



ARTÍCULO

Evaluación silvícola de bosques seminaturales de roble y pino oregón: Estudio de caso en una empresa agrícola-forestal de mediana propiedad en el centro-sur de Chile.

Burkhard Müller-Using^{1*}; Regina Petersen²; Sabine Müller-Using³

Ing. Forestal, Dr. Forest. Renovales Müller-Using Ltda., Panguipulli. burkhardmusing@yahoo.de

Ing. Forestal, Dr. Forest. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen. Petersen.regina@t-online.de

Ing. Forestal, Dr. Forest. Instituto Forestal, Sede Los Ríos. Valdivia. Chile. smuller@infor.cl

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.563>

Recibido: 08.07.2022; Aceptado 16.08.2022

RESUMEN

Se efectuó un estudio sobre la compatibilidad silvícola de las especies *Nothofagus obliqua* (roble) y *Pseudotsuga menziesii* (pino oregón) en bosques mixtos de dos estratos, específicamente rodales de roble que en estado de latizal y fustal fueron enriquecidos con pino oregón. Para ello se midió las condiciones de luminosidad en el estrato inferior de 3 fustales de pino oregón de 5-8 años de edad con distintas densidades, y se relacionó la luz relativa expresada como ISF (Indirect Site Factor) con parámetros de crecimiento en ambos estratos. Dependiendo de las condiciones de luz, se observó incrementos anuales en altura de 51 y 108 cm/año. Adicionalmente, se analizó el crecimiento en un rodal, donde el pino oregón ya tenía 26 años. En este caso la altura total los árboles de pino oregón estaba todavía lejos de la altura del estrato de los robles por lo que no ha habido competencia de copas entre las dos especies, ni tampoco se proyecta que la haya dentro de los próximos 20 años. Sin embargo, a nivel de rodal el área basal de pino oregón ya supera a la de roble, lo que indicaría la existencia de competencia por agua y/o nutrientes entre ambas especies. Esta competencia se podría reducir mediante un raleo fuerte del estrato de pino oregón, teniendo los cuidados pertinentes para no dañar el roble remanente. El seguimiento en el manejo de esta mezcla, incluyendo la corta final, debe basarse en el propósito del rodal futuro y en un análisis económico.

Palabras claves: *Nothofagus obliqua*, *Pseudotsuga menziesii*, bosques mixtos, plantación suplementaria

SUMMARY

A study was carried out on the silvicultural compatibility of *Nothofagus obliqua* (roble) and *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) in mixed forests of two strata, specifically middle-old *Nothofagus obliqua* stands that were enriched with *Pseudotsuga menziesii*. For this purpose, light conditions were measured in the lower stratum of 5-8 year old Douglas fir in 3 stands of different densities and the relative light expressed as ISF (Indirect Site Factor) was related to growth parameters in both strata. Depending on the light conditions, the annual height increase observed was between 51 and 108 cm yr⁻¹. In addition, growth was analyzed in a stand where the *Pseudotsuga menziesii* was already 26 years old. In this case, the total height of *Pseudotsuga menziesii* trees was still far from the height of the oak stratum, so there has been no danger of competition between the crowns of the two species, nor is there expected to be within the next 20 years. However, in basal area at the stand level, *Pseudotsuga menziesii* has already surpassed *Nothofagus obliqua*, which could indicate the existence of competition for water and/or nutrients between the species. This could be reduced through strong thinning of the Oregon pine stratum with the the pertinent care not to damage the remaining roble. Follow-up management of this mix, including final felling, should be based on the purpose of the future stand and an economic analysis for different options.

Key words: *Nothofagus obliqua*, *Pseudotsuga menziesii*, mixed forests, underplanting.

INTRODUCCIÓN

La cubierta forestal en el centro sur de Chile se caracteriza por la existencia de aproximadamente 1.654.880 ha de renovales del género *Nothofagus* correspondientes al tipo forestal Roble-Raulí-Coihue (CONAF, 2022), donde la especie *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. (roble) es la más importante, tanto en términos de superficie como respecto a su actual uso maderero. Al analizar su manejo forestal desde un punto de vista netamente económico, los rendimientos se consideran muy modestos frente a las altas rentabilidades que se obtienen con las especies introducidas de rápido crecimiento, establecidas en forma de plantaciones coetáneas en la misma zona (INFOR, 2021). Los renovales, como respuesta natural a disturbios, en su mayoría de origen antropogénico, normalmente no se han manejado durante los primeros decenios de su existencia. Por el contrario, en muchos casos sufren una alta presión de ramoneo por ganado.

Según el Inventario Forestal Nacional (Müller-Using *et al.*, 2013) en la región de los Ríos un 40% de los Renovales del tipo Roble-Raulí-Coigüe presentan daños por ramoneo de ganado. Recién a partir del estado de desarrollo natural de latizal, cuando atraen el interés de sus propietarios para un uso forestal. Por otra parte, sus crecimientos medio anuales (IMA) entre 10 y 12 m³/ha año (Donoso *et al.*, 1993), considerablemente inferiores a los IMA de las plantaciones con especies exóticas de coníferas, que fluctúan entre 20 y 30 m³/ha año (Espinoza *et al.*, 2017, Büchner *et al.*, 2019), han desincentivado las actividades silviculturales en este tipo de bosque nativo.

Como consecuencia de lo anterior, algunos propietarios forestales privados han favorecido la opción de crear y manejar bosques semi-naturales para mejorar el rendimiento de sus renovales (Mujica *et al.*, 2008; Müller-Using *et al.*, 2016). Esta alternativa de bosques semi-naturales no ha sido acogida por la Ley 20.283 de "Recuperación de Bosque nativo y fomento forestal", lo que se manifiesta en el hecho de que los bosques seminaturales se encuentran fuera de la definición de bosque nativo y no se aplica subsidio alguno para su manejo.

