



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y CONSERVACIÓN DE
LA NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA
NATURALEZA

EFFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE SEMILLAS DE ARAUCARIA
(*Araucaria araucana* (Molina) K. KOCH) SOBRE LA CAPACIDAD
GERMINATIVA Y CRECIMIENTO INICIAL

Memoria para optar al título

Profesional de Ingeniero Forestal

CRISTÓBAL ALEJANDRO ZÚÑIGA PÉREZ DE ARCE

Prof. Guía: Dr. Carlos Magni Díaz. Ingeniero Forestal.

Santiago, Chile
2022

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y CONSERVACIÓN DE LA
NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA
NATURALEZA

EFFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE SEMILLAS DE ARAUCARIA
(*Araucaria araucana* (Molina) K. KOCH) SOBRE LA CAPACIDAD
GERMINATIVA Y CRECIMIENTO INICIAL

Memoria para optar al título

Profesional de Ingeniero Forestal

CRISTÓBAL ALEJANDRO ZÚÑIGA PÉREZ DE ARCE

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Carlos Magni Díaz
Prof. Consejera: Karen Peña Rojas
Prof. Consejero: Eduardo Martínez Herrera

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
1.1 Cambio en las condiciones ambientales	1
1.2 Semillas recalcitrantes y desecación	1
1.3 Tamaño de la semilla y su importancia en la germinación	2
1.4 Antecedentes de la especie	2
1.5 Amenazas y permanencia de la especie	4
MATERIAL Y MÉTODO	6
2.1 Materiales	6
2.1.1 Lotes comerciales	6
2.1.2 Ubicación del ensayo	6
2.1.3 Instalación del ensayo	6
2.2 Método	6
2.2.1 Obtención de semillas	6
2.2.2 Caracterización de las semillas	7
2.2.3 Diseño experimental	8
2.2.4 Parámetros de medición	10
2.2.5 Análisis estadístico	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
3.1 Caracterización de semillas	14
3.2 Cronología del ensayo	14
3.3 Capacidad germinativa	15
3.4 Crecimiento inicial de plántulas	18
3.5 Calidad de las plántulas evaluadas	23
3.5.1 Índice longitud de tallo / longitud de raíz	23
3.5.2 Índice de Esbeltez	24
3.5.3 Índice de Calidad de Dickson	25
3.6 Análisis de los componentes principales	26
3.7 Correlaciones	28
CONCLUSIONES	31
BIBLIOGRAFÍA	32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°1: Caracterización de las semillas.	14
Cuadro N°2: Fechas de inicio y término del ensayo de capacidad germinativa.....	15
Cuadro N°3: Parámetros de medición ensayo de germinación.	18
Cuadro N°4: Altura promedio de plántulas por lote.....	18
Cuadro N°5: Largo radicular promedio por lote.	20
Cuadro N°6: Biomasa radicular promedio según contenido de humedad y lote.....	20
Cuadro N°7: Biomasa total promedio según contenido de humedad y lote.....	22
Cuadro N°8: Matriz de Correlación / Coeficientes	27
Cuadro N°9: Matriz de Correlación / Probabilidad.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Largo externo e interno de la semilla.	7
Figura 2: Ancho superior e inferior de la semilla.	8
Figura 3: Ensayo de capacidad germinativa en contenedores.	9
Figura 4: Radícula superior a 2 mm.....	9
Figura 5: Crecimiento inicial de plántulas.	10
Figura 6: Parámetros morfológicos a evaluar.	12
Figura 7: Capacidad germinativa por lote y por contenido de humedad.	16
Figura 8: Curva de germinación según contenido de humedad de las semillas.	17
Figura 9: Biomasa radicular vs tamaño de semilla para cada lote.	21
Figura 10: Volumen radicular para cada contenido de humedad y lote de semillas.	22
Figura 11: Índice longitud tallo / longitud raíz, según CH de la semilla y lote de semilla.	23
Figura 12: Índice de Esbeltez según el contenido de humedad de las semillas.	25
Figura 13: Índice de calidad de Dickson según el contenido de humedad.	26
Figura 14: ACP de parámetros morfológicos asociados al crecimiento inicial de plántulas de araucaria.	28
Figura 15: Correlación peso (g) /largo semilla (mm) y largo plántula total (mm) para CH inicial 48%.	29
Figura 16: Correlación peso (g) /largo semilla (mm) y largo plántula total (mm) para CH <40%	29
Figura 17: Correlación peso (g) /largo semilla (mm) y largo plántula total (mm) para CH <30%	30

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor guía Carlos Magni, por guiarme y aconsejarme en este proyecto que realizamos a distancia, y por depositar su confianza en mí para llevar a cabo el ensayo. A mis profesores consejeros Karen Peña y Eduardo Martínez por su ayuda a lo largo del proceso con el análisis de los datos y comentarios constructivos.

A María Julia que tuvo toda la disponibilidad y amabilidad para ayudarme en la evaluación y medición de las plántulas ya que sin su ayuda hubiese sido muy difícil lograr el análisis de buena manera.

Por último, a mi familia y a mi polola Paola por el constante apoyo en la realización de este proyecto y por todos estos años de estudio que, sin sus apoyos, no hubiese sido posible finalizar.

RESUMEN

Araucaria araucana (Mol.) K. Koch es una especie nativa presente en los bosques de Chile y Argentina que dada la actual crisis climática se podría ver afectada por la disminución del régimen de precipitaciones y el aumento de las temperaturas. La humedad y las temperaturas son factores que limitan la germinación de las especies con semillas recalcitrantes, y los cambios en las condiciones ambientales afectarían directamente la disponibilidad hídrica en el suelo, perjudicando la capacidad germinativa y desarrollo de la especie debido a la desecación acelerada de sus semillas.

Bajo este contexto, el presente estudio tiene por objetivo evaluar el efecto del contenido de humedad de semillas de *Araucaria araucana* sobre la capacidad germinativa y crecimiento inicial en laboratorio.

A partir de cuatro lotes de semillas comerciales, se evaluó la capacidad germinativa y el crecimiento inicial de plántulas de araucarias sometidas a distintos contenidos de humedad de las semillas al momento de la siembra, en laboratorio. Los resultados indican que el contenido de humedad de las semillas (CH) tiene un efecto importante sobre el porcentaje de germinación (G) y desarrollo inicial de plántulas (IP). Inicialmente el CH fue de 48% con un promedio de 77% de G, y al bajar el CH a 38% la G disminuye a un 17% en promedio. El IP expresado en biomasa total, muestra diferencias significativas entre los CH, donde las plántulas con el contenido de humedad mayor de 48% alcanzaron un promedio de 0,98 g, mientras que las plántulas asociadas al menor contenido de humedad <30% llegaron a un promedio de 0,39 g.

Finalmente, no fue posible establecer correlaciones robustas en cuanto al tamaño de la semilla, el contenido de humedad y el desarrollo inicial de plántulas, atribuible al escaso tiempo de crecimiento que tuvieron las plántulas para determinar asociaciones más concretas.

Palabras claves: *Araucaria araucana*, contenido de humedad, recalcitrante, germinación, crecimiento inicial.

ABSTRACT

Araucaria araucana (Mol.) K. Koch is a native specie from the forests of Chile and Argentina that given the current climate crisis could be affected by the decrease in rainfall and the increase in temperatures. The humidity and temperatures are limiting factors in the germination of species with recalcitrant seeds, and the changes on the environment conditions would directly affect the water availability in the soil, impairing the germinative capacity and the development of the specie due to the accelerated desiccation of the seeds.

Under this context, the present study aims to evaluate the effect of the moisture content of *Araucaria araucana* seeds on germination capacity and initial growth in the laboratory.

From four commercial lots, germinative capacity and initial growth of araucaria seedling were evaluated submitted to a different moisture content of the seeds at sowing, in laboratory. The results show that the moisture content of the seeds (CH) has an important effect on the germination percentage (G) and initial developing of seedlings (IP). Initially, the CH was 48% with an average of 77% of G, and when CH was at 38%, the G decreases to 17% on average. The IP expressed as total biomass, show significant differences between the CH, where the seedling with the higher moisture content of 48% reached an average of 0,98 g, meanwhile the seedlings associated to the lowest moisture content <30% reached an average of 0,39 g.

Finally, it was not possible to stablish robust correlations in terms of seed size, moisture content and the initial development of seedlings, attributable to short growth time that seedlings had to determinate more concrete associations.

Keywords: *Araucaria araucana*, moisture content, recalcitrant, germination, initial growth.

INTRODUCCIÓN

1.1 Cambio en las condiciones ambientales

La megasequía que se presenta en Chile central desde el año 2010, ha generado una reducción de la disponibilidad de agua, afectando la vegetación y el incremento de los incendios forestales (Garreaud *et al.*, 2020). Además, es un fenómeno que cada vez se extiende por más tiempo en la zona centro-sur de Chile con un déficit de precipitación anual de entre un 55 % y 75 %, con una fuerte disminución en la productividad de la vegetación (Garreaud *et al.*, 2017).

De acuerdo con Garreaud *et al.*, (2017), la megasequía estudiada entre 2010 y 2015 muestra un encogimiento más rápido de las zonas nevadas durante la primavera y una reducción aproximada del 30% del agua de nieve proveniente de las zonas entre los 3.000 y 4.000 m.s.n.m., comparado con la década pasada. Respecto al cambio de temperaturas, en un análisis que abarca aproximadamente 30 años, desde la Región del Bío-Bío hacia el sur predominaría un leve enfriamiento. Además, sostiene que las zonas comprendidas entre el Maule y Chiloé presentan tendencias significativas en cuanto a los cambios en la precipitación con una reducción de hasta 100 mm por década (Garreaud, 2011).

Las especies que crecen con fuerte influencia mediterránea están cerca de su temperatura óptima por lo que el calentamiento ocasionado con la sequía contribuye a perjudicar la fotosíntesis, y disminuye el crecimiento y sobrevivencia de las plantas (Bussotti *et al.*, 2014). En este clima con influencia mediterránea, la sequía es un peligro recurrente y complejo cuya frecuencia y magnitud se espera que aumente debido al cambio climático (Aldunce *et al.*, 2017).

1.2 Semillas recalcitrantes y desecación

La propiedad de tolerancia a la desecación está basada en la presencia e interacción de diversos procesos expresados durante el desarrollo de las semillas, y las que no adquieren esta propiedad completamente se denominan recalcitrantes. Las semillas recalcitrantes no se pueden almacenar a bajos contenidos de agua (Berjak y Pammenter, 2004) y, además, permanecen sensibles a la deshidratación lo que impacta en su capacidad de almacenamiento de corto plazo (Berjak y Pammenter, 2010; Franklin y Robert, 2008).

Este tipo de semillas no tiene un nivel de desecación único, sino que varía dependiendo de la especie y se evidencia en las distintas respuestas frente a un régimen de secado (Vozzo, 2010).

Es bastante probable que la producción de semillas recalcitrantes se ha visto favorecida en sectores donde habría poca ventaja selectiva para adquirir tolerancia a la desecación (Berjak y Pammenter, 2004). Asimismo, esta tolerancia a la desecación está sujeta a la sensibilidad diferencial a la deshidratación debido a sus respuestas frente a un régimen de secado. Algunas

especies toleran ligeros grados de deshidratación, mientras que otras sobreviven con contenidos de humedad mucho más bajos (Berjak y Pammenter, 2010).

En las regiones de clima Mediterráneo el aumento de la condición de sequía durante el invierno puede ser perjudicial para las especies de semillas recalcitrantes (Joët *et al.*, 2016), considerando que la capacidad que estas tengan para sobrevivir a la desecación es un rasgo funcional importante y es un componente integral de la ecología de regeneración natural de las especies (Tweddle *et al.*, 2003). Adicionalmente, la desecación de la semilla parece ser más que tan solo el secado de la semilla, sino más bien una etapa activa en cuanto a expresión génica y metabólica. Esto también se refleja en las múltiples funciones del estado de desecación con respecto al desarrollo de las semillas, la adquisición de latencia, post-maduración y germinación (Angelovici *et al.*, 2010).

1.3 Tamaño de la semilla y su importancia en la germinación

La variación en el tamaño de las semillas tiene un rol importante en los procesos germinativos y de establecimiento de plántulas, ya que se ha reportado que las características germinativas pueden variar según este tamaño (Ayala-Cordero *et al.*, 2004).

Diversos estudios se han concentrado en la relación entre el tamaño de la semilla y la germinación indicando que semillas de mayor tamaño tendrían una mayor tasa de germinación, vigor y potencial de rendimiento en terreno (Castro *et al.*, 2006). Estos mismos autores, recalcan que el tamaño de las semillas está determinado principalmente por las condiciones ambientales, tanto bióticas como abióticas, y el estado fisiológico de la planta.

