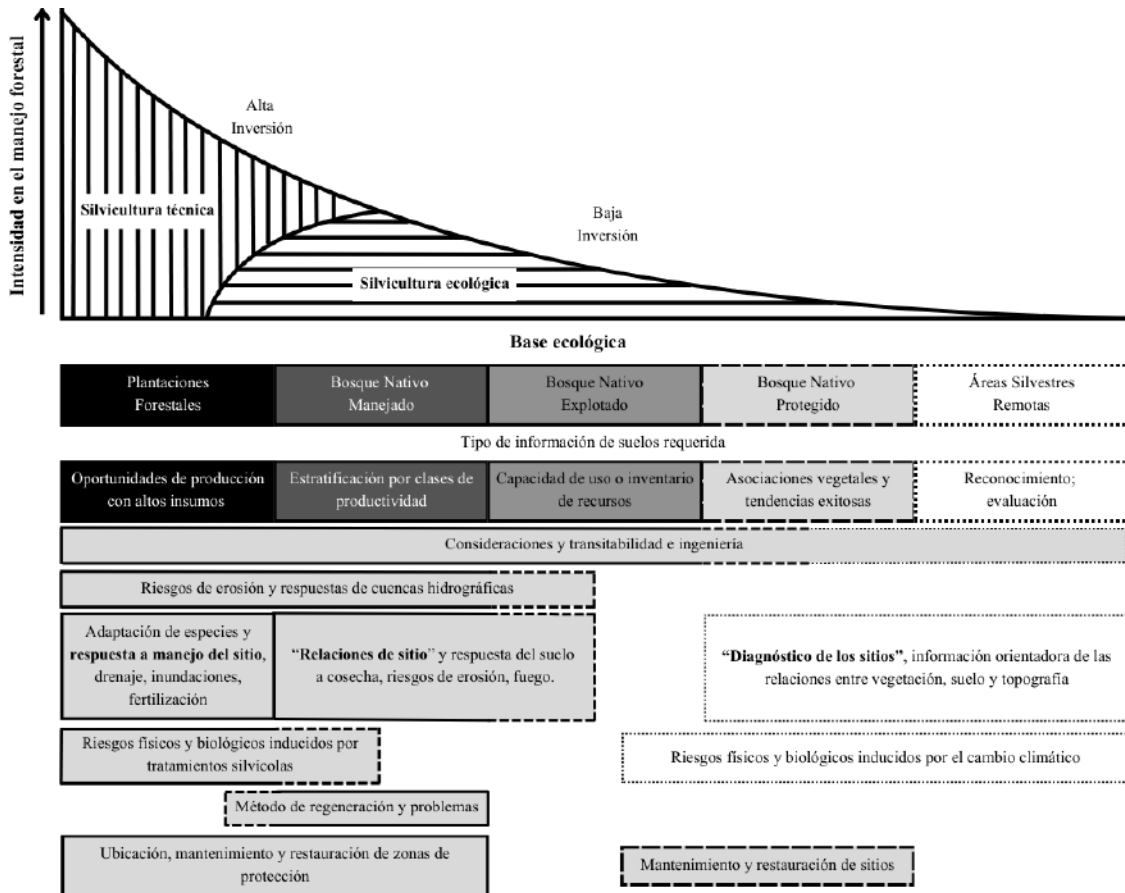
- Parra C. 2022. Almacenamiento de carbono en renovales de *Nothofagus obliqua* en el centro-sur de Chile. Tesina Ingeniería Forestal. Valdivia. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile. 47 p.
- Patton NR, KA Lohse, MS Seyfried, SE Godsey, SB Parsons. 2019. Topographic controls of soil organic carbon on soil-mantled landscapes. *Scientific Reports*, 9(1):6390. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42556-5>
- Perry DA, R Oren, SC Hart. 2008. Forest ecosystems (2nd ed.). Johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland, United States. 1680 p.
- Pliscoff P, M Martínez-Harms, T Fuentes-Castillo. 2021. Evaluación de representatividad e identificación de prioridades para la protección de los ecosistemas terrestres en la Patagonia chilena. In: Armesto JJ, C Villagrán, M Kalin Arroyo eds. Conservación en la Patagonia chilena: evaluación del conocimiento, oportunidades y desafíos. Santiago. Chile: Ediciones UC. 600 p.
- Pretzsch H. 2020. Density and growth of forest stands revisited. Effect of the temporal scale of observation, site quality, and thinning. *Forest Ecology and Management*, 460: 117879. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117879>
- Rojas V, R Neira. 2024. Establecimiento de Parcelas Permanentes en la Reserva Vodudahue, Sector La Placeta y Puerto Lizandro. Fundación Alerce 3000. Consultado 18 mar. 2026. Disponible en <https://fundacionalerce3000.com/biblioteca-de-investigaciones/#cont-investigaciones>
- Rojas Y, V Gerding, R Sagardía, E Molina. 2025. Carbono en el suelo y la biomasa aérea de bosques nativos patagónicos de la región de Aysén, Chile. *Bosque*, 46(1): 15-23. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002025000100015>
- Sadzawka R, MA Carrasco, R Grez, ML Mora, H Flores, A Neaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Santiago Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie actas INIA N° 34. 164 p. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/8541>
- Segura B, A Charrier. 2022. Línea Base de Mamíferos Anfibios y Reptiles en la Reserva Vodudahue. Fundación Alerce 3000/Fundación Chico. Consultado 18 mar. 2026. Disponible en <https://fundacionalerce3000.com/biblioteca-de-investigaciones/#cont-investigaciones>

