



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERÍA FORESTAL

**POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR COMO ATRIBUTO DEL
COMPORTAMIENTO EN PLANTAS DE *Quillaja saponaria* (MOL.)**

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

POR: Stefania Paz Escalona Peña

Profesor Guía: Manuel Sánchez Olate

Profesor co-Guía: Darcy Ríos Leal

Diciembre, 2024

Concepción, Chile

© 2024, Stefania Paz Escalona Peña

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

**POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR COMO ATRIBUTO DEL
COMPORTAMIENTO EN PLANTAS DE *Quillaja saponaria* (MOL.)**

Profesor Guía

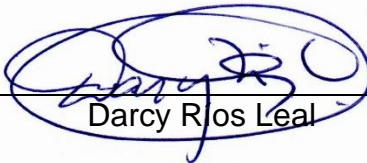


Manuel Sánchez Olate

Profesor Asociado

Ingeniero Forestal, Dr.

Profesor Guía



Darcy Ríos Leal

Profesora Titular

Profesora Biología y Química, Dra.

DEDICATORIA

A mi querido hijo Mateo, a quien dedico cada momento de sacrificio, por ser mi inspiración constante. A pesar del tiempo que a veces no he podido estar con él en pro de seguir mis sueños, su apoyo y amor me han dado la fuerza para continuar adelante.

A mi esposo, por su apoyo incondicional durante todo este largo período. Su comprensión y ánimo constante han sido fundamentales para este proceso

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, padres y suegros por el apoyo constante.

A mis profesores, en especial al profesor Manuel Sánchez y familia por el cariño recibido, la buena disposición y guía para que este trabajo pudiera salir adelante.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	X
ABSTRACT	xi
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Pregunta de Investigación.....	3
1.2 Hipótesis	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivo específico.....	3
II METODOLOGÍA	4
2.1 Características climáticas y de suelo del ensayo en terreno	4
2.2 Antecedentes de <i>Quillaja saponaria</i>	5
2.3 Métodos	7
2.3.1 Ensayo en laboratorio.....	7
2.3.1.1 Atributos morfológicos.....	7
2.3.1.2 Atributos fisiológicos.....	7
2.3.1.3 Atributo del comportamiento.....	8
2.4 Diseño Experimental.....	11
2.4.1 Para los atributos morfológicos y el ensayo de PCR medidos en laboratorio	11
2.4.2 Para los atributos morfológicos del ensayo en terreno.....	11
2.4.3 Medición de Incremento	12
III RESULTADOS.....	13
3.1 De Ensayo en Laboratorio.....	13
3.1.1 Atributo morfológico	13
3.1.2 Atributo fisiológico	15
3.1.3 Potencial de Crecimiento Radicular (PCR).....	16
3.2 De Ensayo en Terreno.....	18
IV DISCUSIÓN.....	23
V CONCLUSIONES	26
VI BIBLIOGRAFÍA.....	27

VII APÉNDICE 30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°	Pág.
En el Texto	
2.1 Escala del índice de crecimiento de raíz (ICR) desarrollada por Tanaka et al. (1997), para clasificar el crecimiento radical, siguiendo las pruebas del potencial de crecimiento radicular (PCR).....	9
3.2 Clase de potencial de crecimiento radicular (PCR) de cada vivero posterior al ensayo de PCR.....	13
3.3 Comparación de niveles nutricionales de los 3 viveros.....	15
En el Apéndice	
1A. Análisis de varianza ANOVA de diámetro a la altura del cuello al inicio de ensayo de PCR.....	30
2A. Test de Tukey de diámetro a la altura del cuello al inicio de ensayo de PCR.....	30
3A. Análisis de varianza ANOVA de longitud de tallo al inicio de ensayo de PCR.....	30
4A. Test de Tukey de longitud de tallo al inicio de ensayo de PCR.....	30
5A. Análisis de varianza ANOVA de longitud de raíz al inicio de ensayo de PCR.....	30
6A. Test de Tukey de longitud de raíz al inicio de ensayo de PCR.....	31
7A. Análisis de varianza ANOVA de número de raíces nuevas del ensayo de PCR.....	31
8A. Análisis de varianza ANOVA de las tres raíces más largas del ensayo de PCR.....	31

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura N°	Pág.
2.1 Cámaras aeropónicas con plantas de <i>Quillaja saponaria</i> de 3 viveros distintos sometidas a ensayo de PCR.....	8
3.2 Resultado de las variables de Atributo morfológico correspondientes a los tres viveros estudiados.....	14
3.3 Comparación de variables del PCR.....	16
3.4 Incremento de la Longitud de raíz promedio de las plantas de cada vivero al inicio y final de ensayo.....	18
3.5 Incremento de la Longitud de tallo promedio de las plantas de cada vivero al inicio y final de ensayo.....	19
3.6 Incremento del diámetro a la altura de cuello promedio de las plantas de cada vivero al inicio y final de ensayo.....	20
3.7 Incremento relativo porcentual de la longitud de tallo y el diámetro a la altura de cuello de las plantas de cada vivero.....	21
3.8 Volumen radicular de los tres viveros evaluados posterior al ensayo en terreno.....	22

RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio con el objetivo de evaluar el potencial de crecimiento radicular (PCR) como una herramienta única para calificar las plantas de *Quillaja saponaria* producidas a raíz cubierta, provenientes de tres viveros diferentes. Para validar los resultados obtenidos, se realizó un ensayo en terreno con una duración de seis meses, durante el cual se midieron diversas variables morfológicas tanto al inicio como al final del experimento.

Los resultados mostraron que el PCR fue un buen indicador únicamente para el incremento relativo porcentual de la variable de diámetro a la altura del cuello en el ensayo en terreno. El PCR no fue un buen indicador del incremento relativo porcentual de la longitud de tallo ni de otras variables morfológicas evaluadas. Además, la comparación de los atributos indicó que el PCR no constituye un indicador confiable de los atributos morfológicos de las plantas en condiciones de terreno, lo que sugiere la necesidad de complementar su uso con otras variables para una evaluación más precisa.

ABSTRACT

A study was conducted to evaluate the root growth potential (RGP) as a unique tool for assessing container-grown *Quillaja saponaria* plants produced in three different nurseries. To validate the results, a six-month field trial was carried out, during which various morphological variables were measured at both the beginning and the end of the experiment.

The results showed that RGP was a good indicator only for the relative percentage increase in the diameter at the root collar during the field trial. However, RGP was not a reliable indicator for the relative percentage increase in stem length or other evaluated morphological variables. Additionally, the comparison of attributes indicated that RGP is not a dependable predictor of morphological traits under field conditions, suggesting the need to complement its use with other variables for a more accurate assessment.

