



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERÍA FORESTAL

**EFFECTO DEL FOTOPERIODO Y VENTILACIÓN DEL MEDIO DE CULTIVO
EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE PLÁNTULAS DE QUILLAY (*Quillaja*
saponaria Mol.) PRODUCIDAS A RAÍZ CUBIERTA**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de
Concepción para otorgar al título profesional de Ingeniero Forestal

POR: José Raimundo Schadebrodt Bahamonde

Profesores Guía: Manuel Sánchez Olate
Darcy Ríos Leal

Marzo, 2025

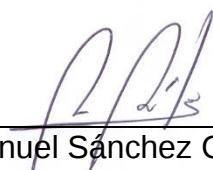
Concepción, Chile

© 2025, José Raimundo Schadebrodt Bahamonde

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

**EFFECTO DEL FOTOPERIODO Y VENTILACIÓN DEL MEDIO DE
CULTIVO EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE PLÁNTULAS DE QUILLAY
(*Quillaja saponaria* Mol.) PRODUCIDAS A RAÍZ CUBIERTA**

Profesor Guía

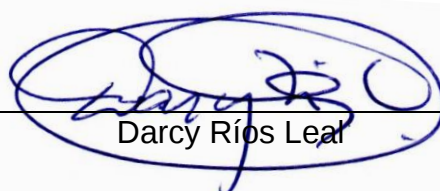


Manuel Sánchez Olate

Profesor Asociado

Ingeniero Forestal, Dr.

Profesor Guía



Darcy Ríos Leal

Profesor Titular

Profesora de Biología y Química, Dra.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA.....	5
2.1 Caracterización de las semillas.....	5
2.2 Capacidad germinativa.....	6
2.3 Esterilización del sustrato.....	7
2.4 Diseño experimental.	8
2.4.1 Variables por medir.....	10
2.4.2 Análisis de Datos.....	10
III. RESULTADOS	11
3.1 Factor primario	12
3.2 Factor secundario.....	13
3.3 Interacción Fotoperiodo y Ventilación.	14
IV. DISCUSIÓN	18
V. CONCLUSIONES	21
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	23
VII. APÉNDICE	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de significancia del ANOVA realizado.	12
--	----

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Set de cámaras de germinación de condiciones semicontroladas.....	8
Figura 2. Cámaras de germinación con condiciones controladas. Véase el mecanismo de control de ventilación en la zona superior de la cámara y el control de drenaje en la parte inferior de la bandeja.....	9
Figura 3. Efecto del fotoperiodo sobre la altura de las plántulas.....	13
Figura 4. Efecto de la ventilación sobre la altura de las plántulas.....	14
Figura 5. Efecto de la interacción del fotoperiodo con la ventilación sobre la altura de las plántulas.	16
Figura 6. Desarrollo del crecimiento semanal en altura.	16

RESUMEN

La presente investigación evalúa el impacto del fotoperiodo y la ventilación en el crecimiento inicial de plántulas de Quillay, una especie arbórea endémica de Chile, conocida por sus propiedades farmacológicas. Debido a la alta demanda y la disminución de su población, se hace necesario optimizar las condiciones de cultivo para su propagación.

El estudio se realizó en condiciones controladas, utilizando un diseño experimental factorial que incluye cuatro niveles de fotoperiodo (4, 8, 12 y 18 horas) y cinco niveles de ventilación (0, 25, 50, 75 y 100%). Se analizaron parámetros como la viabilidad de las semillas, la capacidad germinativa y la altura de las plántulas.

Los resultados mostraron una viabilidad del 98% y una capacidad germinativa del 58%. Se observó que un fotoperiodo de 18 horas promovió el mayor crecimiento en altura de las plántulas, mientras que la ventilación no mostró un efecto significativo en este aspecto. La interacción entre fotoperiodo y ventilación sugirió que condiciones óptimas de luz son cruciales para el desarrollo inicial de las plántulas.

Este estudio proporciona información valiosa para mejorar las prácticas de manejo en viveros y contribuir al éxito de los programas de reforestación de Quillay, proponiendo que un fotoperiodo de 18 horas es el más favorable para su crecimiento. Se recomienda realizar investigaciones adicionales para explorar otros factores que puedan influir en el desarrollo de esta especie.

ABSTRACT

This research evaluates the impact of photoperiod and aeration on the initial growth of Quillay seedlings, an endemic tree species of Chile, known for its pharmacological properties. Due to the high demand and the decrease of its population, it is necessary to optimize the cultivation conditions for its propagation. The study was carried out under controlled conditions, using a factorial experimental design including four levels of photoperiod (4, 8, 12 and 18 hours) and five levels of aeration (0% to 100%). Parameters such as seed viability, germination capacity and seedling height were analyzed.

The results showed a viability of 98% and a germination capacity of 58%. It was observed that a photoperiod of 18 hours promoted the greatest growth in seedling height, while aeration did not show a significant effect on this aspect. The interaction between photoperiod and aeration suggested that optimal light conditions are crucial for initial seedling development.

This study provides valuable information to improve nursery management practices and contribute to the success of Quillay reforestation programs, proposing that a photoperiod of 18 hours is the most favorable for its growth.

Further research is recommended to explore other factors that may influence the development of this species.

