



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA**  
**CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**

**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**

**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA**  
**NATURALEZA**

---

**GERMINACIÓN Y ESTABLECIMIENTO INICIAL DE *Cryptocarya***  
***alba* (Molina) Looser. SEGÚN PROCEDENCIA- PROGENIE EN TRES**  
**AMBIENTES EN LA RESERVA NATURAL PRIVADA ALTOS DE**  
**CANTILLANA**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**NICOLE ALESSANDRA SAAVEDRA FECCI**

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

---

**Santiago, Chile**

**2019**

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

**GERMINACIÓN Y ESTABLECIMIENTO INICIAL DE *Cryptocarya***  
***alba* (Molina) Looser. SEGÚN PROCEDENCIA- PROGENIE EN TRES**  
**AMBIENTES EN LA RESERVA NATURAL PRIVADA ALTOS DE**  
**CANTILLANA**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**NICOLE ALESSANDRA SAAVEDRA FECCI**

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Dr. Carlos Magni Díaz	7,0	.....
Prof. Consejero Dr. Eduardo Martínez Herrera	7,0	.....
Prof. Consejero Dra. Paulette Naulin Gysling	6,0	.....

## DEDICATORIA

*Los árboles son las columnas de la Tierra,  
si los derribamos  
el cielo caerá sobre nosotros.  
– Proverbio hindú.*

*A mi familia.*

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Carlos Magni, profesor guía, por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto. Principalmente por su tiempo e innumerables consejos, su confianza en mis capacidades, su paciencia y por motivarme a ser una profesional constante y responsable. A Eduardo Martínez, profesor consejero, por su enorme disposición y tiempo, recomendaciones, críticas constructivas y conocimientos estadísticos. A Iván Grez y Suraj Vaswani, que pese a no estar involucrados directamente en el trabajo, siempre contribuyeron con consejos, recomendaciones y palabras de aliento.

A compañeros de terreno Betsabé Abarca, Nicole Toro, Nicole Rojas y José Olmedo por participar en la instalación y monitoreo del ensayo, por llevarme hasta la reserva y por las gratas conversaciones que compartimos en el camino. A Paula González, Yazmín Villa, Raúl Rubio, Fabián Rojas y Lilian Saavedra quienes participaron también en la instalación de los ensayos y/o el monitoreo de estos. De estas personas, me gustaría agradecer encarecidamente a Yazmín, Lilian, Paula y a ambas Nicole por haber monitoreado el ensayo durante mi estadía en Nueva Zelanda ya que, sin su disposición y tiempo, el ensayo no podría haber seguido su curso.

Al Centro de Semillas y Árboles Forestales (CESAF), específicamente a María Julia Varela, por sus consejos y excelente disposición en el trabajo con las semillas. A la Reserva Privada Altos de Cantillana y su personal por brindar este hermoso paraje para desarrollar la investigación, principalmente a Ximena Romero y Fernanda Romero por facilitar el ingreso a la reserva, su cálida acogida y por haberme hecho sentir parte del equipo de trabajo o hadas del bosque, también a Milagros Hermosilla por llevar a cabo la colecta de semillas dentro de la reserva.

A mis amigxs, Isa, Elías, Rodrigo, Fran, Esteban, Rena, Vivi, Naty, Pilin, Martin y Tata por hacer mucho más llevadera mi vida en la u, por los carretes, las frutas que se sacaron y el apaño. En especial me gustaría agradecer a la Isa, el Esteban y la Fran por ser el mejor grupo de contención, espero que estén siempre presente en mi vida, siendo felices o infelices los 4. Agradecer también al canadiense, más conocido como Felipe, por todo el apaño, la paciencia y el amor.

Agradezco también a mi familia, a mi padre Adrián y madre Alessandra, y a mis hermanxs Myriam y Francisco, por apoyarme en cada aventura que he emprendido, por aguantarme en mis peores momentos y amarme tal cual soy. Gracias por que a pesar de que no compartimos los mismos ideales, me han ido enseñando que cada uno tiene algo distinto que aportar desde su propia experiencia.

Por último, agradezco este ejercicio de aprendizaje, con sus altos y bajos, porque aprendí que independientemente de las calificaciones lo importante es que entregues lo mejor de ti. SIEMPRE.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Factores que influyen en la fase de germinación.....	2
1.2 Factores que influyen en el establecimiento.....	4
1.3 Efecto materno y efecto de la procedencia en la germinación y establecimiento ...	5
1.4 Antecedentes generales de la especie .....	6
2. Objetivos.....	8
2.1.1 Objetivo general .....	8
2.1.2 Objetivos específicos .....	8
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
3.1 Materiales .....	9
3.1.1 Área de estudio.....	9
3.1.2 Caracterización de sitios experimentales .....	10
3.1.3 Características de las semillas colectadas .....	11
3.2 Métodos .....	12
3.2.1 Colecta de frutos .....	12
3.2.2 Análisis de calidad de semillas .....	12
3.2.3 Diseño experimental.....	13
3.2.4 Parámetros a evaluar .....	15
3.2.5 Determinación de influencia del micrositio en la germinación y establecimiento .....	15
3.2.6 Análisis estadístico.....	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	18
4.1 Análisis de la calidad de semillas en laboratorio .....	18
4.1.1 Capacidad germinativa por procedencia .....	18
4.1.2 Características físicas de las semillas y frutos por procedencia.....	20
4.2 Germinación .....	21
4.2.1 Variables micro ambientales condicionantes de la germinación .....	22
4.2.2 Efecto del ambiente de siembra en la germinación por procedencia .....	24
4.3 Establecimiento .....	28
4.3.1 Variables micro ambientales condicionantes del establecimiento .....	29
4.3.2 Establecimiento por ambiente .....	30
4.3.3 Efecto materno y de procedencia sobre el establecimiento .....	34

5. CONCLUSIONES .....	37
6. BIBLIOGRAFÍA .....	39
7. APÉNDICES .....	46
Apéndice I: Análisis de calidad de semillas dentro de procedencias, por tratamiento .....	46
Apéndice II: Análisis de varianza .....	48
Apéndice III: Número de plántulas establecidas al final del primer verano después de la emergencia .....	49
Apéndice IV: Tablas de contingencia y valor de $X^2$ .....	50

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los sectores utilizados en el experimento. ....	10
Cuadro 2. Descripción edafológica de los ambientes utilizados en el experimento. ....	11
Cuadro 3. Características ambientales de las procedencias. ....	12
Cuadro 4. Significancia de los ensayos de germinación por tratamientos y procedencia....	19
Cuadro 5. N° de frutos/semillas por kilogramo y su contenido de humedad por procedencia. .....	20
Cuadro 6. Resumen del número de semillas germinadas y %, rangos de temperatura y humedad del suelo condicionantes en la fase de germinación-emergencia, en los tres ambientes, durante tres períodos. Media $\pm$ S.E. ....	24
Cuadro 7. Número de semillas germinadas promedio por procedencia en cada ambiente..	27
Cuadro 8. Efecto del ambiente de siembra sobre la germinación por procedencia de semillas. Media $\pm$ S.E. ....	27
Cuadro 9. Mejores madres, en términos de germinación, dentro de procedencia por ambiente. .....	28
Cuadro 10. Rangos de temperatura y humedad de suelo condicionantes para el establecimiento, en los tres ambientes. Media $\pm$ S.E. ....	30
Cuadro 11. N° de plántulas establecidas, altura y DAC por ambiente. Media $\pm$ S.E. ....	30
Cuadro 12. Porcentaje de establecimiento por procedencia, respecto al número de semillas sembradas y plántulas establecidas. ....	35
Cuadro 13. Crecimiento promedio (altura y DAC) de las plántulas establecidas por procedencia. Media $\pm$ S.E. ....	36
Cuadro 14. Mejores madres, en términos de establecimiento, dentro de procedencia por ambiente .....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ubicación geográfica y límites de la Reserva. Los límites de la reserva están en color rojo. Elaboración propia.....	9
<b>Figura 2:</b> Localización de los sitios experimentales dentro de la Reserva. Elaboración propia. ....	13
<b>Figura 3:</b> Emplazamiento del experimento 1. Elaboración propia. ....	14
<b>Figura 4:</b> Emplazamiento del experimento 2. Elaboración propia. ....	15
<b>Figura 5:</b> Capacidad germinativa por procedencia, por tratamiento de germinación (T0: Con pulpa, sin remojo y T1: Sin pulpa, sin remojo).....	18
<b>Figura 6:</b> Tamaños de las semillas de las cuatro procedencias.....	21
<b>Figura 7:</b> Inicio de la germinación; rompimiento de la testa y aparición plúmula en semillas de <i>C. alba</i> (a), y emergencia (b).....	22
<b>Figura 8:</b> Comportamiento de la temperatura y humedad de suelo durante la fase de germinación en los tres ambientes y n° semillas germinadas por ambiente-procedencia..	23
<b>Figura 9:</b> Componentes Principales para el fenómeno de germinación (% GERM.).....	26
<b>Figura 10:</b> Fenómeno de emergencia (a) y aparición de primeras hojas verdaderas (b) en <i>C. alba</i> .....	29
<b>Figura 11:</b> Comportamiento de la temperatura y humedad de suelo durante la fase de establecimiento en los tres ambientes y número de plántulas muertas por ambiente-procedencia..	31
<b>Figura 12:</b> Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia de establecimiento por ambiente.....	32
<b>Figura 13:</b> Componentes Principales para el fenómeno de establecimiento (% EST.).....	34
<b>Figura 14:</b> Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia de establecimiento por procedencia. ....	35

## RESUMEN

Las acciones humanas han perturbado los ecosistemas naturales, siendo los bosques mediterráneos uno de los más afectados. Para que estos bosques se mantengan es necesaria su regeneración, siendo las condiciones del micrositio y las adaptaciones de las especies a condiciones locales importantes factores que podrían generar una variación en la tasa de sobrevivencia y regeneración de especies leñosas. El objetivo de esta memoria es evaluar la germinación y establecimiento inicial de *Cryptocarya alba* (Molina), según cuatro procedencias (de norte a sur, Cuesta la Dormida, Antumapu, Cantillana y Cayumanque) en tres ambientes. El experimento se realizó en la Reserva Natural Altos de Cantillana, en una formación de espinales abierta, una formación esclerófila semidensa y una formación higrófila densa. La germinación en condiciones de laboratorio fue más alta cuando se eliminó el pericarpio, destacando el material proveniente de Cayumanque. En condiciones de campo se utilizaron semillas con pericarpio para simular las condiciones naturales de caída de frutos y después de 10 semanas, se observó un efecto del ambiente dado por la influencia entre los factores de temperatura, humedad y densidad aparente de suelo, y de la procedencia, siendo la procedencia local (Cantillana), la que alcanzó un mayor porcentaje de germinación junto a la procedencia más austral (Cayumanque). En el establecimiento de las plántulas se observó un efecto de la procedencia, dado que la procedencia local y la central (Antumapu), alcanzaron los valores más altos de establecimiento. Sin embargo, también se observó un efecto del ambiente dado principalmente por umbrales de humedad, durante la temporada de sequía, que serían los responsables de la mayoría de la mortalidad de las plántulas. Pese a esto, sería importante considerar la interacción de estos umbrales con la temperatura de suelo y la densidad aparente, la cual fue mayor en el sitio semidenso. El tamaño de la semilla podría tener incidencia en el establecimiento de plántulas, pero no queda demostrado si es un efecto principal en la germinación. Se sugiere que la etapa limitante para el reclutamiento de *C. alba* sería el establecimiento de las plántulas y en menor medida la germinación.

**Palabras claves:** regeneración, mediterráneo, germinación, establecimiento, micrositio, temperatura de suelo, humedad de suelo y densidad aparente.

## ABSTRACT

Anthropogenic activities have disturbed natural ecosystems, with Mediterranean vegetation being one of the most affected. In order to maintain forest is necessary their regeneration, and microsite conditions together with local adaptations must be considered as important drivers as they generate variation in the survival and regeneration rate of woody species. The objective of this research was evaluate the germination and initial establishment of *Cryptocarya alba* (Molina), from four provenances (from North to South of Chile, namely Cuesta la Dormida, Antumapu, Cantillana and Cayumanque) in three environments. The experiment was carried out in the Altos de Cantillana Nature Reserve, in an open *Acacia caven* formation, a semi-dense sclerophyllous formation and a dense hygrophilic formation. Germination under laboratory conditions was higher when the pericarp was eliminated, with the Cayumanque provenance exhibiting the higher percentages. Under field conditions, seeds with pericarp were used to simulate the natural conditions of fruit fall and after 10 weeks, an effect of the environment was related to the interaction between the soil temperature, soil moisture and bulk density, and provenance. The local provenance (Cantillana) together with the southern provenance (Cayumanque) reached the highest percentage of germination. For the seedling establishment, an significant effect of provenance was observed, with provenances Antumapu and Cantillana exhibiting the highest establishment rate. However, an environmental effect was also observed, mainly due to moisture thresholds during the dry season, which could be responsible for most of seedling mortality. Despite this, it would be important to consider the interaction of these thresholds with soil temperature and bulk density. Size seed, maternal effect, could have an impact on the establishment of seedlings, but it was not demonstrated whether it is a main effect on germination. It is suggested that the limiting stage for the recruitment of *C. alba* would be seedling establishment and, to a lesser extent, seed germination.

**Keywords:** Regeneration, mediterranean, germination, establiment, microsite, soil temperature, soil moisture and bulk density.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la zona central de Chile se extiende la región del Matorral y del Bosque Esclerófilo, sometida a condiciones climáticas del tipo mediterráneo con inviernos fríos y lluviosos, veranos cálidos y secos (Gajardo, 1994). Dentro de esta región, la formación vegetal que abarca la mayor superficie se denomina “bosque esclerófilo” (Luebert y Pliscoff, 2017), estimándose en 1.386.038 ha, según el Catastro de los recursos vegetacionales de Chile (CONAF, 2017). Estos paisajes vegetales han experimentado transformaciones desde antes de la llegada de los españoles, sin embargo, su transformación se acentuó después de la colonización debido a la tala de bosques para combustible, la expansión de la agricultura y el sobrepastoreo del ganado desde mediados del siglo XVI (Camus, 2006). Estas actividades se han intensificado en las últimas tres décadas debido a la expansión de la agricultura, las áreas urbanas y las plantaciones forestales produciendo una reducción continua de la cobertura de bosques y matorrales naturales, con tasas anuales promedio de deforestación del 1,7% y reducción de matorrales del 0,7% (Schulz *et al.*, 2011). Actualmente, estos bosques se encuentran muy degradados producto de las distintas perturbaciones, lo que se traduce en pérdida de cobertura vegetal, cambios en la fisionomía de la comunidad e invasión de elementos del matorral espinoso y esclerófilo. La recuperación de estos bosques estaría limitada por la ausencia de perturbaciones, lo que favorecería el restablecimiento de especies.

La dinámica de regeneración de estos bosques apunta fuertemente a la disponibilidad de propágulos, ya sean semillas o estructuras vegetativas, siendo estas últimas la principal fuente de regeneración en ambientes degradados (Becerra *et al.*, 2018). Para el caso, de la regeneración vía semillas, se tiene que, en sitios abiertos sin cobertura leñosa, se produce una rápida colonización por especies herbáceas, principalmente exóticas, o que en donde se excluyen los agentes de degradación, se incorporan especies, principalmente arbóreas y arbustivas pioneras, provenientes de semillas como *Acacia caven*, *Baccharis linearis*, *Muehlenbeckia hastulata*, *Trevoa trinervia* (Armesto y Pickett, 1985; Fuentes *et al.*, 1986; Holmgren *et al.*, 2000). Aunque es más común que existan áreas abiertas sin regeneración de especies leñosas. En sitios donde ya se ha desarrollado un estrato de especies leñosas pioneras, pueden regenerar desde semillas especies como *Quillaja saponaria* y *Lithraea caustica*, e incluso llegar a una fase intermedia. Esta situación puede ser muy variable espacialmente y sería aparentemente mayor en hábitats húmedos. Mientras que, en sitios bajo un dosel arbóreo ya desarrollado es donde se observa, generalmente, la mayor densidad de regeneración. Por lo que, la regeneración solo se produciría cuando hay fragmentos de bosque y matorral en la cercanía (Fuentes *et al.*, 1986; Jiménez y Armesto, 1992; Figueroa *et al.*, 2004).

El éxito de la regeneración natural vía semillas representado por la incorporación de nuevos individuos a una población existente o el establecimiento de una población implica la ocurrencia de una serie de procesos; germinación, supervivencia y crecimiento de plántulas (Eriksson y Ehrlén, 2008). El término *plántula* es utilizado para referirse a plantas en sus primeros estadios juveniles (Burger, 1972), plantas que han germinado pero que solo parcialmente han desplegado sus hojas aún son dependientes de los recursos maternos (Moles y Leishman, 2008).