- SERNAGEOMIN-BRGM (Servicio Nacional de Geología y Minería, CL). 1995. Carta Megalogénica Xa Región sur, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería – Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Informe Registrado IR-95-05, 4 Tomos, 10 vols., 95 mapas diferentes escañas. Santiago, Chile. 315 p.
- SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería, CL). 2003. Mapa Geológico de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Base Geológica escala 1:1.000.000.
- Simon A, EJ Reiter, F Zehetner, MF Urretavizcaya, V Alonso, GA Loguercio, F Ottner, H Walentowski. 2025. Unravelling the pedogenetic development of forest soils in Northern Patagonia, Argentina. *CATENA*, 257: 109177. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.109177>
- Soto R, L Flores. 2011. Estudio fitosociológico de la vegetación boscosa de Palena, región de Los Lagos, Chile. *Lazaroa*, 32(0): 137-151. https://doi.org/10.5209/rev_LAZA.2011.v32.37257
- Schlatter JE. 1994. Requerimientos de sitio para la lenga, *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser. *Bosque*, 15(2): 3-10. <https://doi.org/10.4206/bosque.1994.v15n2-01>
- Schlatter J, R Grez, V Gerding. 2003. Manual para el Reconocimiento de Suelos. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 114 p.
- Schlatter JE, V Gerding. 2024. Nutrición forestal. Fundamentos para la silvicultura. Valdivia, Chile. Ediciones UACH. 420 p.
- Syvitski, JP, J Shaw. 1995. Sedimentology and geomorphology of fjords. *Developments in sedimentology*, No. 53, p.113-178. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(05\)80025-1](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(05)80025-1)
- Tokuchi N, H Takeda, K Yoshida, G Iwatsubo. 1999. Topographical variations in a plant–soil system along a slope on Mt Ryuoh, Japan. *Ecological Research*, 14(4): 361-369. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.1999.00309.x>
- Thiers O, V Gerding. 2007. Variabilidad topográfica y edáfica en bosques de *Nothofagus betuloides* (Mirb) Blume, en el suroeste de Tierra del Fuego, Chile. *Revista chilena de historia natural*, 80(2): 201-211. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2007000200006>
- Thiers O, J Reyes, V Gerding, J Schlatter. 2014. Suelos en Ecosistemas Forestales. En: Ecología forestal: Bases para el Manejo Sustentable y Conservación de los Bosques Nativos de Chile. Valdivia, Chile. Ediciones UACH. 720 p.

- Thiers O. 1997. Estudio de relaciones entre los bosques de coigüe de Magallanes (*Nothofagus betuloides* (Mirb) Blume) y el suelo en Tierra del Fuego. Tesis de para optar al título de Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 101 p.
- Triola MF. 2009. Estadística. Décima edición. México. Pearson Education. 904 p.
- Weil RR, NC Brady. 2017. The Nature and Properties of soils. 15 th Edition. Nueva York, United States. Pearson. 1100 p.
- Yan X, L Feng, RP Sharma, G Duan, L Pang, L Fu, J Guo. 2024. Evaluating Forest Site Quality Using the Biomass Potential Productivity Approach. *Forests*, 15(1); 23. <https://doi.org/10.3390/f15010023>
- Zas R, M Alonso. 2002. Understory vegetation as indicators of soil characteristics in northwest Spain. *Forest Ecology and Management*, 171(1-2): 101-111. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00464-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00464-4)
- Zveushe OK, E Granda, JJ Camarero, F Dong, Y Han, V Resco De Dios. 2025. Drivers of Forest Dieback and Growth Decline in Mountain *Abies fabri* Forests (Gongga Mountain, SW China). *Forests*, 16(8): 1222. <https://doi.org/10.3390/f16081222>