Sin bien no se consideran subsidios para incentivar el manejo de bosques semi-naturales, la Ley no prohíbe combinar especies autóctonas con introducidas en forestaciones. Es más, desde el punto de vista de la necesidad de adaptar los bosques al cambio climático, y contribuir a su mitigación mediante una adecuada captura de carbono, los bosques mixtos de especies nativas con exóticas son una alternativa que se estudia en diferentes países del mundo (Jandl *et al.*, 2019). Entre las mezclas consideradas para estos fines se encuentra la de *Nothofagus obliqua* con *Pseudotsuga menziesii*. Al respecto, una de las preocupaciones asociadas a la introducción de especies exóticas en el bosque nativo, es el riesgo de que a largo plazo se sustituyan bosques nativos por bosques de especies exóticas. Esto es una preocupación justificada, porque puede ocurrir al mezclar dos especies con diferente comportamiento competitivo, sin manejar su compatibilidad a través de medidas silvícolas adecuadas (Grosse & Müller-Using, 2008).

En el presente trabajo se estudia la compatibilidad de renovales de roble con plantaciones suplementarias de pino oregón. El ejemplo que se escogió para ello se encuentra en un fundo agrícola/forestal en la Comuna de Máfil, Región de los Ríos, donde esta mezcla forma parte del concepto silvícola desde al menos 26 años. Las hipótesis del estudio efectuado son las siguientes:

- (i) Concediéndole un adecuado avance de tiempo y ventaja de crecimiento en altura a la especie nativa, se puede hacer compatible la producción mixta de roble/pino oregón en sitios de buen crecimiento de *Nothofagus obliqua*.
- (ii) Esta mezcla específica genera un crecimiento aditivo en relación a un rodal puro de roble en el mismo sitio.

MATERIAL Y MÉTODO

Ubicación del Estudio

El siguiente trabajo se realizó en el Fundo “Brasil”, Comuna de Máfil, Región de los Ríos, donde desde hace más de 25 años su propietario, Sr. Carlos Ivars, realiza trabajos silvícolas con el fin de agregar valor económico a 150 ha de renovales de *Nothofagus obliqua* (roble) mediante la plantación de individuos de *Pseudotsuga menziesii* (pino oregón) bajo la cobertura de latizales o fustales de roble. Estos renovales de roble, eran en su mayoría de muy baja densidad debido a un proceso de regeneración natural incompleto e inhibido por la alta competencia de *Chusquea quila* (quila). Hubo también algunos rodales con alta densidad, los cuales fueron raleados fuertemente antes de enriquecerlos con pino oregón. El objetivo fue aumentar el traspaso de luz a favor de la nueva plantación, considerando además que después de la faena no sería posible ralear el estrato dominante por un largo período para evitar daños a la plantación.

La ubicación exacta del predio corresponde a las coordenadas 39°43'02,5"S; 72°59'36,7"W. Geográficamente el predio pertenece a los paisajes ondulados del Valle Central, con una altitud media de 110 msnm. Los bosques crecen sobre suelos rojos arcillosos, cubiertos por cenizas volcánicas de diferente espesor con dinámica de trumaos. El clima se caracteriza en el Cuadro 1 con datos proporcionados por la estación “Las Lomas” situada en la cercanía de Máfil. Los 3 meses estivales muy secos, con un total de sólo 16,5 mm de lluvia, indican la tonalidad mediterránea de este clima templado.

Cuadro 1. Datos climáticos de la estación Las Lomas, Máfil.

Variable	2014	2015
Temperatura (°C)	11,5	12
Mes más cálido	enero (17,6°C)	
Mes más frío	junio (7,2°C)	
Precipitaciones (mm)	1750	1800
Mes más seco	enero (0,6 mm)	
Mes más húmedo	julio (335 mm)	

(Fuente: Agromet, 2022)

Diseño Experimental

Para validar las hipótesis planteadas en la introducción, se consideró como indispensable observar el comportamiento de las plantas de pino oregón en la fase inicial de su establecimiento, es decir en su primer decenio de desarrollo, en lo posible con dos o tres diferentes niveles de luminosidad. Tales condiciones se encontraron en las siguientes situaciones representadas por las parcelas 1a, 1b, 1c, 2a y 2b.

Las parcelas 1a, 1b y 1c fueron instaladas en un fustal de roble con un estrato inferior de pino oregón de 5 años de edad. Las condiciones del estrato superior se determinaron con el método de distancia de los 6 árboles más cercanos a un punto central (Prodan, 1965). Con estas subparcelas se abordó 3 condiciones de área basal (AB) y se midió 18 diámetros del fustal. Dentro de estas parcelas de radio variable se seleccionó al azar 25 plantas de pino oregón para determinar sobre cada una de ellas su situación de luminosidad. Con ello se abordó la gama de situaciones lumínicas en el rodal, ya que el grado de cobertura en este fustal era disperejo. A cada planta se le midió además parámetros dasométricos. Los datos mencionados permitieron correlacionar las situaciones de luminosidad con el crecimiento de las plantas.

El mismo procedimiento se aplicó en el segundo set de parcelas. La parcela 2a se estableció en un fustal de roble aparentemente más ralo, que había sido plantado con pino oregón hacía 8 años. La parcela 2b, a su vez, se instaló en un rodal colindante, en una plantación de pino oregón de la misma edad, pero

contando sólo con sombra lateral de los rodales de roble circundantes, faltando sombra vertical. Con este diseño se incluyó tanto a las oscilaciones de luminosidad al interior de dos rodales, como a las diferencias en intensidad de sombra debido a diferentes densidades a nivel de rodal.

También era de interés conocer como continúa el desarrollo de esta mezcla al avanzar su desarrollo, por lo cual se buscó el estado más avanzado de estas plantaciones mixtas en el predio. Estas condiciones se encuentran representadas en un fustal grueso de roble, en el cual el pino oregón ya se encontraba en la fase de desarrollo de latizal. Ahí se localizó la parcela 3.