La germinación, se inicia con el rompimiento de la testa y la extrusión de la plúmula o radícula (Fenner y Thompson, 2005). Sin embargo, el inicio de esta fase no está bien definido, algunos autores indican que las semillas pueden presentar cambios incluso a los treinta minutos post humectación (Harper, 1977, citado por Alessio *et al.*, 2008) y otros sugieren que se inicia con el agrandamiento del embrión producto de la maduración de las semillas para el caso de las palmeras (Tomlinson, 1990), la salida de la radícula desde la cubierta seminal (Kitajima y Fenner, 2000; Fenner y Thompson, 2005) o cuando los cotiledones de las plántulas epigeas emergen sobre el suelo (Martin y Ogden, 2002). Al finalizar la germinación, comienza el establecimiento de las plántulas, que representa el obstáculo final del proceso de regeneración o reclutamiento. El inicio del establecimiento, en muchos casos, está marcado por la extrusión de la radícula que permite que la plántula se ancle al suelo, seguida por la plúmula o brote que crece hacia la luz, fenómeno denominado *emergencia*. Estos hitos generan un alto gasto de energía proveniente de las reservas de la semilla o cotiledones, sin embargo, en esta etapa las plántulas emergidas se enfrentan a nuevas presiones asociadas a la falta de luz, agua o nutrientes, consideradas las principales causas de mortalidad en ellas (Fenner y Thompson, 2005).

Según Eriksson y Ehrlén (2008), las principales limitaciones del reclutamiento son la disponibilidad de semillas o la disponibilidad de micrositios, o ambos. En zonas mediterráneas algunas de las causas que podrían explicar la falta de reclutamiento son: la escasa producción y dispersión de semillas, y la alta mortalidad de las plántulas, sin embargo, la severidad de la sequía estival y el sobrepastoreo de herbívoros domésticos y silvestres serían las principales causas de esta mortalidad (Marañón *et al.*, 2004). La acción de los animales frugívoros es fundamental para que ocurra la regeneración natural de especies leñosas. A esto se añaden múltiples factores bióticos como los herbívoros que consumen plántulas y brinzales o de agentes patógenos que atacan diversos estadios de desarrollo. Todos estos factores inciden fuertemente en el proceso de reclutamiento teniendo efectos drásticos no solo en la dinámica poblacional de cada especie, sino que también el en funcionamiento del bosque en su conjunto (Jordano *et al.*, 2004).

### **1.1 Factores que influyen en la fase de germinación**

Según Alessio *et al.* (2008), las plantas a lo largo de su ciclo de vida experimentan limitaciones por diversos factores intrínsecos y extrínsecos que pueden conducir a cambios en algún grado. En el caso de la germinación, diversos factores ambientales ayudan a desencadenar este proceso, el cual implica desde la imbibición de agua, un rápido aumento de la actividad respiratoria, la movilización de reservas de nutrientes y el inicio del crecimiento del embrión. Este proceso es irreversible, por lo que, una vez iniciado el embrión puede crecer o morir.

Los factores claves para el proceso de germinación pueden ser intrínsecos como las latencias seminales, y extrínsecos como la temperatura, luminosidad, humedad, los cuales pueden actuar en forma individual o conjunta para iniciar o inhibir el proceso de germinación.

Para muchas plantas, es la temperatura el factor más importante para germinar debido a que puede ocurrir en distintas épocas del año, ya sea invierno o verano, o en momentos donde se producen variaciones, en número y amplitud, de temperatura (Fenner y Thompson, 2005;

Gurevitch *et al.*, 2006). Incluso hay algunas plantas, que tienen membranas celulares en la semilla que experimentan transiciones dependientes de la temperatura haciendo más o menos permeables al agua, permitiendo o inhibiendo la germinación (Gurevitch *et al.*, 2006).

Otro factor importante es la luz, pues las respuestas de las semillas a la luz pueden prevenir la germinación en condiciones desfavorables para el establecimiento. La capacidad para detectar diferentes aspectos del entorno lumínico permite que la semilla tenga al menos cierto control sobre dónde y cuándo la germinación tiene lugar (Fenner y Thompson, 2005). Las posibilidades de establecimiento exitoso pueden ser determinadas por si la semilla en germinación está enterrada en el suelo o está en la superficie. Si está enterrada, entonces la profundidad precisa es crucial para la emergencia o si está en la superficie, entonces el grado de sombra (especialmente de la vegetación circundante) puede ser decisiva. En algunos casos, la duración del día juega un papel importante en la determinación del tiempo de germinación (Densmore, 1997).

La disponibilidad de agua es otro aspecto importante y depende del tipo de semilla pues la mayoría de estas pueden mantener su viabilidad a un bajo contenido de humedad. Estas se denominan *ortodoxas* y su viabilidad aumenta con la desecación (valores de humedad cercanos a -350MPa en ambientes secos). Mientras que las especies de semillas *recalcitrantes* requieren un alto nivel de humedad (entre -1,5 a -5,0 MPa) para mantener su viabilidad (Murdoch y Ellis, 2000). Además de existir un contenido de humedad para mantener la viabilidad, se sabe que cada especie tiene un contenido de agua crítico para que ocurra la germinación (Hunter y Erickson, 1952, citado por Fenner y Thompson, 2005).

Uno de los mecanismos que permiten a las plantas asegurar que la germinación ocurra en el lugar y momento adecuado, es la latencia. La mayoría de las plantas tiene un retraso de germinación, que puede durar desde días hasta décadas (Fenner y Thompson, 2005), el cual no es el único mecanismo. Con respecto a los mecanismos de latencia de las semillas del banco transitorio de los bosques mediterráneos, Figueroa y Jaksic (2004), indican que existen dos tipos de latencias principalmente; latencia fisiológica, generalmente en hierbas introducidas y nativas, y latencia física principalmente en especies leñosas nativas. La latencia fisiológica ha sido detectada en especies como: *Colletia spinosa*, *Cinodendron patagua*, *Austrocedrus chilensis*, *Rhaphitamnus spinosus*, *Jubaea chilensis*, *Peumus boldus* y algunas plantas del género *Alstroemeria* (Donoso y Cabello, 1978; Cabello 1990; Figueroa *et al.*, 1996; Infante, 1989; Cabello e Infante, 1986; Thompson *et al.*, 1979, citados por Figueroa y Jaksic, 2004). Mientras que la latencia física en especies como: *Acacia caven*, *Adesmia microphylla*, *Cassia closiana*, *Cassia tomentosa*, *Lithraea caustica*, *Retanilla ephedra*, *Retanilla trivernia*, *Trevoa quinquenervia* (Hoffmann y Kummerow, 1962; Donoso y Cabello, 1978; Cabello, 1979; Muñoz y Pérez, 1981, citados por Figueroa y Jaksic, 2004).

Según Castro *et al.* (2005a), la temperatura del suelo y la humedad podrían actuar como factores principales en el control de la germinación en condiciones de campo. Dado que, la germinación puede alcanzar altos porcentajes en todos los microhábitats en años de lluvia, puesto que en ambientes mediterráneos se asegura una humedad adecuada, durante la germinación (otoño-primavera). Sin embargo, durante los años secos, la germinación se concentraría en microhábitats soleados que logran alcanzar temperaturas más altas durante la fase de germinación, antes de la desecación del suelo.

## 1.2 Factores que influyen en el establecimiento

El establecimiento comienza una vez finalizada la germinación, en la mayoría de los casos, como se menciona anteriormente, esto está marcado por la extrusión de la radícula y la plúmula (Fenner y Thompson, 2005), y termina cuando la curva de supervivencia tiende a estabilizarse, lo que bajo un régimen climático mediterráneo ocurre al final del primer o segundo verano después de la emergencia (Jordano *et al.*, 2004).

Una vez finalizada la germinación, las plántulas resultantes de este proceso son individuos vulnerables expuestos a limitaciones de recursos y otros factores bióticos y abióticos que influyen en su establecimiento y crecimiento, depredación y enfermedades, competencia, simbiosis, disponibilidad y demanda de recursos, etc. Según Allesio *et al.* (2008), la vulnerabilidad está dada por el pequeño tamaño de las plántulas y, en consecuencia, los bajos niveles de defensas.

Moles y Westoby (2004), señalan que, para la mayoría de las especies, las causas más comunes de mortalidad tienen que ver con la herbivoría (38%), sequía (35%) y ataque por hongos (20%). Mientras que las menos frecuentes están asociadas a daño físico (4,6%), competencia entre plántulas (1,6%) y competencia con vegetación establecida (1,3%). Tanto factores abióticos como bióticos inciden en la supervivencia de las plántulas, en condiciones limitantes pareciera ser que los factores abióticos, mientras que en condiciones más favorables la competencia intraespecífica e interespecífica cobra mayor relevancia (Padilla, 2008). Parada y Lusk (2011), indican que la sequía es una de las principales causas de mortalidad en las regiones sujetas a climas de tipo mediterráneo.

La sequía puede ser fatal, tanto para la germinación como para las plántulas (Fenner, 2000), debido a que el agua es un recurso crítico que limita la distribución, sobrevivencia y crecimiento de las plantas (Kozłowski, 1968; Grace 1997, citados por Castro *et al.*, 2005b). En ambientes mediterráneos y semiáridos, la sequía estival deseca las capas superficiales del suelo, por lo que tras la germinación en primavera las plántulas tienen que enfrentarse a esta desecación para lograr establecerse (Herrera, 1992). El efecto de la sequía sobre el crecimiento y supervivencia de plántulas suele ser menor en ambientes con sombra que en ambientes a plena luz (Sánchez-Gómez *et al.*, 2006). Adicionalmente, Padilla y Pugnaire (2007), citando a diferentes autores, sugieren que raíces profundas podrían mejorar la captación de agua y aumentar la probabilidad de supervivencia de las comunidades del mediterráneo, ya que pueden acceder a reservas de agua, permitiendo que el crecimiento se extienda hacia la estación seca. Por otra parte, los mismos autores encontraron fuertes relaciones positivas entre la supervivencia y la profundidad de raíces, dado que las plantas con raíces más profundas soportaron una sequía más prolongada. Sumado a esto, las raíces enfrentan otra problemática relacionada con la compactación del suelo, debido a que este fenómeno considera una pérdida de volumen de poros que disminuye la capacidad de mover agua y aire en el suelo, dificultándose así la capacidad de exploración de las raíces de las plantas y su crecimiento en diámetro. Algunas de las razones que provocarían esta pérdida son instalación de infraestructura, uso y mantención de la infraestructura y tránsito de animales, personas y vehículos (Coder, 2000).

La herbivoría, por otra parte, es otra de las principales causas de mortalidad de plántulas. Incluso, algunos autores la identifican como una de las mayores causas de mortalidad en muchas comunidades debido a que la remoción de una pequeña parte de la plántula puede tener consecuencias fatales, especialmente si es a nivel del suelo (Moles y Westoby, 2004), siendo una consecuencia importante del pastoreo en el reclutamiento diferencial de especies (Fenner y Thompson, 2005). Algunos factores que pueden desempeñar un papel en la vulnerabilidad de las plántulas son la densidad de plántulas, la presencia de vegetación aledaña (hábitat para depredadores) y los niveles de luz que afectan los compuestos de defensa en las hojas (Fenner, 2000; Fenner y Thompson, 2005). En ambientes mediterráneos, la presión de herbivoría es una consecuencia de la actividad ganadera y al incremento poblacional de ungulados silvestres (Zamora *et al.*, 2008). Esta presión representa una limitación principalmente para aquellas especies más palatables que no tienen la capacidad de rebrotar (Charco, 2002). Los daños por herbivoría en plántulas están muy relacionados con el nivel de desarrollo del individuo y la disponibilidad de alimento, principalmente de herbáceas, debido a que en verano cuando el pasto está seco el único alimento disponible es la vegetación leñosa, por lo que se acrecientan los daños sobre los individuos juveniles (Zamora *et al.*, 2008).

Frente a estas dos presiones, la presencia de vegetación juega un rol importante, debido a que puede proteger el establecimiento de plántulas contra altas radiaciones, altas temperaturas y pérdidas de humedad del suelo, aumentando así la supervivencia (Castro *et al.*, 2004). Además de favorecer la supervivencia y el crecimiento de los juveniles al protegerlos del pisoteo y consumo de los herbívoros (Zamora *et al.*, 2008). En ambientes mediterráneos, el establecimiento se ve obstaculizado en sitios con alta cobertura arbórea debido a que los niveles de radiación son deficientes, y en sitios con suelo desnudo, pues el estrés por sequía suele ser mayor en estas condiciones, quedando restringido principalmente a áreas debajo del dosel arbustivo que proveen valores intermedios de radiación y humedad, que permitirían la supervivencia de las plántulas (Marañón *et al.*, 2004).

### **1.3 Efecto materno y efecto de la procedencia en la germinación y establecimiento**

La variación en el fenotipo de un individuo puede determinarse no sólo por el genotipo y ambiente de ese individuo sino también por los efectos maternos, es decir, la contribución del progenitor materno al fenotipo de su descendencia más allá de la contribución cromosómica igual esperada de cada progenitor. La evidencia muestra que estos pueden contribuir sustancialmente al fenotipo de un individuo (Roach y Wulff, 1987).

El tamaño de la semilla es un rasgo morfológico que puede afectar la aptitud de las plantas progenitoras, así como el proceso de regeneración de la población (Roach y Wulff, 1987). A nivel intraespecífico, se ha demostrado que para algunas especies las semillas grandes mejorarían la germinación, las tasas de crecimiento de los brotes, la biomasa de las plántulas y la supervivencia de las plántulas, aunque esto no está demostrado para peumo (Chacón y Bustamante, 2001). Semillas más pequeñas y mejor dispersadas pueden tener una mejor oportunidad de escapar de los agentes de mortalidad dependientes de la densidad, mientras que las semillas más grandes (y menos dispersadas) tienen más recursos para enfrentar el estrés abiótico (Fenner y Thompson, 2005). Otra evidencia del efecto materno es la latencia

y germinación, debido a que el control primario de estos ocurre a través de los tejidos maternos que rodean al embrión (endosperma) que contienen una serie de enzimas importantes para la germinación. Mao *et al.* (2014), concluyen también que la calidad y cantidad de semillas se ven afectadas por la identidad materna, la edad materna y su entorno, por lo que este factor podría influir en los procesos naturales de la regeneración.

Por otra parte, la procedencia u origen genético hace alusión al área geográfica original desde donde se obtienen las semillas o propágulos. Esta área geográfica consta de individuos genéticamente similares, relacionados entre sí por un ancestro común, que ocupan una superficie en particular a la que se han adaptado mediante selección natural (Zobel y Talbert, 1988). Las adaptaciones locales son el resultado entre las fuerzas relativas de selección y el flujo de genes, siendo este último el que previene o promueve la adaptación. Esto podría tener implicancias en los procesos de germinación y establecimiento dado que, genotipos no locales pueden reducir el éxito si están mal adaptados y/o afectar negativamente a poblaciones nativas adyacentes adaptadas a condiciones locales, a través del flujo de genes (Mckay *et al.*, 2005).

#### **1.4 Antecedentes generales de la especie**

El peumo o *Cryptocarya alba* es una especie que se encuentra en la mayor parte de las asociaciones de la región mediterránea, sin embargo, es más abundante en zonas más húmedas (Donoso, 1982). Es una especie tolerante a la sombra y su crecimiento está ligado a la disponibilidad de agua en el suelo, por lo que disminuye su tasa de crecimiento en las estaciones secas (Del Fierro *et al.*, 1998). Esta especie presenta estrategias morfológicas y fisiológicas con bajas tasas de fotosíntesis, bajos potenciales osmóticos y características estructurales de la hoja, que le otorgan ventajas comparativas en términos de su sobrevivencia y desarrollo respecto de otras (Serra, 1991; Donoso *et al.*, 2011). Según Montenegro *et al.* (1988), estas estrategias influyen en sus mecanismos de dispersión, establecimiento, regeneración y desarrollo.

Los frutos de peumo corresponden a drupas ovaladas y carnosas, de color rojo, rosadas o blanco, dependiendo de su grado de madurez (Rodríguez *et al.*, 1983), con un pericarpio altamente apotecado por distintos animales. Estos caen por gravedad, debido a su peso y tamaño, concentrándose bajo la copa de los árboles madre o pueden rodar pendiente abajo dependiendo de la topografía del lugar (Cabello y Donoso, 2013).