I INTRODUCCIÓN

La calidad de planta se define como la capacidad que tienen las plantas para adaptarse y desarrollarse a las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación, esta depende de las características genéticas del germoplasma y de las técnicas utilizadas para su reproducción en vivero (Prieto et al., 2009). Sin embargo, la calidad de una planta la determina su capacidad para desarrollarse adecuadamente una vez plantada y condicionada por su origen genético y por las fases de producción, desde la colecta de semilla y la germinación hasta su establecimiento en una plantación (Prieto y Sáenz, 2011).

Una planta de calidad es aquella que demuestra su capacidad de establecerse, crecer y desarrollarse satisfactoriamente una vez plantada en terreno, la que depende de la técnica de plantación, pero además de los atributos que posee (Montoya y Camara, 1996). La calidad de la planta puede ser dividida en tres grandes categorías, mediante atributos morfológicos, fisiológicos y de desempeño. Desafortunadamente, las pruebas de desempeño son muy laboriosas, consumen mucho tiempo y por tanto, son muy caras. No obstante, y debido a su carácter intuitivo, las pruebas de desempeño han encontrado un amplio uso en la evaluación de la calidad de la planta. Una de las más antiguas y más comúnmente utilizadas en la actualidad es el Potencial de Crecimiento de la Raíz (PCR) (Ritchie et al., 2010).

El uso de atributos relacionados con el sistema radicular como indicadores de la calidad de plantas se justifica por el hecho de que éste es el principal factor

involucrado en una supervivencia exitosa y en un buen comportamiento en terreno (Minko y Craig, 1976). Un indicador de ese comportamiento es el Potencial de Crecimiento Radicular (PCR), que expresa la capacidad del sistema radicular de formar raíces nuevas. Este es un buen indicador del comportamiento en terreno ya que tanto el crecimiento inicial como la supervivencia están relacionados con el PCR (Minko y Craig, 1976; Ritchie y Dunlap, 1980).

El test o prueba de PCR se realiza después que las plantas han finalizado la fase de endurecimiento en vivero. La prueba se puede realizar en cámaras aeropónicas, que proporcionan la temperatura, cantidad de oxígeno y disponibilidad de agua requerida. Se evalúa según el número de raíces nuevas, mayores a 1 cm, que producen las plantas y éstas se categorizan de acuerdo con una escala que puede tener cinco o seis categorías: mientras más alto el valor, mayor es el potencial de crecimiento radicular y mayor la calidad del lote de plantas analizadas. La otra forma de evaluar el PCR es determinando la longitud promedio de las tres raíces más largas de cada planta que compone el lote analizado. Los valores de ambas variables se analizan con un diseño de parcelas distribuidas totalmente al azar. El PCR ha mostrado ser un buen predictor del comportamiento de las plantas en terreno respecto de la supervivencia y crecimiento inicial (Decarli, 1999).

El PCR sigue siendo la más popular de las pruebas de calidad porque es intuitiva, consistente y sencilla. Sin embargo, como en cualquier prueba, el PCR tiene sus limitaciones. La mayor desventaja es el tiempo que lleva realizarla y la capacidad

limitada de predicción. Las pruebas del PCR ofrecen sólo una panorámica en el tiempo, ya que la calidad fisiológica de la planta puede cambiar en cualquier momento, hasta que la planta es establecida en campo (Ritchie et al., 2010).

1.1 Pregunta de Investigación

La investigación pretende responder a la pregunta si, ¿El Potencial de crecimiento radicular permite calificar plantas de *Quillaja saponaria* de diferentes viveros utilizándolo como única herramienta?

1.2 Hipótesis

El Potencial de Crecimiento Radicular (PCR) permite comparar la calidad de plantas de *Quillaja saponaria* entre distintos viveros.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la calidad de plantas de *Quillaja saponaria* (Mol.) mediante el Potencial de Crecimiento Radicular.

1.3.2 Objetivo específico

Asociar las respuestas de PCR con los atributos morfológicos, fisiológicos y estos atributos con el crecimiento inicial en terreno.

II METODOLOGÍA

En el estudio se utilizaron plantas de *Quillaja saponaria* de un año producidas a raíz cubierta y provenientes de tres viveros distintos de la región del Biobío. Se realizaron dos ensayos, uno de potencial de crecimiento radicular que se llevó a cabo el miércoles 26 de julio de 2023 en el Laboratorio de Semillas de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción. El segundo, fue un ensayo en terreno, el cual se estableció en el predio Natahue ubicado en la ciudad de Quillón el día 25 de mayo de 2024.

2.1 Características climáticas y de suelo del ensayo en terreno

El predio Natahue se encuentra ubicado en la comuna de Quillón, Región del Biobío ($36^{\circ} 47' S$ y $72^{\circ} 26' O$). Presenta un clima templado cálido producto del contraste entre la humedad del litoral y la sequedad del interior, puesto que se encuentra emplazado entre el valle central y la vertiente oriental de la cordillera de la costa.

Se caracteriza por presentar entre los meses de junio y agosto temperaturas medias anuales alrededor de los $8^{\circ}C$ con una amplitud térmica de $10^{\circ}C$. Las máximas medias se producen en enero y fluctúan entre los 28 a $29^{\circ}C$ y las mínimas medias ocurren en julio con temperaturas medias iguales o superiores a $2^{\circ}C$.

La precipitación media anual oscila entre 650 a 1000 mm, en los últimos 4 años, presentándose principalmente entre abril a septiembre con un 86 a 96% de la precipitación total anual.

Natahue presenta suelos de tipo arenales que se presentan en forma de llanos aluviales, con altas tasas de infiltración y una limitada cantidad de agua aprovechable. Además, posee un pH neutro y bajo porcentaje de materia orgánica, siendo un suelo de estructura simple, cualidades que permiten calificarlo como un suelo de aptitud preferentemente forestal con capacidad de uso VII (Montesinos, 2017).

2.2 Antecedentes de *Quillaja saponaria*

Árbol de hasta 15 m de alto, con un tronco de hasta 1 m de diámetro; la corteza es cenicienta, rasgada longitudinalmente. Hojas persistentes, simples, coriáceas, de 2-4 x 1-2,5 cm; lámina aovada, glabra, lustrosa, obtusa o subaguda en el ápice, margen con algunos dientes separados. Especie polígama con flores masculinas y hermafroditas. Flores actinomorfas, dispuestas generalmente en pequeños corimbos terminales o bien solitarias. Cáliz con 5 sépalos persistentes, corola con 5 pétalos libres, espatulados, de color blanco cremosa, estambres 10, ovario súpero. Fruto seco, formado por 5 folículos bivalvos, dispuestos en forma estrellada (Rodríguez et al., 2005).

2.2.1 Floración y producción de semilla

Quillaja saponaria florece desde noviembre a enero y fructifica desde mediados de enero a marzo, para luego dispersar numerosas sámaras entre febrero y abril (Benedetti et al., 2000; Reyes, 2006). Su producción de semillas es variable, presentando algunos años baja producción y seguido luego por una serie de años de alta producción (Vita 1996). La cosecha de semillas debe realizarse en abril, directamente del árbol en pie, idealmente de aquellos árboles que presentan una buena forma y se ven sanos. Extraída la semilla es necesario eliminar manualmente las alas (Benedetti et al., 2000).