Mediciones de Luz

En la investigación silvícola se usa desde hace más de 30 años el método de fotografías con un objetivo súper gran angular, denominado “ojo de pez”, para medir la luz que traspasa la cobertura de copas e incide sobre las plantas del sotobosque (Wagner, 1994). Con una cámara fotográfica se toman fotos hemi-esféricas (ángulo de 180°), en blanco y negro, desde el interior del bosque hacia arriba, en dirección perpendicular al suelo. En estas fotos aparece un mosaico de puntos negros (mini-aperturas en el dosel por las que se ve el cielo y que salen en negro en el negativo) y puntos entre gris y blanco que representan los espacios donde hojas o ramas interceptan la luz que viene del exterior. Con estas imágenes y algoritmos publicados en la literatura pertinente se determina el factor indirecto de sitio o ISF (Indirect Site Factor). Las tomas se realizan en condiciones de luz indirecta, eso significa con el cielo homogéneamente cubierto de nubes o, con cielo sin nubes antes del amanecer. En el presente trabajo se usó el aparato “Solariscope” fabricado por la empresa Behling en Alemania y que calcula directamente el ISF. De este modo se pudo avanzar rápidamente con las 25 tomas por parcela y guardar digitalmente los valores requeridos para su posterior uso.

Datos Dendrométricos

Las mediciones de crecimiento en altura y grosor se efectuaron de forma clásica, con altímetro Suunto, forcípula y huincha métrica.

En las parcelas 1 y 2 se midió las alturas de los robles y de las 25 plantas de pino oregón con mediciones de ISF. Además, se midió los brotes terminales (años 2016 – 2017) para conocer el incremento anual en altura, realizado bajo las condiciones de luminosidad actuales. En la parcela 2a y 2b adicionalmente se midió el grosor de 2 ramas de tamaño medio. También se midió los diámetros a altura de pecho (DAP) de los robles incluidos en las parcelas establecidas con el método de Prodan⁴. La edad de los renovales de roble en todo el predio era de aproximadamente 60 años, ya que hubo una cosecha total de los rodales de roble de la generación anterior dentro de un solo año y la generación actual proviene en su mayoría de rebrotes como respuesta a esa cosecha. Para comprobar esta información se extrajo tarugos de árboles de ambas especies en la Parcela 3, a 1,3 m de altura. El análisis de estos tarugos se efectuó en el Instituto de Investigación Forestal del Noroeste de Alemania en Göttingen. Las demás edades de pino oregón se obtuvieron estudiando las respectivas bitácoras de la empresa.

En el caso de la parcela 3 se midió los últimos tres segmentos de crecimiento en altura, en tres árboles volteados con este fin.

Para establecer la significancia en los datos entre subparcelas se realizó un análisis de significancia a través de pruebas t de Student.

⁴ Las parcelas de Prodan son un tipo de parcela que incluye a los 6 árboles más cercanos a puntos de muestreo. En cada punto se mide la distancia al sexto árbol y los diámetros de éste y de los 5 árboles más próximos al punto.

RESULTADOS

Análisis Silvícola

Los resultados de las mediciones de luz y crecimiento en la parcela 1 se presentan en el cuadro 2.

Se encontró que el fustal de roble a sus 60 años de edad y 33 m²/ha de área basal, dejó traspasar un 19% de la luz exterior. Bajo estas condiciones lumínicas las plantas de pino oregón de 5 años de edad mostraron un incremento anual en altura de 50,5 cm entre 2016 y 2017.

La variación de los parámetros medidos en el colectivo de las 25 plantas de pino oregón fue moderada en altura total (17,1%), amplia en el incremento anual en altura (25,9%) y muy amplia en la luz transmitida que estaban recibiendo las plantas (51,3%).

Cuadro 2. Parámetros dasométricos y luminosidad en la parcela 1.

Parámetro	Roble	Pino oregón	Desv. Estándar (Coef. Variación) Pino oregón
Edad (años)	60	5	
Altura total (m)	32,8	1,97	0,337 (17,1%)
Nº de árboles	139	700	
DAP (cm)	46	0,93	0,302 (32,5%)
AB (m ² /ha)	33		
Largo último brote (cm)		50,5	13,096 (25,9%)
Luminosidad (ISF)		19%	9,750 (51,3%)

La dependencia que mostraron las 25 plantas de pino oregón, en sus parámetros Incremento anual del último brote, DAP y altura total, en relación a las respectivas mediciones de luminosidad (ISF) se documenta en las Figuras 1a, 1b y 1c.

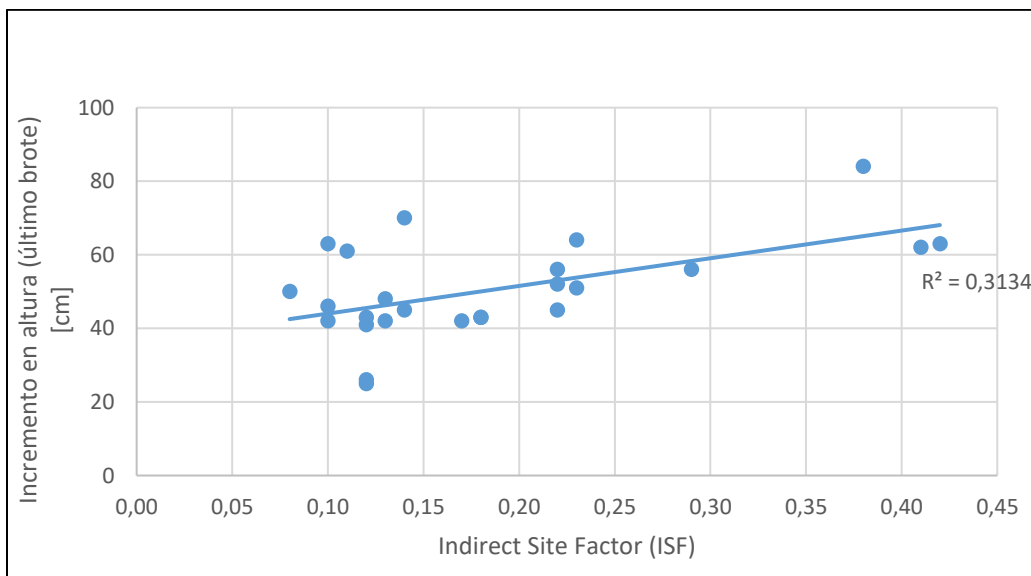


Figura 1a. Regresión lineal entre incremento del último brote e ISF en pino oregón en la parcela 1.