Las semillas de peumo presentan una latencia exógena causada por el pericarpio del fruto, que puede presentar algún inhibidor químico como bien supone Cabello (1993). No obstante, esta latencia puede romperse, de manera natural, por la acción de aves dispersoras (*Mimus thenca* (tenca), *Pyrope pyrope* (diucón) y *Turdus falklandii* (zorzal)) quienes consumen el pericarpio y regurgitan las semillas bajo árboles percha, o zorros nativos que son considerados dispersores menos efectivos debido a que depositan las semillas principalmente en ambientes ralos o abiertos (Bustamante *et al.*, 2012). Son, además, recalcitrantes o de vida corta, es decir no mantienen un banco de semillas de un año a otro. Sino que, pueden permanecer viables en el suelo solo por hasta 5 meses (Chacón y Bustamante, 2001). Una vez transcurrido este tiempo, las semillas no germinadas habrán muerto por desecación

(Bustamante *et al.*, 1996). La germinación es del tipo hipogea, por lo que los cotiledones permanecen enterrados en el suelo (Serra, 1991). Jiménez y Armesto (1992), señalan que las semillas de peumo tienden a germinar inmediatamente después de las primeras lluvias. Bustamante *et al.* (2012), indican también que la acción de los dispersores puede verse modulada por el inicio de las precipitaciones, semillas dispersadas en buenas condiciones de humedad aumentarían la probabilidad de reclutamiento de plántulas. Sin embargo, después de la dispersión la depredación de semillas por roedores nativos como: *Abrothrix longipilis* (ratón de pelo largo), *A. olivaceus* (ratón oliváceo), *Oligoryzomys longicaudatus* (ratón de cola larga) y *Phyllotis darwini* (ratón orejudo de Darwin), puede reducir significativamente el reclutamiento (Bustamante *et al.*, 2012). La depredación de semillas varía temporalmente y puede estar ligado al tipo de ambiente, pues se produce un mayor consumo en ambientes abiertos o ralos (Bustamante, 1995; Bustamante y Vázquez, 1995).

En cuanto a la autoecología de su regeneración, esta especie florece entre noviembre y enero (Navas, 1976), aunque en función de las condiciones ambientales de cada año, la floración se produce entre agosto y diciembre (Alfaro y Sierra, 1973). La fructificación se produce entre enero y mayo y la dispersión de sus frutos ocurre entre marzo y julio (Mooney *et al.*, 1977, citado por Bustamante y Vázquez, 1995), o entre abril y mayo (Donoso y Cabello, 1978) y el establecimiento de plántulas se produce de septiembre a octubre (Bustamante *et al.*, 2012). La producción de frutos puede ser mala en algunos años, luego de una serie de años productivos (Vita, 1966), por lo que no presentaría añerismo.

En los bosques donde se desarrolla esta especie es habitual encontrar una gran cantidad de frutos bajo los árboles, e incluso una gran cantidad de plántulas durante el invierno y primavera, aunque estas van desapareciendo a medida que avanza la estación seca (Cabello y Donoso, 2013). Jiménez y Armesto (1992), indican además que pese a que *C. alba* es una de las especies con mayor cobertura del dosel, es la menos común en cuanto al banco de semillas del matorral chileno.

Considerando los antecedentes de pérdida de bosques antes expuestos, además de las problemáticas de regeneración que presenta *C. alba*, especie icónica del bosque esclerófilo chileno, nos avocaremos a una aproximación para el estudio del fenómeno a través de un ensayo para aportar al conocimiento de los procesos de regeneración natural. Por lo que en esta memoria se propone estimar cómo influye el origen genético sobre la germinación y establecimiento inicial de peumo en tres ambientes en la zona de Aculeo, Región Metropolitana.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.1 Objetivo general**

Evaluar, mediante un ensayo de siembra directa, la germinación y el establecimiento inicial de *Cryptocarya alba* (Molina) Looser, según origen genético en tres ambientes en la Reserva Natural Privada Altos de Cantillana.

### **2.1.2 Objetivos específicos**

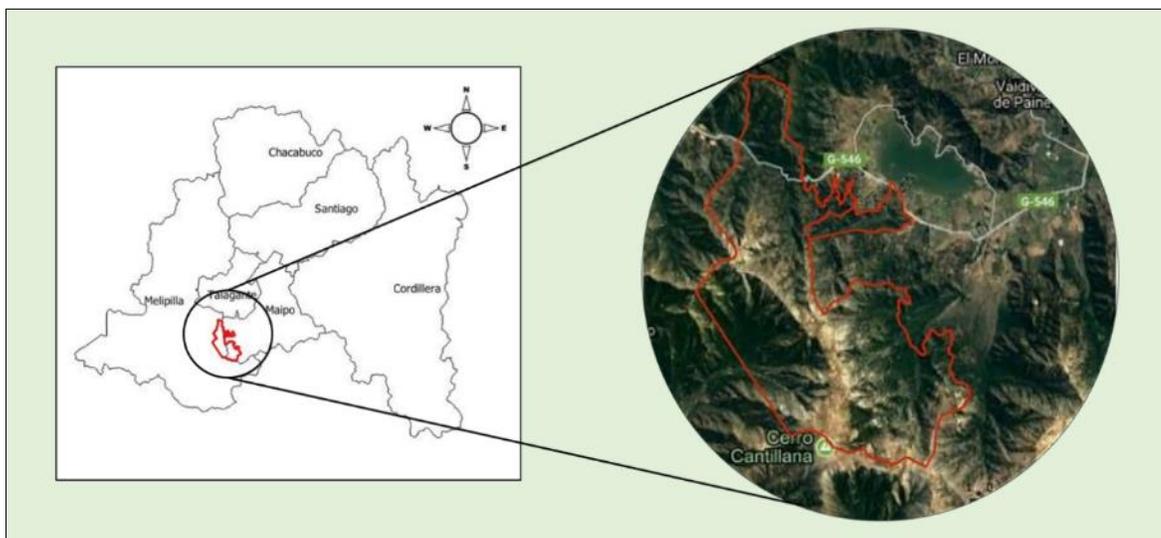
- a. Analizar en laboratorio la calidad de semillas por madre.
- b. Evaluar el efecto de tres ambientes sobre la germinación por procedencia.
- c. Evaluar el efecto materno y de la procedencia en el establecimiento de plántulas.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Materiales

##### 3.1.1 Área de estudio

El ensayo de siembra directa se realizó en la Reserva Natural Altos de Cantillana (33°51'11" S, 71°0'28" O), ubicada en la Comuna de Paine, en el suroeste de la Región Metropolitana (Figura 1).



**Figura 1:** Ubicación geográfica y límites de la Reserva. Los límites de la reserva están en color rojo. Elaboración propia.

La Reserva tiene una superficie de 12.000 ha y abarca parte del Cordón Cantillana, que ha sido reconocido como sitio prioritario mediante la Resolución Exenta N° 585/05 (GORE-RMS y SEREMI MMA RMS, 2013).

Según Santibáñez y Uribe (1990), la zona de la Reserva de Altos de Cantillana pertenece al Distrito Agroclimático 65.3, de tipo templado mesotermal estenotérmico mediterráneo semiárido que se caracteriza por presentar temperaturas promedio del aire en el mes más cálido y frío de 27,7 °C (enero) y 4,7 °C (julio), respectivamente; precipitaciones promedio anuales de 457 mm y humedad relativa del aire promedio anual del 77%.

Esta área se caracteriza por presentar diversas formaciones vegetales. Según los pisos vegetacionales descritos por Luebert y Pliscoff (2017) dentro de la reserva se desarrolla el bosque esclerófilo mediterráneo costero de *Cryptocarya alba* (peumo) y *Peumus boldus* (boldo). Estas formaciones han sido modeladas por los diferentes usos históricos del territorio, como extracción de leña y carbón, ganadería extensiva e intensiva y extracción de tierra de hojas. Algunos de estos usos aún se presentan dentro del área, sobre todo en aquellas

zonas cubiertas por bosque nativo que no han sido afectadas por proyectos inmobiliarios (Magni *et al.*, 2015).

### 3.1.2 Caracterización de sitios experimentales

Los sitios fueron clasificados en función de la cobertura arbórea presente, donde el sitio 1 correspondió al ambiente abierto, dado que presentó una cobertura menor al 30%, el sitio 2 o ambiente semidenso una cobertura cercana al 50% y el sitio 3 o ambiente denso una cobertura mayor al 75% (Cuadro 1). En estos ambientes, se evaluó la germinación y establecimiento inicial de *C. alba* durante ocho meses.

En términos de composición y estructura, el sitio 1 presentó una formación de espinales con individuos solitarios de peumo, que alcanzan alturas de hasta 8 metros, con una estructura de monte alto, debido a que se observaron troncos monofustales. En el sitio 2 se encontró una formación esclerófila con individuos de peumo solitarios con alturas de hasta 12 m acompañados por individuos de *P. boldus* de menor altura, en esta situación la estructura correspondió a un monte medio, dado que los individuos de peumo eran monofustales y los de boldo plurifustales. Por último, en el sitio 3 se halló una formación higrófila con estructura de monte medio, con individuos de *Persea lingue* (*lingue*), *Crinodendron patagua* (*patagua*) y *Beilschmiedia miersii* (*belloto del norte*) que tenían alturas entre los 18-25 m pero que se encontraban en fase de desmoronamiento. Producto de los claros generados por el desmoronamiento esta última formación ha experimentado un recambio en la composición de especies, incorporándose ejemplares de peumo y boldo de menor altura.

Cuadro 1. Descripción de los sectores utilizados en el experimento.

Ambiente	Tipo de formación	Cobertura	Presencia de regeneración natural (julio 2017)
Abierto	Espinales	< 30%	Si
Semidenso	Esclerófila	~ 50%	No
Denso	Higrófila	> 75%	Si

Todos los sitios estaban en una topografía plana, y presentaban individuos adultos de peumo en el dosel arbóreo, solo en el ambiente semidenso no se observó regeneración natural propia de la especie.

Se llevó un registro, desde la quinta semana después de efectuada la siembra directa, de las condiciones de micrositio de los tres ambientes, considerando los parámetros de humedad ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y conductividad eléctrica aparente del suelo, con la ayuda de un sensor portátil de lectura (GS3) y sistema de almacenamiento Decagon Pro-Check.

Adicionalmente, durante el desarrollo del ensayo, se caracterizaron los sitios considerando la densidad aparente del suelo ( $D_a$ ) (Cuadro 2), que se define como la masa de suelo seco en una determinada unidad de volumen edáfico, su valor se relaciona con la proporción de poros existentes en dicho volumen de suelo (Blake y Hartge, 1986; Honorato, 2000). Este parámetro es muy variable en los suelos y está relacionado con el manejo y los cambios

físicos; como la compactación, es decir, afecta la estructura, circulación de agua y aire, y el enraizamiento (Honorato, 2000). Según Keller y Håkansson (2010), este parámetro permite describir la compactación del suelo.

El aumento de la densidad aparente ( $D_a$ ) se traduce en compactación de suelos y resistencia mecánica al enraizamiento (Honorato, 2000). Un suelo con alto valor de  $D_a$  se transforma en un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, debido a la poca aireación y una baja infiltración del agua en el suelo (FAO, 2009).

Esta variable fue medida a través del método del cilindro, el cual consiste en introducir un cilindro de volumen conocido en el suelo para luego retirar la muestra y secar en una estufa a 105°C hasta alcanzar peso constante. El valor de la densidad aparente se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$D_a \text{ (gcm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{masa suelo seco (g)} * 100}{\text{volumen del cilindro (cm}^{-3}\text{)}}$$

Se realizaron 5 repeticiones por tratamiento, para la profundidad de 0-5 cm y de 0-10 cm.

Cuadro 2. Descripción edafológica de los ambientes utilizados en el experimento.

Ambiente	Profundidad (cm)	Densidad aparente del suelo (gcm <sup>-3</sup> )	Textura del suelo
Abierto	0-5	0,94	Arenoso franco
	5-10	1,09	Franco arenoso
Semidenso	0-5	1,27	Franco arenoso
	5-10	1,05	Franco arenoso
Denso	0-5	0,71	Arenoso franco
	5-10	0,77	Franco arenoso

### 3.1.3 Características de las semillas colectadas

Para el experimento se utilizaron 5.040 semillas de *C. alba* disponibles en el Centro de Semillas y Árboles Forestales (CESAF), provenientes de distintas procedencias: Cuesta La Dormida (CD), Antumapu (AN), Cantillana (CA) y Cayumanque (CY) (Cuadro 3). Estas fueron recolectadas, directamente del follaje, de un total de 38 árboles madre.

Cuadro 3. Características ambientales de las procedencias.

Procedencia	Provincia	Nº de madres	Estación meteorológica	Temperatura promedio(°C)	Precipitación acumulada (mm)
Cuesta la Dormida	Chacabuco	11	Colliguay	14,8**	51,8**
Antumapu	Santiago	7	La Platina	14,7	174, 2
Cantillana	Maipo	16	Alhué	14,6**	114,8**
Cayumanque	Ñuble	4	Nueva Aldea	14,6	552,8

\* Temperaturas y precipitaciones promedio de los últimos 8 años. \*\*Los datos de Temperatura y pp. de Cantillana y Cuesta La Dormida corresponden a los últimos 2 años. Fuente: Red Agrometeorológica de INIA.

Como antecedente adicional, en la población de Cayumanque se encontró el 5% de albinismo en plantas producidas en vivero, esto podría estar asociado a poblaciones pequeñas y aisladas donde la cruce entre parientes es mucho más común, presentándose mutaciones asociadas a disminución en la diversidad genética y aumento de tasa de endogamia Álvarez *et al.* (2017).

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Colecta de frutos

Las semillas fueron colectadas desde el follaje de cada árbol madre de *C. alba* ubicados en las distintas áreas geográficas o procedencias, dependiendo de la fecha de maduración de los frutos. El apresto, limpieza y almacenamiento de las semillas se realizó en las instalaciones del Centro de Semillas y Árboles Forestales (CESAF) de la Universidad de Chile. Posteriormente se efectuó el análisis de calidad de estas y su siembra en terreno.

### 3.2.2 Análisis de calidad de semillas

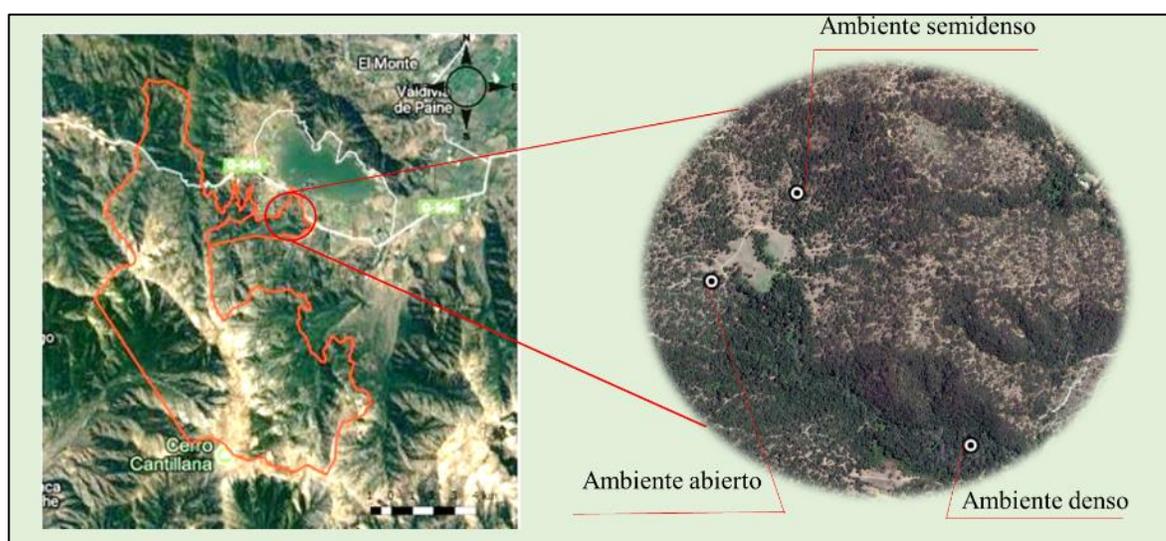
El análisis de calidad de semillas es un método estándar utilizado para valorar los distintos atributos fisiológicos, anatómicos y sanitarios de una semilla, mediante ensayos de laboratorio (Ferchmin, 1960, citado por Dorado *et al.*, 1999). De acuerdo con Baldwin (2002), los atributos más importantes son la capacidad germinativa y la pureza de las semillas, siendo este último poco relevante para peumo. Otros parámetros de evaluación son: número de semillas por kilogramo, contenido de humedad, viabilidad y porcentaje de germinación (Acuña, 2001).

Para el caso de este experimento, se analizó la capacidad germinativa de cada una de las madres dentro de procedencias, utilizando dos tratamientos germinativos, T0: Con pulpa, sin remojo y T1: Sin pulpa, sin remojo, el número de frutos/semillas por kilogramo y el contenido de humedad. El análisis se realizó en las instalaciones del CESAF.

### 3.2.3 Diseño experimental

Para evaluar el efecto materno y de la procedencia en el establecimiento de plántulas en tres ambientes (Figura 2), se seleccionaron tres sitios experimentales (ambientes abierto, semidenso y denso) dentro de la Reserva Natural Altos de Cantillana, que representarían condiciones que es común encontrar en el bosque esclerófilo con presencia de *C. alba*.

En cada uno de los tres ambientes, se montaron dos experimentos. En el primer experimento se evaluó el efecto sobre la germinación y establecimiento de las plántulas de 38 árboles madre de *C. alba*, provenientes de cuatro procedencias. Y en el segundo experimento, se evaluó únicamente el efecto de las cuatro procedencias mediante una mezcla balanceada de semillas, sin considerar el efecto materno. Los tres ambientes se encontraban dentro de una zona de exclusión de ganado y extracción de tierra de hojas desde el 2016.