I. INTRODUCCIÓN

El Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.), perteneciente a la familia Quillajaceae es una especie arbórea endémica de la zona central de Chile, se destaca por su importancia tanto ecológica como económica. Este árbol, es conocido por sus múltiples usos farmacológicos de sus principales metabolitos secundarios (saponinas triterpénicas), que avalan su uso en: (i) la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica, por sus propiedades fisicoquímicas, (ii) la producción de vacunas veterinarias y humanas (Delporte *et al.*, 2021), (iii) en la forestación, reforestación y conservación de suelos debido a su capacidad para mejorar la estructura del suelo y prevenir la erosión.

Debido a la alta demanda por corteza de quillay, principal fuente de saponinas, y al cambio de uso de los suelos quillayeros, se disminuyó la existencia de árboles adultos. Esto motivó el desarrollo de un programa silvícola y de manejo forestal completo para esta especie, respaldado por un programa de propagación (Prehn *et al.*, 2003). La propagación de Quillay mediante semillas es una práctica común en los programas de reforestación y viveros. Sin embargo, el éxito en la germinación y el establecimiento inicial de las plántulas puede verse afectado por varios factores ambientales, entre los cuales el fotoperiodo es de particular relevancia. En la naturaleza, las plantas inician su receso vegetativo cuando las horas luz a las que está expuesto su follaje disminuye. En vivero, la disminución

natural o artificial de la cantidad de horas luz es un factor importante en el inicio del proceso de endurecimiento. Acortamientos del fotoperiodo de 12 a 8 h, entre otros, induce una mayor lignificación en el tallo de las plantas y genera un aumento en el contenido de carbohidratos solubles totales en el follaje (Zapata 1999, Sánchez-Olate et al., 2003).

En las cámaras de germinación una variable importante, en la germinación de las semillas y el desarrollo de los cultivos, es la ventilación, no sólo por el aporte de CO₂ sino también por el control de temperatura (Marinelli *et al.*, 2016), tema importante a la hora de planificar la producción de plantas en cualquier vivero.

Los viveros forestales se definen como sitios destinados a la producción de plantas forestales, en donde se les proporciona todos los cuidados requeridos para ser trasladadas al terreno definitivo de plantación. Se supone que el viverista puede tener un completo control del cultivo durante el tiempo de la producción de plantas (Jimenez, 1994). A su vez, el método de producción de plantas a raíz cubierta normalmente permite obtener la planta en un menor tiempo y con buenos resultados, al desarrollarse en un ambiente controlado, en el interior de un invernadero y/o en el exterior con un sistema de protección alternativo (Quiroz *et al.*, 2009).

Para el inicio de la viverización es importante conocer las características de la germinación de una especie determinada, puesto que ellas ofrecen una primera

información respecto a la calidad de las semillas, el poder germinativo de las semillas y permiten estimar su valor potencial para la siembra en vivero. Estimar un porcentaje de germinación y emergencia no basta para expresar la calidad de una semilla, sino más bien es necesario conocer su calidad fisiológica a través de la determinación de la viabilidad, la capacidad y la energía germinativa (Rodriguez *et al.*, 2008; Catie. 2000).

El índice de Czbator es utilizado para evaluar objetivamente los resultados de las pruebas de germinación. En esta fórmula, se combinan dos puntos bien definidos que se obtienen fácilmente de cualquier prueba de germinación que es el porcentaje de germinación máxima alcanzada y la velocidad media de germinación (Czbator 1962).

Con los antecedentes de calidad de la semilla, se pueden establecer programas de viverización eficientes en la fase inicial, también conocida como fase de establecimiento. Las fases de cultivo posteriores (Fase de Pleno Crecimiento y Fase de Endurecimiento) otorgan más importancia a las condiciones del cultivo que al germoplasma. En este contexto, entender cómo el fotoperiodo y la ventilación afectan el crecimiento inicial de Quillay es crucial para optimizar las condiciones de cultivo en viveros y asegurar el éxito de los programas de reforestación y restauración ecológica.

El objetivo del presente estudio es evaluar el efecto del fotoperiodo y la ventilación en el crecimiento inicial de plántulas de Quillay producidas a raíz cubierta. Para ello, se llevaron a cabo experimentos bajo condiciones controladas de diferentes regímenes de luz y oscuridad. Se analizaron parámetros clave como la altura de las plántulas y el desarrollo radicular. Los resultados obtenidos proporcionaron información valiosa para mejorar las prácticas de manejo de esta especie en viveros y contribuyen al conocimiento sobre la influencia del fotoperiodo en plantas leñosas.

Se presentan y analizan los resultados obtenidos, comparando el impacto de los diferentes regímenes de fotoperiodo en los parámetros estudiados. Además, se discuten las implicaciones de los hallazgos para la producción de plántulas de Quillay y se proponen recomendaciones para futuras investigaciones y prácticas de manejo en viveros.

II. METODOLOGÍA

2.1 Caracterización de las semillas

Se realizó un análisis detallado de las características físicas de las semillas provenientes del predio Natahue el cual se encuentra ubicado en el kilómetro 5,1 de la Ruta Nacional 888, en la Comuna de Quillón, Provincia del Diguillín Región del Ñuble ($36^{\circ} 47' S$ y $72^{\circ} 26' O$), Chile.

Las semillas que colectaron directamente del fruto, seleccionando aquellas intactas y completamente formadas.