La reserva de las semillas de *Araucaria araucana* está compuesta principalmente por almidón, el cual constituye el 61% de su peso seco, donde el almidón corresponde al 31% del peso seco del embrión y al 63% del peso seco del megagametofito (Cardemil y Varner, 1984; Waghorn *et al.*, 2003). El almidón es digerido, en un proceso denominado hidrólisis, principalmente por isoenzimas del tipo α -amilasa que ocurre durante la germinación. De esta manera, las semillas germinan utilizando sacarosa que es sintetizada a partir de la glucosa, el producto de la hidrólisis del almidón (Cardemil y Reinero, 1982; Waghorn *et al.*, 2003). Por último, la sacarosa aportada por el megagametofito es absorbida por los cotiledones del embrión, transportándolos posteriormente a los tejidos embrionarios para el desarrollo de las plántulas (Cardemil *et al.*, 1990; Lozada y Cardemil, 1990).

1.4 Antecedentes de la especie

Araucaria araucana (Mol.) K. Koch, es una especie nativa que se distribuye en el sur de Chile y Argentina, desarrollándose principalmente en la Cordillera de los Andes entre el sur de la Región del Bío-Bío y el norte de la Región de los Lagos, abarcando un rango altitudinal que va desde los 900 a los 1.700 m.s.n.m (Hechenleitner *et al.*, 2005).

Crece en los bosques templados de Chile y Argentina, desarrollándose en un clima templado cálido con una fuerte influencia mediterránea en su área de distribución más septentrional,

asociada a las poblaciones de la Cordillera de Nahuelbuta, con cuatro meses secos y con un monto de 1.500 a 3.000 mm anuales (Ipinza y Müller-Using, 2021).

En las partes altas de la cordillera de los Andes se desarrolla en un clima de frío debido a la altitud con precipitaciones, generalmente en forma de nieve, que varían entre los 2.000 y 4.000 mm anuales, y temperaturas que pueden llegar a los -10°C en invierno y a los 30°C en verano (Donoso *et al.*, 2009).

En la zona asociada a la Cordillera de los Andes del lado argentino, la especie se desarrolla en un clima frío de estepa donde las precipitaciones disminuyen hasta 800 mm al año y las temperaturas pueden llegar a los -20°C en invierno (Donoso *et al.*, 2009).

En la Cordillera de los Andes se desarrolla formando rodales puros, en laderas volcánicas pronunciadas y en asociación con especies del género *Nothofagus*. En la Cordillera de Nahuelbuta se encuentran dos subpoblaciones que se desarrollan entre la Región del Bío-Bío y la Región de la Araucanía (Hechenleitner *et al.*, 2005). Según el último monitoreo del Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile entre el período 1997 a 2011, la superficie total del tipo Forestal Araucaria es 253.739 ha, donde 91.092 ha se encuentra protegida en los Parques y Reservas Nacionales entre las regiones del Biobío y la de Los Ríos, concentrándose mayormente en la Región de La Araucanía (CONAF, 2011).

Esta especie puede alcanzar los 50 metros de altura, una copa piramidal y una corteza gruesa y rugosa, desarrollando un tronco recto que puede alcanzar los 250 cm de diámetro y con ausencia de ramas en su estado adulto (Donoso, 1993; MMA, 2018a). Presenta hojas perennes, sésiles, muy rígidas y puntiagudas que se disponen de manera helicoidal sobre las ramillas. Éstas miden 3-5 cm de largo y 8-25 mm de ancho en la base, su color es verde oscuro, lustroso y con estomas en ambas caras (Donoso, 1993; Ipinza y Müller-Using, 2021). Es una especie dioica que presenta flores masculinas en forma de conos amentiformes cilíndricos de 8 a 12 cm de largo y 4 a 5 cm de diámetro que aparecen entre los meses de agosto y septiembre, mientras que las flores femeninas son conos esféricos de 15 a 20 cm de diámetro apareciendo a fines de diciembre (Ipinza y Müller-Using, 2021).

El estado de sus poblaciones es frágil debido a su explotación indiscriminada durante décadas pasadas, donde se cortaron los árboles más grandes y vigorosos con fines madereros, dejando sus poblaciones en un evidente estado de deterioro (Taha *et al.*, 2011; Donoso, 1990).

Debido a la fuerte presión existente sobre sus poblaciones se declaró Monumento Nacional por el Decreto Supremo N°43 en el año 1990, el cual prohíbe toda intervención sin previa autorización de CONAF (MINAGRI, 1990). Además, mediante el D.S. N° 79 Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres (RCE) del Proceso XIV (MMA, 2018b), se reclasificaron las poblaciones de la Cordillera de Nahuelbuta en “En peligro” (EN) y a las del sector de la Cordillera de Los Andes como “Vulnerable” (VU).

1.5 Amenazas y permanencia de la especie

Una de las principales amenazas para la especie es el fuego, lo que quedó demostrado entre los años 2001-2002 cuando 1.600 y 8.300 ha de bosques puros de araucaria se incendiaron en el Parque Nacional Conguillío y Reserva Nacional Malleco respectivamente (Hechenleitner *et al.*, 2005). Sin embargo, Donoso *et al.*, (2014) recalcan que los incendios han sido un factor recurrente en el área de distribución de la especie y que al encontrarse en una región volcánica tan activa se ha influenciado la expresión de características adaptativas a este tipo de disturbio.

Zamorano-Elgueta *et al.*, (2012), indican que la influencia del ganado tiene un efecto exponencialmente negativo en cuanto a la cantidad y calidad de la regeneración natural de la especie en la zona asociada a la Cordillera de Nahuelbuta, indicando que pequeños incrementos en la intensidad del ganado puede provocar efectos sustanciales en cuanto a los niveles de regeneración e incluso propiciando un aumento en los rebrotes de origen vegetativo.

Las comunidades indígenas mapuche-pehuenches han utilizado históricamente la semilla de araucaria denominada “piñón” con fines alimenticios y como fuente de ingreso (Aagesen, 1998). De esta manera las comunidades mapuche-pehuenches recolectan los piñones durante los meses de febrero y marzo para venderlos a granel y sin procesar a pequeños comerciantes, que posteriormente revenden a comerciantes mayores como ferias o supermercados (Cortés *et al.*, 2019).

Neira (1995), indica que una familia conformada por tres adultos puede recolectar un saco de 65 a 85 kg por día logrando, en un año de buena producción, hasta 32 sacos reflejados en 2.500 kg por temporada. Esto es una clara muestra del potencial comercial que actualmente presenta la semilla de la especie. Cortés *et al.*, (2019), recalca que los productos elaborados en base a piñón van aumentando la demanda de comercialización, pero que aún persiste un modo de producción artesanal que involucra a la mayoría del núcleo familiar en su fabricación.

La extracción excesiva de sus conos y semillas podría generar problemas en cuanto a su estado de conservación, esto debido a la renovación del bosque y disponibilidad de propágulos. Actualmente, no existen mecanismos que permitan regular la cosecha en función de la producción (Donoso *et al.*, 2010).

Por último, en el año 2016 se comenzó a observar una enfermedad asociada al daño foliar de la especie donde luego de una prospección fitosanitaria, durante 2017 y 2018, se determinó una afectación del 98% de los individuos y una mortalidad cercana al 11% en las regiones del Bío-Bío, Araucanía y Los Ríos (CONAF, 2020). El daño se presenta en las copas y ramas con diversa severidad en individuos jóvenes y adultos sin diferenciación, y los síntomas se caracterizan por la pérdida del color verde de las hojas, pasando transitoriamente a un color café hasta secarse por completo, el debilitamiento de ramas y la resinación en la base del tronco (Ipinza y Müller-Using, 2021; Saavedra y Willhite, 2017). Existen diversas hipótesis respecto a las causas que han provocado este daño como el ataque de agentes patógenos,

cambio climático, régimen de hambre de la especie y problemas en su genoma (Ipinza y Müller-Using, 2021).

Dada la necesidad de profundizar en los aspectos ecológicos descritos anteriormente, esta memoria tiene por objetivo general:

Evaluar el efecto del contenido de humedad de semillas de araucaria (*Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch) sobre la capacidad germinativa y crecimiento inicial en laboratorio. Para ello se consideran los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar la germinación de semillas de araucaria con diferentes contenidos de humedad provenientes de cuatro lotes comerciales.
2. Evaluar el crecimiento en altura y radical inicial para los lotes considerando el contenido de humedad de la semilla para la germinación.
3. Correlacionar el tamaño, contenido de humedad y fitness (del crecimiento inicial).

MATERIAL Y MÉTODO

2.1 Materiales

2.1.1 Lotes comerciales

El estudio se enfocará en evaluar la capacidad germinativa y crecimiento inicial de plántulas provenientes de semillas de cuatro lotes comerciales, que se obtuvieron en la ciudad de Santiago, Región Metropolitana. Las semillas de araucaria fueron adquiridas en los supermercados Santa Isabel y Jumbo.

2.1.2 Ubicación del ensayo

El ensayo de germinación se realizó durante los meses de junio y octubre en las instalaciones del CESAF-Vivero Antumapu del Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza de la FCFCN, Universidad de Chile, Región Metropolitana. Se sembraron un total de mil doscientas semillas provenientes de cuatro lotes comerciales y se realizó un monitoreo y toma de datos durante cinco meses.

2.1.3 Instalación del ensayo

El ensayo se diseñó simulando condiciones ambientales iguales para monitorear la respuesta de las semillas respecto a su origen. La siembra se realizó en las dependencias del CESAF-Vivero Antumapu con todos los implementos necesarios para los tratamientos culturales que implica la viverización de esta especie.

El sustrato que se utilizó estuvo compuesto de arena fina para el ensayo de capacidad germinativa, y de fibra de coco y perlita para el de viverización. Para el ensayo de capacidad germinativa se utilizaron contenedores plásticos con capacidad de 25 semillas por contenedor y para la viverización de las plántulas se utilizaron bandejas almacigueras forestales con 84 cavidades de 96 cc cada una.

2.2 Método

2.2.1 Obtención de semillas

La obtención de semillas se realizó mediante la compra de cuatro lotes de aproximadamente 2 kg cada uno de distintos proveedores en Santiago. Esto se realizó durante el mes de marzo para comenzar inmediatamente su caracterización y posteriormente su almacenamiento en frío por 45 días a 5 °C hasta el momento de la siembra.

2.2.2 Caracterización de las semillas

Todos los análisis de laboratorio se realizaron en las dependencias del CESAF del Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza de la FCFCN de la Universidad de Chile y se realizaron bajo los lineamientos que describe la Asociación Internacional de testeo de semillas (ISTA, 1999).

Número de semillas por kilogramo: Para realizar este cálculo se tomaron cuatro grupos de cien semillas por cada lote y se pesaron en una balanza de 2 decimales, al gramo. Se obtuvo el número de semillas por kilogramo realizando una regla de tres en cada grupo. Finalmente, los valores obtenidos para cada grupo se sumaron y se promediaron, obteniendo el número de semillas por kilogramo promedio para cada uno de los cuatro lotes.

Caracterización: Se midieron distintos parámetros de cada una de las semillas como el largo externo, el largo interno (Figura 1), ancho superior, ancho medio (Figura 2), el peso y su estado (vana o sin observaciones).

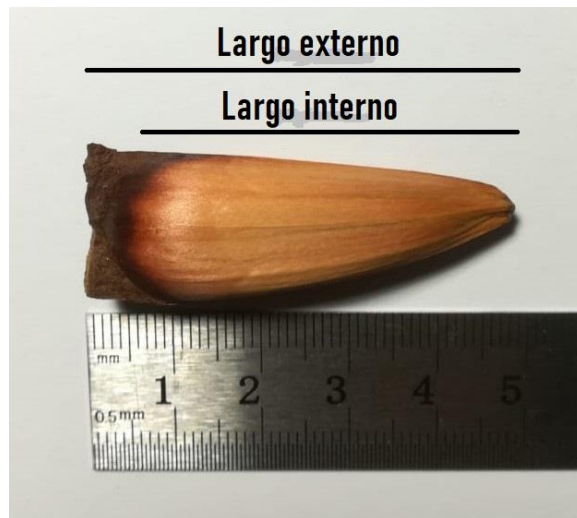


Figura 1: Largo externo e interno de la semilla.

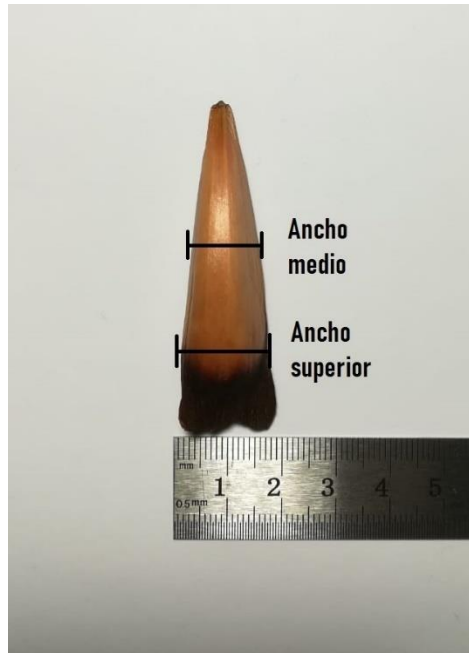


Figura 2: Ancho superior e inferior de la semilla.