**Figura 2:** Localización de los sitios experimentales dentro de la Reserva. Elaboración propia.

#### *Experimento 1*

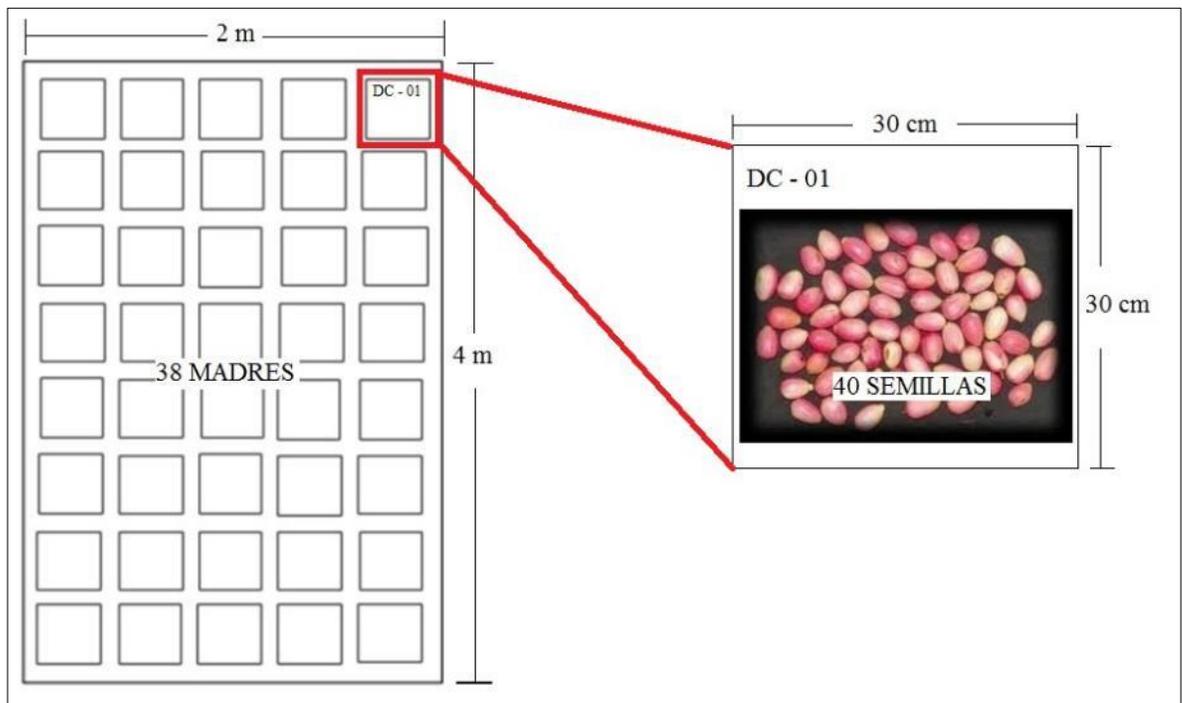
En cada uno de los ambientes se instaló de manera aleatoria las 38 madres con 40 semillas cada una. Las madres se distanciaron a diez centímetros, entre sí, en una matriz rectangular. El espacio ocupado por cada madre correspondió a un cuadrado de 30 x 30 cm. Cada madre fue etiquetada con una placa metálica, estacada con un clavo de 10 cm en la parte superior izquierda del cuadrado (Figura 3).

Cada replica se localizó bajo la copa de un árbol de peumo esto, de acuerdo con observaciones anteriores, se postula que en ese sector es donde se produciría y ubicaría la mayor cantidad de regeneración. Esta hipótesis es avalada por Bustamante *et al.*, (2012) quienes definen como “sitios seguros” para la regeneración ambientes cerrados o cercanos a plantas madre, y Galindo (2016), que menciona que, de acuerdo a investigaciones recientes, plántulas reclutadas de *C. alba* bajo plantas madres y de forma aisladas no son afectadas por depredadores de semillas. Sin embargo, Bustamante y Simonetti (2000), indican que la

distancia de los progenitores no es relevante para la depredación de semillas y el reclutamiento de plántulas.

Se efectuó un despeje manual del material vegetal de forma de eliminar las semillas presentes en el lugar y posteriormente se cubrieron las semillas con hojarasca para evitar su depredación dado que, Fenner y Thompson (2005) y Pérez-Ramos y Marañón (2008), indican que la cobertura de hojarasca oculta las semillas de sus potenciales depredadores, disminuyendo el riesgo de encuentro y consumo (Galindo, 2016). La presencia de hojarasca no solo reduce la depredación, sino que también beneficia la germinación de semillas y el establecimiento de plántulas, ya que impide la desecación de las semillas, estimulando su germinación y favoreciendo el reclutamiento de plántulas (Pérez-Ramos y Marañón, 2008).

Adicionalmente, se instalaron cercos de malla de alambre galvanizado de 1 m de alto para disminuir la herbivoría.

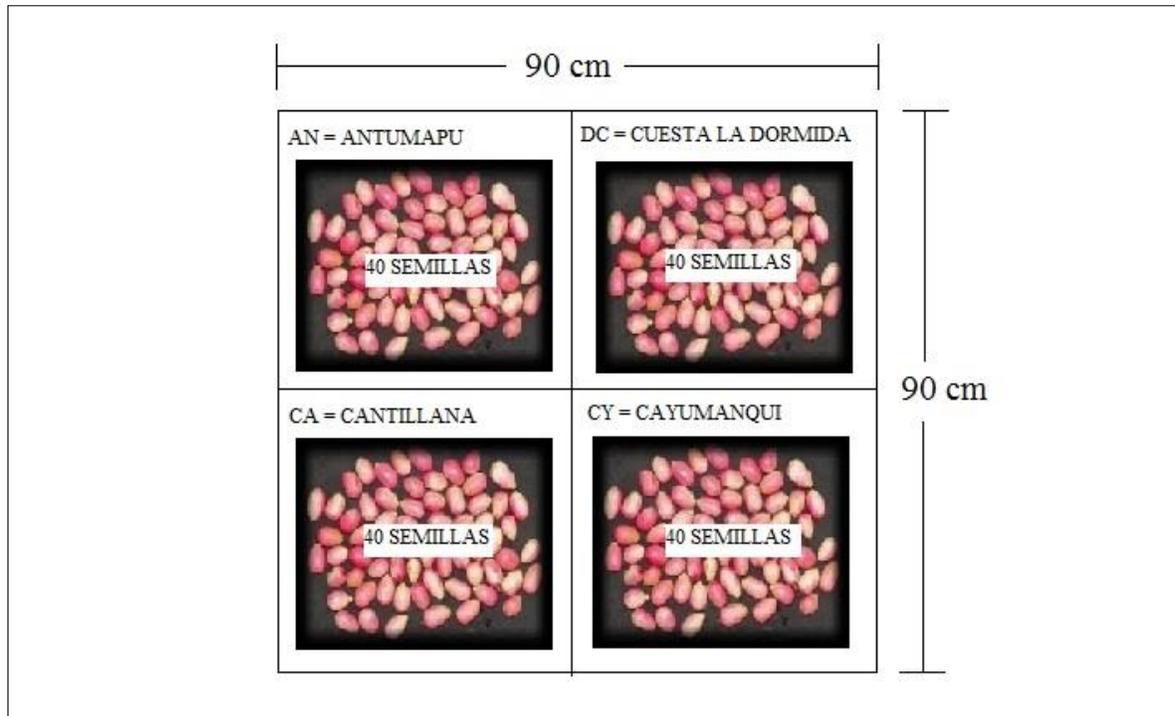


**Figura 3:** Emplazamiento del experimento 1. Elaboración propia.

### *Experimento 2*

En cada sitio experimental se localizaron tres repeticiones de las cuatro procedencias, en una matriz cuadrada de 90 x 90 cm, con el fin de evaluar el efecto del micrositio sobre estas. Cada procedencia estuvo representada por un mix de 40 semillas en un espacio de 30 x 30 cm, las procedencias se distanciaron por 10 cm (Figura 4).

El procedimiento de siembra fue el mismo que se utilizó para el experimento 1, sin embargo, este experimento no fue cercado, con el fin de probar el efecto de la herbivoría.



**Figura 4:** Emplazamiento del experimento 2. Elaboración propia.

### 3.2.4 Parámetros a evaluar

El registro de las variables ambientales del micrositio se realizó a partir de la tercera semana de agosto de 2017, es decir después de 6 semanas efectuada la siembra directa, de manera semanal al inicio del ensayo. Al no existir mucha variación entre las mediciones se alargó el intervalo de tiempo a 15 días. Las variables medidas fueron: Temperatura del suelo ( $^{\circ}\text{C}$ ), conductividad eléctrica aparente, densidad aparente del suelo ( $\text{gcm}^{-3}$ ) y humedad del suelo ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ).

Para evaluar el inicio de la germinación, se estableció como hito la aparición de la plúmula. Los individuos germinados fueron marcados y registrados, con un intervalo de tiempo semanal, con estaquillas de distintos colores según la semana de aparición de la plúmula. También se registraron aquellos individuos muertos.

Por otra parte, para evaluar el inicio del establecimiento, se estableció como hito la presencia del primer par de hojas verdaderas funcionales, registrándose la fecha en que sucedió este acontecimiento.

No se efectuaron tratamientos de riego durante el periodo de evaluación.

### 3.2.5 Determinación de influencia del micrositio en la germinación y establecimiento

Con los datos de las variables antes medidas se realizó un Análisis multivariado de Componentes Principales (ACP). Este análisis y los gráficos conocidos como “biplot”

permiten identificar asociaciones entre observaciones, entre variables y entre variables y observaciones (Balzarini *et al.*, 2008). Se consideraron todas las variables medidas para el realizar este análisis (temperatura de suelo, humedad de suelo, densidad aparente del suelo, diámetro a la altura del cuello de la planta, altura de la planta, % de germinación y % de establecimiento). Adicionalmente, se realizó una recopilación de antecedentes sobre las estrategias de germinación y establecimiento inicial que ayudó a la discusión e interpretación de las asociaciones observadas en los ACP.

### 3.2.6 Análisis estadístico

Para analizar los datos obtenidos se realizó en primera instancia una estadística descriptiva para cada uno de los tres sectores, considerando las madres dentro de procedencia. Algunos de los parámetros a evaluados fueron: N° de plántulas emergidas/madre, N° de plántulas muertas/madre, cantidad de semanas de reclutamiento/madre, % de germinación/madre, etc. Posteriormente se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) probando los supuestos de normalidad de los residuos (Pruebas de Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Prueba de Levene). Dado que los errores no se distribuían normalmente y las varianzas no eran homogéneas se hicieron las transformaciones  $\log(x)$ ,  $\sqrt{x + cte.}$ , arcoseno de (x), entre otras para validar los supuestos. A partir de esto se utilizó el siguiente modelo (Ec. 1) para evidenciar el efecto del ambiente sobre la germinación por procedencia.

Ec. 1:

$$\gamma_{ijk} = \mu + T_k + P_j + TxP + e_i$$

Donde,

$\gamma_{ijk}$  = N° de semillas germinadas o plántulas establecidas por procedencia.

$\mu$  = Media muestral.

$T_k$  = Sitio experimental.

$P_j$  = Efecto de la procedencia.

$TxP$  = Interacción

$e_i$  = Error muestral.

El segundo modelo, propuesto para analizar el segundo experimento, no fue probado dado que no existieron datos suficientes para analizar la varianza.

Para el caso del establecimiento, se realizó un análisis descriptivo de los resultados y se hizo un análisis por tablas de contingencias, dado que no se cumplieron los supuestos de normalidad de los residuos y homocedasticidad de las varianzas. Este último análisis consiste en determinar el tipo de asociación existente entre pares de variables.

Para declarar si hubo efecto o dependencia entre la variable establecimiento y los predictores ambiente y procedencia, se utilizó el estadístico  $X^2$ . El análisis se hizo sobre el establecimiento por ambiente, por procedencia y ambiente/procedencia. Se calculó un valor, con la fórmula que se encuentra en la Ec. 2, y se realizó la prueba Chi-cuadrado, que consta de una prueba de hipótesis para confirmar la asociación entre las variables que se cruzan.

Ec. 2:

$$X^2 = \sum_i \sum_j \frac{O_{ij}^2}{e_{ij}} - N$$

Donde,

$O_{ij}^2$  = Frecuencia observada de la casilla i, j.

$e_{ij}$  = Frec. esperada de la casilla i, j.

$N$  = Total de observaciones.

Las hipótesis a poner a prueba son:

$H_0$ : Hay independencia entre las variables (No hay efecto).

$H_1$ : No hay independencia (Hay efecto).

Para realizar la prueba se comparó el estadístico calculado, con el valor obtenido de la tabla (Chi-cuadrado teórico). Al ser mayor el calculado que el de la tabla, se rechazó la hipótesis  $H_0$ , y al ser menor, se aceptó  $H_0$ .

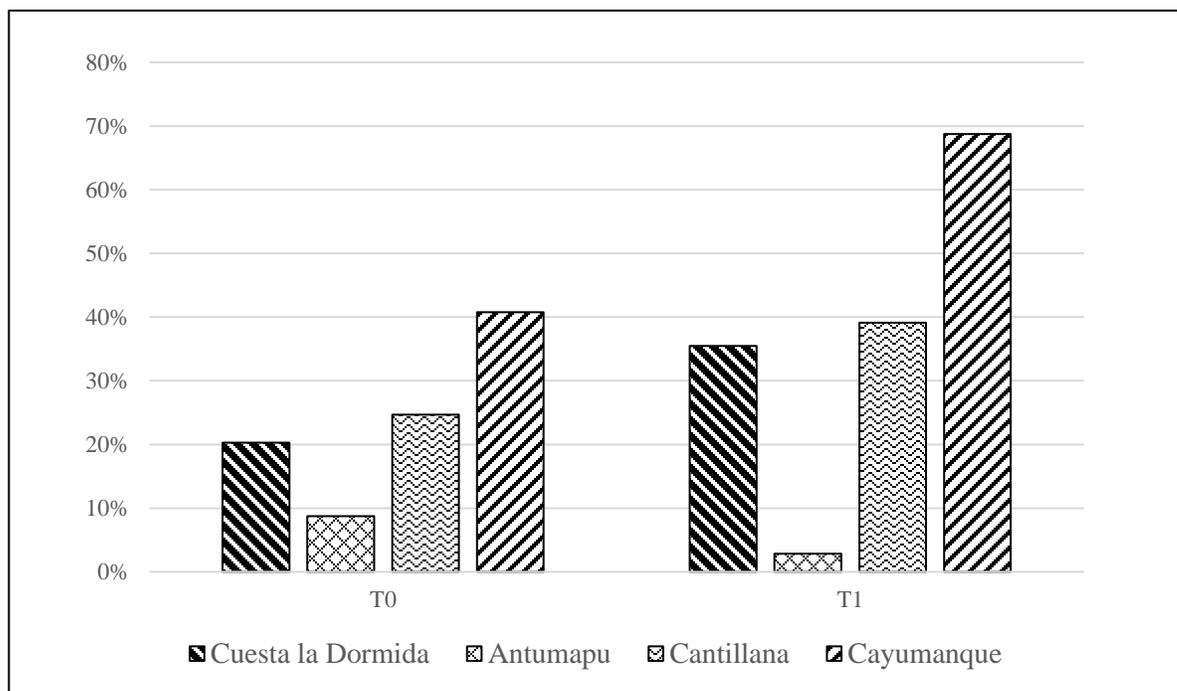
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de la calidad de semillas en laboratorio

#### 4.1.1 Capacidad germinativa por procedencia

El proceso de germinación se inició entre los 10 a 15 días después de iniciado el ensayo de germinación en laboratorio. Sin embargo, dado que no todas las semillas germinaron al mismo tiempo, este tuvo una duración promedio de 45 días. Según los resultados de Figueroa (1999), la germinación, contrastando distintos rangos de temperatura, se inicia entre el octavo y décimo sexto día, sosteniéndose hasta por 20 días.

En la Figura 5 se presenta la capacidad germinativa de las semillas de *C. alba*, provenientes de cuatro procedencias, sometidas a dos tratamientos de germinación en laboratorio (T0: con pulpa, sin remojo y T1: sin pulpa, sin remojo). Los resultados indican que retirar la pulpa de las semillas de *C. alba* (T1) permite aumentar la capacidad germinativa, casi al doble, en la mayoría de los casos. No obstante, los resultados indican que para las semillas de Antumapu se obtiene una mayor capacidad germinativa al mantener la pulpa.



**Figura 5:** Capacidad germinativa por procedencia, por tratamiento de germinación (T0: Con pulpa, sin remojo y T1: Sin pulpa, sin remojo).