Las semillas colectadas fueron remojadas por 24 h en agua potable a temperatura ambiente, periodo al final del cual se eliminaron aquellas semillas que flotaban, denominándose “semillas vanas”, seleccionando para continuar el experimento aquellas semillas que se hundieron, denominadas “semillas llenas” (Apéndice 1). De ese lote, se utilizaron 200 semillas para el Test de Viabilidad al tetrazolio, remojando las semillas en una solución de Cloruro de tretazolion, al 5%, durante 24 hrs. Al final del periodo, se contabilizaron las semillas viables, es decir, aquellas que presentan actividad metabólica en los tejidos embrionarios, cualidad que se expresa mediante la tinción color rosa. (Apéndice 2).

2.2 Capacidad germinativa

Para determinar la capacidad germinativa de las semillas, se utilizó una cámara germinativa Jacobsen® en la cual, se establecieron 4 sets, en cada set se dispuso un disco de papel filtro de forma circular sobre un soporte plástico, y debajo de este, un papel rectangular y alargado que alcanzaba el agua de la cámara, la cual se encontraba a una temperatura de 25 °C y que mediante capilaridad sube hasta el disco, facilitando la humectación de las semillas. En cada set se colocaron 50 semillas de quillay, totalizando 200 semillas. Cada set fue cubierto con un cono de teflón translucido que funciona a manera de invernadero (Apéndice 3).

La germinación diaria se registró contabilizando y eliminando aquellas semillas cuya radícula alcanzó un largo igual a 2,5 veces el tamaño de la semilla. De los registros se obtuvo la germinación acumulada diaria y la Capacidad Germinativa al final del ensayo de 28 días. La Energía Germinativa se obtuvo calculando el Índice Czbator, expresado como el máximo valor resultante de la media diaria de germinación acumulada, dividida por el día de registro (Apéndice 5).

2.3 Esterilización del sustrato

Para el estudio de crecimiento de plántulas según la duración del fotoperiodo y la tasa de ventilación de la bandeja, se utilizó sustrato de compost de corteza de pino. La esterilización se llevó a cabo en un horno a una temperatura aproximada de 60°C durante 48 horas, con el objetivo de eliminar cualquier posible patógeno presente en el sustrato (Apéndice 6).

El ensayo de crecimiento inicial se realizó en cámaras de crecimiento con control de fotoperiodo y ventilación (Figura 1). Cada grupo de 5 cámaras tienen control de intensidad lumínica, fotoperiodo y ventilación. La intensidad lumínica y el fotoperiodo se controla mediante un sistema led, mientras que la ventilación se regula a través de 4 perforaciones circulares de 5 mm de diámetro, localizadas en la parte superior. La parte superior es una cubierta transparente sobre la cual se encuentra las 4 perforaciones circulares móviles que facilitan el intercambio gaseoso entre las cámaras y el exterior. Dichas perforaciones se pueden cerrar o abrir manualmente, para generar ventilación al 0, 25, 50, 75 y 100%; equivalentemente a 0, 1, 2, 3 y 4 perforaciones abiertas respectivamente.



Figura 1. Set de cámaras de germinación de condiciones semicontroladas.

La base de las cámaras presenta una bandeja con 12 cavidades de 50 cc de volumen, y una perforación basal que facilita el drenaje en caso de riego en exceso.

2.4 Diseño experimental.

Se utilizó un diseño factorial de 2 factores. El Factor Principal fue el fotoperíodo, a 4 niveles (4, 8, 12 y 18 horas de luz a una intensidad lumínica de 620 nm).

El Factor Secundario, estuvo representado por el control de la ventilación en 4 niveles: 0, 25, 50, 75 y 100%, correspondiente a la apertura 0, 1, 2, 3 o 4 perforaciones circulares móviles ubicadas en la parte superior de la cámara (Figura 2).



Figura 2. Cámaras de germinación con condiciones controladas. Véase el mecanismo de control de ventilación en la zona superior de la cámara y el control de drenaje en la parte inferior de la bandeja.

Para el análisis del efecto del fotoperiodo, la Unidad Experimental estuvo compuesta por una cámara de germinación conteniendo 12 plántulas (1 por cavidad), repetidas 4 veces.

Para el análisis del efecto de la ventilación, la unidad experimental fue una cámara de germinación conteniendo 12 cavidades con una plántula cada una, repetidas 5 veces, para cada condición de fotoperiodo.

2.4.1 Variables por medir

Mediante mediciones semanales se registró el crecimiento de plántulas, utilizando regla metálica marca Staedler®, con una precisión de 1 mm.

Para todos los efectos y debido a limitantes de las cámaras de germinación, el experimento duro sólo hasta el término de la fase de Establecimiento del cultivo e inicios de la Fase de Pleno Crecimiento, coincidiendo con el máximo espacio permitido por las cámaras (10 cm).

2.4.2 Análisis de Datos

Los valores registrados para la altura de plántulas fueron sometido a análisis estadístico mediante ANOVA. Las diferencias entre tratamientos fueron identificadas mediante Test de Tukey (Steel *et al.*, 1985), con un nivel de confianza de 95%.