2.2.3 Diseño experimental

El diseño contempló la siembra de 1.200 semillas en total considerando los tres contenidos de humedad y los cuatro lotes. Del total de semillas que germinaron, se evaluaron 40 plántulas repicadas por cada contenido de humedad, para cada uno de los lotes en el ensayo de viverización.

Contenido de humedad: El contenido de humedad inicial se determinó con una muestra de 3 grupos de 10 semillas por cada lote, la cual se consideró representativa de todo el lote. Las muestras se sacaron del refrigerador y se pesaron, obteniéndose el peso húmedo. Luego se pusieron en una estufa de aire forzado a 105°C por 17 horas, y concluido ese tiempo se pesaron nuevamente para obtener el peso seco, basado en los métodos de ISTA (1999). La relación entre ambos pesos determinó el contenido de humedad de los piñones como se observa en la siguiente fórmula:

$$CH\ inicial = \frac{Peso\ fresco - Peso\ seco}{Peso\ fresco} * 100$$

El contenido de humedad inicial tendrá un peso fresco promedio de la semilla asociado, por lo que para obtener los contenidos de humedad bajo 40% y bajo 30%, se pesó otra muestra de 30 semillas por lote, determinando un peso promedio que se correspondiera con el contenido de humedad deseado mediante regla de tres. Para obtener los contenidos de humedad deseados las semillas de cada lote se mantuvieron en una bandeja donde recibieron aire constante a una temperatura promedio de 20°C y humedad promedio de 30% para acelerar la pérdida de humedad y se pesaron periódicamente para verificar esta disminución.

Capacidad germinativa: Para este ensayo se realizaron cuatro repeticiones de 25 semillas por cada contenido de humedad y por lote, totalizando 1.200 semillas sembradas (400 por cada contenido de humedad). Además, se utilizaron contenedores plásticos con capacidad de 25 semillas por contenedor, sustrato de arena fina y se mantuvieron a una temperatura promedio de 25 °C (Figura 3). Se consideró germinada la semilla que presentara una radícula con longitud igual o superior a 2 mm (Figura 4).



Figura 3: Ensayo de capacidad germinativa en contenedores.



Figura 4: Radícula superior a 2 mm.

Crecimiento inicial de plántulas: Para este ensayo se utilizaron las plántulas que germinaron del ensayo de capacidad germinativa y se repicaron en bandejas almacigueras forestales de poliestireno expandido con 84 cavidades de 96 cc con sustrato de fibra coco y perlita. Las plántulas se mantuvieron a una temperatura promedio de 25°C hasta finalizar el ensayo en el mes de octubre y del total, se analizaron 10 plántulas (Figura 5), por cada lote y por cada contenido de humedad, contemplando 120 plántulas en total, donde se realizó el análisis radicular y otros parámetros de medición.



Figura 5: Crecimiento inicial de plántulas.

2.2.4 Parámetros de medición

Al finalizar el ensayo, en octubre, después de 3,5 meses de viverización, las plántulas fueron medidas respecto a sus características morfológicas (Figura 6) y de desarrollo inicial que se detallan a continuación.

Capacidad Germinativa: Corresponde al número de semillas germinadas al término del ensayo en octubre de 2021, en relación con el número total de semillas ensayadas, expresado como porcentaje (ISTA, 1999).

Valor máximo de Czabator: Máximo cociente obtenido a partir del porcentaje de germinación acumulada en cualquier día, dividido por el número de días transcurrido en alcanzar dicho porcentaje (Czabator, 1962).

Energía germinativa: Es el porcentaje más alto de semillas germinadas desde el comienzo del ensayo. Es una medida de la velocidad de la germinación y se determina a través del parámetro Valor máximo de Czabator (Cabello *et al.*, 2001).

Periodo de energía: Tiempo que se requiere para alcanzar el valor máximo de germinación (Cabello *et al.*, 2001).

Mortalidad de las semillas: Se determinó mediante corte y observación del embrión de todas las semillas que no germinaron, una vez cumplido los 107 días que duró el ensayo de capacidad germinativa. Se consideró una semilla como muerta, cuando presentaba los cotiledones de un color anormal o con algún grado de ataque de hongos (Cabello, 1979).

Diámetro de cuello: Se determinó con un instrumento llamado “pie de metro” y con precisión de 0,1 mm.

Longitud del tallo: Se midió con exactitud milimétrica desde el cuello hasta el ápice de la planta.

Longitud de la raíz: Se midió con exactitud milimétrica desde el cuello hasta el ápice de la raíz.

Longitud total de las plantas: Se obtuvo de la suma de los resultados obtenidos en la medición de tallo y raíz.

Altura: Corresponde a la longitud, en cm, que va desde el cuello de la plántula hasta la punta de las hojas.

Área foliar: Se escanearon las hojas de cada individuo en una superficie de color blanco y mediante el programa Image J se observó en escala blanco y negro la superficie en cm² que corresponden a las hojas de cada plántula.

Volumen radicular: Se dispuso de un vaso de precipitado con agua destilada. En este vaso se sumergió la raíz de cada planta y se determinó el volumen por el concepto de volumen desplazado, expresado en el aumento de volumen del vaso.

Peso seco de las hojas: Las muestras foliares fueron identificadas por lote, contenido de humedad y número de semilla para luego ser sometidas a un proceso de secado durante 24 horas en una estufa de aire forzado a 65°C, tiempo suficiente para lograr que la biomasa alcance un peso constante y obtener el peso seco.

Peso seco del tallo: Se procedió de igual forma que para el cálculo de peso seco de las hojas.

Peso seco de la raíz: Se procedió de igual forma que para el cálculo de peso seco de las hojas y se realizó después de analizar el volumen radicular de cada plántula.

Peso seco total: Se determinó por la sumatoria de los pesos secos de hojas, tallo y raíz.

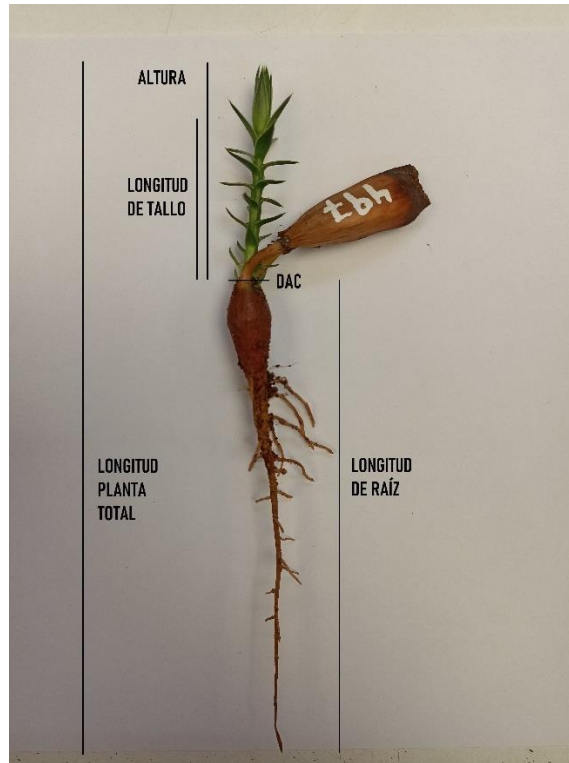


Figura 6: Parámetros morfológicos a evaluar.

2.2.5 Análisis estadístico

Se realizó en primera instancia una estadística descriptiva para cada uno de los cuatro lotes donde se evaluaron parámetros como N° de semillas germinadas por lote, % de mortalidad de semillas por contenido de humedad, % de germinación, N° de semillas por kg, entre otros. Además, se realizó un análisis de los componentes principales (ACP), para identificar asociaciones entre las variables de crecimiento morfológico y el contenido de humedad de las semillas.

Las diferencias entre las variables evaluadas se realizaron a través de un ANDEVA (análisis de varianza), donde se consideró solamente el contenido de humedad de las semillas, y se realizó tanto para los parámetros morfológicos como para la capacidad germinativa y mortalidad de semillas. A estos últimos parámetros, que representan porcentajes, se les aplicó la transformación de Bliss, pues los valores porcentuales no cumplen con los supuestos de normalidad del ANDEVA. La transformación que se aplicó fue la siguiente:

$$Y = \arcsen \sqrt{x/100}$$

donde: x es el valor original.

donde: Y es el valor transformado.

La mortalidad se midió en función de todas las semillas que no germinaron de cada lote y también se le realizó la Transformación de Bliss.

Si cualquiera de las variables antes analizadas presentó un *p value* inferior a 0,05 (diferencias significativas), se le realizó la prueba de Tukey para la comparación de medias múltiples al nivel de confianza del 95%.

Para correlacionar el origen, tamaño, contenido de humedad de la semillas y fitness de las plantas se realizaron correlaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de semillas

En el Cuadro N°1, se muestran los resultados de la caracterización de semilla por lote; el número de semillas por kilogramo, el peso promedio de las semillas, la moda, desviación estándar, el valor mínimo y el valor máximo para cada uno de los lotes. Del análisis de los resultados se desprende que las semillas de mayor tamaño se presentaron en el Lote 1 con 269 semillas por kilogramo y un peso promedio de 3,7 g por semilla, mientras que las semillas de menor tamaño se presentaron en el Lote 3 con 295 semillas por kilogramo y un peso promedio de 3,4 g por semilla.

Cuadro N°1: Caracterización de las semillas.

Lote	N° de semillas por kg	Peso promedio (g)	Moda (g)	Desviación estándar	Valor mínimo (g)	Valor máximo (g)	Contenido de humedad inicial %
Lote 1	269	3,7	4,1	0,75	1,28	6,38	47
Lote 2	285	3,4	4,06	0,86	1,31	6,11	50
Lote 3	295	3,4	3,28	0,67	1,33	5,38	49
Lote 4	277	3,6	3,61	0,78	1,53	6,01	47
Promedio	282	3,5	3,76	0,76	1,36	5,97	48

El número promedio de semillas por kilogramo para los cuatro lotes fue de 282 semillas, valor cercano a lo descrito por otros autores como Muñóz (1984) con 260 semillas/kg, Acuña (2001) con 284 semillas /kg, Ipinza y Muller-Using (2021) con 266 semillas/kg y Troncoso (2015) con 311 semillas/kg.

Con respecto al peso promedio de las semillas, este fue de 3,5 g, valor que se acerca a lo determinado por otros autores como Caro (1995) con 3,8 g/semilla, Zavala (2018) con 3,3 g/semilla y Troncoso (2015) con 2,8 g/semilla.

3.2 Cronología del ensayo

El contenido de humedad inicial promedio fue de 48%, y las fechas de siembra fueron distintas para los otros dos contenidos de humedad de las semillas (Cuadro 2), ya que se debía alcanzar los contenidos de humedad <40% y <30%, lo cual ocurrió en varias semanas pues el proceso debía ser con temperaturas bajo 25°C.

Cuadro N°2: Fechas de inicio y término del ensayo de capacidad germinativa.

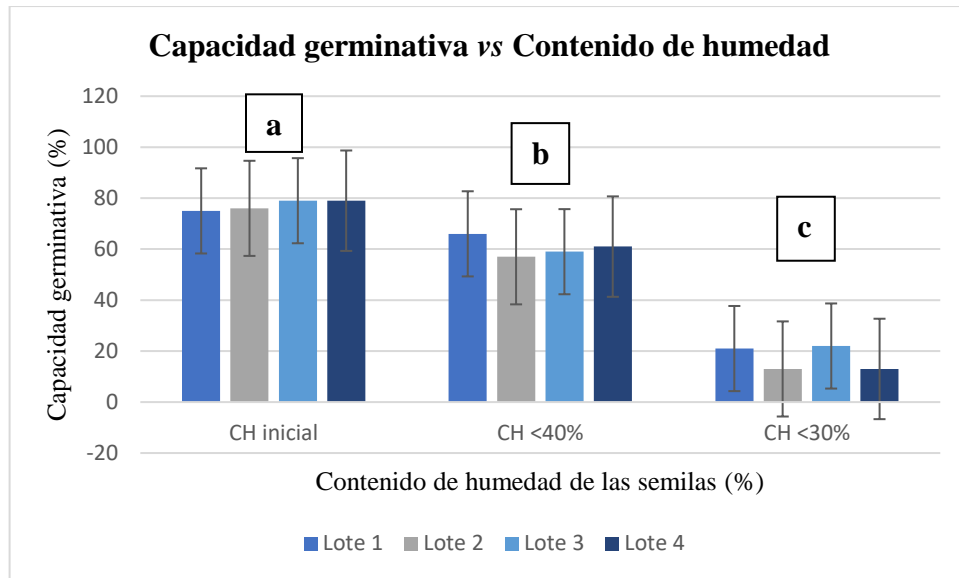
Contenido de humedad (%)	Fecha de siembra	Fecha de término	Duración ensayo (días)
CH 48%	8 de junio	23 de septiembre	107
CH <40%	28 de junio	13 de octubre	107
CH <30%	15 de julio	30 de octubre	107

La fecha de término del ensayo de capacidad germinativa varió dependiendo del contenido de humedad de la semilla al momento de la siembra (Cuadro N°2). De esta forma los ensayos se evaluaron una vez que alcanzaron un tiempo de 107 días, para lograr un análisis equivalente con la misma cantidad de días.