Las capacidades germinativas dentro de procedencias, por tratamiento (Apéndice I), muestran que la procedencia Antumapu tiene un valor promedio para T0 y T1 de 9% y 3%,

respectivamente. Dentro de esta procedencia, considerando el promedio de los dos tratamientos pregerminativos, la madre que obtuvo una mayor capacidad germinativa fue AN-124 con un valor de 16%, seguida por la madre AN-56 con 15%, y aquellas que obtuvieron los menores valores fueron AN-60<sup>A</sup> y AN-60<sup>C</sup>, con 1% y 0%, respectivamente.

Para la procedencia Cantillana, el valor promedio para T0 y T1 fue 25% y 39%, respectivamente. La madre con mayor capacidad germinativa, considerando el promedio de los dos tratamientos, fue CA-33 con un valor de 76%, seguida por CA-30 con un 74%. Las madres con menor capacidad germinativa fueron CA-32 y CA-146, ambas con un 0%.

Dentro de la procedencia Cuesta La Dormida el valor promedio para T0 y T1 fue 20% y 35%, respectivamente. Considerando el promedio de los dos tratamientos, las madres con mayor capacidad germinativa fueron CD-13 y CD-25 con 60% y 68%, respectivamente. Mientras que aquellas con menor capacidad fueron CD-22 y CD-11, con 1% y 3%, respectivamente.

Por último, para la procedencia de Cayumanque, se tiene que el valor promedio para T0 y T1 fue 41% y 69%, donde las madres con mayor capacidad germinativa, considerando el promedio de los dos tratamientos, fueron CY-76 y CY-85, con 54% y 42%, respectivamente.

En general, los resultados de germinación en laboratorio promedios para estas procedencias fueron bajos, 19% en T0 y 34% en T1, debido a que, según Acuña (2001), el valor promedio de la capacidad germinativa de las semillas de peumo es 92,6%. Si bien T1 tuvo mejores resultados que T0, estos siguen estando por debajo de la media. Una de las explicaciones por las que T1 es mejor que T0 tiene que ver con el efecto del pericarpio o pulpa en las semillas, pues este podría actuar como inhibidor en el porcentaje y velocidad de germinación de las semillas de peumo (Cabello y Donoso, 2013). Según Ramírez (1997), semillas sin pulpa presentaron una germinación de 98%, mientras que las semillas con pulpa alcanzaron un porcentaje de 88%.

Los resultados obtenidos de germinación, en laboratorio, de semillas de *C. alba* indican que existen diferencias significativas en cuanto a los tratamientos aplicados ( $p < 0,05$ ) y las procedencias utilizadas ( $p < 0,01$ ) utilizadas, pero no hay interacción ( $p > 0,05$ ) entre ambos (Cuadro 4). Debido a que el fin del ensayo fue evaluar la capacidad real de las semillas de germinar y lograr establecerse en campo, las semillas fueron sembradas con pulpa.

Cuadro 4. Significancia de los ensayos de germinación por tratamientos y procedencia.

	<b>Tratamiento (T)</b>	<b>Procedencia (P)</b>	<b>TxP</b>
p (Fisher's LSD)	0,0262*	0,0076**	0,2990ns

(\*\*\*):  $p < 0,01$ ; (\*\*):  $p < 0,05$ ; (\*):  $p < 0,10$ ; (ns): no significativo.

Cabe destacar, que las fechas de fructificación de las procedencias utilizadas en este estudio presentaron un gran desfase, de aproximadamente dos meses, entre la colecta septentrional y la más austral. Esto junto a la recalcitrancia de la especie, implicaría que las semillas pierdan humedad durante el proceso de almacenamiento, a pesar de parecer breve se afectaría su

capacidad germinativa. Lo anterior podría ser una limitante para la instalación de ensayos comparativos de procedencias de siembra directa, pues la fecha de siembra directa estaría determinada por la fecha de fructificación, lo cual significaría períodos diferentes de exposición a las condiciones de micrositio para las procedencias estudiadas.

#### 4.1.2 Características físicas de las semillas y frutos por procedencia

Para este experimento, el N° de frutos/kg varió entre 557 y 1.228 y el N° semillas/kg entre 778 y 1.500 y el contenido de humedad promedio para las semillas fue de 43%. Los valores de N° frutos y semillas por kilo, utilizados en este experimento, son inferiores y superiores a los descritos por Cabello y Donoso (2013), quienes, citando a varios autores con valores varían en el N° frutos/kg entre 598 y 710 y el N° de semillas/kg entre 421 y 1.029 (Figueroa, 1999; Acuña 2001). Aunque Chacón (1998), describe que el N° semillas/kg varía de 294 a 5000. Sin embargo, el contenido de humedad (43%) coincide con el promedio determinado por Cabello y Donoso (2013), que varía entre 31 y 52%, con un promedio de 43,1%.

Las semillas de mayor tamaño son de las procedencias de Antumapu y Cantillana con 778 y 1.015, respectivamente (Cuadro 5 y Figura 6), lo que podría implicar según Chacón y Bustamante (2001), un atributo ventajoso en términos de la germinación, independientemente de las condiciones abióticas prevalecientes. Lo anterior sugiere que estas procedencias tendrían un mejor desempeño en términos de germinación y posterior establecimiento. Cabe mencionar que el tamaño de semilla de Antumapu podría estar influenciado por ser una población de cultivo que recibe riego durante la época estival.

Cuadro 5. N° de frutos/semillas por kilogramo y su contenido de humedad por procedencia.

Procedencia	N° de frutos promedio/kg	CH promedio frutos (%)	N° de semillas promedio/kg	CH promedio semillas (%)
Cuesta La Dormida	1.228	40	1.500	41
Antumapu	557	46	778	44
Cantillana	841	45	1.015	43
Cayumanque	1.008	42	1.263	42
<b>Promedio</b>	<b>908</b>	<b>43</b>	<b>1.139</b>	<b>43</b>

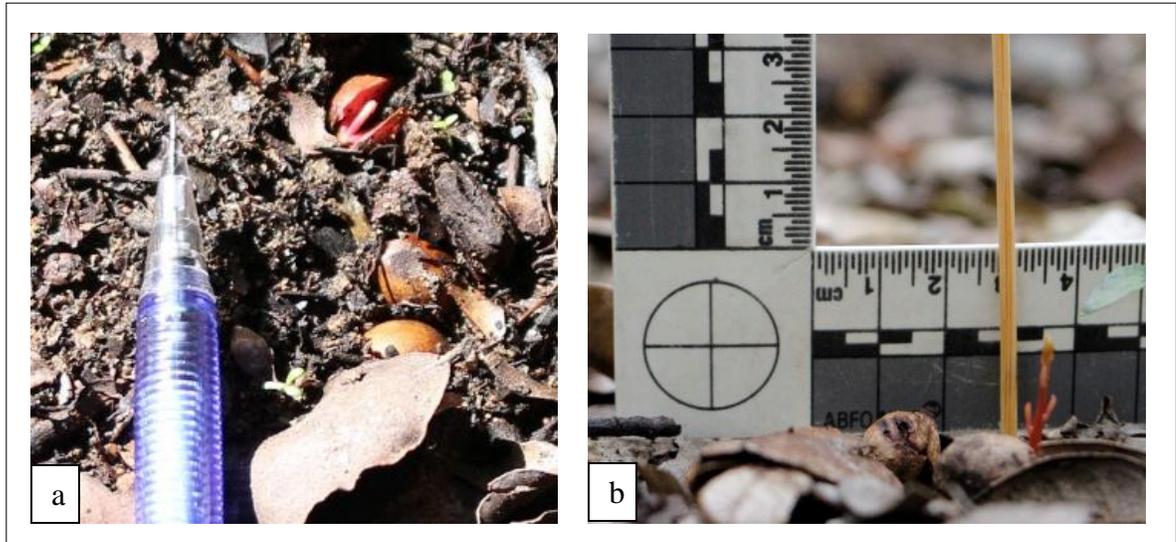


**Figura 6:** Tamaños de las semillas de las cuatro procedencias.

## 4.2 Germinación

Los resultados que se muestran corresponden al experimento 1, pues el experimento 2 no fue analizado debido a que sufrió serias alteraciones producto de la depredación, dificultándose, imposibilitándose así el análisis de los datos. Cabe destacar que la depredación es un factor importante de considerar para el éxito en regeneración, dado que, en las fases iniciales las plántulas son altamente sensibles, siendo una de las principales causas de mortalidad. Además, en el caso de este experimento, se observó la presencia de insectos en sus fases larvales consumiendo cotiledones y plántulas con su eje principal dañado.

La germinación, como se menciona anteriormente, se inicia con el rompimiento de la testa y la extrusión de la plúmula o radícula (Fenner y Thompson, 2005). Sin embargo, dado que la germinación de *C. alba* es de tipo hipogea (Serra, 1991), se registró la germinación con la emergencia de la plúmula sobre el suelo. Los primeros indicios de germinación (semillas hinchadas y abiertas) se evidenciaron a partir de la semana 6 (Figura 7a). Cuatro semanas después (semana 10) se observó un período de alta emergencia de plántulas (Figura 7b) que duró hasta la semana 14 (a los 100 días de realizada la siembra aprox.). Después de este período (semana 15), se produjo escasamente germinación, perdurando hasta la semana 25. La mortalidad de algunos individuos comenzó a ser evidente a partir de la semana 17. Del total de semillas sembradas, en el experimento 1 (4.560), germinaron 1.120 semillas (25% de las semillas sembradas). Un total de 1.017 semillas germinaron durante las semanas 10-14 (22% de las semillas sembradas). El resto de las semillas (103) germinaron en el transcurso de las semanas 15-25 (2% de las semillas sembradas).



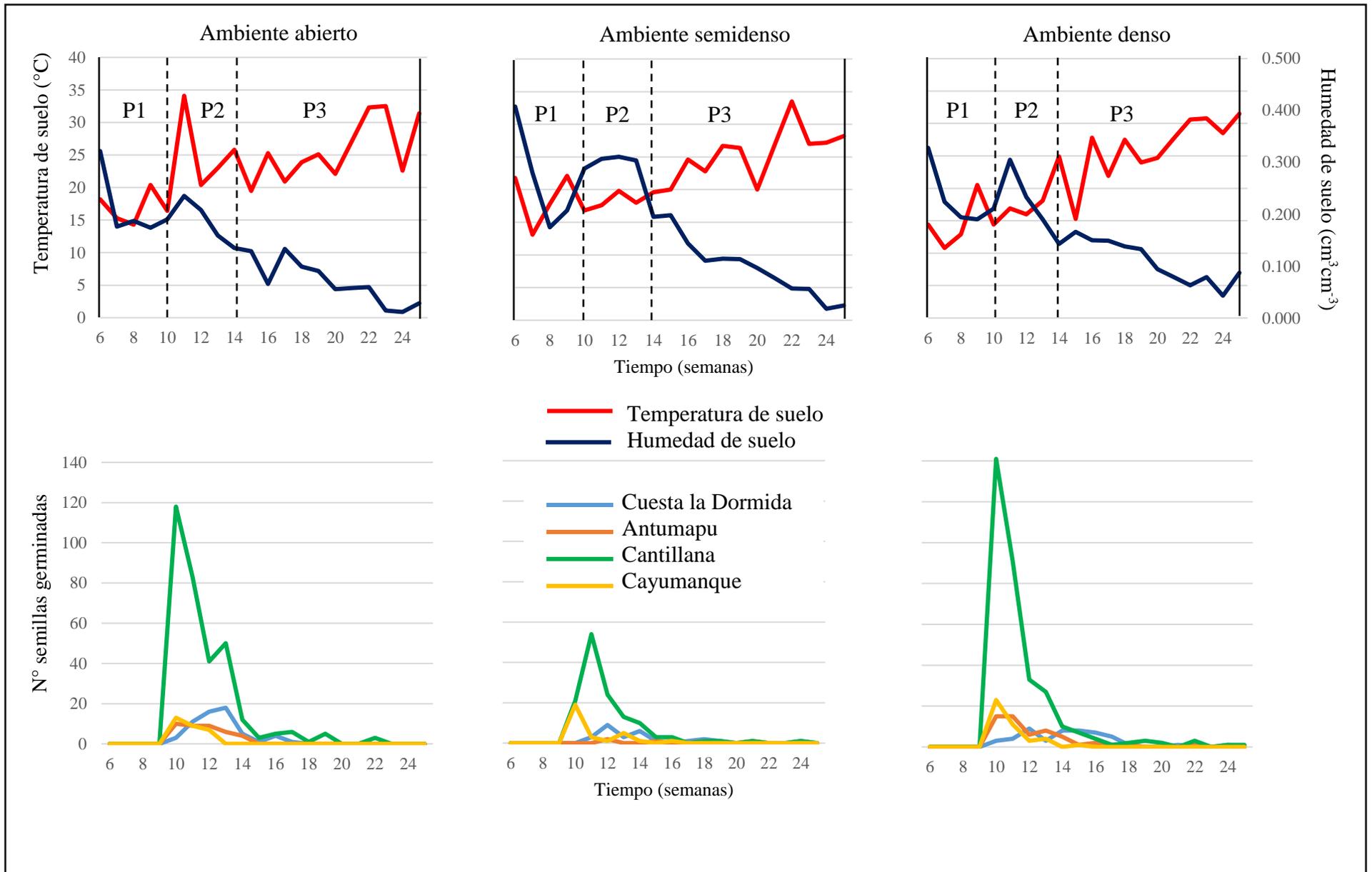
**Figura 7:** Inicio de la germinación; rompimiento de la testa y aparición plúmula en semillas de *C. alba* (a), y emergencia (b).

Según lo indicado por López *et al.* (1986) e Ibaça (2001), la emergencia de las semillas de peumo comienza entre los 15 y 20 días desde iniciada la siembra, pudiendo continuar incluso hasta los 70 días o más, en condiciones de vivero (Vogel *et al.*, 2008). Aunque, según Ramírez (1997), la emergencia del epicótilo varía de acuerdo con la fecha de siembra, siendo más rápida la emergencia cuando se siembra de manera temprana, ya que es mayor el periodo de condiciones favorables que tienen las plántulas para desarrollarse. Cabe destacar que, este fenómeno no ha sido evaluado en terreno en otros estudios.

#### 4.2.1 Variables micro ambientales condicionantes de la germinación

Las condiciones de micrositio para la germinación fueron analizadas desde la semana 6 hasta la semana 25, sin embargo, para una mejor interpretación de los resultados la información se agregó en tres períodos (Figura 8). En general, se define que las condiciones que favorecen la germinación son: bajas temperaturas y alta humedad. Sin embargo, estas condiciones no se mantienen en el tiempo haciéndose más secas y calurosas a medida que se acerca el verano, dificultando la mantención de este proceso y el posterior desarrollo de las plántulas.

El primero período, es donde se observaron los primeros indicios de germinación (semana 6-9). Durante estas semanas la temperatura y la humedad media del suelo fue de 17°C y 0,24 cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>, respectivamente, siendo mayor la temperatura en el ambiente abierto y menor en el ambiente denso, y en forma contraria la humedad. La mayor humedad se registró en el ambiente semidenso. El segundo período (semana 10-14), fue donde se observó la emergencia de la mayoría de las plántulas, observándose una oscilación de la temperatura y humedad de suelo, entre los 17 y 32°C, y 0,13 y 0,31 cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>, respectivamente. En este período se repitió el patrón de distribución de temperaturas y humedad de suelo, en los distintos ambientes, incluso se mantuvo la mayor humedad de suelo en el ambiente semidenso.



**Figura 8:** Comportamiento de la temperatura y humedad de suelo durante la fase de germinación en los tres ambientes y n° semillas germinadas por ambiente-procedencia. P1, P2 y P3 corresponden a los períodos 1,2 y 3. Las líneas negras corresponden a la duración de cada período y las líneas negras punteadas al período de mayor germinación.

Finalmente, durante el tercer período (semanas 15-25), se observó en los tres ambientes un aumento de la temperatura y disminución de la humedad del suelo. Para el caso de la temperatura, se alcanzaron los 30°C y medias de 26°C, y la humedad fue en promedio inferior a 0,10 cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>. Por lo tanto, se propone que sobre esta temperatura de suelo y bajo esta humedad de suelo (textura franco-arenosa), el proceso de germinación se vería inhibido.

Cuadro 6. Resumen del número de semillas germinadas y %, rangos de temperatura y humedad del suelo condicionantes en la fase de germinación-emergencia, en los tres ambientes, durante tres períodos. Media ± S.E.