III. RESULTADOS

La prueba de tetrazolio arrojó un resultado del 98% de viabilidad, lo que indica que casi todas las semillas del lote analizado contenían embriones vivos y potencialmente capaces de germinar bajo condiciones adecuadas. Sin embargo, la capacidad germinativa, que mide el porcentaje de semillas que efectivamente lograron germinar bajo las condiciones del ensayo, fue considerablemente menor, alcanzando solo un 58%. Esto sugiere que, a pesar de la alta viabilidad, factores como dormancia, condiciones ambientales o calidad fisiológica de las semillas pudieron limitar la germinación. Además, la energía germinativa, que refleja el porcentaje de semillas que germinaron de manera rápida y uniforme durante los primeros días del ensayo, fue del 24,5% al día 7. Este valor indica que menos de una cuarta parte de las semillas germinaron con rapidez, lo que podría estar relacionado con una baja vigorosidad del lote o condiciones no óptimas para un inicio homogéneo del proceso. Finalmente, el índice de Czabator, que combina la velocidad y la uniformidad de germinación, fue de 3,5 al día 7. Este valor relativamente bajo confirma una germinación lenta y poco sincronizada, lo que refuerza la idea de que las semillas enfrentaron limitaciones para germinar de manera eficiente, a pesar de su alta viabilidad inicial.

Se realizó un ANOVA a los datos de alturas que se obtuvieron semanalmente, los cuales presentan los resultados que se encuentran en la Tabla 1, donde se

observa que el factor fotoperiodo y la interacción entre los dos factores es significativo en cambio el factor ventilación no posee significancia, esto se podría derivar de la estructura de las bandejas utilizadas, ya que, el mecanismo quizás es muy sencillo.

Tabla 1. Valores de significancia del ANOVA realizado.

Factores	<i>p</i> -valor
Factor Fotoperiodo	2e-16
Factor Ventilación	0,13274
Fotoperiodo: Ventilación	0,00108

3.1 Factor primario

Según los resultados, el efecto del fotoperiodo sobre el desarrollo inicial de las plántulas (Figura 3) muestran que, para 4 horas de luz, la altura promedio de las plántulas es la más baja, con un valor cercano a 1,01 cm, mientras que para fotoperiodos de 8 y 12 horas las alturas promedio son similares, (en torno a 2,5 cm), con pequeñas diferencias no estadísticamente significativas entre estos dos niveles de fotoperiodo. En cambio, para un fotoperiodo de 18 horas la altura promedio alcanza el valor más alto, aproximadamente 5 cm.

A medida que aumenta el fotoperiodo, se observa un incremento en la altura de las plántulas. Un fotoperiodo de 18 horas es de mejores resultados para el crecimiento en altura, generando una respuesta significativamente mayor en comparación con los otros niveles evaluados. Las plántulas sometidas a fotoperiodo más cortos (4 horas) muestran un crecimiento limitado, probablemente debido a una insuficiencia de luz para satisfacer sus requerimientos fotosintéticos.

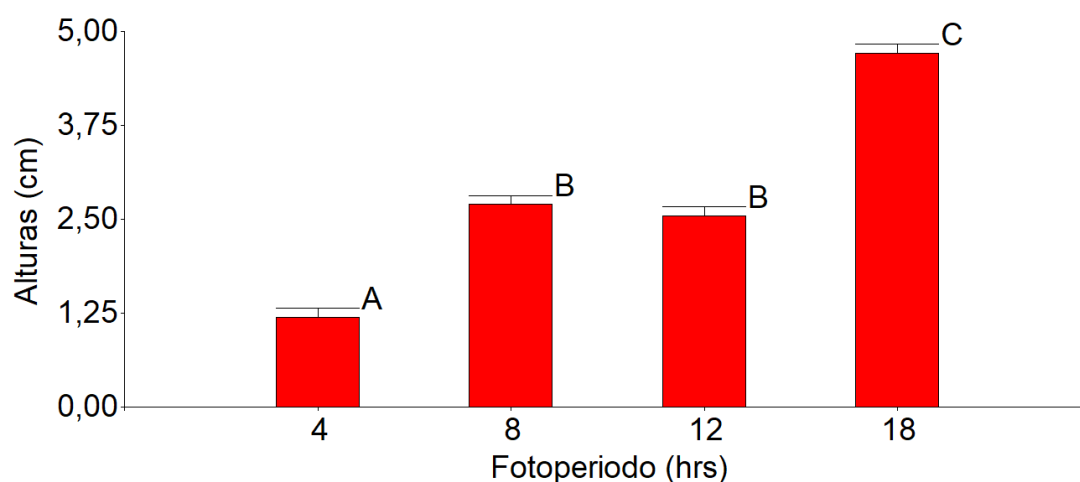


Figura 3. Efecto del fotoperiodo sobre la altura de las plántulas.

3.2 Factor secundario

Los resultados del efecto de los diferentes niveles de ventilación sobre la altura de las plántulas (Figura 4) indican grupos homogéneos (letras A sobre las barras),

es decir, tratamientos que no presentan diferencias significativas entre sí en cuanto a la altura de las plantas. De la misma forma, es posible hacer notar que no hay una relación entre el aumento de la ventilación y crecimiento en la altura, y que la respuesta es más bien errática, sin que se puede explicar mediante este experimento.