3.3 Capacidad germinativa

El monitoreo de los contenedores se realizó cada dos semanas y luego del primer mes se realizó de manera semanal. En cada revisión se identificaron las semillas germinadas con radículas superiores a 2 mm de longitud y se trasladaron a la almaciguera de plumavit para la etapa de crecimiento de plántulas (Figura 3 y 4). Se evaluó la capacidad germinativa después de 107 días iniciado el ensayo, para cada contenido de humedad.

En la Figura 7 se presenta la capacidad germinativa de *A. araucana*, provenientes de cuatro lotes, sembradas a tres contenidos de humedad distintos (CH inicial de 48%, CH <40% y CH <30%). Los resultados muestran que mientras más bajo sea el contenido de humedad de la semilla al momento de la siembra, su capacidad germinativa se ve reducida hasta en un 60% para el contenido de humedad más bajo.



Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre los contenidos de humedad mediante prueba de Tukey. Las líneas sobre las barras muestran el error estándar de cada lote.

Figura 7: Capacidad germinativa por lote y por contenido de humedad.

Para el CH inicial de 48%, la capacidad germinativa más alta fue de 79% para el Lote 3 y 4, y la más baja fue de 75% para el Lote 1. La capacidad germinativa promedio para los cuatro lotes, asociada al CH inicial, fue de 77%, cifra cercana a lo obtenido por Acuña (2001) con un 70%, Benítez (2005) con 80% y Zavala (2018) con un 79%. Además, Muñoz (2010) determinó una capacidad germinativa de 79% realizando un almacenamiento similar al de este estudio, de 30 días en frío. La capacidad germinativa para las semillas que fueron sembradas con un CH <40% fue de un 61%, mientras que las semillas sembradas con el CH <30% alcanzaron sólo un 17%.

Los lotes tuvieron un desempeño similar para los contenidos de humedad inicial de 48% y <40%, sin embargo, para el CH <30% la variación observada de la capacidad germinativa y del error estándar se puede deber al bajo contenido de humedad alcanzado por las semillas, las que presentaron una amplia variabilidad en cuanto a su peso al momento de la siembra.

El análisis de varianza (Apéndice 6.1), muestra diferencias significativas (p value: 0,0001) con un nivel de confianza del 95% entre las capacidades germinativas según el contenido de humedad. Posteriormente, se determinó a través de la prueba de Tukey que los tres CH son estadísticamente diferentes.

Se observa que la capacidad germinativa baja sustancialmente, (77% vs 17% en promedio), cuando el contenido de humedad de las semillas baja del 30% (Figura 7), haciendo suponer que este porcentaje se presenta como limitante para la germinación y compromete la viabilidad de las semillas. Estos resultados son comparables con los de Tompsett (1984), quien observó que la germinación de semillas de *A. araucana* disminuyó drásticamente

cuando el contenido de humedad de las semillas bajó del 38% y al 20% observó pérdida total de viabilidad. Eira *et al.*, (1984), determina que para semillas de *A. angustifolia* la pérdida total de viabilidad se produce al nivel crítico de humedad del 38%, constituyendo un valor cercano a lo reportado por Tompsett (1984) con *A. araucana*, evidenciando su condición de semilla recalcitrante.

En la Figura 8, se observa la curva de germinación con respecto al tiempo según cada contenido de humedad.

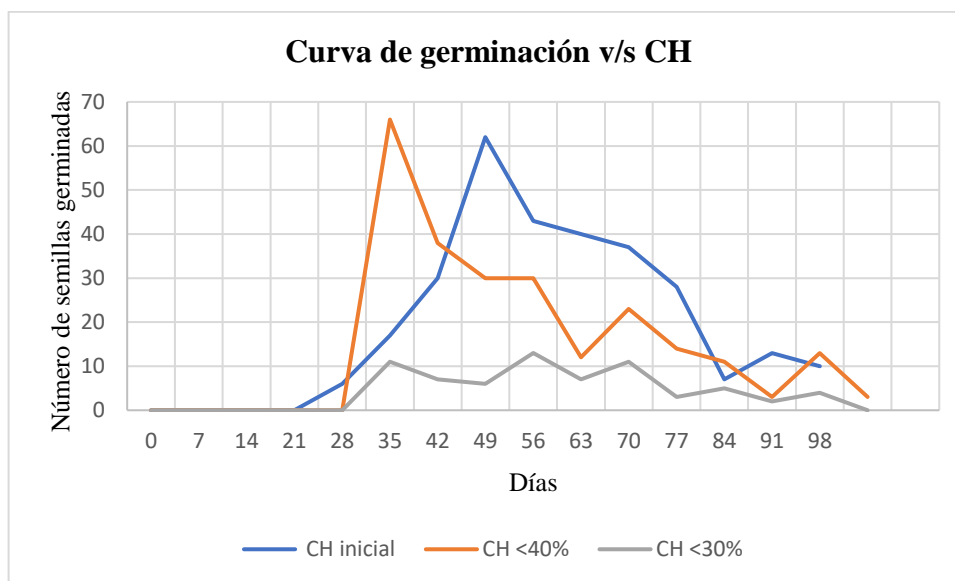


Figura 8: Curva de germinación según contenido de humedad de las semillas.

Los resultados muestran que la germinación se inició entre los primeros 20 a 30 días desde iniciada la siembra para los tres contenidos de humedad y creció exponencialmente durante las primeras semanas a excepción del contenido de humedad más bajo (<30%), el cual no tuvo variaciones importantes durante todo el ensayo de germinación. El inicio de la germinación coincide con otros estudios que marcan el inicio entre los 35 a 50 días después de la siembra (González *et al.*, 2006, citado por Gutiérrez, 2019). Además, la curva de germinación de los CH inicial 48% y CH <40% decrece y llega a sus niveles más bajos entre los días 80 y 90 del ensayo.

En el Cuadro N°3, se observan los parámetros de medición del ensayo de germinación según el contenido de humedad de las semillas en el cual se evaluó el valor máximo, la energía germinativa, el periodo de energía y la mortalidad de las semillas una vez finalizado el ensayo.

Cuadro N°3: Parámetros de medición ensayo de germinación.

Contenido de humedad	Valor máximo	Energía germinativa (%)	Periodo de energía (días)	Mortalidad de semillas (%)
CH inicial de 48%	0,854 ± 0,09 a	65,8	77	26,8
<40%	0,732 ± 0,08 a	39,5	56	39,3
<30%	0,196 ± 0,02 b	58,8	70	82,8

Letras distintas indican diferencias significativas entre los contenidos de humedad mediante la prueba de Tukey.

Los resultados (Apéndice 6.2), indican que existen diferencias significativas (*p value*: 0,001) entre los valores máximos de cada contenido de humedad y posteriormente al realizar la prueba de Tukey, estas diferencias ocurren entre los CH inicial 48% y el CH <30% y entre el CH <40% y el CH <30%.

En general, se aprecia que las semillas que fueron sembradas con el CH inicial 48% presentaron la mortalidad más baja (26,8%), constituyendo semillas frescas en buenas condiciones para germinar. Por otro lado, las semillas sembradas con el contenido de humedad más bajo (CH <30%) presentaron la mayor mortalidad (82,8%), que según Muñoz (2010) puede ser atribuible a la pérdida de viabilidad que experimentan las semillas recalcitrantes debido a la desecación y el paso del tiempo.

3.4 Crecimiento inicial de plántulas

Las plántulas se mantuvieron en crecimiento hasta el mes de octubre y se analizaron 10 plántulas por cada lote y por cada contenido de humedad, totalizando 120 plántulas analizadas. Todas tienen entre 60 y 70 días de crecimiento desde que se ubicaron en las bandejas de poliestireno expandido. En el Cuadro N°4 se observa el crecimiento inicial en altura de las plántulas.

Cuadro N°4: Altura promedio de plántulas por lote.

Altura de plántulas (mm)						
Lote	CH inicial 48%	CH <40%	CH <30%	Min (mm)	Max (mm)	Coef. variación
Lote 1	42,07	32,15	39,37	3,29	63,25	40,66
Lote 2	34,38	24,14	18,40	6,25	53,94	56,75
Lote 3	38,08	29,53	28,99	11,28	78,15	49,07
Lote 4	32,33	37,08	18,87	7,16	60,99	58,67
Promedio	36,71 a	30,72 ab	26,41 b	-	-	-

Las letras minúsculas distintas indican las diferencias significativas entre los CH según prueba de Tukey.

Los resultados indican que el crecimiento de la parte aérea fue disminuyendo a medida que el contenido de humedad de las semillas era menor (Cuadro N°4). Para el CH inicial 48% el crecimiento promedio de la parte aérea fue de 36,7 mm, mientras que para el CH <40% fue de 30,7 mm y finalmente para el CH <30% el crecimiento fue de 26,4 mm.

Mediante el análisis de varianza (Apéndice 6.3), se encontraron diferencias significativas (*p value*: 0,018), con un nivel de confianza del 95% y posteriormente, a través de la prueba de Tukey, las diferencias significativas ocurren entre el CH inicial 48% y el CH <30%.

Con respecto al CH inicial, el crecimiento en altura promedio (36,7 mm), está por sobre lo observado por Muñoz (2010), quien determinó un crecimiento promedio en altura de 20-25 mm para plántulas de araucaria en un periodo de crecimiento similar al de este estudio.

No existen estudios relacionados con el crecimiento inicial de plántulas de araucaria relacionados con el contenido de humedad de la semilla, al momento de la siembra, sin embargo, los resultados obtenidos demuestran que el desempeño de la semilla se ve afectado por el contenido de humedad inicial de la semilla de *A. araucana* en cuanto a su capacidad efectiva de germinar, evidenciando que las semillas de araucaria son recalcitrantes.

Además, Villar *et al.*, (2004) citado por Villa (2018) indica que el crecimiento de la parte aérea está regulado por las presiones selectivas a las que está sometida la plántula, entre crecimiento aéreo y aumentar su capacidad de captar luz y dióxido de carbono o bien, aumentar su supervivencia, con una mayor asignación de biomasa a las raíces, consiguiendo así captar más agua y nutrientes minerales del suelo, lo que podría explicar la diferencia de crecimiento entre la parte aérea y radicular.

Con respecto al largo radicular (Cuadro N°5), los valores más altos (113 mm en promedio), se encuentran en las plántulas que se obtuvieron al sembrar las semillas con el mayor contenido de humedad (CH inicial 48%) y los valores más bajos (106 mm en promedio), se encuentran en las plántulas que se obtuvieron de las semillas con el menor contenido de humedad (<30%), presentando una tendencia, pero sin diferencias significativas.

Cuadro N°5: Largo radicular promedio por lote.

N° Lote	Largo radicular (mm)			Min (mm)	Max (mm)	Coef. variación
	CH inicial	CH <40%	CH <30%			
Lote 1	114,93	109,57	105,54	64,99	136,82	17,29
Lote 2	114,07	98,95	95,87	15,75	138,08	26,31
Lote 3	118,25	103,71	122,25	69,37	161,10	16,75
Lote 4	106,05	114,38	101,46	41,13	143,84	25,04
Promedio	113,33 a	106,65 a	106,28 a	-	-	-

Mediante el análisis de varianza (Apéndice 6.4), se determinó que no existen diferencias significativas (*p value*: 0,33) entre los distintos contenidos de humedad de las semillas, con un nivel de confianza del 95%. Esto se puede deber a que el largo radicular permite la exploración de un mayor volumen de suelo y de esta manera asegura la sobrevivencia de las plántulas (Layne-Garsaball *et al.*, 2007).

Con respecto a la biomasa radicular, se encontraron diferencias significativas (*p value*: <0,0001) entre los promedios de biomasa para cada uno de los contenidos de humedad estudiados, donde las plántulas con el contenido de humedad mayor de 48% alcanzaron un promedio de 0,89 g, mientras que las plántulas asociadas al menor contenido de humedad <30% llegaron a un promedio de 0,33g (Cuadro N°6).

Cuadro N°6: Biomasa radicular promedio según contenido de humedad y lote.

	Biomasa radicular (gr)		
	CH inicial	CH <40%	CH <30%
Lote 1	0,95	0,67	0,35
Lote 2	0,94	0,64	0,32
Lote 3	0,80	0,57	0,35
Lote 4	0,86	0,53	0,30
Promedio	0,89 a	0,60 b	0,33 c

Letras distintas indican diferencias significativas entre los contenidos de humedad mediante la prueba de Tukey.

Asimismo, esta presenta correlaciones positivas para cada lote con respecto al tamaño de la semilla (L1= 24%; L2= 32%; L3=10% y L4= 20%) (Figura 9), lo que se condice con lo descrito por Villar *et al.*, (2004), quien evidenció que semillas más grandes dieron origen a plántulas con mayor biomasa radical, aspecto que también fue corroborado por Villa (2018), quien evidenció una gran inversión en biomasa radical por sobre el desarrollo de la biomasa aérea con *Cryptocarya alba*.