La regresión entre los largos del último brote y los valores ISF muestra alta significancia (0,0004 de probabilidad de error). De la variación total 31% se explican por el factor "luminosidad recibida". Otro factor importante puede ser la altura de las plantas al momento de la plantación hace 5 años, ya que una planta de buen desarrollo en el vivero suele mostrar mejor desarrollo en altura durante los primeros años. Sin embargo, estas alturas iniciales de las plantas se desconocen.

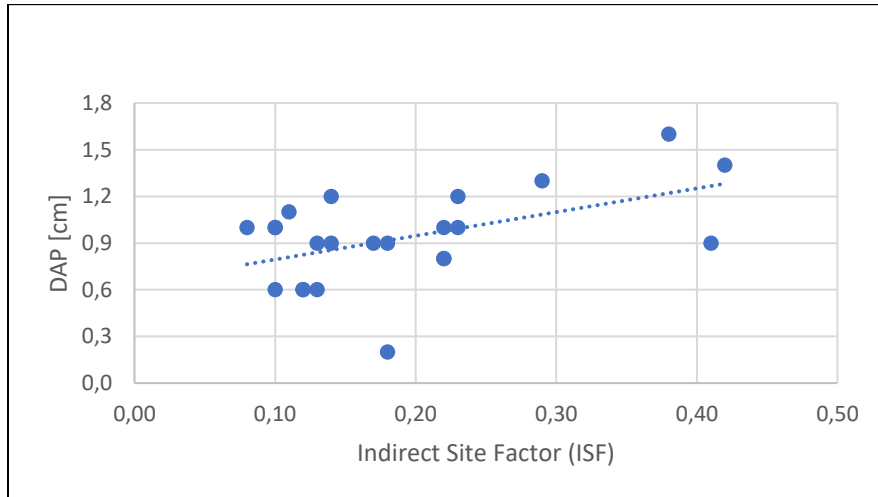


Figura 1b. Regresión lineal entre DAP e ISF en pino oregón en la parcela 1.

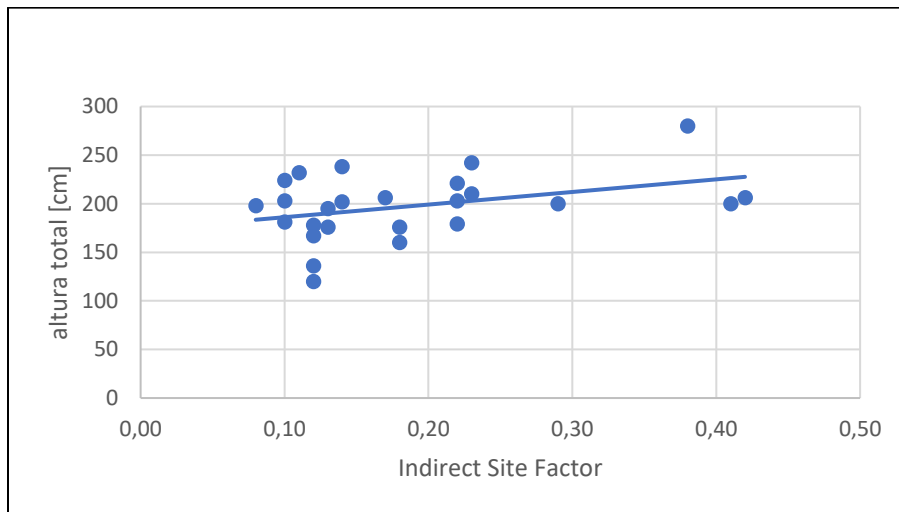


Figura 1c. Regresión lineal entre altura total e ISF en pino oregón en la parcela 1.

Los parámetros DAP y Altura total también muestran dependencia significativa de las condiciones de luminosidad recibida (ISF), pero en menor grado (Coeficientes de determinación (R^2) de 0,25 y 0,14 respectivamente).

El objetivo de incluir las parcelas 2a y 2b fue el de ampliar la gama de luminosidad, al tratarse de un rodal aparentemente más ralo que en la parcela 1 y con una sección de la plantación de pino oregón sin cobertura de robles, pero con sombra lateral desde los bordes de un renoval alto. Los resultados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3 Caracterización del bosque en las Parcelas 2a (con cobertura) y 2b (sin cobertura).

Parámetro	Roble	Pino oregón			
		Con cobertura	Desv. Estándar	Sin cobertura	Desv. Estándar
Edad (años)	59	8	-	8	-
Altura total (m)	25,4	5,28	0,67		
Nº de árboles	270	700		700	
DAP (cm)	33,7	5,48	0,99	6,24*	0,77
AB (m ² /ha)	24,1			7,26*	1,01
IPA dap últimos 20 años (mm)	7,4				
Largo último brote (cm)		81,4	12,50	107,88*	12,53
Diámetro promedio ramas (cm)		1,29	0,301	1,67*	0,246
Luminosidad (ISF)		33%		60%	

* Diferencia estadísticamente significativa respecto a parcela con cobertura.

El fustal de roble donde se instaló la parcela 2a se encuentra en el mismo rango de edad (promedio de 59 años según conteo de los anillos en los tarugos, tomados a 1,30 de altura) que el rodal de las parcelas 1, pero cuyo crecimiento en altura ha sido más lento. El área basal también es inferior, lo que explica un valor de traspaso de luminosidad más alto (33% contra 19% en las parcelas 1). La mayor densidad puede ser resultado de una menor mortalidad, debido a la mayor transmisión lumínica del dosel dominante.