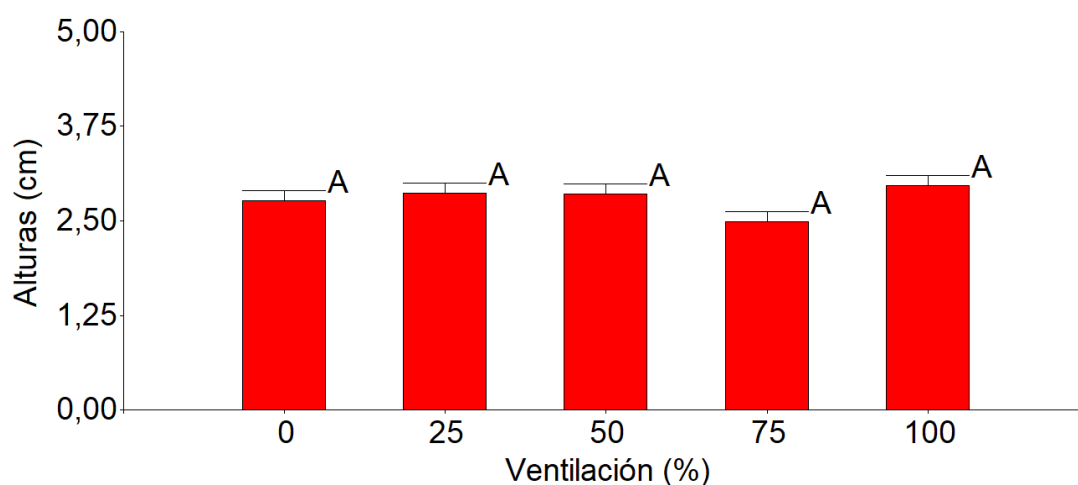


Figura 4. Efecto de la ventilación sobre la altura de las plántulas.

3.3 Interacción Fotoperiodo y Ventilación.

El gráfico presentado analiza el efecto de la interacción entre el fotoperiodo y la ventilación sobre la altura de las plántulas, utilizando un diseño experimental factorial (Figura 5).

La altura mínima se observó con la combinación 4 horas de luz y 75% de ventilación, con un valor aproximado de 0,26 cm. La altura máxima: Se alcanzó con 18 horas de luz y 100% de ventilación, con una altura cercana a 5,87 cm. Las combinaciones con fotoperiodos largos (18 horas) y altos niveles de ventilación (100%, 25%, 50%) produjeron consistentemente las alturas más altas. Letras superpuestas (A, B, C..), indican diferencias estadísticas significativas entre las combinaciones, según la prueba de comparaciones múltiples como Tukey. Las combinaciones etiquetadas con letras distintas pertenecen a grupos estadísticamente diferentes, por ejemplo, 4:75 (A) es significativamente distinta de 18:100 (H), mientras que combinaciones como 12:50 y 8:100 (E) no muestran diferencias significativas entre sí.

A medida que aumenta el fotoperiodo (de 4 a 18 horas), se observa un incremento generalizado en la altura promedio de las plántulas. Esto sugiere que un mayor tiempo de exposición a la luz favorece el crecimiento.

Las combinaciones con niveles altos de ventilación (100%, 50%) tienden a generar mayores alturas que aquellas con niveles bajos (25%, 75%).

La interacción entre fotoperiodo y ventilación es evidente, ya que el impacto del fotoperiodo en la altura varía dependiendo del nivel de ventilación. Por ejemplo, a 18 horas de luz, las alturas aumentan drásticamente con mayor ventilación, mientras que, en 4 horas de luz, el efecto de la ventilación es menos pronunciado.

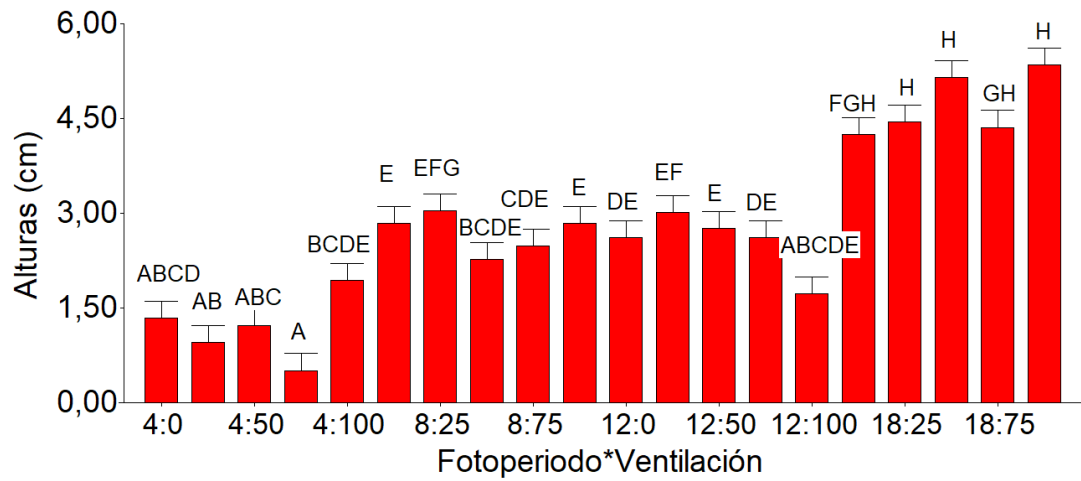


Figura 5. Efecto de la interacción del fotoperiodo con la ventilación sobre la altura de las plántulas.