2.2.2 Importancia de la especie *Quillaja saponaria*

La principal razón por la cual el Quillay se sitúa entre las especies forestales nativas de mayor importancia de la zona mesomórfica es por la extracción de corteza, la cual es muy rica en saponinas, sustancia química que permite reemplazar al detergente (Vita, 1974; Apablaza & Urra, 2004). Su utilización abarca dos aspectos: en forma casera, se utiliza tal como es extraído del árbol para el lavado de ropa o como champú; por otro lado, las saponinas del tipo triterpenoide son extraídas industrialmente de la corteza y utilizadas como detergente en las industrias textiles, sustituto de jabón, productor de espuma de bebidas, encolados, cosméticos, extintores de incendios, dentífricos, reveladores fotográficos, entre otros (Neuenschwander, 1965; Apablaza & Urra, 2004).

Por su bello follaje siempreverde, tener bajo requerimiento de agua, crecer con rapidez y poseer flores perfumadas, el Quillay se considera como un árbol de

importante valor ornamental para plazas y parques (Benedetti et al., 2000; Apablaza & Urra, 2004).

En zonas semiáridas mediterráneas, donde *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* son marginados, *Quillaja saponaria* se utiliza como alternativa para protección de ganado (Vita, 1974).

2.3 Métodos

La calidad de las plantas de *Quillaja saponaria* de los tres viveros se midió mediante atributos morfológicos, fisiológicos y de comportamiento en laboratorio, con el fin de comparar estos resultados con el comportamiento en terreno.

2.3.1 Ensayo en laboratorio

2.3.1.1 Atributos morfológicos

Para el ensayo en laboratorio, el análisis morfológico consistió en medir diámetro de cuello (DAC), longitud de tallo y longitud de raíces antes del ensayo. El DAC fue medido por medio de un pie de metro digital marca Mitutoyo, con una precisión de 0,1 mm. Para la medición de longitud de tallo y raíces se utilizó una regla con precisión de 1 mm.

2.3.1.2 Atributos fisiológicos

Como único atributo fisiológico, se evaluó el contenido endógeno de nutrientes antes del inicio del ensayo PCR y al final de ensayo en terreno. Para el análisis foliar, se tomaron hojas de tres plantas de cada vivero elegidas aleatoriamente. Los análisis nutricionales se realizaron en el laboratorio de Análisis de Suelos y

Plantas de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de Concepción, Campus Chillán.

2.3.1.3 Atributo del comportamiento

Para la estimación de los atributos del comportamiento se utilizó el ensayo de potencial de crecimiento radicular (PCR). Se seleccionaron aleatoriamente treinta y dos plantas de cada vivero, las cuales fueron sometidas a lavado del sistema radicular y se eliminaron las raíces blancas antiguas. Posteriormente se procedió a la realización del ensayo, siendo como unidad muestral 1 cámara aeropónica con 8 plantas de cada vivero, dando un total de 24 plantas por cámara. A su vez se realizaron 4 repeticiones. El total de plantas sometidas a ensayo de PCR fue de 96 plantas (figura 1).



Figura 1. Cámaras aeropónicas con plantas de *Quillaja saponaria* de 3 viveros distintos sometidas a ensayo de PCR.

El análisis de PCR se realizó en cuatro cámaras aeropónicas de crecimiento radicular bajo las condiciones de frecuencia de riego por microaspersión cada 15

minutos, con un tiempo de ejecución de 10 segundos por cada microaspersión. La duración del ensayo fue de 29 días.

La evaluación del ensayo se llevó a cabo utilizando la metodología descrita por Ritchie y Tanaka (1990), según la cual este método consideró el registro de las siguientes variables en cada planta y para cada cámara aeropónica:

- Número de raíces nuevas: Los valores para esta variable, se obtienen mediante el conteo de las raíces nuevas, las cuáles se identifican por su color blanco.
- Largo de raíces nuevas: Los valores para esta variable se obtienen midiendo la longitud de las 3 raíces más largas de cada planta.

A partir de los datos obtenidos del número de raíces nuevas y la longitud de las 3 raíces más largas, se determinó la clase de potencial de crecimiento radicular para cada vivero, según la escala de índice de crecimiento radicular propuesta por Tanaka et al. (1997), la cual se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Escala del índice de crecimiento de raíz (ICR) desarrollada por Tanaka et al. (1997), para clasificar el crecimiento radical, siguiendo las pruebas del potencial de crecimiento radicular (PCR).

Índice de crecimiento de la raíz (ICR)	Número de nuevas raíces de 1 cm o mayor
0	Ninguna
1	Algunas, pero ninguna > a 1 cm
2	1 a 3
3	4 a 10
4	11 a 30
5	31 a 100
6	101 a 300
7	Más de 300

2.3.2 Ensayo en terreno

Para el ensayo en terreno se evaluó el atributo morfológico, midiendo el diámetro a la altura del cuello (DAC) y la longitud de tallo de las plantas de cada vivero. La unidad muestral fue de 10 plantas por vivero (30 plantas/vivero), con 3 repeticiones, dando un total de 90 plantas. La duración del ensayo fue de 6 meses.

La plantación se realizó con pala plantadora, utilizando la técnica de 2T, a una profundidad de 35 cm. El esquema de plantación se realizó mediante hileras de 30 plantas, separadas 2 metros en la hilera y 3 metros entre hilera.

Posterior a los 6 meses de duración del ensayo se midió nuevamente el DAC, la longitud de tallo, la longitud de raíz y el volumen de raíces, de tres plantas de cada vivero tomadas de forma aleatoria.

El DAC fue medido por medio de un pie de metro digital marca Mitutoyo, con una precisión de 0,1 mm. Para la medición de longitud de tallo y raíces se utilizó una regla con precisión de 1 mm.

Para la medición del volumen de las raíces, se aplicó el principio de Arquímedes de acuerdo con Tippens, (2011). Para este procedimiento, inicialmente se eliminó el sustrato adherido a las raíces de las plantas de cada vivero colectadas en la plantación. Posteriormente, las raíces limpias se sumergieron en una probeta graduada de 1000 ml que contenía 800 ml de agua. Al momento de sumergir las raíces en el agua, se cuidó que el nivel del agua coincidiera con el cuello de la

plántula. El volumen de agua desplazado al sumergir la raíz se registró como el volumen de raíz correspondiente a cada planta.

2.4 Diseño Experimental

2.4.1 Para los atributos morfológicos y el ensayo de PCR medidos en laboratorio. Se utilizó el diseño experimental completamente aleatorio, con 4 repeticiones para el ensayo de PCR donde se midió:

- Normalidad: Shapiro Wilks
- Homocedasticidad: Prueba de Bartlett
- ANOVA
- Comparación de medias. Test de Tukey

Se verificaron las condiciones de normalidad y homocedasticidad en todos los conjuntos de datos analizados.