ANEXOS

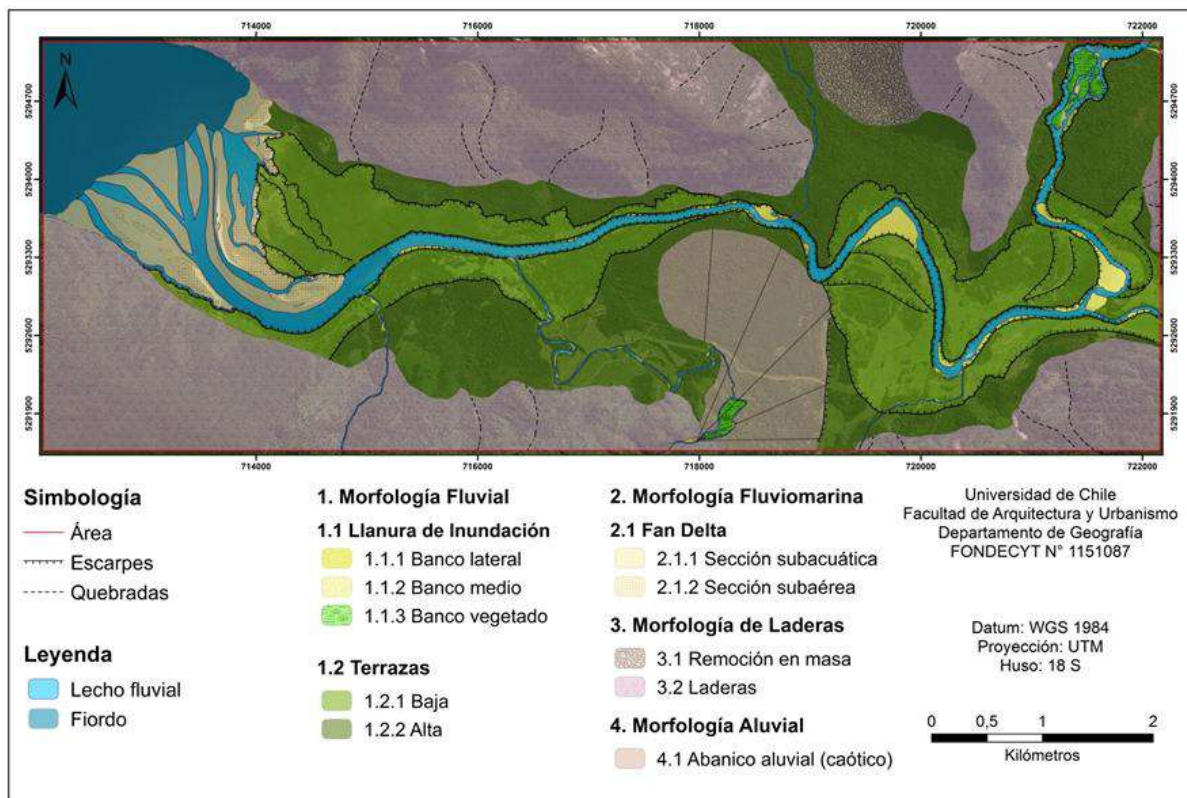
Anexo 1. Diagrama de intensidad de manejo según base ecológica y consideraciones técnicas. Fuente: Extraído y modificado de Nyland (2016).



Anexo 2. Formas Geológicas de la zona de estudio. Fuente: Extraído y modificado de SERNAGEOMIN (2003).

C. Geológico	Época	Era	Periodo	Composición	Litología
Jig	Jurásico Inferior	Mesozoico	Jurásico	Rocas intrusivas	Dioritas, gabros y monzodioritas de piroxeno, dioritas cuarzíferas y granodioritas y tonalitas de hornblenda y biotita.
Kig	Cretácico Inferior	Mesozoico	Cretácico	Rocas intrusivas	Granitos, granodioritas y tonalitas de hornblenda y biotita.
Qf	Pleistocen o- Holoceno	Cenozoico	Cuaternario	Secuencias sedimentarias	Depósitos fluviales: gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas sub-recientes y llanuras de inundación.
Ql	Pleistocen o- Holoceno	Cenozoico	Cuaternario	Secuencias sedimentarias	Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvio-glaciales, deluviales, litorales o indiferenciados.