<b>Hitos</b>	<b>Periodo (semanas)</b>	<b>Ambiente</b>	<b>N° semillas germinadas y %</b>	<b>T° suelo (0-5 cm) (°C)</b>	<b>Hum. suelo (0-5 cm) (cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>)</b>
Germinación	1 (6-9)	Abierto	-	17,1 ± 4	0,213 ± 0,07
		Semidenso	-	18,7 ± 3	0,270 ± 0,10
		Denso	-	14,7 ± 4	0,234 ± 0,06
	2 (10-14)	Abierto	424 (27,9%)	23,9 ± 6	0,180 ± 0,04
		Semidenso	174 (11,4%)	18,4 ± 1	0,280 ± 0,05
		Denso	419 (27,6%)	18,1 ± 4	0,216 ± 0,05
	3 (15-25)	Abierto	29 (1,9%)	25,7 ± 5	0,070 ± 0,04
		Semidenso	20 (1,3%)	25,7 ± 4	0,090 ± 0,05
		Denso	54 (3,6%)	26,4 ± 5	0,101 ± 0,04

El rango de temperatura que se manifestó durante las semanas 6-14 coincide en parte con los rangos establecidos para la germinación de *C. alba* por Figueroa (1999) y Ramírez (1997), quienes indican que el rango que favorece la germinación de semillas de peumo va entre los 10 a 25 °C, sobre este rango, es decir mayor a 30 °C, el proceso de germinación se ve inhibido. Sin embargo, este factor es el único que ha sido evaluado, sistemáticamente en laboratorio, para la germinación de *C. alba*, pues es importante señalar que estos autores no restringen la humedad en su ensayo.

Castro *et al.* (2005a), plantean que la germinación estaría determinada por una combinación de niveles apropiados de temperatura del suelo, humedad e intensidad de luz. Sin embargo, esta combinación no ha sido evaluada para *C. alba*, y esta sería una aproximación con respecto a los niveles que promueven la germinación en la especie en condiciones de campo.

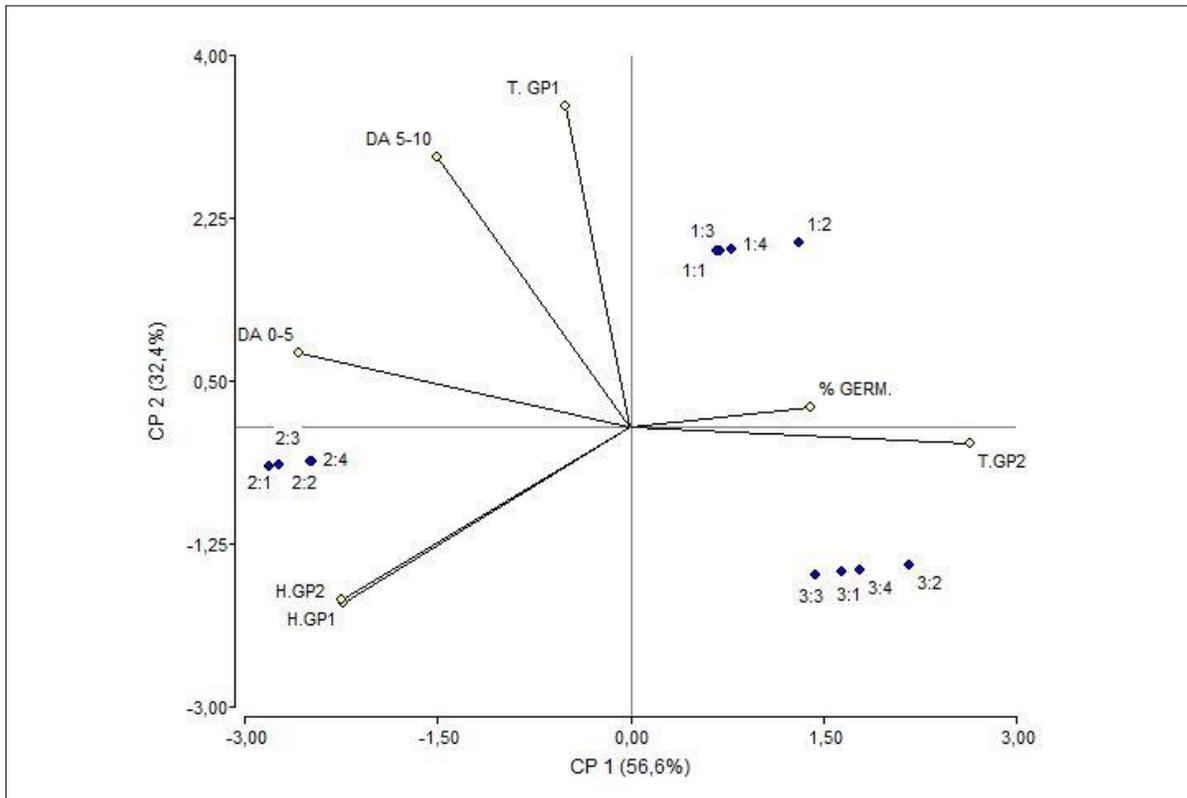
#### 4.2.2 Efecto del ambiente de siembra en la germinación por procedencia

La germinación se concentró en el segundo período (semana 10-14) para los tres ambientes. El valor más alto, durante este período se observó en el ambiente abierto con un número de 424 semillas germinadas, equivalente al 27,9% del total sembrado, seguido por el ambiente denso con 419 semillas, equivalente al 27,6%. Estos valores no difieren mucho entre sí, sin

embargo, en el ambiente semidenso se observó el valor más bajo de germinación 174 semillas, equivalente al 11,4%. Después de este período la germinación se redujo fuertemente en los tres ambientes, desde el abierto hacia el ambiente denso, de un 22% a 2% en promedio. Esta reducción podría deberse a un aumento en la temperatura de suelo (mayor a 26 °C) y disminución de la humedad de suelo (menor a 0,10 cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>), que se traduce en una mayor desecación. Este fenómeno de desecación podría tener un efecto directo en la latencia de las semillas, pues dado que se trata de una especie recalcitrante, su regeneración se restringe en condiciones de limitación de agua (Bustamante *et al.*, 2012).

A partir de los resultados obtenidos, se desarrolló un Análisis de Componentes Principales (ACP), de carácter exploratorio, para la germinación considerando temperatura y humedad de suelo en los distintos períodos (Cuadro 6) y los valores de densidad aparente del suelo (Figura 9). A través de este análisis se puede observar en forma gráfica el efecto del ambiente sobre la germinación, siendo el ambiente denso y abierto los que se asocian positivamente con un mayor porcentaje de germinación (positivos para el eje CP1). Este alto porcentaje de germinación se asocia a la temperatura del segundo período de germinación (del 4 al 25 octubre 2017), con una media de 20°C, que corresponde a mediados de primavera. En el lado opuesto (eje CP1 negativo) se encuentra el ambiente semidenso que mostró el menor porcentaje de germinación, asociado a una mayor densidad aparente superficial del suelo (0-5 cm), con un valor medio de 0,127 gcm<sup>-3</sup>, y a la humedad del suelo de los períodos uno y dos (entre el 24 agosto y el 25 octubre 2017), con una media de 0,28 cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>. La humedad registrada en este ambiente durante estas fechas fue superior a la de los otros ambientes (Cuadro 6).

Los resultados de Castro *et al.* (2005a), sugieren que las diferencias, en germinación, entre micrositios estarían determinadas por la temperatura y humedad del suelo para el caso de *Pinus sylvestris*, que se desarrolla en condiciones de tipo mediterráneas. Esto dado que la germinación fue más rápida en micrositios abiertos, intermedia en semi sombreados y baja en sombreados, donde la temperatura va de mayor a menor, esto indicaría que a través del tiempo el aumento en la temperatura del suelo permitiría la germinación en ambientes más fríos. La humedad también tiene efecto en la germinación, pues el efecto positivo de la temperatura sobre la germinación sería anulado producto de la desecación por aumento de la temperatura. No obstante, autores como Urbietta *et al.* (2008), indican que el agua podría actuar como un doble factor de estrés, por exceso o déficit durante las etapas iniciales del reclutamiento de plántulas, pues el exceso de agua en invierno redujo la germinación y emergencia de plántulas del género *Quercus*. La intensidad de la luz también sería un factor importante, pues su combinación con los otros dos factores podría retrasar o acelerar el proceso de germinación, por ejemplo, en condiciones donde la intensidad de la luz y la temperatura del suelo sean bajas, se esperaría un retardo en la germinación (Castro *et al.*, 2005a). Pese a estos antecedentes, existen pocos estudios que evalúen la combinación de estos factores en condiciones de campo, para especies mediterráneas chilenas. Exceptuando a Becerra *et al.* (2004), quienes concluyen que la hojarasca facilitaría la germinación de semillas y el reclutamiento de *Beilschmiedia miersii*, particularmente durante años secos.



**Figura 9:** Componentes Principales para el fenómeno de germinación (% GERM.). T.GP1: Temperatura del suelo para el período 1, T.GP2: Temp. del suelo para el período 2, T.GP3: Temp. del suelo para el período 3, H.GP1: Hum. del suelo período 1, H.GP2: Hum. del suelo, H.GP3: Hum. del suelo período 3, DA 0-5: Densidad aparente entre 0-5 cm, DA 5-10: Densidad aparente entre 5-10 cm. Los puntos de color azul representan ambiente: el primer número corresponde a ambiente, donde 1 es abierto, 2 es semidenso y 3 denso, y el segundo número a procedencia, donde 1 es Antumapu, 2 Cantillana, 3 Cuesta la Dormida y 4 Cayumanque.

Los resultados obtenidos, a partir del ANDEVA (Apéndice II), indican que hay un efecto del ambiente y de la procedencia sobre la germinación ( $p < 0,01$ ) (Cuadro 8), no obstante, no existe interacción entre estos factores ( $p > 0,05$ ), por lo que el análisis estará centrado en los efectos principales.

Para el caso de la germinación por ambiente, los mayores porcentajes se obtuvieron en ambiente denso y abierto (Cuadro 8). Esto podría significar que en la fase inicial del ensayo (julio) existen condiciones adecuadas de temperatura y humedad de suelo, en los ambientes analizados, para el desarrollo de la germinación. El único ambiente significativamente diferente fue el semidenso, esto podría estar relacionado con la densidad aparente superficial

y humedad de suelo, como se indicó. Cabe destacar que el ambiente semidenso fue utilizado en el pasado (20 años) como corrales provisorios de caballos<sup>1</sup>.

Para el caso de la procedencia, Cantillana y Cayumanque alcanzaron los mayores porcentajes de germinación con 41% (784 semillas germinadas de un total de 1.920) y 21% (101 semillas germinadas de un total de 480), respectivamente ver Cuadro 7. Según el análisis de medias, estas son diferentes entre sí y de las Antumapu y Cuesta la Dormida, que obtuvieron los porcentajes más bajos. Dado que no existe interacción, el comportamiento de las procedencias sería similar en los tres ambientes.

Cuadro 7. Número de semillas germinadas promedio por procedencia en cada ambiente.

Procedencia	N° semillas sembradas/ ambiente	N° semillas germinadas y % /ambiente			Promedio
		Abierto	Semidenso	Denso	
CD	440	59 (13%)	27 (6%)	50 (11%)	<b>10</b>
AN	280	38 (14%)	5 (2%)	55 (7%)	<b>12</b>
CA	640	<b>327 (50%)</b>	<b>132 (21%)</b>	<b>326 (51%)</b>	<b>41</b>
CY	160	29 (18%)	30 (19%)	42 (26%)	<b>21</b>

Cuadro 8. Efecto del ambiente de siembra sobre la germinación por procedencia de semillas. Media  $\pm$  S.E.

	N° semillas germinadas promedio	Porcentaje de germinación total
<b>Ambiente (A)</b>		
Abierto	12 $\pm$ 10,7	29,8a
Semidenso	5 $\pm$ 6,7	12,7b
Denso	12 $\pm$ 11,2	17,9a
<b>Procedencia (P)</b>		
Cuesta la Dormida	4 $\pm$ 5,8	10,3c
Antumapu	5 $\pm$ 6,3	11,6c
Cantillana	16 $\pm$ 11,0	40,8a
Cayumanque	8 $\pm$ 7,0	21,0b
<b>Valor F y nivel de significancia</b>		
A	4,94***	
P	20,00***	
AxP	1,52ns	

(\*\*\*):  $p < 0,01$ ; (\*\*):  $p < 0,05$ ; (\*):  $p < 0,10$ ; (ns): no significativo.

<sup>1</sup> Comunicación personal con Fernanda Romero, administradora de Reserva Natural Altos de Cantillana.

En este ensayo, se observó una tendencia en germinación en la descendencia de algunas madres debido a que su rendimiento fue similar en los tres ambientes (Cuadro 9), es por esto que aquellas madres capaces de expresar una alta tasa de germinación en al menos dos de los tres ambientes, y un alto nivel de establecimiento, se denominaron “buenas madres”.

Cuadro 9. Mejores madres, en términos de germinación, dentro de procedencia por ambiente.

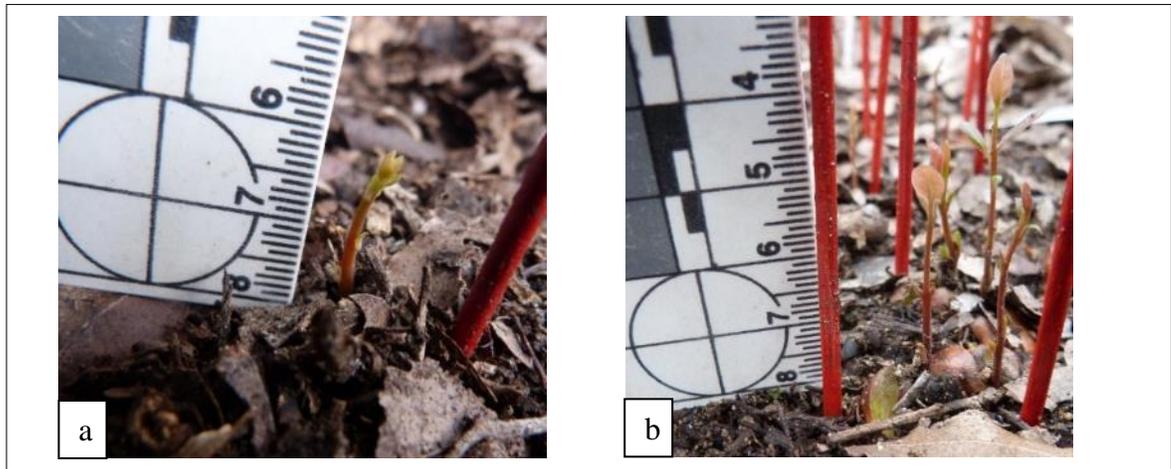
Procedencia	Mejores madres/ambiente		
	Abierto	Semidenso	Denso
Cuesta La Dormida	19, 126 y 128	11 y 126	19, 126 y 128
Antumapu	56, 60 <sup>A</sup> y 60 <sup>B</sup>	56 y 60 <sup>B</sup>	60 <sup>B</sup> , 60 <sup>A</sup> y 55
Cantillana	30, 31, 32 y 33	31, 131, 132 y 133	30, 129, 134 y 143
Cayumanque	76, 85, 147	85	85 y 147

Los porcentajes de germinación de las “buenas madres” fueron: Cuesta La Dormida (CD) 19 (6%), 126 (12%) y 128 (6%), Antumapu (AN) 56 (4%), 60<sup>A</sup> (8%) y 60<sup>B</sup> (9%), Cantillana (CA) 30 (20%) y 31 (22%) y Cayumanque (CY) 85 (14%), esta última madre tuvo los más altos porcentajes de germinación en los tres ambientes. Cabe destacar, que pese a que la procedencia local tuvo un mayor volumen de germinación, las madres no fueron constantes en cuanto al número de semillas germinadas pues su expresión en germinación fue variable en los tres ambientes.

### 4.3 Establecimiento

La fase de establecimiento se inicia con la extrusión de la radícula que permite que la plántula se ancle al suelo, seguida por la plúmula o brote que crece hacia la luz, fenómeno denominado *emergencia*, y termina cuando se estabiliza la curva de supervivencia (Fenner y Thompson, 2005). Según Jordano *et al.* (2004), bajo condiciones climáticas de tipo mediterráneo, el establecimiento ocurre al final del primer o segundo verano después de la emergencia. En nuestro caso, esto corresponde a la semana 35, donde se establecen 342 plántulas (Apéndice III), a fines de abril del 2018. Estas 342 plántulas corresponden al 8% de las semillas sembradas o al 30% de las plántulas emergidas, para el total del experimento.

La mayoría de las plántulas establecidas emergieron durante las semanas 10 y 11, es decir donde se produjo el inicio de la emergencia, que corresponderían al color rojo y blanco mostrado en la figura 10a. Otro hito considerado importante durante esta fase fue la aparición de las primeras hojas verdaderas (Figura 10b), ya que esto permite identificar el momento en que la planta comienza a ser independiente de los recursos maternos, esto ocurrió a partir de la semana 14.



**Figura 10:** Fenómeno de emergencia (a) y aparición de primeras hojas verdaderas (b) en *C. alba*.

#### 4.3.1 Variables micro ambientales condicionantes del establecimiento

Las condiciones de micrositio para el establecimiento fueron analizadas desde la semana 10 hasta la semana 35 (Figura 11), considerando cuatro períodos (Cuadro 8) donde se observaron diferentes niveles de mortalidad de plántulas. Lo anterior fue relacionado con cambios en los parámetros físicos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y humedad ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ) del suelo.