2.4.2 Para los atributos morfológicos del ensayo en terreno.

Se utilizó el diseño experimental completamente aleatorio, con 3 repeticiones, donde se midió:

- Normalidad
- Homocedasticidad
- ANOVA
- Comparación de medias

Se evaluaron y corroboraron las condiciones de normalidad y homocedasticidad en todos los datos examinados.

2.4.3 Medición de Incremento

Para el crecimiento en diámetro a la altura de cuello (DAC) y la longitud de tallo luego del ensayo en terreno, se analizó el incremento absoluto y el incremento relativo porcentual al tamaño al inicio del ensayo y al final respectivamente.

Los incrementos respectivos se obtuvieron mediante las siguientes fórmulas:

$$IA = x_i - x_0$$

Donde

IA: es el incremento absoluto del tamaño inicial y final.

x_i : es la longitud (cm) o el DAC (mm) en la medición final.

x_0 : es la longitud (cm) o el DAC (mm) en la medición inicial.

$$IRP = (IA / x_0) * 100$$

Donde:

IRP: es el incremento relativo porcentual de mediciones inicial y final.

IA: es el incremento absoluto del tamaño inicial y final.

x_0 : es la longitud (cm) o el DAC (mm) en la medición inicial.

III RESULTADOS

3.1 De Ensayo en Laboratorio

Se midieron variables de los atributos morfológicos, fisiológicos y del comportamiento de las plantas de cada vivero, los cuales fueron medidos en laboratorio para luego comparar estos resultados con el ensayo en terreno.

Los resultados obtenidos indican que los tres viveros evaluados se clasifican en la clase 4 (Tabla 2). Esta categoría se considera representativa de un nivel medio de potencial de crecimiento radicular.

Tabla 2. Clase de potencial de crecimiento radicular (PCR) de cada vivero posterior al ensayo de PCR.

Viveros	Prom. 3 raíces + largas	Prom. n° raíces nuevas	Clase N°raíces nuevas
V1	3.36	18.25	4
V2	3.72	15.06	4
V3	2.47	17.25	4

3.1.1 Atributo morfológico

Se midió el atributo morfológico de las plantas de los tres viveros evaluados contemplando las variables de diámetro a la altura de cuello, longitud de tallo y longitud de raíz antes de iniciar el ensayo de PCR, donde se obtuvo el siguiente resultado de acuerdo con la figura 2.

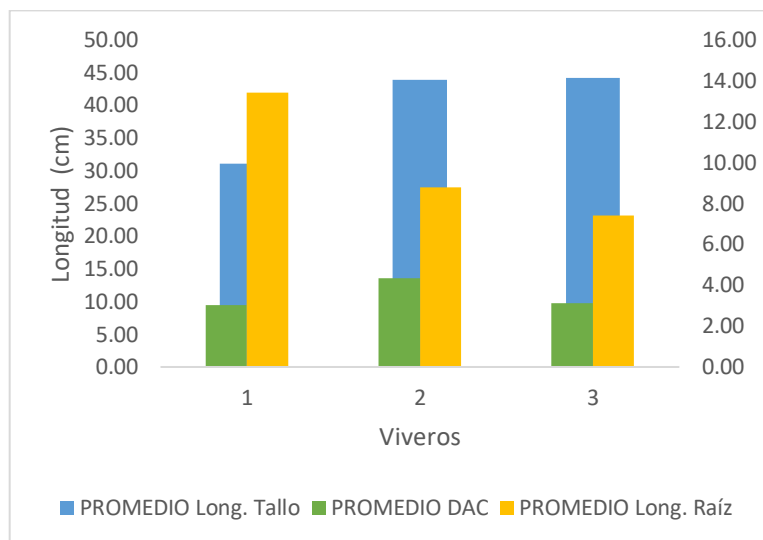


Figura 2. Resultado de las variables de Atributo morfológico correspondientes a los tres viveros estudiados.

Al analizar la Figura 2, se observa que el vivero con la mayor longitud promedio de tallo es el vivero 3, con un valor de 44,18 m, seguido por el vivero 2, cuyo promedio es de 43,88 cm. En contraste, el vivero 1 presenta una longitud promedio de tallo menor, alcanzando 31,11 cm. Estos resultados son consistentes con el análisis de varianza (ANOVA) y el test de Tukey, el cual indica una diferencia significativa entre el vivero 1 y los viveros 2 y 3 (Tablas 1A y 2A, apéndice).

En relación con el diámetro a la altura del cuello (Figura 2), se observa que los viveros 1 y 3 presentan valores similares, aunque menores en comparación con el vivero 2, que muestra mayor valor de DAC. Estos resultados se respaldan con el análisis de varianza (ANOVA) y el test de Tukey, los cuales confirman la

existencia de diferencias significativas entre los viveros, siendo el vivero 2 significativamente distinto a los viveros 1 y 3 (tablas 3A y 4A, apéndice).

Respecto a la longitud de raíz, se identificaron diferencias entre los tres viveros (Figura 2). El vivero 1 presenta la mayor longitud de raíz promedio, mientras que el vivero 2 exhibe una reducción porcentual del 34,63% en comparación con el vivero 1. Por otra parte, el vivero 3 muestra una disminución aún mayor, con una diferencia porcentual del 44,83 % respecto al vivero 1. El análisis de varianza (ANOVA) confirma la existencia de diferencias significativas entre los viveros y el test de Tukey ratifica que las diferencias entre los tres viveros son estadísticamente significativas (tablas 5A y 6A, apéndice).

3.1.2 Atributo fisiológico

Para este atributo se analizó el nivel nutricional de las plantas de cada vivero obteniéndose los siguientes resultados de acuerdo con la tabla 3.

Tabla 3. Comparación de niveles nutricionales correspondientes a los 3 viveros estudiados.

ELEMENTO	Unidad	Valores/Vivero		
		Vivero 1	Vivero 2	Vivero 3
Nitrógeno (N)	%	0.93	2.09	1.00
Fósforo (P)	%	0.13	0.10	0.35
Potasio (K)	%	1.75	1.56	1.66
Calcio (Ca)	%	0.35	0.57	0.32
Magnesio (Mg)	%	0.37	0.38	0.34
Sodio (Na)	%	0.03	0.04	0.01
Hierro (Fe)	Mg/kg	193.00	47.00	67.50
Manganeso (Mn)	Mg/kg	37.50	66.50	69.00
Zinc (Zn)	Mg/kg	8.00	7.50	10.00
Cobre (Cu)	Mg/kg	6.00	2.00	5.00

El análisis de la tabla 3 revela que los niveles de macronutrientes y micronutrientes presentan valores similares entre los tres viveros evaluados, con tres excepciones notables. El contenido de nitrógeno en el vivero 2 es mayor en comparación con los otros viveros, mientras que el contenido de fósforo es mayor en el vivero 3 en comparación con los otros dos viveros. También el fierro en el vivero 1 supera a los valores registrados en los viveros restantes.