Anexo 3. Geomorfología de la zona distal cuenca Vodudahue. Fuente: Extraído de Mora (2018).



Anexo 4. Valores químicos de referencia para análisis (Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales, Universidad Austral de Chile).

Nivel	pH (agua)	C total (%)	P	Na	K	Ca	Mg	Al (de intercambio)
(mg/kg)								
Muy Bajo	< 5,0	< 0,6	< 3	< 50	< 40	< 50	< 30	< 10
Bajo	5,1 - 5,5	0,6 - 1,5	3 - 5	50 - 120	40 - 80	50 - 200	30 - 60	10 - 25
Medio	5,6 - 6,0	1,6 - 5,0	6 - 8	121 - 240	81 - 160	201 - 500	61 - 120	26 - 50
Alto	6,1 - 7,3	5,1 - 10,0	9 - 12	241 - 360	161 - 300	501 - 1000	121 - 240	51 - 100
Muy Alto	>7,3	> 10,0	> 12	> 360	> 300	> 1000	> 240	>100

Anexo 5. Características morfológicas de los suelos por sector.

Perfil Horizonte	n	Profundidad (cm)			Límites*	Estructura*	Consistencia*	Densidad raíces**	Pedregosidad
		$\bar{x} \pm S_x$	Min	Máx					(%) $\bar{x} \pm S_x$
Placeta									
1	26	10,5 ± 4,9	4	25	ondulado claro	granular/subpoliédrica	friable a muy friable	20-50	7,4 ± 10,0
2	26	13,1 ± 4,0	6	21	ondulado claro	granular a grano simple	friable a muy friable	10-20	30,8 ± 18,5
3	25	12,8 ± 4,4	6	20	ondulado difuso	granular/subpoliédrica	friable	10-20	16,2 ± 17,8
4	21	21,2 ± 11,0	7	51	lineal claro, ondulado claro	masiva/subpoliédrica	friable	5-10	15,7 ± 17,5
5	6	18,3 ± 11,8	5	37	gradual ondulado	masiva/subpoliédrica	friable	5-10	18,6 ± 24,3
6	2	29,5 ± 0,7	29	30	-	granular a poliédrica	friable a muy friable	5-10	17,5 ± 17,6
Discovery									
1	5	7,0 ± 3,2	4	12	lineal claro, ondulado claro	granular a subpoliédrica	firme a muy friable	20-50	12,2 ± 15,5
2	5	12,0 ± 2,2	11	16	lineal claro	granular a grano simple	muy friable	5-10	39,0 ± 19,4
3	5	16,8 ± 1,9	14	19	ondulado claro	masiva/subpoliédrica	friable, muy friable	10-20	4,2 ± 1,7
4	5	13,2 ± 6,0	8	21	ondulado abrupto	masiva poliédrica	friable a muy friable	2-5	18,0 ± 11,5
5	2	13,5 ± 12,0	5	22	-	masiva/subpoliédrica	muy friable	5-10	10,5 ± 13,4
Puerto Lizandro									
1	6	7,0 ± 3,7	3	14	ondulado claro	granular a subpoliédrica	firme a muy friable	20-50	15,0 ± 17,6
2	6	13,3 ± 6,6	7	26	ondulado claro	granular a subpoliédrica	muy friable a suelto	20-50	31,6 ± 21,3
3	6	18,2 ± 6,8	9	27	ondulado Difuso	masiva subpoliédrica	friable/firme	10-20	6,8 ± 8,6
4	5	14,6 ± 6,7	7	22	irregular gradual/ondulado claro	masiva poliédrica	friable	5-10	2,6 ± 4,2
5	2	19,5 ± 4,9	16	23	-	masiva subpoliédrica	friable a muy friable	2-5	0,5 ± 0,7
Sendero Tejuelero									
1	6	12,0 ± 12,5	3	37	ondulado claro/lineal claro	granular a subpoliédrica	firme a friable	>50	9,8 ± 14,8
2	6	17,3 ± 9,3	9	35	ondulado claro/lineal claro	granular/subpoliédrica	friable a muy friable	20-50	19,1 ± 13,5
3	6	20,5 ± 6,8	15	30	ondulado difuso	subpoliédrica	friable a muy friable	10-20	11,3 ± 19,8
4	5	22,2 ± 10,5	11	36	-	masiva poliédrica	friable	5-10	0,6 ± 1,3

*Variables de límites, estructura y consistencia con parámetros **modales**

** Densidad de raíces en número dm⁻²(100 cm²)

Anexo 6. Características químico-nutritivas de los suelos por sector y por horizonte.