Si bien, las correlaciones son bajas, esto se puede explicar por el poco tiempo de crecimiento de las plántulas, lo que impide una correlación evidente con respecto al tamaño de la semilla. Sin embargo, en sólo 60-70 días de crecimiento, el desarrollo radicular promedio superó más

de tres veces el crecimiento aéreo (108,7 mm vs 31,3 mm respectivamente) de las plántulas, independiente del contenido de humedad, mostrando una clara priorización de los recursos. Esto se puede explicar pues el desarrollo radicular permite la exploración de un mayor volumen de suelo y de esta manera asegura la sobrevivencia de las plántulas (Layne-Garsaball *et al.*, 2007).

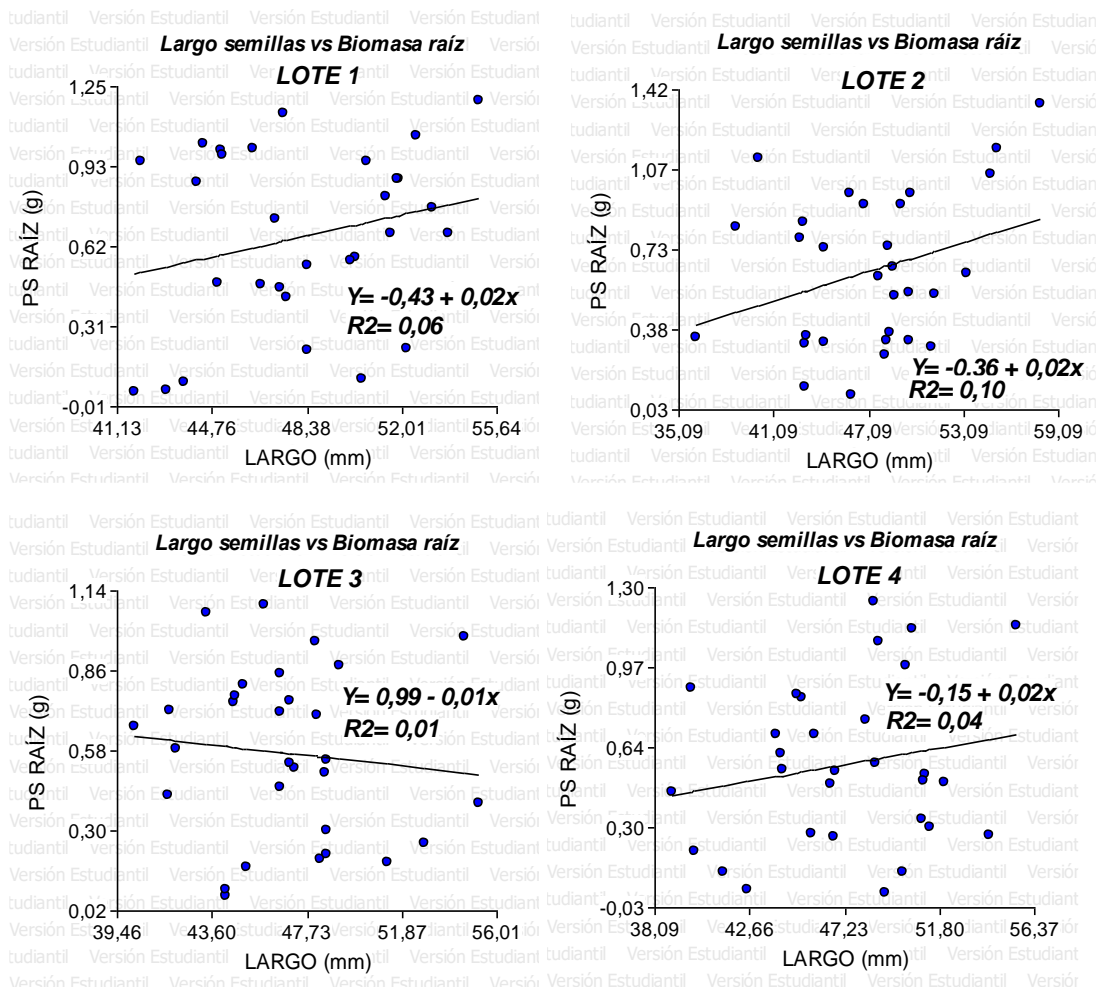


Figura 9: Biomasa radicular vs tamaño de semilla para cada lote.

PS RAÍZ: Peso seco parte radicular (g), LARGO: Largo de la semilla (mm).

Con respecto a la biomasa total, se encontraron diferencias significativas (p value: $<0,0001$) entre los promedios de biomasa total para cada uno de los contenidos de humedad estudiados, donde las plántulas con el contenido de humedad mayor de 48% alcanzaron un promedio de 0,98 g, mientras que las plántulas asociadas al menor contenido de humedad $<30\%$ llegaron a un promedio de 0,39 g (Cuadro N°7).

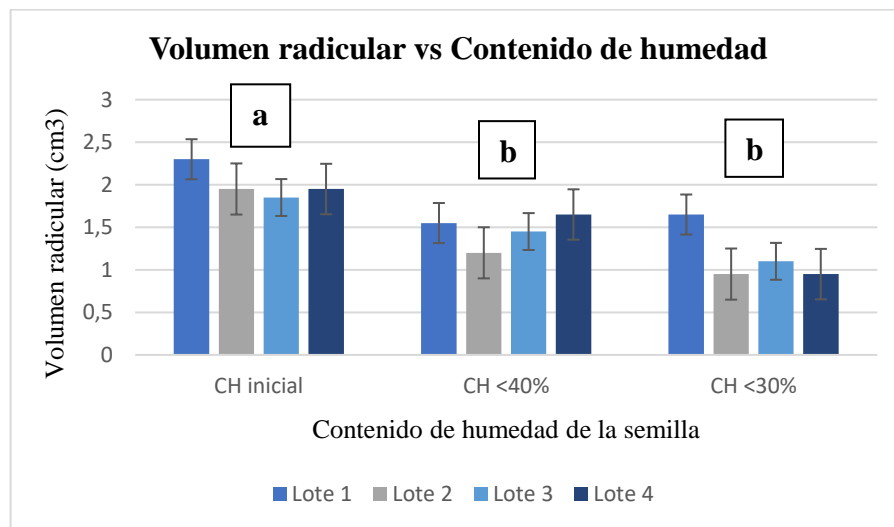
Cuadro N°7: Biomasa total promedio según contenido de humedad y lote.

	Biomasa total (g)		
	CH inicial	CH <40%	CH <30%
Lote 1	1,06	0,85	0,46
Lote 2	1,04	0,73	0,36
Lote 3	0,90	0,65	0,43
Lote 4	0,94	0,67	0,34
Promedio	0,98 a	0,72 b	0,39 c

Letras distintas indican diferencias significativas entre los contenidos de humedad mediante la prueba de Tukey.

Con respecto a los datos relacionados con el largo total de plántula y la biomasa aérea (Apéndice 6.11, 6.12, 7.0 y 7.1), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los lotes y entre los distintos contenidos de humedad por lo que no se consideraron en el análisis.

En la Figura 10 se observa el volumen radicular de las plántulas analizadas luego de 107 días de crecimiento. Los resultados determinan un volumen radicular promedio de plántula de 2,0 cm³ para el CH inicial de 48%, seguido por un promedio de 1,5 cm³ para el CH <40% y un promedio de 1,2 cm³ para el CH <30%.



Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre los contenidos de humedad mediante prueba de Tukey. Las líneas sobre las barras muestran el error estándar de cada lote.

Figura 10: Volumen radicular para cada contenido de humedad y lote de semillas.

El análisis de varianza (Apéndice 6.5), indica que las semillas con CH inicial de 48% presentan un volumen radicular significativamente mayor ($2,0 \text{ cm}^3$) ($p \text{ value: } 0,003$) que los otros dos contenidos de humedad de las semillas ($1,5$ y $1,2 \text{ cm}^3$ respectivamente).

Las plántulas asociadas al contenido de humedad inicial presentaron los volúmenes radiculares significativamente más altos, aspecto atribuible al contenido de humedad de la semilla ya que éstas presentaban una mayor proporción de raíces laterales en comparación con las demás plántulas asociadas a los otros contenidos de humedad, visualmente.

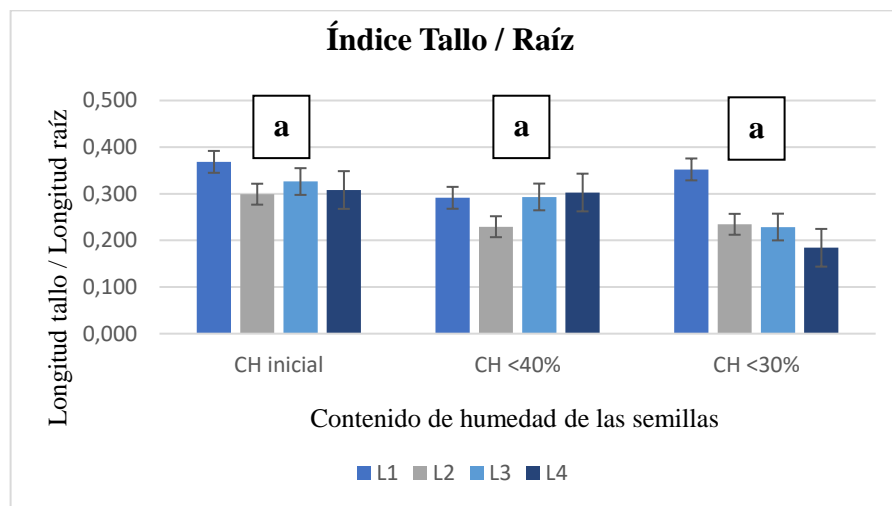
3.5 Calidad de las plántulas evaluadas

La calidad de las plantas está definida por aquellas que reúnen las características morfológicas y fisiológicas necesarias para que pueda sobrevivir y desarrollarse bajo las condiciones ambientales donde será plantada (Duryea, 1985). En este estudio se evaluó la calidad de las plántulas en base a sus atributos morfológicos.

En este estudio, para el análisis del desempeño de las plántulas con respecto a su crecimiento aéreo y radicular, se realizaron diversos índices para determinar la calidad y desarrollo de la etapa de crecimiento.

3.5.1 Índice longitud de tallo / longitud de raíz

Este análisis se realizó con plántulas que se desarrollaron durante 60 a 70 días en almacigueras forestales de poliestireno expandido y los resultados se pueden observar en la Figura 11.



Líneas sobre las barras muestran el error estándar de cada lote.

Figura 11: Índice longitud tallo / longitud raíz, según CH de la semilla y lote de semilla.

Luego de 65 días de crecimiento aproximado, se observa que las plántulas que provienen de semillas que fueron sembradas con el mayor contenido de humedad (CH inicial 48%) presentan en promedio el índice más alto que corresponde a 0,33. A medida que el contenido de humedad de las semillas al momento de la siembra fue más bajo, los índices fueron disminuyendo, obteniendo un índice de 0,28 para el contenido de humedad <40% y un índice de 0,25 para el contenido de humedad <30%, evidenciando una tendencia a la baja.

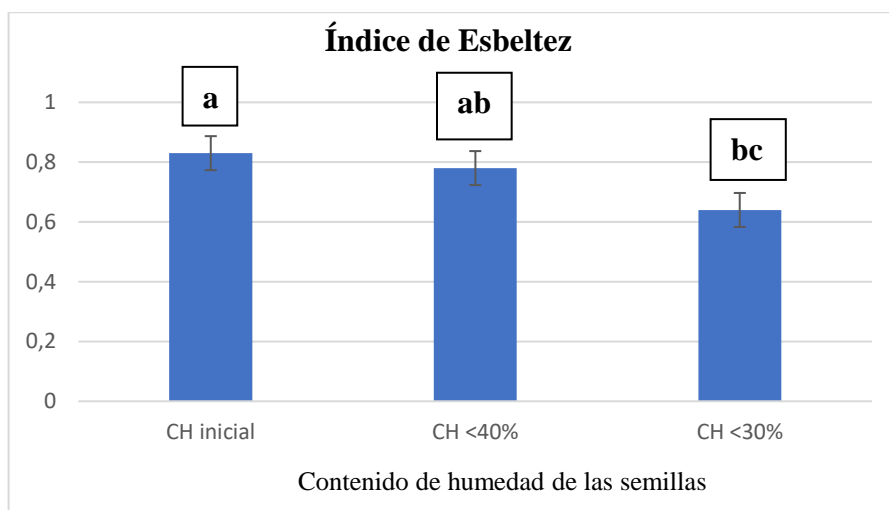
El análisis de varianza (Apéndice 6.6) determinó que no existen diferencias significativas (*p value*: 0,145) entre los índices asociados a los distintos contenidos de humedad al momento de la siembra. Además, no existen diferencias significativas al interior de cada lote para cada contenido de humedad, sin embargo, es importante mencionar que para el contenido de humedad más bajo (CH <30%), las plántulas analizadas presentaban un índice bajo a excepción del lote 1 que duplica en valor al índice alcanzado por el lote 4.