El largo promedio de los últimos brotes del colectivo de las 25 plantas de pino oregón (81,4 cm) es muy superior a los valores correspondientes de la parcela 1 (50,5 cm), lo que se atribuye a la mayor luminosidad. En la Figura 2a se muestra la relación entre el incremento en altura del último año y los valores ISF. La correlación es menor que en la parcela 1 ($R^2 = 0,313$ en parcela 1 contra $R^2 = 0,142$ en parcela 2a), lo que puede deberse a que la incidencia del factor luz en el incremento en altura, en este rango de luminosidad, ya es menos importante. Sin embargo, la dependencia es todavía significativa.

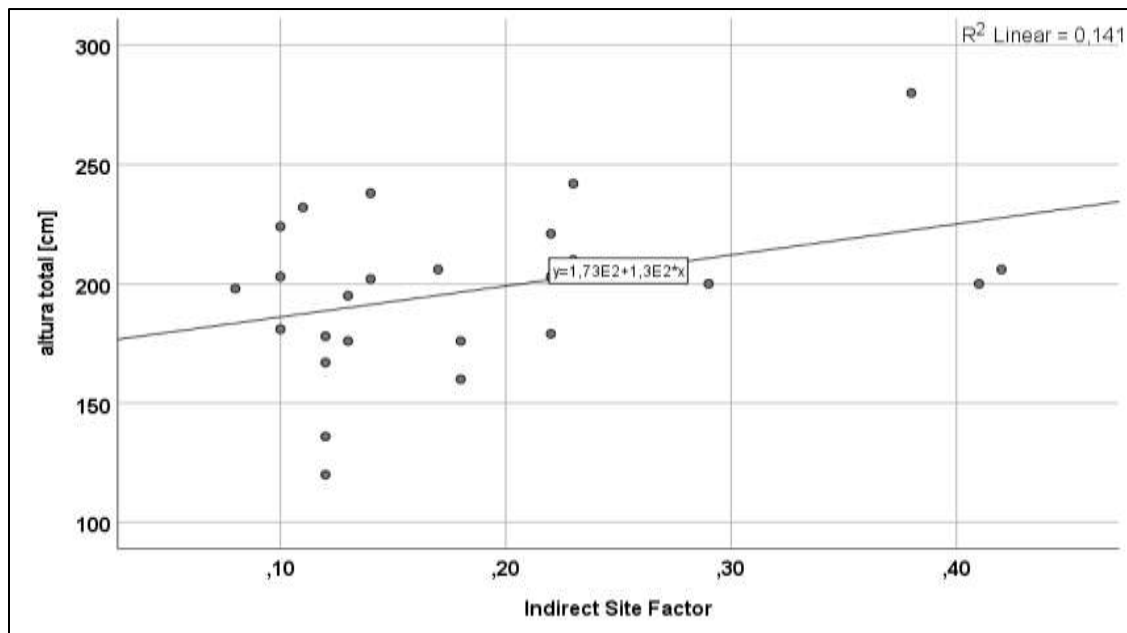


Figura 2a. Regresión entre el largo de los brotes terminales de 25 plantas de pino oregón y los respectivos valores ISF.

Esta tendencia se acentúa aún más si se compara el colectivo “con cobertura” con el colectivo de las plantas “sin cobertura” (Parcela 2b). Con un nivel lumínico de 60% de la luz exterior las plantas de pino oregón parecen liberadas de los frenos impuestos por la sombra. En esta subparcela todos los parámetros de crecimiento muestran superioridad significativa en comparación a la condición de luminosidad del 33% en la parcela 2a (con cobertura).

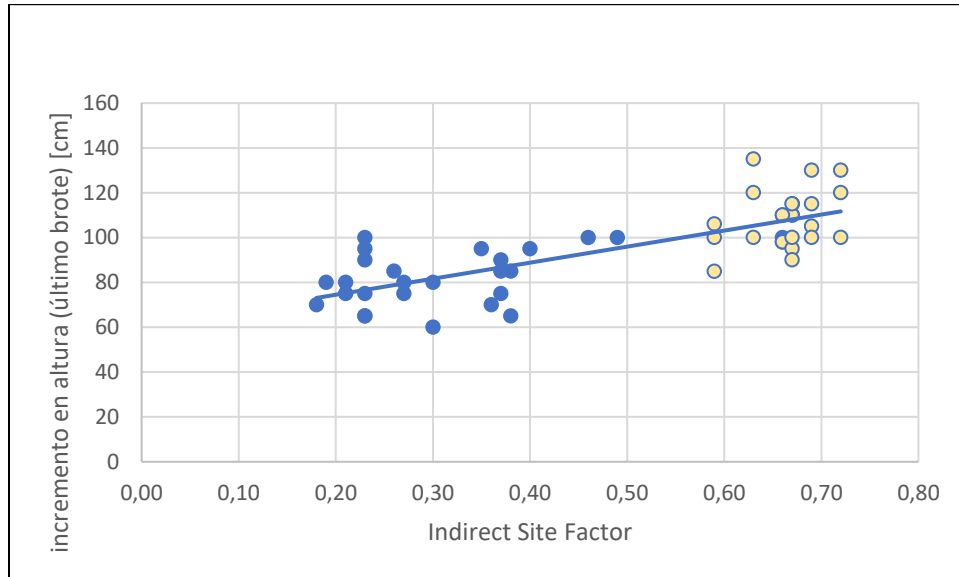


Figura 2b. Relación largo últimos brotes vs. ISF en la Parcela 2. Puntos azules: bajo cobertura puntos amarillos: sin cobertura.

Además de la relación del largo del último brote, altura total y DAP con el ISF, se estudió también la relación del ISF con los parámetros “grosor de ramas” y “esbeltez de fustes” en árboles jóvenes de pino oregón (Figuras 3a y 3b).

Las ramas son significativamente más finas cuando pino oregón crece bajo cobertura que cuando crece a plena luz (Figura 3a). El “grado de esbeltez” o relación entre altura total y DAP, se considera como un índice de estabilidad; esta estabilidad se mostró significativamente más alta en la parcela sin dosel que en aquella con dosel (Figura 3b).