Perfil Horizonte	pH			C total			P Olsen			Na		
	H2O			%			mg/kg					
	$\bar{x} \pm S_x$	Min	Max	$\bar{x} \pm S_x$	Min	Max	$\bar{x} \pm S_x$	Min	Max	$\bar{x} \pm S_x$	Min	Max
Placeta												
1	4,8 ± 0,5	3,9	6,2	11,8 ± 8,7	3,5	38,6	15,0 ± 11,3	3,4	46,8	54,5 ± 41,4	15,1	176,5
2	4,7 ± 0,5	3,7	5,6	7,3 ± 5,7	0,8	28,1	5,7 ± 2,5	2,6	11,8	31,6 ± 25,7	7,8	124,9
3	4,7 ± 0,5	3,5	5,6	9,9 ± 7,7	2,3	30,8	4,9 ± 3,6	1,2	17,6	34,2 ± 22,8	7,6	91,8
4	4,9 ± 0,4	3,6	5,5	7,9 ± 5,8	1,0	24,0	5,5 ± 7,7	1,6	34,8	27,6 ± 21,2	3,7	74,2
5	4,8 ± 0,7	3,4	5,2	4,4 ± 3,2	1,4	10,2	4,9 ± 4,5	2,6	14,0	18,1 ± 10,4	5,9	31,9
6	4,9 ± 0,2	4,7	5,0	6,9 ± 2,2	5,4	8,4	2,5 ± 0,7	2,0	3,0	21,4 ± 3,4	19,0	23,8
Discovery												
1	4,9 ± 0,5	4,2	5,6	14,7 ± 5,5	10,1	23,7	16,1 ± 8,9	8,8	30,8	41,6 ± 16,4	25,2	67,6
2	4,9 ± 0,4	4,4	5,6	11,1 ± 10,6	3,5	28,9	6,0 ± 1,0	4,8	7,2	29,0 ± 7,6	19,2	38,9
3	4,6 ± 0,2	4,4	4,9	24,4 ± 8,8	17,4	37,9	4,4 ± 1,8	2,2	6,6	41,4 ± 13,4	22,4	57,9
4	5,1 ± 0,4	4,4	5,5	14,5 ± 10,0	8,2	32,0	1,7 ± 1,1	0,6	3,0	25,8 ± 16,6	15,8	55,1
5	5,6 ± 0,0	5,6	5,6	4,1 ± 0,6	3,7	4,5	1,2 ± 0,0	1,2	1,2	8,8 ± 2,0	7,4	10,2
Puerto Lizandro												
1	4,7 ± 0,6	3,9	5,4	12,0 ± 6,0	3,0	19,5	11,4 ± 4,6	2,6	15,6	36,1 ± 18,4	17,4	59,1
2	4,9 ± 0,6	4,3	5,7	5,6 ± 1,6	3,4	7,9	5,7 ± 1,4	3,4	7,4	21,3 ± 4,8	14,7	26,9
3	4,9 ± 0,3	4,5	5,4	10,2 ± 3,6	4,0	13,6	4,2 ± 1,6	1,6	6,0	26,6 ± 10,1	11,3	37,6
4	5,0 ± 0,2	4,7	5,2	9,3 ± 6,1	2,0	19,0	3,5 ± 2,4	1,4	6,6	25,6 ± 14,6	10,9	49,5
5	4,9 ± 0,1	4,9	5,0	9,2 ± 7,5	3,9	14,5	3,5 ± 1,8	2,2	4,8	22,1 ± 16,3	10,5	33,6
Sendero Tejuelero												
1	5,2 ± 0,7	4,4	6,2	9,8 ± 4,2	4,7	15,2	10,6 ± 6,5	5,8	23,2	49,8 ± 22,9	32,3	91,7
2	5,3 ± 0,4	4,7	5,9	7,4 ± 3,1	3,3	12,2	5,6 ± 3,1	3,0	11,8	32,8 ± 7,2	19,7	40,7
3	5,3 ± 0,4	4,7	5,8	10,2 ± 4,2	2,0	13,7	5,3 ± 4,1	2,2	13,4	37,1 ± 15,5	17,1	63,8
4	5,3 ± 0,3	4,9	5,7	9,4 ± 1,8	6,6	11,1	3,2 ± 1,5	2,0	5,8	37,3 ± 13,3	21,2	55,3