El primer período en análisis es desde la semana 10 a la 17 (octubre-noviembre), abarca el momento de la emergencia de la mayoría de las plántulas hasta el primer evento de mortalidad, durante estas semanas se observó que la temperatura del suelo osciló entre los  $14$  y  $28^{\circ}\text{C}$  y la humedad del suelo entre los  $0,10$  y  $0,31 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ , siendo mayor la temperatura en el ambiente abierto y menor en el ambiente denso, y en forma inversa la humedad. El segundo período, entre las semanas 18-24 (noviembre-enero), donde ocurre el primer máximo de mortalidad, podría estar relacionado a un aumento en la temperatura del suelo y una disminución en la humedad del suelo, dado que la temperatura alcanza un máximo de  $31^{\circ}\text{C}$  y una media de  $27^{\circ}\text{C}$ , y la humedad disminuye rápidamente, llegando en promedio a los  $0,05 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ , en la mayoría de los ambientes. El segundo evento que es el de mayor mortalidad, se desarrolla durante el tercer período (semanas 25-29, enero-febrero), donde aumentan considerablemente las temperaturas y disminuye fuertemente la humedad del suelo, alcanzando incluso los  $33^{\circ}\text{C}$  y medias de  $28,5^{\circ}\text{C}$  y  $0,02 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ , respectivamente. Durante el último período (febrero-abril) se desarrolla el tercer evento de mortalidad, donde las temperaturas tienden a disminuir llegando a un mínimo de  $16^{\circ}\text{C}$  y una media de  $23^{\circ}\text{C}$  y la humedad tiende a aumentar alcanzando en promedio los  $0,04 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  (Cuadro 10).

Cuadro 10. Rangos de temperatura y humedad de suelo condicionantes para el establecimiento, en los tres ambientes. Media  $\pm$  S.E.

<b>Hitos</b>	<b>Período (semanas)</b>	<b>Ambiente</b>	<b>N° plántulas emergidas/N° plántulas muertas</b>	<b>T° suelo (0-5cm) (°C)</b>	<b>Hum. suelo (0-5cm) (cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>)</b>
Mortalidad de plántulas	1 (10-17)	Abierto	457/6	23,2 $\pm$ 5	0,15 $\pm$ 0,05
		Semidenso	186/6	19,9 $\pm$ 3	0,23 $\pm$ 0,08
		Denso	471/2	19,4 $\pm$ 5	0,20 $\pm$ 0,06
	2 (18-24)	Abierto	9/50	26,5 $\pm$ 4	0,06 $\pm$ 0,05
		Semidenso	10/18	26,8 $\pm$ 4	0,08 $\pm$ 0,04
		Denso	16/33	27,7 $\pm$ 3	0,09 $\pm$ 0,03
	3 (25-29)	Abierto	0/297	28,9 $\pm$ 4	0,03 $\pm$ 0,01
		Semidenso	0/84	26,4 $\pm$ 3	0,04 $\pm$ 0,02
		Denso	1/58	30,2 $\pm$ 1	0,07 $\pm$ 0,02
	4 (30-35)	Abierto	0/68	24,4 $\pm$ 4	0,04 $\pm$ 0,03
		Semidenso	0/47	21,9 $\pm$ 2	0,03 $\pm$ 0,01
		Denso	0/24	23,3 $\pm$ 5	0,07 $\pm$ 0,04

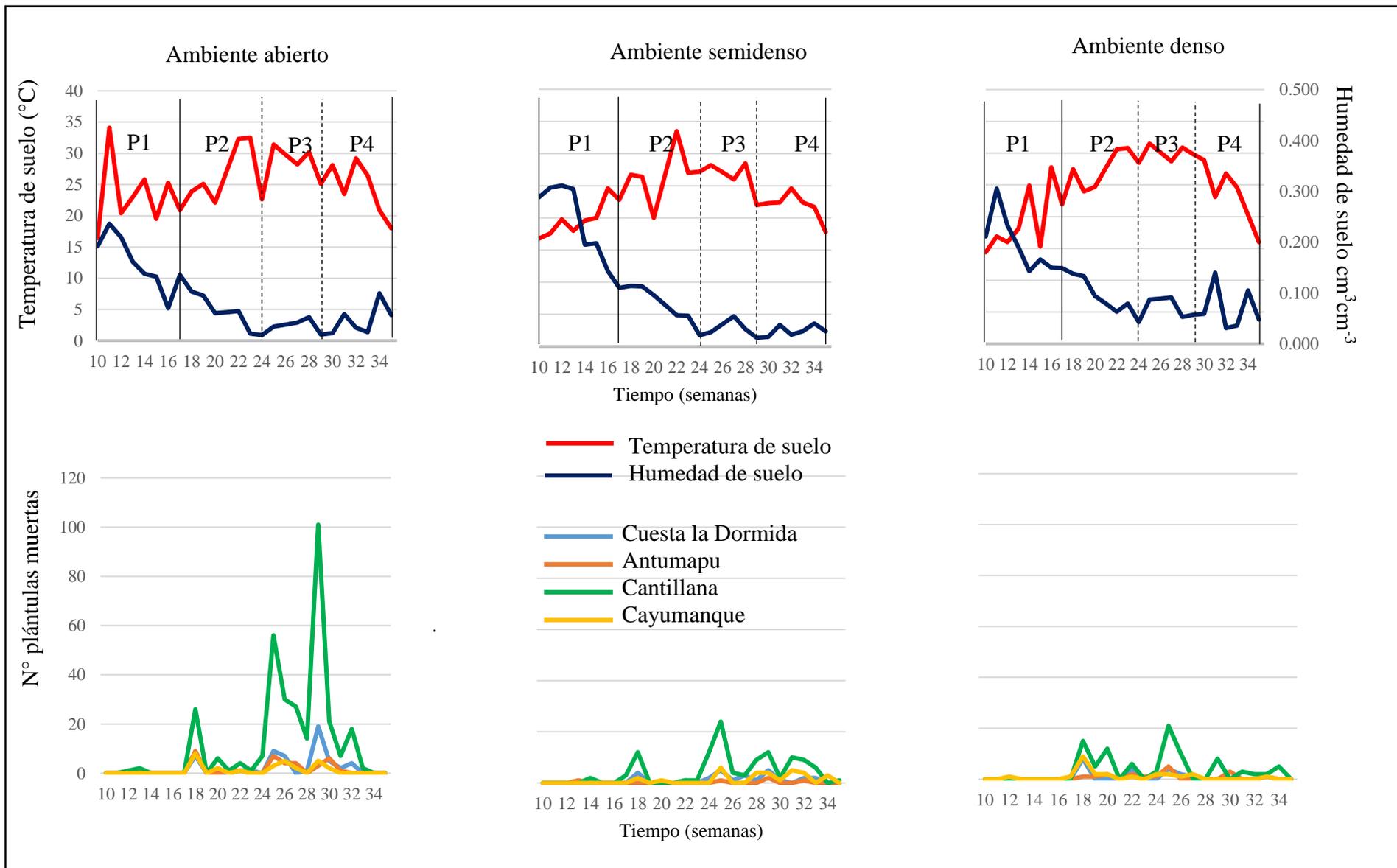
#### 4.3.2 Establecimiento por ambiente

La cantidad de plántulas establecidas y el porcentaje de establecimiento a partir de la germinación fue por ambiente de: 6 (2%) en el abierto, 21 (6%) en el semidenso y 315 (92%) en el denso. Siendo el más bajo el ambiente abierto y el más alto en el ambiente denso.

En términos de crecimiento, medido en altura y diámetro al cuello de la planta (DAC), las plantas establecidas en el ambiente abierto alcanzaron una altura promedio de 7,1 cm, las del ambiente semidenso de 5,7 cm y las del denso de 6,1 cm. En función de esto, las plántulas más grandes se encontraron en el ambiente abierto y las más pequeñas en el semidenso. En cuanto al DAC, no se presentaron variaciones entre los ambientes (Cuadro 11).

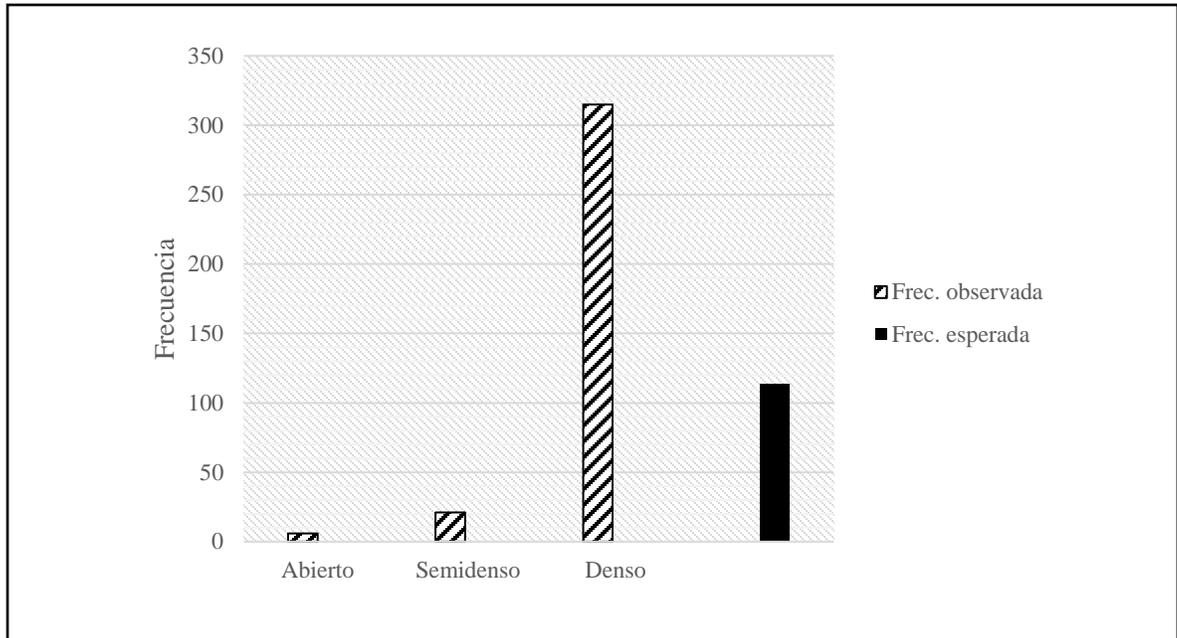
Cuadro 11. N° de plántulas establecidas, altura y DAC por ambiente. Media  $\pm$  S.E.

<b>Ambiente</b>	<b>N° plántulas establecidas y %</b>	<b>Altura promedio (cm)</b>	<b>DAC promedio (mm)</b>
Abierto	6 (2%)	7,1 $\pm$ 1,5	1,5 $\pm$ 0,1
Semidenso	21 (6%)	5,7 $\pm$ 1,8	1,4 $\pm$ 0,2
Denso	315 (92%)	6,1 $\pm$ 1,4	1,2 $\pm$ 0,2
<b>Total</b>	<b>342</b>		



**Figura 11:** Comportamiento de la temperatura y humedad de suelo durante la fase de establecimiento en los tres ambientes y número de plántulas muertas por ambiente-procedencia. La línea negra indica el período de inicio y termino de la emergencia y las líneas negras punteadas corresponden al período de mayor mortalidad. P1, P2, P3 y P4 corresponden a los períodos 1,2, 3 y 4.

Según la prueba de  $X^2$  (Apéndice IV), se rechaza la hipótesis de independencia (ambiente-establecimiento), pues el valor calculado fue mayor que el de tabla, esto significa que el ambiente tiene un efecto en el establecimiento de plántulas. Entre los ambientes, el mayor establecimiento se obtuvo en el ambiente denso (Figura 12).



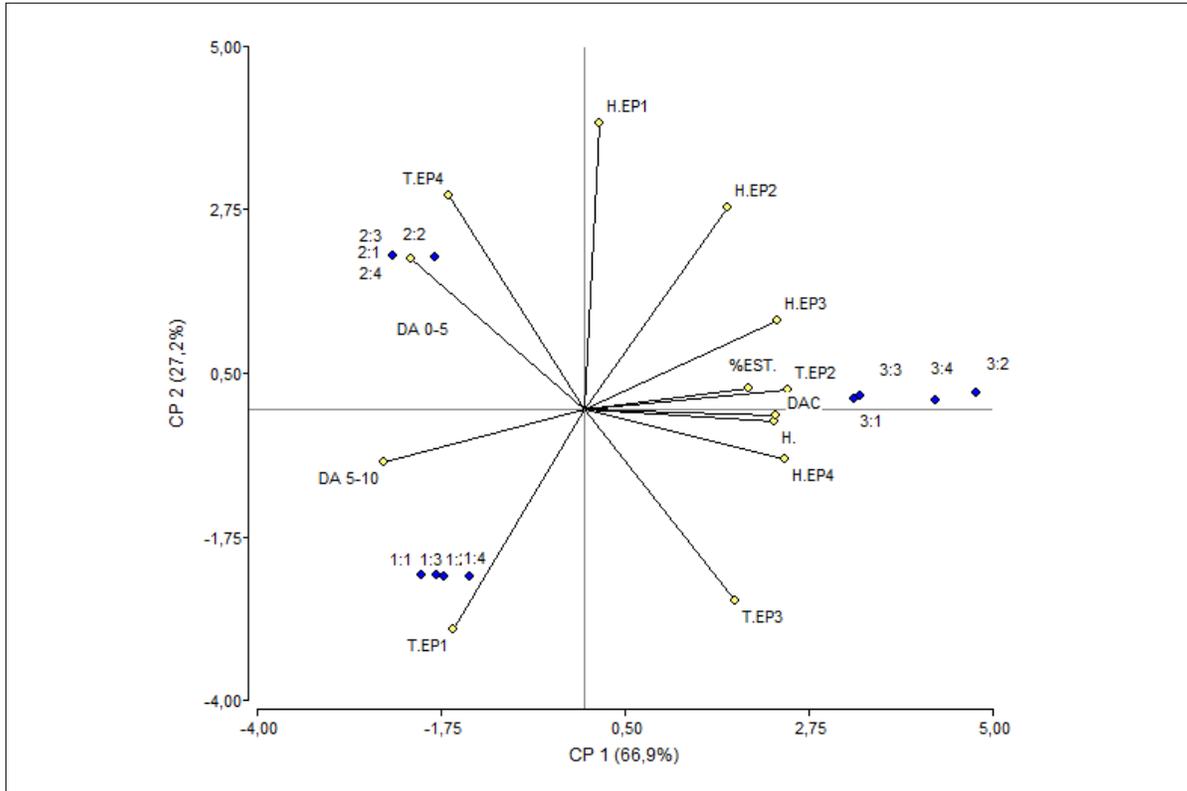
**Figura 12:** Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia de establecimiento por ambiente.

A partir de los resultados obtenidos, se desarrolló un Análisis de Componentes Principales (ACP), de carácter exploratorio, para el establecimiento considerando temperatura y humedad de suelo en los distintos períodos (Cuadro 10), los valores de densidad aparente del suelo y altura y DAC de las plántulas establecidas (Figura 13). A través de este análisis se puede observar en forma gráfica el efecto del ambiente sobre el establecimiento, siendo el ambiente denso el que alcanzó un mayor % (positivo para el eje CP1). Este alto porcentaje de establecimiento se asocia la temperatura del período 2, que tiene como media  $28^{\circ}\text{C}$  (04 octubre al 15 noviembre del 2017, época de primavera) y a la humedad del período 3 y 4, que tiene como media  $0,07 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  (22 noviembre 2017 al 27 abril 2018, época de verano). Cabe destacar, que el análisis muestra que las plántulas establecidas en este ambiente fueron de mayor altura y DAC. En el lado opuesto (eje CP1 negativo) se encuentran los ambientes abierto y semidenso que mostraron los menores porcentajes de establecimiento. Esto último está asociado a la densidad aparente superficial del suelo (0-5 cm), en el caso del semidenso, y a la temperatura del período 1 (04 octubre al 15 noviembre 2017) en el caso del abierto.

En resumen, el análisis anterior muestra que la temperatura, humedad y la densidad aparente de suelo, serían las variables responsables de la diferencia de establecimiento en los tres ambientes. Sin embargo, según la literatura, el factor más importante sería el contenido de agua en el suelo, traducido en humedad del suelo. Padilla (2018), señala que la supervivencia

podría estar controlada por umbrales de humedad de suelo, pues existe un valor mínimo bajo el cual la humedad no es suficiente para asegurar la sobrevivencia de las plántulas. En su experimento determinaron que con una humedad alrededor del 12% se lograrían tasas de establecimiento muy bajas, en especies del género *Ephedra* y *Pinus*, y no se produciría ningún establecimiento bajo condiciones de humedad cercanas al 8%. Sumado a esto, Urbietta *et al.* (2008), sugieren que el agua puede actuar como doble factor de estrés que afectaría no solo la fase de germinación, sino que también la fase de establecimiento, pues la germinación determinaría la disponibilidad de plántulas que logren establecerse. Según Castro *et al.* (2005b), el establecimiento sería posible solo bajo dosel de arbustos durante un año típico y durante un año con un verano suave para el caso de áreas abiertas. En función de esto, la causa por la que el ambiente denso sería el más adecuado para el establecimiento sería una mayor disponibilidad de agua en el suelo, hasta el final del primer verano. Por lo tanto, y en función de lo anterior, se podría atribuir la mortalidad del 70% de las plántulas establecidas al fenómeno de sequía estival.