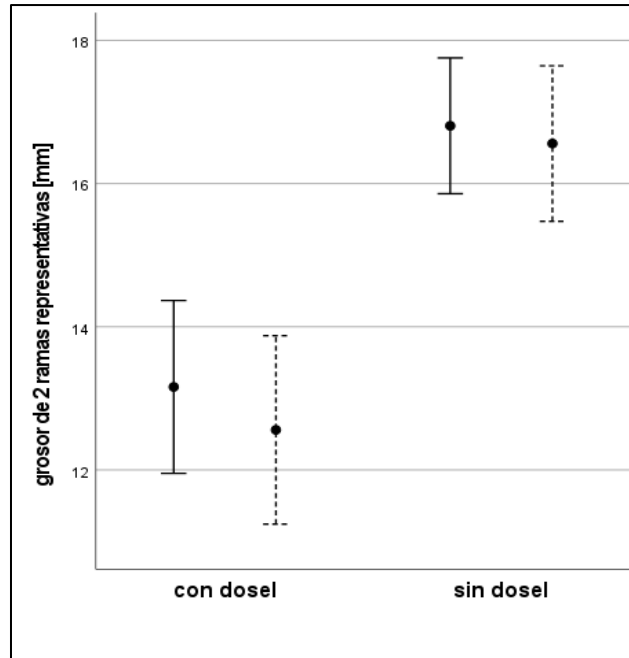


Figura 3a. Diámetro de las dos ramas más gruesas en pino oregón bajo dosel y sin dosel.

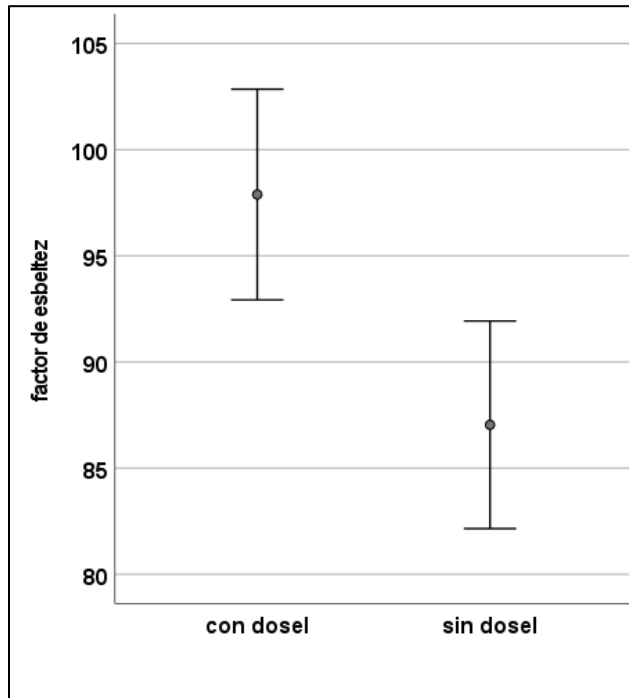


Figura 3b. Grados de esbeltez en árboles jóvenes de pino oregón bajo dosel y sin dosel de roble en la parcela 2.

La parcela 3 se seleccionó para observar la convivencia de las dos especies en mezcla a largo plazo. Los resultados dasométricos, tanto del estrato dominante de roble como para el segundo estrato formado por pino oregón se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Caracterización del bosque mixto de roble y pino oregón en la parcela.

Parámetro	Roble	Pino oregón Con cobertura	Total
Edad (años)	60	26	
Altura total (m)	33	17	
Nº de árboles	99	700	
DAP (cm)	46	22	
AB (m ² /ha)	16,5	25,4	41,9
Volumen utilizable (m ³ /ha)	202	158	360
Incremento periódico anual DAP (últimos 5 años)	5	8,3	
Incremento periódico anual Altura (últimos 4 brotes)		59,5	

Una importante observación es que la mezcla no muestra competencia por luz de parte del pino oregón hacia el roble. El pino oregón, con una altura promedio de 17 m, está lejos de inhibir las copas de los robles, que forman el estrato superior con una altura promedio de 33 m. En número de árboles y en área basal, la participación de roble es más baja que en los rodales 1 y 2. El pino oregón, con su edad de 26 años, ya ha superado significativamente el AB de roble. Es posible que esta masa del segundo estrato ya compita con los robles por agua y nutrientes, debido a que aumenta la intercepción de lluvia y tiene su propio consumo de agua, necesario para haber acumulado la biomasa en este segundo estrato. En la parcela 1 y 2 se demostró el efecto del roble en el crecimiento en altura del pino oregón. Resulta arbitrario calificar la acumulación de biomasa del pino oregón como enteramente aditivo en estos bosques semi-naturales, porque es probable que la creciente competencia por agua y nutrientes generada por el pino oregón haya limitado la densidad de roble, especialmente en los estratos inferiores.

Una curva de las alturas sobre los respectivos diámetros (Figura 4) permite analizar con más detalle la estructura del estrato compuesto por el pino oregón.