Perfil Horizonte	K			Ca			Mg			Al intercambiable		
	mg/kg											
	$\bar{x} \pm S_x$	Min	Max	$\bar{x} \pm S_x$	Min	Max	$\bar{x} \pm S_x$	Min	Max	$\bar{x} \pm S_x$	Min	Max
Placeta												
1	143,2 ± 96,5	35,9	376,0	458,7 ± 368,6	43	1417	99,3 ± 65,3	10,2	26,0	135 ± 78	10,8	304,0
2	62,2 ± 68,8	11,8	310,8	197,8 ± 192,3	17	843	32,6 ± 37,7	1,6	174,5	104 ± 104	22,4	484,5
3	64,0 ± 58,1	13,1	273,6	219,3 ± 284,2	14	967	40,2 ± 50,6	1,4	194,5	128 ± 196	22,9	943,0
4	46,5 ± 41,7	5,9	196,6	197,7 ± 271,4	9	1152	40,4 ± 61,0	0,5	231,3	170 ± 483	3,0	2205,0
5	47,6 ± 62,8	3,4	168,7	129,8 ± 132,2	28	371	24,6 ± 34,0	0,9	88,3	693 ± 1652	3,7	4064,0
6	24,9 ± 13,4	15,4	34,3	78,2 ± 9,3	72	85	13,8 ± 4,7	10,5	17,1	19 ± 8	13,6	24,7
Discovery												
1	110,3 ± 29,9	86,0	144,8	394,9 ± 314,1	91	904	90,4 ± 66,9	29,9	197,7	107,6 ± 56,4	26,6	181,4
2	44,7 ± 34,7	16,0	85,0	82,6 ± 57,3	28	173	19,4 ± 13,3	6,8	41,7	83,6 ± 50,3	36,0	168,7
3	54,5 ± 21,5	29,4	87,2	133,2 ± 72,9	26	218	37,7 ± 20,1	15,2	63,7	115,4 ± 58,4	37,9	186,6
4	18,3 ± 12,5	7,1	38,1	67,6 ± 42,0	11	110	15,4 ± 11,8	6,8	35,8	52,8 ± 66,2	4,0	164,2
5	5,9 ± 6,3	1,4	10,3	49,7 ± 30,8	28	72	5,0 ± 2,6	3,2	6,9	6,3 ± 3,0	4,2	8,4
Puerto Lizandro												
1	107,5 ± 66,4	10,9	208,8	762,2 ± 865,3	18	2028	138,4 ± 121,0	1,5	315,2	132,0 ± 68,5	44,4	247,8
2	39,0 ± 10,1	29,5	55,5	167,3 ± 152,4	19	430	27,5 ± 14,6	9,8	54,3	73,2 ± 23,5	28,5	94,0
3	55,0 ± 32,7	18,5	106,1	119,9 ± 93,0	18	228	30,0 ± 17,8	4,2	48,0	67,9 ± 31,0	21,8	115,7
4	37,3 ± 23,6	9,8	64,0	79,6 ± 74,8	15	207	22,8 ± 20,5	1,6	56,4	33,2 ± 21,7	8,0	54,9
5	28,1 ± 10,3	20,8	35,3	76,1 ± 32,8	53	99	20,9 ± 15,2	10,1	31,6	25,1 ± 17,8	12,5	37,7
Sendero Tejuelero												
1	143,1 ± 62,7	86,0	238,6	1278,0 ± 1039,0	93	2799	205,8 ± 174,8	42,1	516,1	45,1 ± 33,8	0,5	89,2
2	73,0 ± 31,1	40,8	121,0	336,8 ± 304,4	52	887	62,5 ± 33,8	22,0	114,6	42,1 ± 23,9	17,9	77,8
3	85,7 ± 41,0	28,8	136,8	152,7 ± 93,6	78	327	52,6 ± 21,7	15,7	74,4	46,5 ± 44,6	9,0	131,8
4	80,6 ± 37,8	29,9	132,4	110,3 ± 62,2	64	215	38,8 ± 12,1	20,7	53,0	14,4 ± 6,9	6,4	22,7

Anexo 7. Parámetros de estructura forestal de todas las especies evaluadas en los sectores de estudio. La línea punteada representa el umbral de valor de importancia de aquellas especies que tuvieron un valor inferior a 5%.