En general se observa que las plántulas, independiente del contenido de humedad inicial que tuviesen, tendieron a desarrollar en mayor proporción la parte radicular por sobre la parte aérea (índice menor a 1), lo que coincide con lo descrito por Murcia *et al.*, (2006), que estudió la germinación y el crecimiento inicial de girasoles los cuales desarrollaron mayoritariamente su parte radical por sobre su parte aérea durante sus primeros estados de desarrollo.

3.5.2 Índice de Esbeltez

Este índice se realizó para analizar la robustez de las plántulas seleccionadas con respecto a su relación de altura/diámetro de cuello.

En general, los índices arrojaron valores bajos que probablemente se deben al poco tiempo de crecimiento que tuvieron las plántulas hasta el momento de ser analizadas (60-70 días) y que evidencian la priorización del engrosamiento de la plántula durante los primeros meses de crecimiento. Los resultados se observan en le Figura 12.



Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre los contenidos de humedad mediante prueba de Tukey. Las líneas sobre las barras muestran el error estándar de cada lote.

Figura 12: Índice de Esbeltez según el contenido de humedad de las semillas.

El análisis de varianza (Apéndice 6.7) indica que el índice para el contenido de humedad inicial de 48% es significativamente mayor (0,84) (*p value*: 0,049) que el del contenido de humedad <30% (0,64).

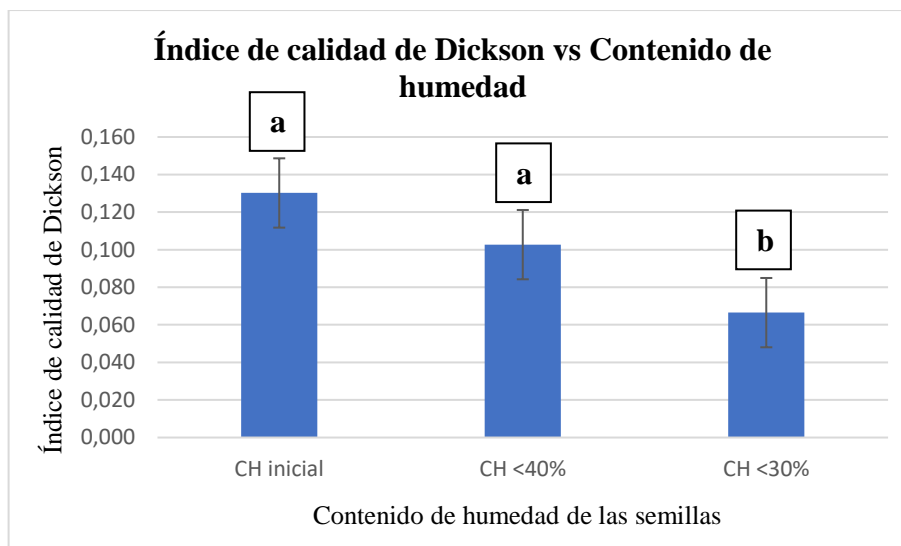
Santiago *et al.*, (2007), asevera que en la medida que la relación altura/diámetro sea menor, el vigor de la planta será mayor. Las plantas de mayor diámetro de cuello y con índices de esbeltez moderados (0,3-0,7) tendrían una mejor respuesta en ambientes con restricción hídrica, principalmente por tener mejores balances hídrico y de carbono (Villar-Salvador, 2007).

En este caso, la relación altura/diámetro presenta valores bajos (0,75 en promedio), lo cual se puede deber al nivel de robustez de las plántulas, pues el diámetro de cuello está relacionado directamente con esta característica y es una medida representativa de la resistencia a factores climáticos y biológicos que tienen ciertas especies (Orozco *et al.*, 2010). Estas características coinciden positivamente con las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla y crece la especie del estudio.

3.5.3 Índice de Calidad de Dickson

Este índice relaciona la información de los índices de Esbeltez y tallo/raíz, ponderándolos con respecto al tamaño de la planta y, además, proporciona información útil en la evaluación de la calidad en la producción de plantas en vivero (Dickson *et al.*, 1960; Quiroz *et al.*, 2014).

En general, se observa que el índice presenta su mayor valor para las plántulas que fueron obtenidas con el mayor contenido de humedad (CH inicial), debido principalmente a que estas son las que alcanzaron mayor crecimiento en altura (36,7 mm) y a medida que el contenido de humedad fue más bajo, el índice de calidad de Dickson también.



Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre los contenidos de humedad mediante prueba de Tukey. Las líneas sobre las barras muestran el error estándar de cada lote.

Figura 13: Índice de calidad de Dickson según el contenido de humedad.

Sin embargo, los valores de calidad de plántula son considerados bajos en relación con la clasificación de los índices de parámetros morfológicos realizada por Sáenz *et al.*, (2010) citado por Rojas (2015), quien califica una plántula de baja calidad al obtener un índice inferior a 0,2. Esto se puede deber al escaso tiempo de crecimiento que tuvieron las plántulas hasta ser analizadas, lo que podría entregar información incompleta con respecto al desarrollo inicial de la plántula.

El análisis de varianza (Apéndice 6.8) indica que el índice de Dickson para el contenido de humedad inicial es significativamente mayor (0,130) (*p value*: 0,0001) que el contenido de humedad <30% (0,066).

3.6 Análisis de los componentes principales

Mediante el Análisis de los Componentes Principales (ACP), se agruparon los parámetros morfológicos evaluados de las plántulas según lote y contenido de humedad de las semillas en dos componentes principales (PC1 y PC2) que explicaron el 83% de la variabilidad del experimento. El PC1, asociado al contenido de humedad, explicó el 69,1%, mientras que el PC2, vinculado a los lotes explicó el 13,9%. En el Cuadro N°6 y N°7 se observan las matrices de correlación con respecto a sus coeficientes y probabilidades de asociación.

Entre las variables morfológicas evaluadas existe una asociación positiva significativa entre Largo radicular y altura, con un 66% de correlación y entre las variables Peso fresco total (PFT) y Peso seco total (PST) con un 92% de correlación.

Cuadro N°8: Matriz de Correlación / Coeficientes

	% GERM	C	LR	DAC	ALT	VR	ÁREA FOLIAR	PFT	PST
%GERM	1,00								
C	0,34	1,00							
LR	0,31	0,20	1,00						
DAC	0,62	0,69	0,44	1,00					
ALT	0,54	0,08	0,66	0,53	1,00				
VR	0,77	0,42	0,48	0,72	0,88	1,00			
ÁREA FOLIAR	0,70	0,25	0,63	0,68	0,86	0,84	1,00		
PFT	0,81	0,60	0,53	0,82	0,77	0,96	0,80	1,00	
PST	0,95	0,48	0,40	0,78	0,63	0,86	0,75	0,92	1,00

Cuadro N°9: Matriz de Correlación / Probabilidad

	% GERM	C	LR	DAC	ALT	VR	ÁREA FOLIAR	PFT	PST
%GERM									
C	0,286								
LR	0,332	0,541							
DAC	0,031	0,013	0,149						
ALT	0,072	0,804	0,019	0,079					
VR	0,003	0,174	0,110	0,009	0,000				
ÁREA FOLIAR	0,012	0,442	0,028	0,015	0,000	0,001			
PFT	0,002	0,040	0,076	0,001	0,004	<0,0001	0,002		
PST	<0,0001	0,113	0,200	0,003	0,029	0,000	0,005	<0,0001	

A través de un gráfico biplot, se puede visualizar la asociación entre los parámetros morfológicos y los cuatro lotes de araucaria según contenido de humedad de las semillas (Figura 11).

Mediante este análisis se observa que el contenido de humedad inicial de las semillas (48%) se asocia positivamente sobre la germinación. A su vez, el porcentaje de germinación se correlaciona con los parámetros morfológicos de las plántulas en particular al peso y DAC. En cambio, las plántulas asociadas al contenido de humedad más bajo (<30%) presentaron la capacidad germinativa más baja, independiente del lote de origen, estableciendo una relación negativa con los parámetros morfológicos de crecimiento inicial.

Las plántulas asociadas al contenido de humedad de 38% no tienen una relación clara con los parámetros evaluados a excepción de las provenientes del lote 1, las cuales presentan asociaciones positivas con los parámetros de PST, PFT, DAC, VR y %GERM, siendo este

último parámetro relevante pues este lote alcanzó la mayor capacidad germinativa en comparación con los tres restantes, para este contenido de humedad.

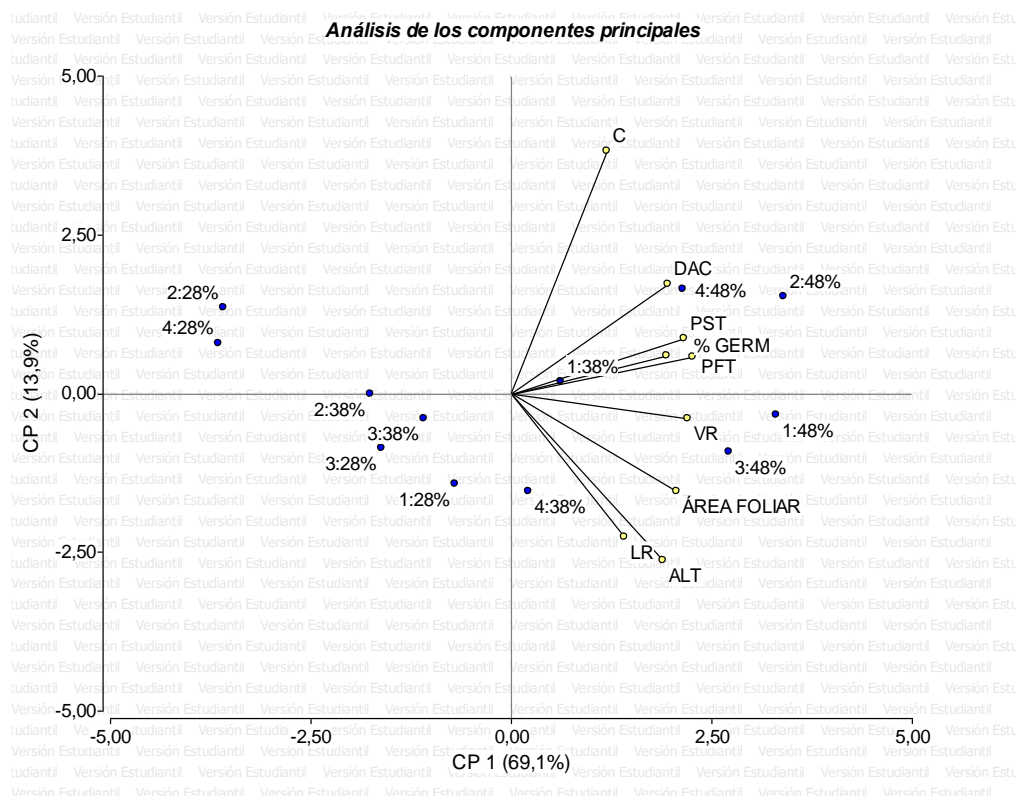


Figura 14: ACP de parámetros morfológicos asociados al crecimiento inicial de plántulas de araucaria.

C: Peso fresco cotiledones, DAC: Diámetro a la altura del cuello, PST: Peso seco total, PFT: Peso fresco total, % GERM: Capacidad germinativa, VR: Volumen radicular, ÁREA FOLIAR: Área foliar, LR: Largo radicular, ALT: Altura de plántula. Los puntos de color azul representan lote: contenido de humedad, para el caso de los lotes estos son cuatro (1,2,3 y 4) y para el caso de los contenidos de humedad 48% representa al CH inicial, 38% representa al CH <40% y el 28% representa al CH <30%.

3.7 Correlaciones

Se realizaron regresiones lineales y correlaciones para determinar la existencia de relaciones entre el tamaño de la semilla, el contenido de humedad al cual fue sembrada y el fitness de las plántulas, reflejado en su crecimiento total. El tamaño de la semilla se evaluó en base a su peso y su longitud inicial. Los resultados se pueden observar en las Figuras 15, 16 y 17.

Donde LPL: Largo plántula total (mm), PESO: Peso de las semillas (g) y LARGO: Largo de las semillas (mm).

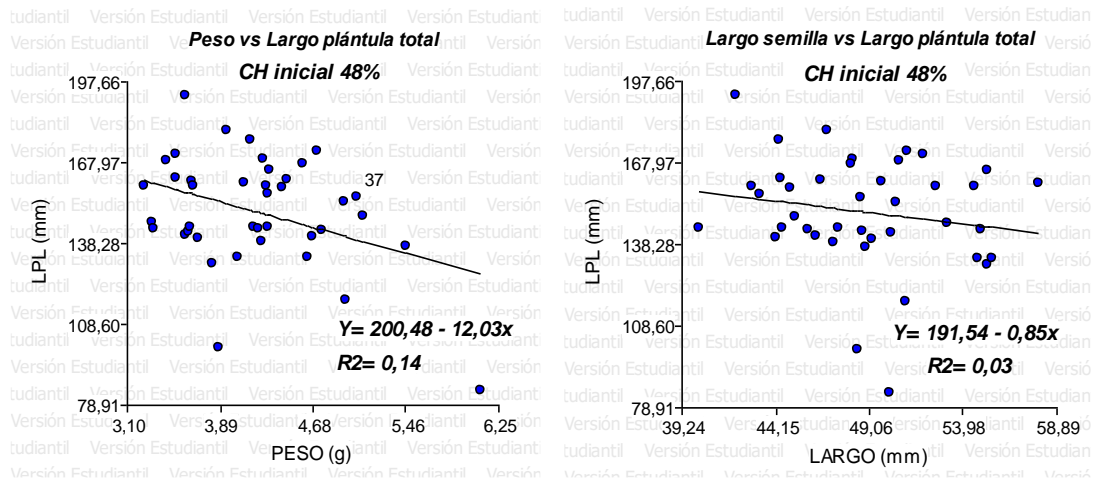


Figura 15: Correlación peso (g) /largo semilla (mm) y largo plántula total (mm) para CH inicial 48%.