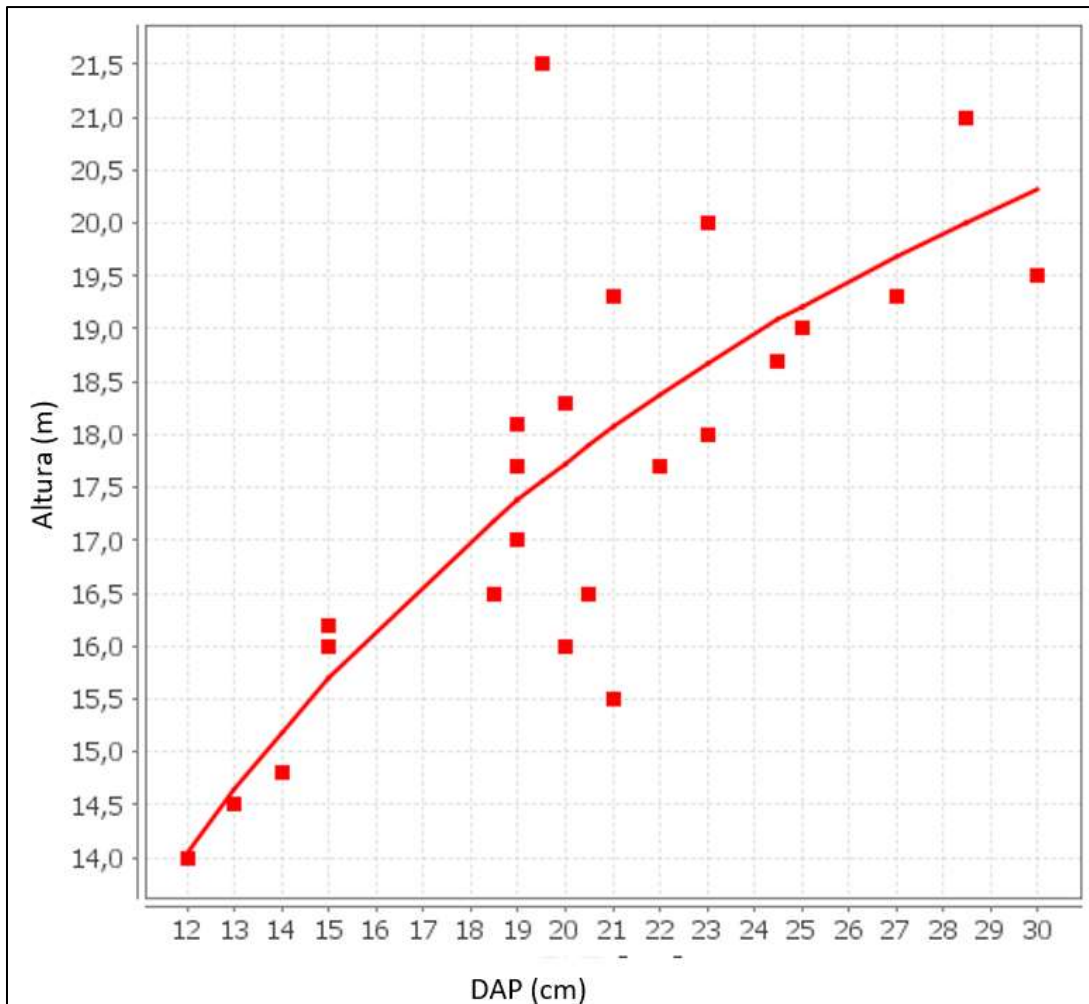


Figura 4. Curva de alturas de una muestra de 25 árboles de pino oregón en la Parcela 3

Al contrario de las fases juveniles del pino oregón en las parcelas 1 y 2, el latizal de 26 años muestra una muy fuerte variación en los parámetros de altura y dap (Figura 4). Las alturas en este colectivo van desde 14 a 21,5 m y los dap desde 12 a 30 cm. Esto es reflejo de una competencia intra-específica entre los individuos de pino oregón, que con alrededor de 700 árboles/ha y un área basal de 25 m²/ha, ha ido alcanzando un grado de ocupación considerable del sitio. Otro factor que puede jugar un rol es la heterogeneidad en densidad del dosel de roble, encima del estrato del pino oregón.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente estudio confirma la clasificación de *Pseudotsuga menziesii* como una especie “semi tolerante”, tal como es informado por [Bartsch et al. \(2020\)](#). Su crecimiento en altura bajo el estrato de roble depende de cuanto luz atraviesa las copas del estrato superior. Bajo las condiciones de sitio aquí estudiadas y con un nivel de alrededor de 20% de la luz exterior, aún alcanza un incremento en altura de 0,5 m/año. Este desarrollo moderado es deseable en el contexto de competencia cuando se encuentra en mezcla con roble. De esta forma se evita que la conífera sobrepase a mediano o largo plazo a la especie latifoliada, riesgo que corre esta mezcla si se plantan las dos especies al mismo tiempo ([Grosse y Müller-Using, 2008](#)). Otra ventaja del desarrollo moderado de pino oregón se evidencia en la comparación del grosor de las ramas que se efectuó en las Parcelas 2a (ISF 33) y 2b (ISF 60). Los diámetros de rama en estas parcelas eran significativamente más bajos que en una plantación de pino oregón sin dosel superior

de roble. Este parámetro es importante para la clasificación cualitativa de los trozos. Algo parecido reportan Siebert *et al.* (2003). Estos autores observaron un desarrollo más fino de las ramas de pino oregón bajo la semi sombra de árboles de *Acacia melanoxylon* al compararlas con lo observado en plantaciones puras.

La tolerancia a la sombra de una especie no es constante en el tiempo a través de las distintas edades (Coopman, 2009) y depende de las condiciones de sitio. Mientras más favorable es el sitio para una especie, más tolerancia muestra a la sombra dentro de su posible rango de respuesta (Röhrig *et al.*, 2006). Como las condiciones de sitio en el área de Máfil son muy favorables, puede ocurrir que, bajo condiciones más pobres, el nivel de ISF alrededor de 20% ya genere una severa y silvícolamente indeseable disminución del crecimiento.

En este estudio se pudo comprobar que hasta una edad de 60/26 años (roble/pino oregón), la conífera se encontraba todavía 13 m debajo de la altura de los robles. Esto significa que al proyectar la actual tasa de incremento anual (60 cm/año) no habría competencia entre las copas de los dos estratos dentro de los próximos 20 años. Al contrario, en el espacio de las raíces, pino oregón sí podría ejercer alguna competencia hacia roble, la cual se podría acentuar en el tiempo, puesto que a la edad 26 años ya ha formado un área basal de 25 m²/ha.