Especie	Densidad Absoluta (Árboles ha ⁻¹)	Dominancia absoluta (m ² ha ⁻¹)	Valor de Importancia (%)
Placeta			
<i>Amomyrtus luma</i>	444	8,1	20,3
<i>Eucryphia cordifolia</i>	222	18,0	16,3
<i>Nothofagus nitida</i>	102	19,2	12,0
<i>Drimys winteri</i>	188	4,9	9,4
<i>Luma apiculata</i>	171	1,2	7,6
<i>Laureliopsis philippiana</i>	128	3,8	6,7
<i>Caldcluvua paniculata</i>	128	3,7	6,2
<i>Weinmannia trichosperma</i>	43	10,0	6,2
<i>Saxegothaea conspicua</i>	17	13,0	5,8
<i>Tepualia stipularis</i>	68	0,6	2,9
<i>Gevuina avellana</i>	34	0,3	1,6
<i>Embothrium coccineum</i>	26	0,3	1,4
<i>Myrceugenia planipes</i>	26	0,3	1,4
<i>Aristotelia chilensis</i>	26	0,2	1,1
<i>Archidasphyllum diacanthoides</i>	9	0,2	0,5
<i>Lomatia ferruginea</i>	9	0,1	0,5
Total	1639	83,9	100,0
Discovery			
<i>Amomyrtus luma</i>	454	11,1	28,2
<i>Saxegothaea conspicua</i>	78	16,1	15,2
<i>Eucryphia cordifolia</i>	157	3,7	11,8
<i>Drimys winteri</i>	110	5,2	8,7
<i>Laureliopsis philippiana</i>	110	2,6	8,1
<i>Caldcluvua paniculata</i>	125	1,8	8,0
<i>Nothofagus nitida</i>	16	6,2	5,1
<i>Embothrium coccineum</i>	47	0,9	3,6
<i>Lomatia ferruginea</i>	47	0,3	3,2
<i>Gevuina avellana</i>	31	0,9	2,6
<i>Tepualia stipularis</i>	31	0,6	2,4
<i>Weinmannia trichosperma</i>	31	0,1	2,1
<i>Aristotelia chilensis</i>	16	0,1	1,0
Total	1254	49,8	100,0

Espece	Densidad Absoluta (Árboles ha ⁻¹)	Dominancia absoluta (m ² ha ⁻¹)	Valor de Importancia (%)
Puerto Lizandro			
<i>Amomyrtus luma</i>	1008	5,1	31,0
<i>Drimys winteri</i>	270	8,7	16,0
<i>Nothofagus nitida</i>	49	10,2	12,0
<i>Eucryphia cordifolia</i>	295	2,8	11,7
<i>Embothrium coccineum</i>	148	2,8	7,8
<i>Fitzroya cupressoides</i>	221	1,2	6,7
<i>Caldcluvua paniculata</i>	123	0,8	4,3
<i>Luma apiculata</i>	98	0,4	4,1
<i>Laureliopsis philippiana</i>	49	0,2	2,1
<i>Gevuina avellana</i>	49	0,4	1,7
<i>Aristotelia chilensis</i>	25	0,7	1,6
<i>Myrceugenia parvifolia</i>	25	0,1	1,0
Total	2360	33,4	100,0
Sendero Tejelero			
<i>Caldcluvua paniculata</i>	541	16,5	23,8
<i>Eucryphia cordifolia</i>	102	33,9	13,9
<i>Nothofagus nitida</i>	34	49,4	13,2
<i>Embothrium coccineum</i>	203	6,4	10,0
<i>Laureliopsis philippiana</i>	68	6,8	5,7
<i>Drimys winteri</i>	34	14,0	5,2
<i>Amomyrtus luma</i>	68	4,0	5,1
<i>Myrceugenia planipes</i>	102	0,4	5,0
<i>Gevuina avellana</i>	68	9,6	5,0
<i>Luma apiculata</i>	135	0,7	4,5
<i>Saxegothaea conspicua</i>	68	6,1	4,2
<i>Archidasyphyllum diacanthoides</i>	34	0,5	2,2
<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	34	0,1	2,1
Total	1489	148,3	100,0