3.1.3 Potencial de Crecimiento Radicular (PCR)

En la figura 3 se muestran los resultados obtenidos luego del ensayo de PCR en los tres viveros analizados.

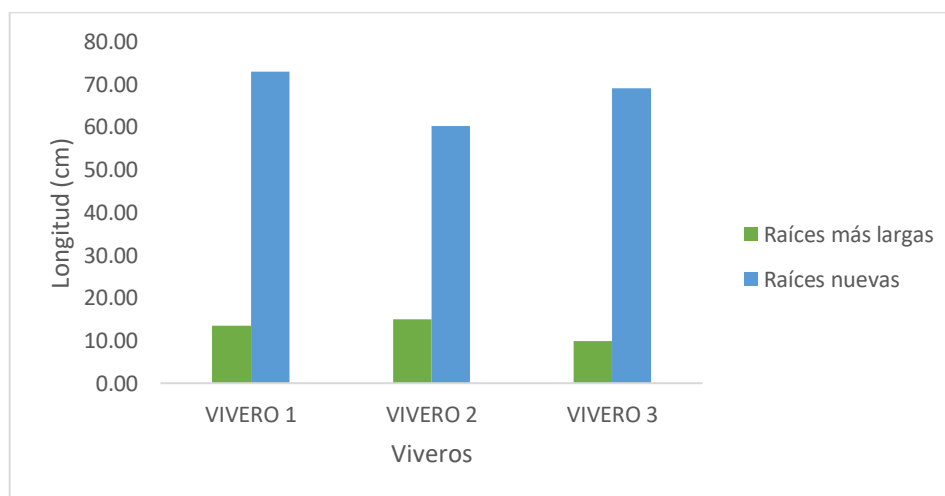


Figura 3. Comparación de variables del PCR de los tres viveros estudiados.

El análisis muestra que el vivero 1 presenta el mayor número de raíces nuevas, con un promedio de 73, seguido del vivero 3, con 69 raíces, y del vivero 2, que registra un promedio de 60,25 raíces nuevas. Se evidencia una relación diferencial entre el número de raíces nuevas y el promedio de las tres raíces más

largas en el vivero 2 en comparación con los viveros 1 y 3. En el vivero 1, el número de raíces nuevas coincide con un aumento en el promedio de las tres raíces más largas, mientras que en el vivero 2 se observa una tendencia opuesta, en la que a menor número de raíces nuevas se obtiene una mayor longitud de las raíces más largas.

Estos resultados sugieren que, aunque el número de raíces nuevas es un indicador importante del desarrollo radicular, no siempre se traduce directamente en un aumento de la longitud promedio de las raíces principales. Una explicación probable para este último hecho podría basarse en el mayor contenido de nitrógeno en los tejidos foliares de las plantas del vivero 2, (Tabla 3). Esto es relevante, ya que, según Vega (2015) el nitrógeno es un macronutriente esencial para los organismos vegetales y su disponibilidad afecta el crecimiento y el desarrollo vegetal. Por otro lado, los valores de los niveles de cada nutriente determinados en el follaje carecen de importancia si no se analiza la relación proporcional entre los principales elementos. Al respecto, una planta puede estar muy bien provista en los contenidos de nitrógeno, pero si el contenido de potasio es bajo, la relación entre ambos elementos no permitirá que la planta exprese todo su potencial en aspectos tales como resistencia al frío, capacidad para producir nuevas raíces y crecimiento inicial (Escobar, 2007).

Los análisis de varianza ANOVA realizado al número de raíces nuevas y al promedio de las tres raíces más largas no muestra diferencias significativas entre viveros en ninguna de las dos variables (Tablas 7A y 8A).

3.2 De Ensayo en Terreno

Los resultados relacionados con los incrementos en la longitud de raíz, la longitud del tallo y el diámetro a la altura del cuello (DAC) de las plantas provenientes de los tres viveros evaluados permitieron analizar el desempeño en términos de crecimiento radicular y aéreo bajo las condiciones establecidas en el experimento.

En cuanto a la longitud de raíz, se observaron diferencias entre los viveros. Los viveros 2 y 3 presentaron un mayor desarrollo radicular, mientras que el vivero 1 mostró un crecimiento menor. Específicamente, el vivero 3 destacó por su incremento en la longitud de raíz de 20,97 cm en promedio, lo que representa un crecimiento considerable y lo posiciona como el vivero con el mejor desempeño en esta variable (Figura 4).

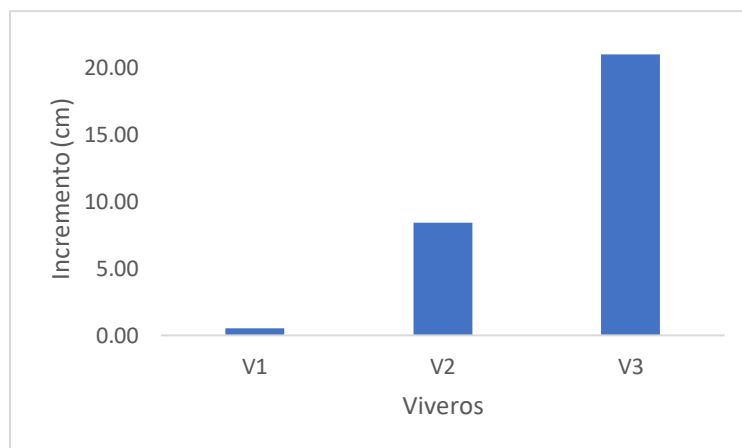


Figura 4. Incremento de la Longitud de raíz promedio de las plantas de cada vivero al inicio y final de ensayo.

Los resultados obtenidos respecto a la longitud del tallo muestran que los viveros 1 y 3 presentaron un mayor crecimiento, evidenciando alturas finales similares. En contraste, las plantas del vivero 2 mostraron un crecimiento limitado, con una diferencia mínima entre la primera y la última medición registrada durante el periodo de evaluación (Figura 5).