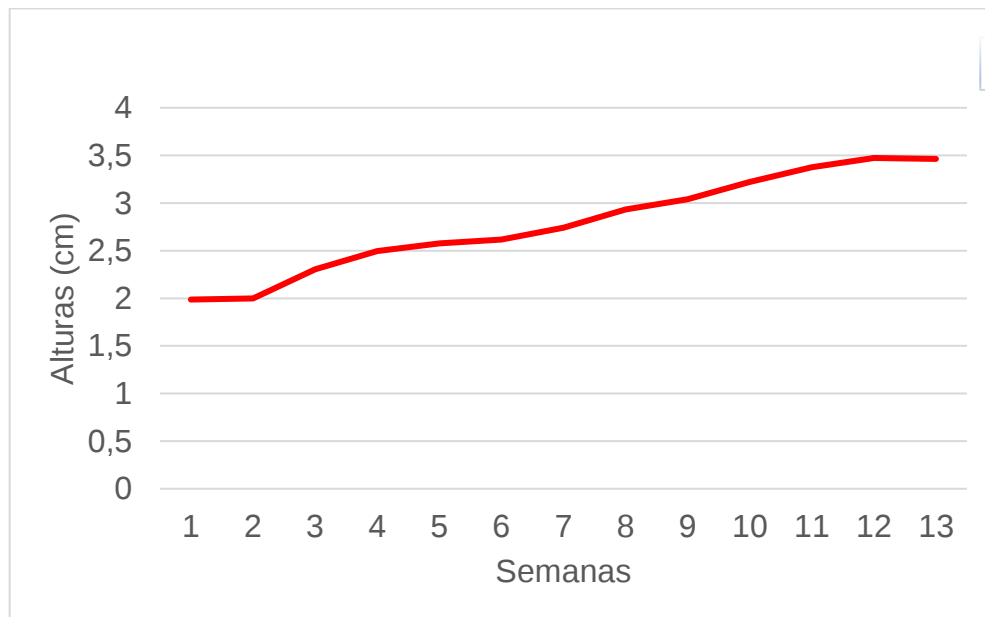


Figura 6. Desarrollo del crecimiento semanal en altura.

La curva indica un crecimiento continuo y sostenido de las plántulas de quillay durante las semanas evaluadas.

El crecimiento en las primeras semanas es relativamente lento. Durante esta fase, las plántulas probablemente están destinando más recursos al establecimiento del sistema radicular y la adaptación al ambiente de cultivo.

A partir de la tercera semana, la pendiente de la curva aumenta notablemente, reflejando un crecimiento acelerado. En esta etapa, las plántulas están entrando en su fase de crecimiento activo, donde la altura aumenta de forma más pronunciada.

Hacia el final, la curva tiende a estabilizarse, sugiriendo una fase de crecimiento más lento, probablemente por factores limitantes como el tamaño del contenedor o cambios en las necesidades fisiológicas. Aunque el fotoperiodo sigue siendo importante, su efecto podría estar disminuyendo en esta fase, ya que las plántulas alcanzan un punto de equilibrio entre el crecimiento y sus limitaciones ambientales. En cuanto a la ventilación, una ventilación insuficiente podría acelerar esta estabilización al restringir el crecimiento en altura.

IV. DISCUSIÓN

La respuesta al fotoperiodo sugiere una fuerte influencia de la cantidad de luz disponible en los procesos de elongación y desarrollo inicial de las plántulas. Esto está relacionado con la capacidad de las plántulas para captar y utilizar la energía lumínica, afectando su metabolismo y crecimiento. Las especies intolerantes a la sombra, como *Nothofagus dombeyi* y *Quillaja saponaria*, experimentan un crecimiento en altura más significativo cuando están expuestas a niveles más altos de luz solar directa. Este crecimiento es menos pronunciado en condiciones de baja luz, lo que resalta su necesidad de luz para maximizar su desarrollo (Donoso *et al.*, 2015; Encina *et al.*, 2019; Soto *et al.*, 2015).

El efecto significativo del fotoperiodo en la altura de las plántulas se observa en los fotoperiodos más largos (18 horas) favoreciendo un mayor crecimiento debido a una mayor actividad fotosintética.

Es posible que la falta de significancia del factor ventilación, esté relacionada con aspectos metodológicos o técnicos del experimento. Si bien el diseño experimental contempló diferentes niveles de ventilación, un mecanismo poco sofisticado o con limitaciones técnicas podría haber influido en los resultados.

Entre los supuestos del nulo efecto de la ventilación sobre el crecimiento de las plántulas, al ya señalado, se puede agregar el hecho de que el mecanismo

utilizado para manipular la ventilación pudo no garantizar una distribución uniforme del oxígeno en las bandejas; esto hace posible que los tratamientos no generaran diferencias marcadas en las condiciones reales de las plántulas.

Así mismo, a la hora de la evaluación de los resultados, pareciera ser que el diseño de las bandejas o recipientes no es el adecuado para asegurar una correcta difusión del oxígeno, lo que puede haber generado variabilidad dentro de los tratamientos, haciendo difícil observar un patrón claro entre niveles de ventilación.

Los tratamientos con fotoperiodos más largos mostraron una mayor respuesta en altura bajo condiciones de buena ventilación, lo que indica que la ventilación adecuada mejora la capacidad de las plántulas para aprovechar la luz, y obliga a mejorar el diseño de las bandejas en este sentido. Esto sugiere una relación sinérgica, la luz estimula la fotosíntesis y el crecimiento, mientras que una buena ventilación asegura la disponibilidad de oxígeno necesario para los procesos respiratorios que sustentan este crecimiento.