En base a estas cifras se pueden hacer las siguientes conclusiones y recomendaciones para un escenario de futuro manejo: pino oregón con un DAP de 22 cm a la edad de 26 años necesita aún tiempo para alcanzar un nivel de productos satisfactorio, por lo cual se propone dejar crecer el estrato al menos 10-20 años más antes de cosechar. Tanto para su propio desarrollo como para suavizar un efecto negativo sobre el roble (competencia en el estrato de las raíces) se aconseja realizar un raleo en el estrato de pino oregón. El roble, teniendo 60 años de edad y un DAP de 46 cm - si fuera puro – ya hubiera llegado a su diámetro meta, es decir su fase de madurez económica, como lo definieron Müller-Using *et al.* (2021). Sin embargo, cosecharlo en esta fase provocaría enormes daños en el segundo estrato. Se recomienda entonces, también desde este punto de vista, dejar intacto este bosque mixto entre uno a dos decenios más. Llegado el momento, el proceso de la cosecha empezaría con la eliminación del estrato de pino oregón, dejando los árboles de roble para su regeneración natural. Esta faena requerirá un alto grado de planificación y la instalación de vías de saca para evita daño en los robles remanentes. Con este procedimiento se garantiza que la siguiente generación siga siendo de bosque nativo y el enriquecimiento con una especie exótica haya sido solo transitoria, evitando el riesgo de una sustitución no deseada. Para recomendaciones más precisas con respecto a la edad óptima de la corta final debe emprenderse un análisis económico de la opción silvícola aquí descrita.

REFERENCIAS

- Agromet. (2022).** Red Agroclimática Nacional. Datos históricos. En: <https://www.agromet.cl>
- Bartsch, N., von Lüpke, B. & Röhrig, E. (2020).** Waldbau auf ökologischer Grundlage. 8. Edición, P. 152. Editorial Eugen Ulmer. Stuttgart. 676 p. <https://doi.org/10.36198/9783838587547>
- Büchner, C., Martin, M., Sagardía, R., Rojas, Y., Bahamondez, C. Guzman, F., Barrientos, M. et al. (2019).** Disponibilidad de madera en plantaciones de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Regiones Araucanía, Los Ríos, Los Lagos 2019 – 2049. Instituto Forestal. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/30351>
- CONAF. (2022).** Reportes estadísticos de los catastros vegetacionales (CONAF) para: Arica y Parinacota, Biobío y Magallanes (2015), Tarapacá (2016), Antofagasta (1997) y Atacama (2018), Coquimbo, Araucanía y Los Ríos (2014), Valparaíso, Metropolitana, Libertador Gral. Bernardo O'Higgins y Los Lagos (2013), Maule (2016) y Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo (2011). Revisados y estandarizados en 2018. En: <https://simef.minagri.gob.cl/herramientas/reporte-estadistico-ver>, Consulta: julio, 2022.
- Coopmann, R. (2009).** La paradoja de una umbrófila dominante del dosel: Cambios funcionales del aparato fotosintético y la estructura del tallo de *Nothofagus nitida* que explican la transición de plántula umbrófila obligada a umbrófila facultativa durante su ontogenia. Tesis doctoral Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 153 p.

- Donoso, P., Monfil, T., Otero, L. & Barrales, L. (1993).** Estudio de Crecimiento de plantaciones y renovales manejados de especies nativas en el área andina de las Provincias de Cautín y Valdivia. *Ciencia & Investigación Forestal*, 7(2): 253-287. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.1993.188>
- Espinoza, M., Acuña, E., García, J., Rodríguez, R. & Rubilar, R. (Ed.). (2017).** Silvicultura de Bosques plantados con fines productivos. Editorial Universitaria de Concepción. Concepción, Chile. 397 p.
- Grosse, H. & Müller-Using, B. (2008).** Mezclas coetáneas de especies del género *Nothofagus* y Pino oregón. En Bosques seminaturales, una opción para la rehabilitación de bosques degradados. Infor/Gobierno de Chile/Innova-CORFO. Valdivia. Pp: 67-88.
- INFOR. (2021).** El Sector forestal chileno 2021. Santiago. 52 p.
- Jandl, R., Spathelf, P., Bolte, A. & Prescott, C. (2019).** Forest adaptation to climate change - is non-management an option? *Ann. For. Sci.*, 76, 48. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0827-x>
- Müller-Using, S., Martin, M., Siebert, H., Müller-Using, B., Uribe, J.L. & Rojas, Y. (2013).** Antecedentes y Herramientas para la Regeneración del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe. Reporte de Prácticas silvícolas 2013. Informe Técnico 197. INFOR. 50 p.
- Müller-Using, B., Uhde, B., Varas, A., Cabrera, J., Cuevas, W. & Gonzáles, D. (2016).** The mixture of *Nothofagus* species with *Pseudotsuga menziesii* in South Central Chile. *Forstarchiv*, 87(6):175-181.
- Müller-Using, S., Rojas, Y. & Martin, M. (2021).** Una propuesta para la definición de un diámetro meta para los renovales de roble (*Nothofagus obliqua*) *Ciencia & Investigación Forestal*, 27 (3): 49-61. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.553>
- Mujica, R., Grosse, H. & Müller-Using, B. (Ed.). (2008).** Bosques seminaturales, una opción para la rehabilitación de bosques degradados. INFOR, Gobierno de Chile, Innova/CORFO. ISBN 978-956-318-012-01. Valdivia, 165 p.
- Prodan, M. (1965).** Holzmesslehre. Editorial Sauerländer's. Frankfurt. 323 p.
- Röhrig, E., Bartsch, N. & von Lüpke, B. (2006).** Waldbau auf ökologischer Grundlage 7. Edición, P. 99. Editorial Eugen Ulmer, Stuttgart. 479 p.
- Siebert, H., von Einsiedel, A. & Truchsess, A. (2003).** Mejoramiento de la calidad fustal en plantaciones de *Pseudotsuga menziesii* al crecer en asociación con *Acacia melanoxylon*. *Bosque*, 24(3): 75-83. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002003000300008>
- Wagner, S. (1994).** Strahlungsschätzung in Wäldern durch hemisphärische Fotos: Methode und Anwendung. Ber. Forschungsz. Waldökosysteme Uni Göttingen A123.