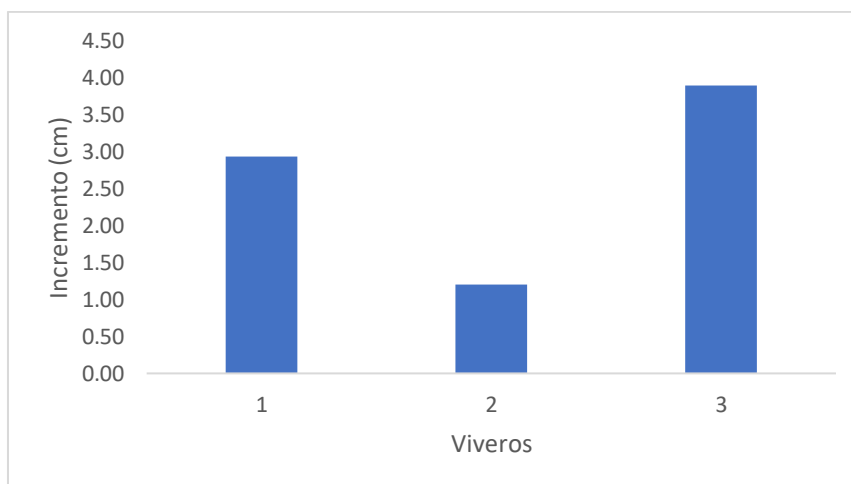


Figura 5. Incremento de la Longitud de tallo promedio de las plantas de cada vivero al final de ensayo.

El análisis de la Figura 6, que muestra el crecimiento en diámetro a la altura del cuello (DAC) de las plantas provenientes de los tres viveros, revela diferencias en esta variable entre ellos. El vivero 2 presentó el mayor incremento en DAC, seguido por el vivero 1, mientras que el vivero 3, a pesar de destacar en las variables anteriores como longitud de raíz y longitud de tallo, mostró un crecimiento menor en esta medición.

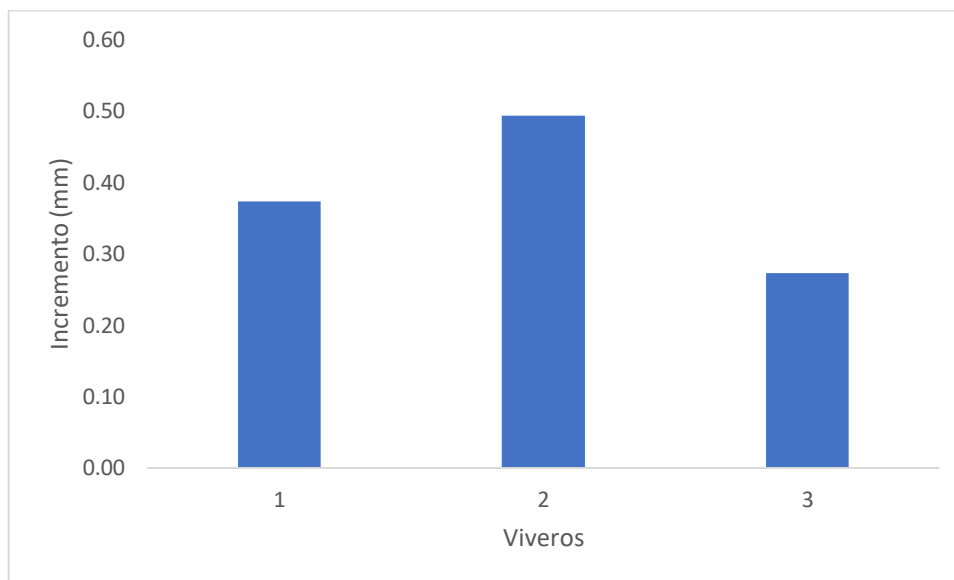


Figura 6. Incremento del diámetro a la altura de cuello promedio de las plantas de cada vivero al final de ensayo

El incremento relativo porcentual de las variables evaluadas demuestra que los tres viveros lograron un crecimiento positivo en el período evaluado. Sin embargo, se observaron diferencias en el comportamiento de cada vivero respecto a las variables específicas. En particular, el vivero 3 destacó por registrar un incremento notable en la longitud de tallo, superando a los otros viveros en esta variable. No obstante, este comportamiento no se reflejó en el crecimiento del diámetro a la altura del cuello (DAC), donde mostró un desempeño comparativamente inferior. Por otro lado, el vivero 2 presentó un patrón opuesto al del vivero 3. Aunque su incremento en la longitud de tallo fue menor en comparación con los otros viveros, se posicionó como el vivero con el mayor aumento en el DAC (0,49 mm). El vivero 1, en contraste, exhibió un patrón

de crecimiento lineal en ambas variables, logrando incrementos consistentes tanto en la longitud de tallo como en el DAC (Figura 7).

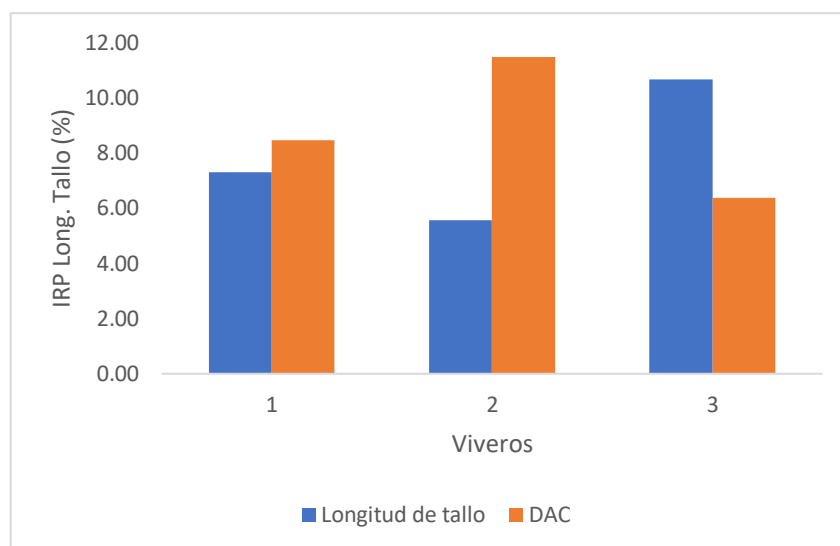


Figura 7. Incremento relativo porcentual de la longitud de tallo y el diámetro a la altura de cuello de las plantas de cada vivero

El análisis del volumen de raíz, evaluado al término del ensayo en terreno, evidencia diferencias entre los viveros estudiados. Los resultados indican que el vivero 3 presentó el mayor volumen de raíz, seguido en orden decreciente por el vivero 2 y finalmente el vivero 1. Este patrón de comportamiento es consistente con los resultados obtenidos previamente para la longitud de raíz, lo que sugiere una relación directa entre ambas variables de crecimiento (Figura 8).

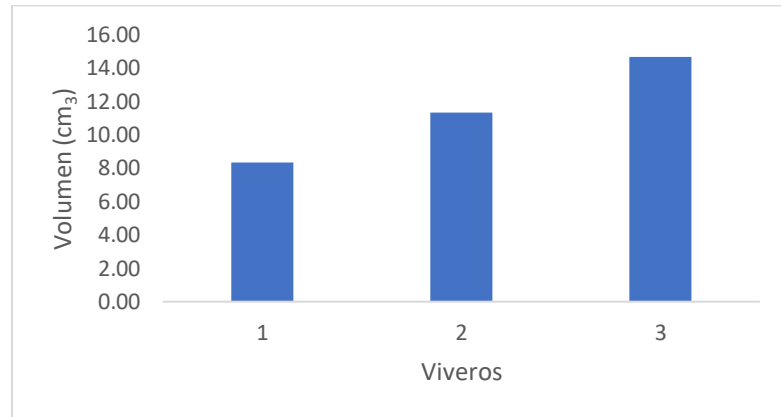


Figura 8. Volumen radicular de los tres viveros evaluados posterior al ensayo en terreno.