Como se esperaba, los factores evaluados, la densidad de flujo de fotones (PPFD) y la ventilación en los vasos tuvieron efectos significativos sobre las variables morfofisiológicas de *C. sativa*. Pero fue su interacción la que afectó directamente a las características asociadas a la capacidad de controlar la pérdida de agua,

así como al rendimiento fotosintético. Por lo tanto, el uso combinado de un nivel de luz más alto (L_{150}), con respecto a la_{50}) y los vasos ventilados (V), produjeron mejoras en estas características y parámetros asociados al crecimiento *in vitro* tanto el aumento de la intensidad lumínica como la ventilación promueven un mejor desarrollo del parénquima en empalizada. (Sáez *et al.*, 2012; Álvarez *et al.*, 2012).

En fotoperiodos más cortos (por ejemplo, 4 horas de luz), la influencia de la ventilación parece ser menos relevante, ya que la limitada captación de energía lumínica probablemente no genera una demanda tan alta de oxígeno para procesos respiratorios.

V. CONCLUSIONES

La viabilidad del 98% refleja un lote con semillas que mayoritariamente contienen embriones vivos. Sin embargo, la capacidad germinativa del 58% indica que casi la mitad de las semillas viables no lograron germinar.

La energía germinativa (24,5%) y el índice de Czabator (3,5) refuerzan que el lote de semillas tiene problemas para germinar de manera rápida y uniforme. Esto implica que el vigor del lote podría ser bajo, lo que puede repercutir en la sincronización del crecimiento inicial de las plántulas, afectando la calidad final del vivero.

El fotoperiodo ejerce un impacto significativo sobre el crecimiento inicial en altura de las plántulas de *Quillaja saponaria* Mol. mientras que el efecto de la ventilación es menos relevante.

El fotoperiodo induce un incremento en la altura conforme aumenta la duración del fotoperiodo.

La ventilación de los recipientes de cultivo no tiene efecto significativo para las condiciones ensayadas; no obstante, este es un factor que debe ser estudiado en cuanto a la eficiencia de la ventilación según el diseño de las cámaras de cultivo.

Bajo escenarios de recursos económicos limitados, un vivero podría optar por utilizar un régimen de 8 horas de luz para reducir costos, sin afectar significativamente el crecimiento de las plántulas.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, C., Sáez, P., Sáez, K., Sánchez-Olate, M., & Ríos, D. (2012). Effects of light and ventilation on physiological parameters during in vitro acclimatization of *Gevuina avellana* mol. *Plant Cell Tissue And Organ Culture (PCTOC)*, 110(1), 93-101. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0133-x>

Catie. 2000. Técnicas para la escarificación de semillas forestales. [Tecnicas para la escarificacion de semillas forestales.pdf](#)

CZABATOR, F.J. Germination Value: An Index Combining Speed and Completeness of Pine Seed Germination, *Forest Science*, Volume 8, Issue 4, December 1962, Pages 386–396, <https://doi.org/10.1093/forestscience/8.4.386>

Delporte, C., Rodríguez-Díaz, M., & Cassels, B. K. (2021). Quillaja saponaria Molina. En *Medicinal and aromatic plants of the world* (pp. 461-473). https://doi.org/10.1007/978-3-030-62818-5_36

Donoso, P. J., Soto, D. P., & Fuentes, C. (2015). Differential growth rates through the seedling and sapling stages of two *Nothofagus* species underplanted at low-light environments in an Andean high-graded forest. *New Forests*, 46(5-6), 885-895. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9480-x>

Encina, P., Rodríguez, R., Müller-Using, B., Annighöfer, P., Leal, D., Sáez-Carrillo, K., & Sanchez-Olate, M. (2019). *Effects of solar radiation on regeneration patterns in a Nothofagus dombeyi (Mirb.) Oerst. old-growth forest in Chile's central-southern Andes*. [Bot 76\(1\) 2019.indd](#)

JIMENEZ PERIS F. J. (1994). Viveros forestales para producción de planta a pie de repoblación. [hd_1993_06.pdf](#)

Marinelli, M., Acosta, N., Toloza, J., Kornuta, C. (2016). Control difuso de una cámara de germinación. [Documento completo.pdf](#)

Prehn, D., Serrano, C., Berrios, C. G., & Arce-Johnson, P. (2003). Micropropagación de Quillaja saponaria Mol. a partir de semillas. Bosque, 24(2). <https://doi.org/10.4067/s0717-92002003000200001>

Quiroz, I., García, E., González, M., Chung, P., & Soto, H. (2009). Vivero Forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. <https://rngr.net/publications/vivero-forestal-produccion-de-plantas-nativas-a-raiz-cubierta#:~:text=Este%20manual%20contiene%20una%20descripci%C3%B3n%20completa%20del%20metodo,el%20exterior%20con%20un%20sistema%20de%20proteccion%20alternativo.>

Rodríguez, I.; G. Adán y M. Durán. 2008. Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor de las semillas. Agricultura. 912, 836-838. [Agricultura revista agropecuaria, ISSN: 0002-1334](https://doi.org/10.1016/S0002-1334(08)70000-0)

Sáez P, Bravo L, Latsague M, Sánchez-Olate M, Ríos D (2012b) El aumento de la intensidad de la luz durante el cultivo *in vitro* mejora el control de la pérdida de agua y el rendimiento fotosintético de *Castanea sativa* cultivada en recipientes ventilados. [El aumento de la intensidad de la luz durante el cultivo in vitro mejora el control de la pérdida de agua y el rendimiento fotosintético de la Castanea sativa cultivada en recipientes ventilados - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.science.2012.06.001)