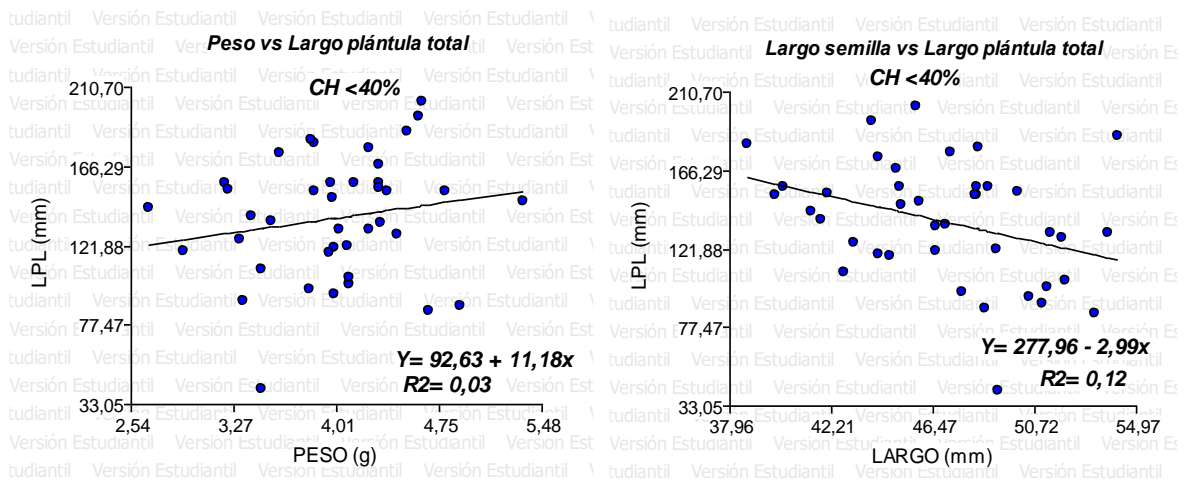


Figura 16: Correlación peso (g) /largo semilla (mm) y largo plántula total (mm) para CH <40%

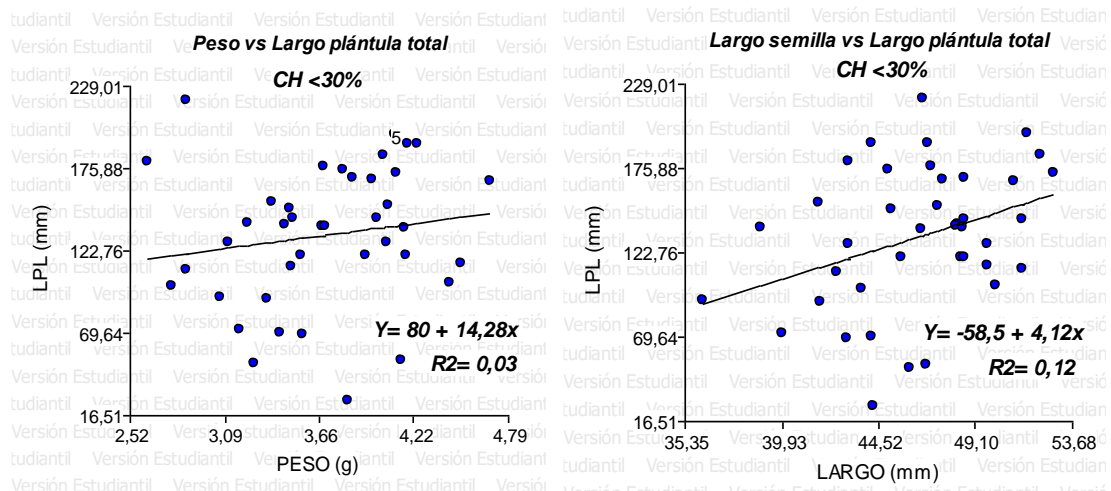


Figura 17: Correlación peso (g) /largo semilla (mm) y largo plántula total (mm) para CH <30%

Las correlaciones asociadas al CH inicial 48%, no permiten establecer correlaciones robustas entre todas las variables analizadas. De esta forma, la asociación entre el largo de plántula total y el peso de las semillas es de -38% ($R^2 = 0,14$; $p \text{ value} = 0,017$), mientras que para el largo de las semillas es de -18% ($R^2 = 0,03$; $p \text{ value} = 0,274$).

Con respecto a las correlaciones asociadas al CH <40%, se observa que existe una asociación positiva muy baja entre el largo de plántula total y el peso de las semillas de un 18% ($R^2 = 0,03$; $p \text{ value} = 0,257$). En cambio, la correlación asociada con el largo de las semillas es de -35% ($R^2 = 0,12$; $p \text{ value} = 0,027$).

Las correlaciones asociadas al CH <30% muestran resultados positivos pero bajos, con una asociación del 16% ($R^2 = 0,03$; $p \text{ value} = 0,322$) entre el largo de plántula total y el peso de las semillas, y una asociación del 35% ($R^2 = 0,12$; $p \text{ value} = 0,028$) entre el largo de plántula total y el largo de las semillas.

De esta manera, no se puede determinar que el tamaño de la semilla tuvo un efecto sobre la germinación y el crecimiento inicial de plántulas, a diferencia de otros autores como Gutiérrez (2019) que al analizar 418 lotes familiares de araucaria determinó que las madres que tenían semillas más grandes presentaron una mayor emergencia de plántulas.

Estos resultados se podrían deber al escaso número de lotes analizados y al poco tiempo de crecimiento que tuvieron las plántulas considerando el crecimiento de la especie, lo que no permitiría la total expresión de desempeño inicial para la especie.

CONCLUSIONES

Dado el origen de los lotes, no se esperaban diferencias significativas con respecto al desempeño de cada lote por lo que la relevancia de los resultados recae en los distintos contenidos de humedad evaluados.

Existe un efecto significativo del contenido de humedad de las semillas sobre su capacidad germinativa. Esto debido a que con contenidos de humedad cercanos al 30%, la viabilidad de las semillas se reduce a un 17% aproximadamente, comprometiendo significativamente su capacidad de germinar. Además, el contenido de humedad de la semilla tiene un efecto sobre la sobrevivencia de las semillas, existiendo una mayor mortalidad al reducirse el contenido de humedad de la semilla, demostrando un efecto significativo de la desecación sobre la viabilidad de la semilla. En este mismo sentido, se deberían continuar realizando ensayos de capacidad germinativa al alcanzar contenidos de humedad más bajos para poder determinar los límites que comprometen totalmente la viabilidad de las semillas de la especie según origen geográfico de los árboles madre.

El crecimiento inicial de las plántulas se ve afectado por el contenido de humedad de las semillas y con una clara tendencia a desarrollar en mayor proporción la parte radicular por sobre la parte aérea, evidenciando una priorización de recursos. Sin embargo, sería interesante realizar estudios similares que contemplen un horizonte de tiempo más prolongado en cuanto al desarrollo de las plántulas para observar diferencias significativas en el mediano plazo.

No se encontraron correlaciones robustas entre el tamaño de las semillas (peso y largo), el contenido de humedad y el crecimiento inicial de las plántulas, lo que podría sugerir también la necesidad de un tiempo de evaluación más prolongado de los parámetros morfológicos considerados para permitir un mayor desarrollo y expresión de los atributos de las plántulas.

Las semillas de araucaria son recalcitrantes y son susceptibles frente a eventos de desecación, razones por las cuales se sugiere seguir estudiando las limitaciones ecológicas que presentan las semillas de esta especie.

BIBLIOGRAFÍA

- AAGESEN, D. L. (1998). Indigenous resource rights and conservation of the monkey-puzzle tree (*Araucaria araucana*, Araucariaceae): a case study from southern Chile. *Economic Botany*, 52(2), 146-160.
- ACUÑA, M. (2001). Formulación de un protocolo de trabajo para el análisis de semillas de especies leñosas nativas. Memoria de título de Ing. Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago. Chile. 93 p.
- ALDUNCE, P., ARAYA, D., SAPIAIN, R., RAMOS, I., LILLO, G., URQUIZA, A., & GARREAUD, R. (2017). Local perception of drought impacts in a changing climate: The mega-drought in central Chile. *Sustainability*, 9(11), 2053.
- ANGELOVICI, R., GALILI, G., FERNIE, A. R., & FAIT, A. (2010). Seed desiccation: a bridge between maturation and germination. *Trends in plant science*, 15(4), 211-218.
- AYALA-CORDERO, G., TERRAZA, T., LÓPEZ-MATA, L., & TREJO, C. (2004). Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*. *Interciencia*, 29(12), 692-697.
- BENÍTEZ, C. (2005). Viabilidad de las semillas y crecimiento inicial de plantas de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch de la cordillera de Nahuelbuta IX Región de Chile. Memoria de título Ing. Forestal. Universidad Católica de Temuco. Facultad de Recursos Naturales. Santiago. Chile. 105 p.
- BERJAK, P., & PAMMENTER, N. W. (2004). Recalcitrant seeds. *Handbook of seed physiology*. Food Products Press, New York, 305-345.
- BERJAK, P., & PAMMENTER, N. W. (2010). Semillas ortodoxas y recalcitrantes. *Manual de Semillas de Árboles Tropicales. IV. US. Agricultural Department. Forestal Service*, 143-155.
- BUSSOTTI, F., FERRINI, F., POLLASTRINI, M., & FINI, A. (2014). The challenge of Mediterranean sclerophyllous vegetation under climate change: from acclimation to adaptation. *Environmental and Experimental Botany*, 103, 80-98.
- CABELLO, A. (1979). Estudio anatómico y de germinación del litre (*Lithraea caustica* (Mol.) Hook et Arn.). Tesis de Ingeniero Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 108 p.
- CABELLO, A.; SANDOVAL, A. & CARÚ, M. (2001). Efecto de los tratamientos pre germinativos y de las temperaturas de cultivo sobre la germinación de semillas de *Talguenea quinquenervia* (Talguén). *Ciencias Forestales*, 16 (1-2): 11-18 pp.

- CARDEMIL, L & REINERO, A. (1982). Changes in *Araucaria araucana* (Mol.) Koch seed reserves during germination and early seedling growth. *Canadian Journal of Botany* 60, 1629-1638.
- CARDEMIL, L. & VARNER, J. (1984). Starch degradation metabolism towards sucrose synthesis in germinating *Araucaria araucana* (Mol.) Koch seeds. *Plant Physiology* 76, 1047-1054.
- CARDEMIL, L.; LOZADA, R. & CORTÉS, M. (1990). Sucrose uptake and anatomical studies in relation with sucrose uptake of *Araucaria araucana* cotyledons. *Plant Physiology and Biochemistry* 28, 761-772.
- CARO, M. (1995). Producción y dispersión de semillas de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch, en Lonquimay. Memoria de título de Ing. Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agraria y Forestales. Santiago. Chile. 25-51.
- CASTRO, J., HÓDAR, J. A., & GÓMEZ, J. M. (2006). Seed size. *Handbook of seed science and technology*, 2, 397-427.
- CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). (2011). Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Monitoreo de Cambios y Actualizaciones. Período 1997-2011. 25 p.
- CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). (2020). Consejo de la Sociedad Civil CONAF se interioriza de daño que afecta a araucarias. [En línea] [consulta:30 de septiembre, 2021].
- CORTÉS, J., UGALDE, I., CAVIEDES, J., & IBARRA, J. T. (2019). Semillas de montaña: recolección, usos y comercialización del piñón de la araucaria (*Araucaria araucana*) por comunidades Mapuche-Pewenche del sur de los Andes. *Pirineos*, 174, 048.
- CZABATOR, F. (1962). Germination value: An index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science* 8: 386-396 pp.
- DICKSON, A., LEAF, A. L., & HOSNER, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13.
- DONOSO, S. (1990). Crecimiento de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch bajo diversas intensidades de corta. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile 73 p.
- DONOSO, C. (1993). Bosques templados de Chile y Argentina. Variación estructura y dinámica. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 484 p.

DONOSO, S.; SCHMIDT, H.; PEÑA, K.; & PERRY, F. (2009). Bosques de Araucanía, producción de piñones y sustentabilidad. En: LIZANA, L. (Ed.). *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch. Un recurso promisorio. Serie Ciencias Agronómicas N°15, Universidad de Chile (2009), pp.5-27.