IV DISCUSIÓN

El ensayo de Potencial de Crecimiento Radicular (PCR) demostró que las plantas provenientes del vivero 1 presentaron el mayor número de raíces nuevas, seguidas de cerca por las plantas del vivero 3. En contraste, las plantas del vivero 2 mostraron el mayor promedio de longitud de las tres raíces más largas, mientras que las del vivero 3 registraron el menor promedio en esta variable. Sin embargo, estos resultados no se mantuvieron consistentes tras el ensayo en terreno, ya que las plantas del vivero 3 demostraron un desempeño superior, alcanzando la mayor longitud de tallo como también longitud y volumen de raíz al final del estudio. Estos resultados sugieren que las variables medidas en el ensayo de PCR no son completamente predictivas del desempeño final en condiciones de terreno. Esto podría deberse a diferencias en la capacidad de adaptación de las plantas provenientes de cada vivero a las condiciones ambientales del sitio de plantación, lo que coincide con Ritchie et al. (2010) que dice que las condiciones del sitio, las cuales son muy diferentes a las del ambiente de la prueba, pueden anular la calidad de la producción. Asimismo, los resultados del vivero 3 sugieren que factores adicionales, como el manejo previo en el vivero, podrían haber influido en su mejor desempeño final. También la cantidad de fósforo es un elemento que pudo haber influido en el mejor desarrollo de raíces en terreno, ya que el fósforo es un macronutriente esencial en las plantas y desempeña un papel crucial en el fortalecimiento del sistema radical, fomentando la extensión de las raíces y su ramificación lateral (Rubio, 2002), lo que incrementa la capacidad de

la planta para explorar el suelo y absorber nutrientes y agua de manera más eficiente.

Los resultados del PCR y lo obtenido en el ensayo en terreno concuerdan con los de Ritchie et al. (2010), quien afirma que el PCR no predice por sí solo el crecimiento de la raíz después de la plantación.

Al analizar el incremento relativo porcentual, el vivero 3 destacó por su notable incremento en la longitud de raíz (20,97 cm), lo que representa un crecimiento considerable y lo posiciona como el vivero con el mejor desempeño en esta variable. Estos resultados sugieren que las condiciones de producción y manejo en el vivero 3 podrían estar más optimizadas para favorecer el desarrollo radicular en comparación con los otros viveros. Este aspecto resulta importante, ya que un sistema radicular más desarrollado contribuye a una mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes, lo que impacta directamente en el establecimiento y supervivencia de las plantas en terreno, esto se relaciona con lo mencionado por Córdova et al. (2011), quien dice que una característica importante para el éxito en el establecimiento y supervivencia de las plantas es el crecimiento y desarrollo de la raíz, pues de ésta depende en gran medida la absorción de agua y nutrimentos esenciales para diversos procesos fisiológicos.

Otra variable donde destaca el vivero 3 es en el incremento de la longitud del tallo, el cual muestra una relación con el desarrollo en volumen del sistema radicular al final del ensayo. Esto sugiere que un mejor crecimiento inicial del tallo

contribuye favorablemente al desarrollo de raíces, lo que podría ser beneficioso para la estabilidad y absorción de recursos de la planta. Según Cabeza (2017), habla que la raíz tiene la función de suplir a la parte aérea con agua y nutrientes minerales, por eso, es de esperar que el desarrollo de las raíces y el de la parte aérea estén mutuamente relacionados.

La comparación entre la longitud del tallo inicial y final en las plantas del vivero 2 evidencia un cambio importante en su desempeño. Al inicio del ensayo, el vivero 2 presentaba la segunda mayor longitud de tallo entre los viveros evaluados, sin embargo, al finalizar el ensayo en terreno, fue el que registró la menor longitud en esta variable. Este resultado podría atribuirse a una posible reasignación de recursos hacia otras estructuras de la planta, así como al daño causado por heladas en el brote apical, lo que resultó en mediciones menores en comparación con las obtenidas al inicio. Cabe destacar que este efecto podría revertirse al final de la temporada de crecimiento; no obstante, dado que el ensayo se limitó a un período de seis meses desde la plantación, es probable que estas fluctuaciones se vean mermadas si se realizan mediciones posteriores.

V CONCLUSIONES

El potencial de crecimiento radicular, por sí solo, no resulta suficiente para calificar la calidad de las plantas de *Quillaja saponaria* como una herramienta exclusiva de evaluación. Es necesario considerar los atributos morfológicos y fisiológicos de las plantas evaluadas.

Los atributos morfológicos presentan asociaciones similares entre sí y ofrecen una mejor predicción de la respuesta en terreno, en comparación con el potencial de crecimiento radicular. De igual manera, los niveles nutricionales desempeñaron un papel fundamental en la respuesta de las plantas durante el ensayo en terreno. Los nutrientes esenciales, pueden haber influido directamente en los procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento y desarrollo de las raíces, así como en la adaptación general de las plantas a las condiciones del entorno.

Para asegurar una buena calificación de plantas de un vivero determinado, es necesario realizar una evaluación integral que combine los atributos morfológicos, fisiológicos y del comportamiento para obtener una respuesta robusta para predecir el comportamiento de las plantas de *Quillaja saponaria* en condiciones reales.

VI BIBLIOGRAFÍA

Apablaza, J., & Urra, F. (2004). Insectos y otros artrópodos en quillay. *Agronomía y Forestal UC*, 6(22), 12-14.

Benedetti, S., Delard, C., Roach, F., & González, M. (2000). Monografía de *Quillaja saponaria*. Proyecto de desarrollo de las comunas pobres de la zona de secano (Prodecop-Secano). INFOR.

Birchler, T., Rose, R., Royo, A., & Pardos, M. (1998). La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 7(1-2).

Cabeza, R., Claasen, N. (2017). Sistemas radicales de cultivos: extensión, distribución y crecimiento. *Agro Sur*, 45(2), 31-45.

Córdova, D., Vargas, J., López, J., & Muñoz, A. (2011). Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia*, 45, 493-506.

Decarli, N. (1999). El potencial de crecimiento radicular como predictor del comportamiento inicial de plantas de *Eucalyptus nitens* en terreno (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Concepción, Chile.

Escobar, R. (2007). Manual de viverización, *Eucalyptus globulus* a raíz cubierta. Proyecto "Desarrollo de estándares de origen de la semilla y calidad de la planta para el aumento de la productividad en plantaciones y bosques naturales". INNOVA-CHILE-CORFO.