Sanchez-Olate, M., Valenzuela, J. Z., Rios, D., Pereira, G., & Escobar, R. (2003). Efecto del fotoperíodo en el desarrollo de plantas de Eucalyptus globulus Labill. ssp. globulus cultivadas en vivero. Bosque, 24(2). <https://doi.org/10.4067/s0717-92002003000200003>

Soto, D. P., Donoso, P. J., Salas, C., & Puettmann, K. J. (2015). Light availability and soil compaction influence the growth of underplanted Nothofagus following partial shelterwood harvest and soil scarification. *Canadian Journal Of Forest Research*, 45(8), 998-1005. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0353>

Zapata J. 1999. Efecto del manejo del fotoperíodo en el potencial de crecimiento radicular, conductividad electrolítica y carbohidratos totales en Eucalyptus globulus. Tesis Ingeniero Forestal. Concepción, Chile. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. 47 p.

VII. APÉNDICE

Figura A.1. Método de flotación.



Figura A.2. Método de tetrazolio.



Figura A.3. Cámara germinativa.



Figura A.4. Horno con sustrato de corteza de pino.



Figura A.5. Tabla de registro de germinación.

PLANILLA REGISTRO ANÁLISIS DE GERMINACIÓN

Especie												Fecha Recepción Muestra														
Nombre de la Muestra												Fecha inicio Ensayo														
Propietario												Fecha Levantamiento Ensayo														
Procedencia												Duración Ensayo														

Nº Set	Días del Ensayo de Germinación																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1																												
2																												
3																												
4																												
Σ																												
X̄																												
Índice de Cebador																												

Capacidad Germinativa (%)		
Energía Germinativa/Día	(%)	
	Día	

Figura A. 6. Bandejas utilizadas para el ensayo en estantes con completa oscuridad, para no obtener variaciones por la entrada de la luz natural.



Figura A. 7. Bandejas utilizadas en el ensayo.



Figura A. 8. Tabla de registro de germinación con los resultados

PLANILLA REGISTRO ANÁLISIS DE GERMINACIÓN

Especie	<i>Quillaja saponaria</i>																Fecha Recepción Muestra							
Nombre de la Muestra																	Fecha inicio Ensayo							
Propietario																	Fecha Levantamiento Ensayo							
Procedencia																	Duración Ensayo							

N° Set	Días del Ensayo de Germinación																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
1				8	12	22	32	32	32	32	42	44	46	52	60	60	62	62	62	62	64								
2				4	10	12	14	14	14	14	14	18	24	24	32	38	42	50	56	58	62								
3				4	8	14	22	22	22	22	22	28	34	42	48	50	50	52	52	52	52								
4				6	10	20	30	34	40	46	46	48	50	50	52	52	52	54	54	54	54								
Σ				22	40	68	98	102	108	114	124	138	154	168	192	200	204	218	224	226	232								
X̄				5,5	10	17	24,5	25,5	27	28,5	31	34,5	38,5	42	48	50	51	54,5	56	56,5	58								
Índice de Czabator				1,38	2	2,88	3,5	3,19	3	2,85	2,81	2,88	2,96	3	3,1	3,12	3	3,03	2,95	2,83	2,8								

Capacidad Germinativa (%)		58
Energía Germinativa/Día	(%)	24,5
	Día	7

Figura A. 9. Comparaciones múltiples del fotoperiodo para la longitud en altura promedio de *Quillaja saponaria*.

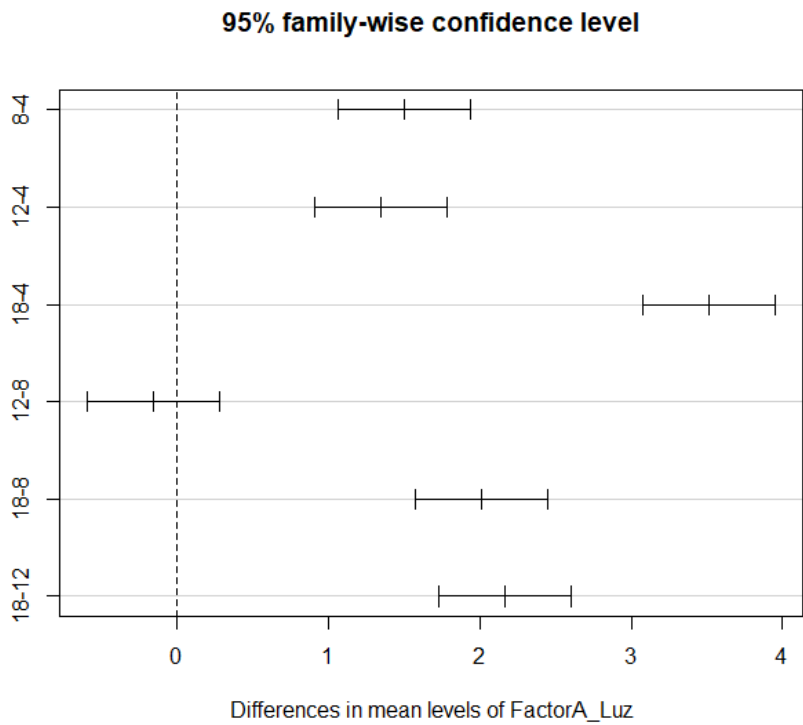


Figura A. 10. Comparaciones múltiples de la ventilación para la longitud en altura promedio de *Quillaja saponaria*.