DONOSO, S., PEÑA-ROJAS, K., PACHECO, C., PERRY, F., & ESPINOZA, C. (2010). Evaluación de la sustentabilidad de los bosques de *Araucaria araucana*: producción, colecta y consumo de piñones. *Spanish Journal of Rural Development*, 1(2), 99-113.

DONOSO, C., GONZÁLEZ, M., & LARA, A. (2014). Ecología forestal: bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile. *Valdivia, Chile. Ediciones Universidad Austral de Chile*.

DURYEA, M. (1985). Evaluating seedling quality: importance to reforestation. En: DURYEA, M. (Ed.). Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, Oregon. USA. 143 p.

EIRA, M; SALOMAO, A; DA CUNHA, R; CARRARA, DANIEL & MELLO, C. (1984). Efeito do teor de agua sobre a germinacao de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. – Araucariaceae. *Revista Brasileira de sementes*. 16(1): 71-75.

FRANKLIN, T y ROBERT, P. (2008). *The Woody Plant Seed Manual*. EE.UU. 1.241p.

GARREAUD, R. (2011). Cambio Climático: Bases físicas e impactos en Chile. *Revista Tierra Adentro – INIA N°93*. 14 p.

GARREAUD, R. D., ÁLVAREZ-GARRETÓN, C., BARICHIVICH, J., BOISIER, J. P., CHRISTIE, D., GALLEGUILLOS, M., & ZAMBRANO-BIGIARINI, M. (2017). The 2010-2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology & Earth System Sciences*, 21(12).

GARREAUD, R. D., BOISIER, J. P., RONDANELLI, R., MONTECINOS, A., SAPÚLVEDA, H. H., & VELOSO-AGUILA, D. (2020). The central Chile mega drought (2010–2018): a climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 40(1), 421-439.

GONZÁLEZ, M.; CORTÉS, M.; IZQUIERDO, F.; GALLO, L.; ECHEVERRÍA, C.; BEKKESY, S. y MONTALDO, P., (2006). *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Valdivia, Chile. Marisa Cuneo Ediciones. p. 36-53.

GUTIÉRREZ, B. (2019). Análisis de la emergencia de plántulas durante la viverización de una colección de semillas de 418 familias de *Araucaria araucana*. *Ciencia & Investigación Forestal*, 25(1), 21-38.

HECHENLEITNER, P., & GARDNER, M. F. (2005). Plantas amenazadas del centro-sur de Chile. 188 p.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. (ISTA). (1999). International Rules for Seed Testing Rules 1999. *Seed Sci. and Technol.*, 27, 1-333.

IPINZA, R., & MÜLLER-USING, S. (2021). *Migración asistida de Araucaria araucana*. Food & Agriculture Organization.

JOËT, T.; OURCIVAL, J. M.; CAPELLI, M.; DUSSERT, S. & MORIN, M. (2016). Explanatory ecological factors for the persistence of desiccation-sensitive seeds in transient soil seed banks: *Quercus ilex* as a case study. *Ann. Bot.* 117, 165–76.

LAYNEZ-GARSABALL, J., MÉNDEZ, J. R., & MAYZ-FIGUEROA, J. (2007). Crecimiento de plántulas a partir de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.), sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa. *IDESIA Chile*, Vol. 25, N° 1, 21-36.

LOZADA, R. & CARDEMIL, L. (1990). Further characterization of sucrose uptake by cotyledons of *Araucaria araucana*. Energy requirements and specificity of uptake system. *Plant Physiology and Biochemistry* 28, 773-778.

MINISTERIO DE AGRICULTURA CHILE (MINAGRI). (1990). Decreto Supremo N° 43: Declara Monumento Natural a la *Araucaria Araucana*. 3 de abril, 1990. 2 p.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE CHILE (MMA). (2018a). Inventario nacional de especies en Chile. *Araucaria araucana* ((Molina) K. Koch) [en línea] <http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/ficha_indepen.aspx?EspecieId=240> [consulta: 07 mayo 2021]

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE CHILE (MMA). (2018b). Decreto Supremo N°79: Aprueba y oficializa clasificación de especies según estado de conservación, decimocuarto proceso. 2 de agosto, 2018. 3 p.

MUÑOZ, R. 1984. Análisis de la productividad de semillas de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch en el área de Lonquimay, IX Región. Tesis. Fac. Cs. Agrarias, Veterinarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 84 p.

MUÑOZ, F. 2010. Evaluación del almacenamiento, germinación de semillas y producción de plantas de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch, procedentes de la comuna de Lonquimay, IX Región. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 49 p.

MURCIA, M., DEL LONGO, O., ARGÜELLO, J., PEREZ, M. A., & PERETTI, A. (2006). Evaluación del crecimiento de plántulas de cultivares de girasol con diferentes proporciones de ácidos oleico/linoleico en respuesta a la baja temperatura. *Revista Brasileira de Sementes*, Vol. 28, N° 2, .95-101.

NEIRA, Z. (1995). La importancia económica de la semilla de *Araucaria araucana* para la unidad familiar pehuenche. *Desarrollo Agroforestal y Comunidad Campesina*, 4(20), 46-51.

OROZCO, G., MUÑOZ, H. J., RUEDA, A., SÍGALA, J. Á., PRIETO, J. Á., & GARGÍA, J. J. (2010). Diagnóstico de la calidad de planta en los viveros de Colima. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 1(2), 135-146.

QUIROZ, I., PINCHEIRA, M. P., HERNÁNDEZ, J. A., GONZÁLEZ, M., GARGÍA, E., & SOTO, H. (2014). Efecto del volumen radicular sobre el crecimiento de *Acacia dealbata* Link. en vivero y en terreno en el secano de la región del Biobío, Chile. *Revista Árvore*, 38, 155-164.

ROJAS, N. (2015). Efecto de diferentes tipos de sustratos en el crecimiento inicial de tornillo (*Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke), en Tingo María. Memoria de Título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables Mención Forestales. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 120 p.

SAAVEDRA, A. & WILLHITE, E. (2017). Observaciones y Recomendaciones Relacionadas con la Muerte de Ramas y Follaje (Daño Foliar de la *Araucaria araucana* en los Parque Nacionales del Sur-Centro de Chile. Forest Health Protection. Servicio Forestal de los Estados Unidos. 22 p.

SÁENZ R., J. T., H. J. MUÑOZ F., F. VILLASEÑOR R., J. A. PRIETO R. y A. RUEDA S. (2010). Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich. México. 50 p.

SANTIAGO O., T., V. SÁNCHEZ M., R. MONROY C. y S. GARCÍA G. (2007). Manual de producción de especies forestales tropicales en contenedor. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental El Palmar. Folleto Técnico Núm. 44. Ver., México. 73 p.

TAHA, E., CASANOVA, G., & NAVARRO, R. (2011). Resultados y Lecciones en Producción, técnicas de postcosecha y desarrollo de productos a partir del piñón: Proyecto de Innovación en Región del Biobío y Región de La Araucanía: Diversificación.

TRONCOSO, A. (2015). Evaluación del proceso de germinación de la especie *Araucaria araucana* (Mol.) Koch. proveniente del sitio prioritario de conservación de Villa Las Araucarias, Región de La Araucanía. Memoria de título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile. 40 p.

TOMPSETT, P. B. (1984). Desiccation studies in relation to the storage of *Araucaria* seed. *Annals of applied biology*, 105(3), 581-586.

TWEDDLE, J. C., DICKIE, J. B., BASKIN, C. C., & BASKIN, J. M. (2003). Ecological aspects of seed desiccation sensitivity. *Journal of ecology*, 91(2), 294-304.

VILLA, Y. M. (2018). Evaluación inicial de estrategias de establecimiento de tres especies arbóreas exóticas y tres nativas en condiciones de laboratorio. Memoria de Título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile. 50 p.

VILLAR, R., RUIZ-ROBLETO, J., QUERO, J., POORTER, H., VALLADARES, F., & MARAÑÓN, T. (2004). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En Ministerio de Medio Ambiente, & F. VALLADARES (Ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. (págs. 191-227). Madrid, España: EGRAF S.A.

VILLAR-SALVADOR P. (2007). Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación In Rey-Benayas JM, T Espigares-Pinilla, JM Nicolau-Ibarra eds. *Restauración de ecosistemas mediterráneos*. Alcalá de Henares, España. Universidad de Alcalá. p. 65-86.

VOZZO, J. A. (2010). Manual de semillas de árboles tropicales. *Departamento de Agricultura de Estados Unidos, Servicio Forestal*.

WAGHORN, J.; DEL POZO, T.; ACEVEDO, E.; & CARDEMIL, L. (2003). The role of two isoenzymes of α -amylase of *Araucaria araucana* (Araucariaceae) on the digestion of starch granules during germination. *Journal of experimental botany*, 54(384), 901-911.

ZAMORANO-ELGUETA, C., CAYUELA, L., GONZÁLEZ-ESPINOZA, M., LARA, A., PARRA-VÁSQUEZ, M. R. (2012). Impacts of cattle on the South American temperate forests: Challenges for the conservation of the endangered monkey puzzle tree (*Araucaria araucana*) in Chile. *Biological Conservation*, 152, 110–118.

ZAVALA, J. I. (2018). Análisis de la producción, germinación y viabilidad de semillas de *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch, para tres años de fructificación y tres localidades de la comuna de Lonquimay, Región de la Araucanía. Memoria de Título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile. 22 p.

APÉNDICES

6.1 Análisis de varianza de un factor para capacidad germinativa según contenido de humedad.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,553	2	0,28	237,86	1,1848E-24	3,20
Dentro de los grupos	0,052	45	0,00116			
Total	0,606	47				

6.2 Análisis de varianza de un factor para el valor máximo según el contenido de humedad de las semillas al momento de la siembra.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,253	2	0,63	7,94	0,0011	3,204
Dentro de los grupos	3,551	45	0,08			
Total	4,805	47				

6.3 Análisis de varianza de un factor para el crecimiento de la parte aérea según el contenido de humedad.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2142,59	2	1071,29	4,16	0,018	3,07
Dentro de los grupos	30129,71	117	257,52			
Total	32272,30	119				

6.4 Análisis de varianza de un factor para el crecimiento radicular según el contenido de humedad.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1256,76	2	628,38	1,11	0,33	3,07
Dentro de los grupos	66528,60	117	568,62			
Total	67785,37	119				

6.5 Análisis de varianza de un factor para la biomasa radicular según el contenido de humedad de las semillas al momento de la siembra.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,62	2	0,31	92,29	1,0074E-06	4,26
Dentro de los grupos	0,03	9	0,003			
Total	0,65	11				

6.6 Análisis de varianza de un factor para la biomasa total según el contenido de humedad de las semillas al momento de la siembra.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,70	2	0,35	58,68	6,8673E-06	4,26
Dentro de los grupos	0,05	9	0,005			
Total	0,75	11				

6.7 Análisis de varianza de un factor para el volumen radicular según el contenido de humedad de las semillas al momento de la siembra.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,487	2	0,743	11,93	0,003	4,256
Dentro de los grupos	0,561	9	0,062			
Total	2,047	11				

6.8 Análisis de varianza para el Índice longitud de tallo / longitud de raíz según el contenido de humedad de las semillas al momento de la siembra.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,012	2	0,006	2,407	0,145	4,256
Dentro de los grupos	0,022	9	0,002			
Total	0,033	11				

6.9 Análisis de varianza para el Índice de Esbeltez según el contenido de humedad de las semillas al momento de la siembra.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,792	2	0,396	3,076	0,049	3,074
Dentro de los grupos	15,052	117	0,129			
Total	15,8444053	119				

6.10 Análisis de varianza de un factor para el índice de calidad de Dickson según el contenido de humedad de las semillas al momento de la siembra.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,082	2	0,041	12,141	1,6174E-05	3,074
Dentro de los grupos	0,393	117	0,003			
Total	0,475	119				

6.11 Análisis de varianza de un factor para la biomasa aérea promedio según contenido de humedad de las semillas y lote.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,006	2	0,003	2,951	0,103	4,256
Dentro de los grupos	0,010	9	0,001			
Total	0,017	11				

6.12 Análisis de varianza de un factor para el largo total de plántula promedio según contenido de humedad de las semillas y lote.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	644,309	2	322,155	1,757	0,227	4,256
Dentro de los grupos	1650,109	9	183,345			
Total	2294,419	11				

7.0 Datos correspondientes al largo de plántula total promedio según contenido de humedad y lote.

Largo total de plántula (mm)			
	CH inicial	CH <40%	CH <30%
Lote 1	157,00	141,72	144,92
Lote 2	148,46	123,10	114,28
Lote 3	156,32	133,23	151,23
Lote 4	138,38	151,47	120,33
Promedio	150,04 a	137,38 a	132,69 a

7.1 Datos correspondientes a la biomasa aérea promedio según contenido de humedad y lote.

Biomasa aérea (g)			
	CH inicial	CH <40%	CH <30%
Lote 1	0,11	0,18	0,10
Lote 2	0,09	0,09	0,04
Lote 3	0,10	0,08	0,08
Lote 4	0,08	0,13	0,04
Promedio	0,09 a	0,12 a	0,06 a