Infor. (2012). Informe: Concepto de planta de calidad en viveros de la zona centro-sur del país.

Minko, G., & Craig, F. G. (1976). *Radiata pine* research in North-eastern Victoria (Bulletin No. 23). Forest Commission, Victoria, Australia.

Montesinos, R. (2017). Utilización de cenizas de calderas dendroenergéticas como enmendante para plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* en dos tipos de suelos contrastantes.

Montoya, J., & Cámara, M. (1996). La planta y el vivero forestal. Madrid, España.

Municipalidad de Quillón. (2007). Plan de desarrollo comunal de Quillón.

Neuenschwander, A. (1965). Contribución al estudio anatómico de la corteza de quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) y recomendaciones sobre su explotación (Tesis de pregrado). Facultad de Agronomía, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Prieto, J. A., & Sáenz, J. T. (2011). Indicadores de la calidad de planta en viveros de la Sierra Madre Occidental (Libro Técnico Núm. 3). Campo Experimental Valle del Guadiana, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP, Durango, México.

Prieto, J., Sigala, R., Pinedo, L., García, J. L., Madrid, A., García, J. L., & Mejía, B. (2009). Calidad de planta en los viveros forestales del Estado de Durango (Folleto Núm. 30). INIFAP, CIRNOC, Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, México.

Reyes, M. D. (2006). Caracterización del desarrollo de rebrotes de diferentes edades, en un monte bajo clareado de quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) en el secano interior de la VI Región (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Ritchie, G. A., & Dunlap, J. (1980). Root growth potential: Its development and expression in forest tree seedlings. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 10, 218-248.

Ritchie, G. A., Landis, T. D., Dumroese, K., & Haase, D. L. (2010). Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor: Volumen 7, capítulo 2, evaluación de la calidad de la planta.

Ritchie, G. A., & Tanaka, Y. (1990). Root growth potential and the target seedling. En R. Rose, S. J. Campbell, & T. D. Landis (Eds.), *Target seedling symposium: Proceedings Combined Meeting of the Western Forest Nursery Association* (pp. 37-51).

Rodríguez, R., Ruiz, E., & Elissetche, J. (2005). *Árboles en Chile*. Editorial Universidad de Concepción.

Rubio, R. (2002). Conectando el fósforo del suelo con la planta. In: Simposio "Enfoque sistémico de la fertilización fosfórica". Informaciones Agronómicas del Cono Sur, 16, 19-24.

Tanaka, Y., Brotherton, P., Hostetter, S., Chapman, D., Dyce, S., Belanger, J., Johnson, B., & Duke, S. (1997). The operational planting stock quality testing program at Weyerhaeuser. *New Forests*, 13, 423-437.

Tippens, P. (2011). Física Conceptos y Aplicaciones. Editorial MCGRAW HILL, Edición 7, 311-312.

Vega, A. (2015). Boletín técnico n.º 52: El efecto del nitrógeno en las enfermedades de las plantas. Facultad de Agronomía y Forestal, Universidad Católica, Santiago, Chile.

Vita, A. (1974). Boletín técnico n.º 28: Algunos antecedentes para la silvicultura del quillay (*Quillaja saponaria* Mol.). Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile. Vita, A. (1996). Los tratamientos silviculturales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

VII APÉNDICE

Tabla 1A. Análisis de varianza ANOVA de diámetro a la altura del cuello al inicio de ensayo de PCR.

ANOVA									
Sources	SS	df	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE	Omega Sq	
Between Groups	4.19823776	2	2.09911888	24.7396418	0.000220081	0.84609935	2.48694802	0.79824908	
Within Groups	0.76363555	9	0.08484839						
Total	4.96187331	11	0.45107939						

Tabla 2A. Test de Tukey de diámetro a la altura del cuello al inicio de ensayo de PCR.

Q TEST									
group 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	mean-crit	Cohen d
v1	v2	1.2928125	0.14564374	8.87654021	0.71781102	1.86781398	0.000380979	0.57500148	4.43827011
v1	v3	0.08	0.14564374	0.54928554	-0.49500148	0.65500148	0.920920513	0.57500148	0.27464277
v2	v3	1.2128125	0.14564374	8.32725467	0.63781102	1.78781398	0.000608566	0.57500148	4.16362733

Tabla 3A. Análisis de varianza ANOVA de longitud de tallo al inicio de ensayo de PCR.

ANOVA									
Sources	SS	df	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE	Omega Sq	
Between Groups	445.238516	2	222.619258	34.4940251	0.00006025110	0.8845977	2.93658071	0.84807829	
Within Groups	58.0846484	9	6.45384983						
Total	503.323164	11	45.7566513						

Tabla 4A. Test de Tukey de longitud de tallo al inicio de ensayo de PCR.

Q TEST									
group 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	mean-crit	Cohen d
v1	v2	12.765625	1.27022142	10.0499211	7.75079083	17.7804592	0.000148842	5.01483417	5.02496053
v1	v3	13.071875	1.27022142	10.2910208	8.05704083	18.0867092	0.000123889	5.01483417	5.14551038
v2	v3	0.30625	1.27022142	0.2410997	-4.70858417	5.32108417	0.984132772	5.01483417	0.12054985

Tabla 5A. Análisis de varianza ANOVA de longitud de raíz al inicio de ensayo de PCR.

ANOVA									
Sources	SS	df	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE	Omega Sq	
Between Groups	79.6627344	2	39.8313672	91.4614158	0.000001047180	0.95310615	4.7817731	0.93779896	
Within Groups	3.91949219	9	0.43549913						
Total	83.5822266	11	7.59838423						

Tabla 6A. Test de Tukey de longitud de raíz al inicio de ensayo de PCR.

Q TEST									
<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
v1	v2	4.646875	0.32996179	14.08307	3.34418585	5.94956415	0.00000990899	1.30268915	7.04153502
v1	v3	6.021875	0.32996179	18.2502192	4.71918585	7.32456415	0.00000111095	1.30268915	9.1251096
v2	v3	1.375	0.32996179	4.16714917	0.07231085	2.67768915	0.03928475563	1.30268915	2.08357458

Tabla 7A. Análisis de varianza ANOVA de número de raíces nuevas del ensayo de PCR.

ANOVA									
<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>RMSSE</i>	<i>Omega Sq</i>	
Between Groups	21.2604167	2	10.6302083	0.10067909	0.905227166	0.02188353	0.15864984	-0.17631396	
Within Groups	950.265625	9	105.585069						
Total	971.526042	11	88.3205492						

Tabla 8A. Análisis de varianza ANOVA de las tres raíces más largas del ensayo de PCR.

ANOVA									
<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>RMSSE</i>	<i>Omega Sq</i>	
Between Groups	3.30747995	2	1.65373997	0.50183481	0.621404308	0.10033015	0.3542015	-0.09054528	
Within Groups	29.658484	9	3.29538711						
Total	32.9659639	11	2.99690581						