Por otra parte, la interacción entre estas variables sería importante, debido a que una alta densidad aparente de suelo se traduce en compactación lo que genera una reducción de los poros más grandes a poros medios y estos a poros pequeños los que retienen el agua, limitando la exploración de las raíces y su crecimiento (Coder, 2000; Dinis *et al.*, 2015). La temperatura también tendría un efecto debido a que, al aumentar, disminuye la cantidad de agua en el suelo producto de la evaporación, desecándose la capa más superficial (Castro *et al.*, 2005b).



**Figura 13:** Componentes Principales para el fenómeno de establecimiento (% EST.). T.EP1: Temperatura del suelo para el período 1 de establecimiento, T.EP2: Temp. del suelo para el período 2, T.EP3: Temp. del suelo para el período 3, T.EP4: Temp. del suelo período 4, H.EP1: Hum. del suelo período 1 de establecimiento, H.EP2: Hum. del suelo período 2, H.EP3: Hum. del suelo período 3, H.EP4: Hum. del suelo período 4, DA 0-5: Densidad aparente entre 0-5 cm, DA 5-10: Densidad aparente entre 5-10 cm, DAC: Diámetro a la altura del cuello de la planta al final del ensayo y H: Altura de la plántula al final del ensayo. Los puntos de color azul representan ambiente: procedencia, para el caso de ambiente 1 es abierto, 2 es semidenso y 3 denso, y para procedencias 1 es Antumapu, 2 Cantillana, 3 Cuesta la Dormida y 4 Cayumanque.

### 4.3.3 Efecto materno y de procedencia sobre el establecimiento

Al medir la capacidad de establecimiento por procedencia, considerando el total de semillas sembradas, se observa que Cantillana tuvo un mayor porcentaje de establecimiento (13% de las semillas sembradas), mientras que Cuesta la Dormida tuvo el menor porcentaje (2% de las semillas sembradas) (Cuadro 12). Sin embargo, considerando la cantidad de plántulas emergidas por procedencia, la procedencia de Antumapu y Cantillana tuvieron una mayor sobrevivencia (39% y 33% de las plántulas emergidas, respectivamente). Mientras que Cuesta la Dormida y Cayumanque, una menor sobrevivencia (18% y 14% de las plántulas emergidas, respectivamente). Esto supondría que las plántulas de Antumapu y Cantillana lograron establecerse de mejor manera a las condiciones imperantes durante el verano. La sobrevivencia de estas procedencias podría asociarse a un mayor tamaño de semillas, pues

según Chacón y Bustamante (2001), este rasgo morfológico podría incrementar la supervivencia de las plántulas.

Cuadro 12. Porcentaje de establecimiento por procedencia, respecto al número de semillas sembradas y plántulas establecidas.

Procedencia	N° semillas sembradas (julio 2017)	N° plántulas establecidas (abril 2018)	% Establecimiento c/r siembra	% Establecimiento c/r emergencia
Cuesta La Dormida	1.320	24	2	18
Antumapu	840	38	5	39
Cantillana	1.920	261	13	33
Cayumanque	480	19	19	14

Para el análisis de tablas de contingencia, el valor calculado de  $X^2$  (Apéndice IV) también fue mayor al valor de tabla, por lo que se rechaza  $H_0$  y se demuestra que la procedencia tiene efecto sobre el número de plántulas establecidas. Entre las procedencias la única con establecimiento significativamente por sobre la frecuencia esperada fue Cantillana (Figura 14). Estos resultados, en términos del porcentaje de plántulas establecidas en relación con las semillas germinadas, podrían asociarse a los tamaños de semillas encontrados, dado que según Chacón (1998), y Chacón y Bustamante (2001), semillas grandes tuvieron una mayor probabilidad de reclutamiento y las plántulas derivadas alcanzaron una mayor biomasa, independiente de las condiciones abióticas (ej. precipitaciones) a las que se expusieron las semillas.

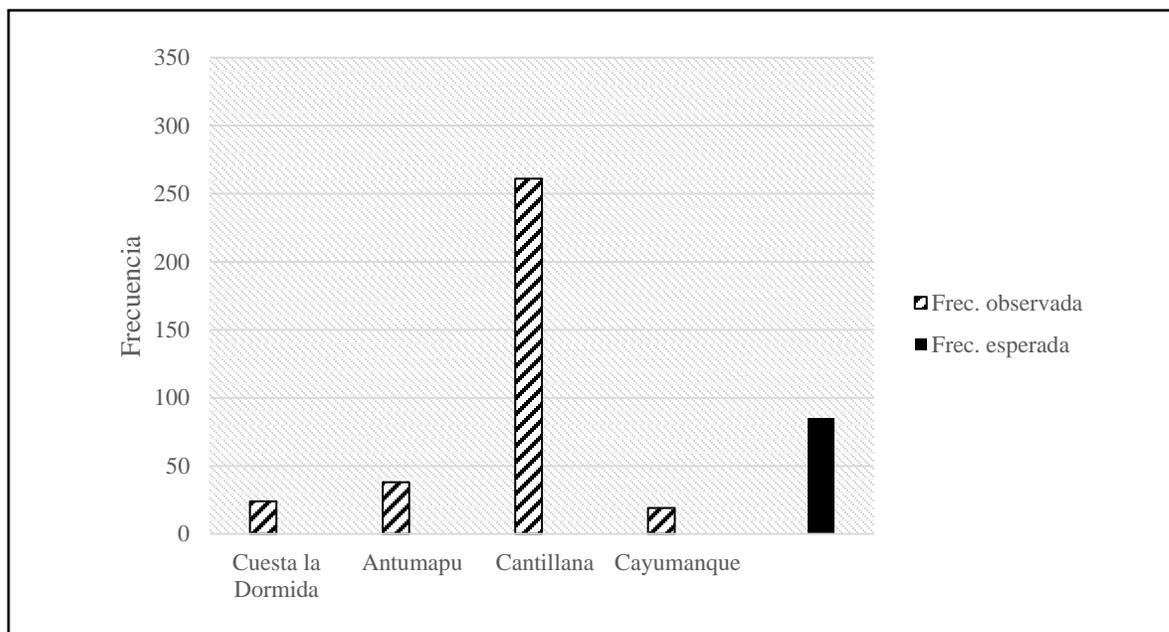


Figura 14: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia de establecimiento por procedencia.

Con respecto al crecimiento en los tres ambientes (altura y DAC) (Cuadro 13), las plántulas de Cuesta la Dormida alcanzaron en promedio los 5,8 cm de altura, las de Antumapu 6,6, las de Cantillana 6,0 y las de Cayumanque 6,7. En cuanto al DAC, no se presentaron grandes variaciones entre las procedencias, siendo la media 1,3 mm. De acuerdo a estos resultados, las plántulas de Cayumanque pese a tener el menor porcentaje de establecimiento, son las más grande, mientras que las que tuvieron un porcentaje mayor de establecimiento (Cantillana), fueron plantas más pequeñas y robustas.

Cuadro 13. Crecimiento promedio (altura y DAC) de las plántulas establecidas por procedencia. Media  $\pm$  S.E.

<b>Procedencia</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>DAC (mm)</b>
Cuesta La Dormida	5,8 $\pm$ 1,3	1,3 $\pm$ 0,3
Antumapu	6,6 $\pm$ 0,6	1,3 $\pm$ 0,1
Cantillana	6,0 $\pm$ 1,6	1,3 $\pm$ 0,2
Cayumanque	6,7 $\pm$ 1,3	1,2 $\pm$ 0,1

Las mejores madres en términos de establecimiento (Cuadro 14) fueron una para Cuesta la Dormida (CD) 15, donde se estableció el 54% de las semillas germinadas, cinco para Cantillana (CA) 31 (70%), 30 (82%), 129 (84%), 132 (90%) y 143 (92%) y una para Cayumanque (CY) 76 (54%). El bajo rendimiento de la descendencia de las madres de Antumapu podría indicar individuos poco plásticos o de baja diversidad, pues solo responden a las condiciones presentes en el ambiente denso, al menos durante el período 2017-2018. No obstante, como se mencionó, las “buenas madres” serían aquellas que obtuvieran un buen rendimiento en germinación y posterior establecimiento, en dos de los tres ambientes. Por lo anterior, para este ensayo, no existen “buenas madres” debido a que el rendimiento de la descendencia es variable en los ambientes y solo es posible el establecimiento en el ambiente denso.

Cuadro 14. Mejores madres, en términos de establecimiento, dentro de procedencia por ambiente

<b>Procedencia</b>	<b>Mejores madres/ambiente</b>		
	<b>Abierto</b>	<b>Semidenso</b>	<b>Denso</b>
Cuesta La Dormida	15	-	11, 15, 19, 22 y 128
Antumapu	-	-	55, 60 <sup>A</sup> y 60 <sup>B</sup>
Cantillana	-	31	30, 129, 132 y 143
Cayumanque	-	-	76

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de calidad de semillas en laboratorio para las cuatro procedencias, se observa que pese a obtener una mayor germinación media sin pericarpio en el ensayo de campo consideró mantenerlo para simular en mejor medida las condiciones de germinación y establecimiento posterior en terreno. Cabe destacar que los resultados obtenidos fueron más bajos a los declarados en otros estudios, pues la capacidad germinativa promedio de las cuatro procedencias estuvo por debajo de la media general. Lo anterior refleja la recalcitrancia de las semillas, pudiendo implicar un período inadecuado de almacenamiento para las procedencias respecto de las fechas de fructificación y maduración de los frutos. Es por esto que, se recomienda ajustar los protocolos de colecta y análisis de laboratorio para evitar acentuar los problemas de recalcitrancia propios de la especie, además de desarrollar parámetros que permitan definir de mejor forma el grado de madurez de los frutos, lo que permitiría contar con un más homogéneo al iniciar los ensayos de translocación de material.

En condiciones de campo, se observa un efecto del ambiente sobre la germinación, dado principalmente por la humedad de suelo y densidad aparente. La temperatura también sería un factor incidente, sin embargo, *a priori* no se observaron diferencias entre los ambientes respecto a este parámetro. Es por esto que se recomienda analizar los valores umbrales de inhibición o activación de la germinación, para la temperatura, humedad del suelo y su interacción. En base a los resultados obtenidos, se sugiere que los valores umbrales de humedad y temperatura de suelo serían entorno a los  $0,1 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  y superiores a  $25^\circ\text{C}$ , respectivamente, pues bajo esta de humedad y sobre la temperatura observadas se produce el cese de la germinación.

La procedencia de las semillas también tuvo un efecto en la germinación, siendo la semilla local de Cantillana y la más austral de Cayumanque, las que manifestaron un mayor porcentaje de germinación. Pesé a que, según la bibliografía revisada, el tamaño de la semilla podría afectar la capacidad germinativa de una especie, esto no queda demostrado en este estudio, pues una de las procedencias con semillas más grandes (Antumapu), no necesariamente expresó un mayor porcentaje de germinación.

Con respecto al establecimiento de plántulas, la procedencia local (Cantillana) es la que logra un mayor porcentaje de plantas establecidas con respecto al número de frutos sembrados. Sin embargo, la procedencia central de Antumapu aun cuando presenta una menor germinación es la que obtiene un mayor de plantas establecidas en relación con las plántulas germinadas. El único ambiente que permitió el establecimiento fue el denso. Las variables micro ambientales que determinarían la diferencia entre los ambientes serían la humedad de suelo y la densidad aparente, siendo la humedad el factor principal, dado que tiene estrecha relación con la sequía y desecación del suelo. De los resultados obtenidos, se propone que bajo los  $0,2 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$  el establecimiento sería nulo, dado que bajo este umbral se produjo el 70% de la mortalidad de las plántulas germinadas. El efecto materno, dado por el tamaño de las semillas que indica la literatura analizada, si tendría influencia sobre el establecimiento, pues las procedencias de Antumapu y Cantillana tendrían ventajas por su mayor tamaño de semillas. Para una generalización de estos resultados, se deberían proponer estudios con mayor números madres y procedencias en mayor número de sitios.

Los resultados de esta memoria sugieren que la germinación no sería una limitación para la regeneración de la especie y considerando que peumo está descrita como una especie sin añerismo, es decir, produce anualmente un alto número de semillas, las limitantes estarían dadas por las condiciones micro ambientales adecuadas, siendo la fase de establecimiento la principal limitación para la regeneración del bosque, al observarse una gran mortalidad de plántulas, producto de la sequía. Cabe destacar que el estudio de los diferentes procesos ontogénicos (germinación, emergencia y establecimiento) de las especies arbóreas leñosas están escasamente descritos y relacionados con los ambientes que se desarrollan lo que puede ser un aspecto relevante de entender a la luz de los cambios globales planteados para los bosques de mediterráneos.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA, M. 2001. Formulación de un protocolo de trabajo para el análisis de semillas de especies leñosas nativas. Memoria Ingeniería Forestal. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 87p.

ALFARO, R. y SIERRA, V. 1973. Absorción foliar de humedad atmosférica y relaciones hídricas en *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser, *Quillaja saponaria* Mol., *Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz y *Acacia caven* Mol. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago, Chile. 69p.

ALLESSIO, M., SIMPSON, R. y PARKER, T. 2008. Why seedlings? En: LECK, M., PARKER, V. y SIMPSON, R. (Eds.). Seedling Ecology and Evolution. EE. UU., Cambridge University Press. pp. 3-13.

ÁLVAREZ, C., ACEVEDO, M., GONZÁLEZ, M., CARTES, E. y BANNISTER, J. 2017. Detección de albinismo en la regeneración de *Persea lingue* y *Cryptocarya alba* procedente del cerro Cayumanque, Región del Biobío, Chile. *Gayana Bot.* 74(2):296-298.

ARMESTO, J. y PICKETT, S. 1985. A mechanistic approach to the study of sucession in the Chilean matorral. *Revista Chilena de Historia Natural* 58:9-17.

BALDWIN, H. 2002. Manipulación de semillas forestales. [En línea] < <http://www.fao.org/docrep/x5371s/x5371s05.htm> > [Consulta: 25 mayo 2018].

BALZARINI, M. G., GONZALEZ, L., TABLADA, M., CASANOVES, F., DI RIENZO, J. A., y ROBLEDO, C. W. 2008. Infostat, Manual del Usuario. Córdoba, Argentina: Brujas.

BECERRA, P. CELIS-DIEZ, J. y BUSTAMANTE, R. 2004. Effects of leaf litter and precipitation on germination and seedling survival of the endangered tree *Beilschmiedia miersii*. *Applied Vegetation Science* 7:253-257.

BECERRA, P., SMITH-RAMÍREZ, C. y ARELLANO, E. 2018. Evaluación de técnicas pasivas y activas para la recuperación del bosque esclerófilo de Chile central. Santiago, Chile. 44p.

BLAKE, G.R. y HARTGE, K.H. 1986. Bulk density. En: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 1-Physical and Mineralogical Methods*. 2ª ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. pp. 363-382.

BURGER, D. 1972. Seedlings of some tropical trees and scrubs mainly of South East Asia. Wageningen, Centre for Agricultural Publishing and Documentation. 399p.

BUSTAMANTE, R. 1995. Depredación de semillas en bosques templados de Chile. En: ARMESTO, J.J., VILLAGRÁN, C. y ARROYO, M.K. (Eds.). *Ecología de los Bosques Nativos de Chile*. Santiago, Editorial Universitaria. pp. 265-278.

- BUSTAMANTE, R. y VASQUEZ, R. 1995. Granivoría en *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser (Lauraceae): Los efectos del tipo de hábitat y la densidad de semillas. *Revista Chilena de Historia Natural*. 68:117-122.
- BUSTAMANTE, R. y SIMONETTI, J. 2000. Seed predation and seedling recruitment in plants: the effect of the distance between parents. *Plant Ecology* 147: 173-183.
- BUSTAMANTE, R., WALKOWIAK, A., HENRÍQUEZ, C. y SEREY, I. 1996. Bird frugivory and the fate of seeds of *Cryptocarya alba* (Lauraceae) in the Chilean matorral. *Revista Chilena de Historia Natural* 69 (3): 357-363.
- BUSTAMANTE, R., VÁSQUEZ, R., GREZ, A. y MOREIRA, D. 2012. The onset of precipitation mediates plant–avian disperser interaction in recalcitrant seeds: the case of *Cryptocarya alba* (Mol) Looser, in Mediterranean ecosystems, Central Chile. *Plant Ecology & Diversity* 5(1): 75-79.
- CABELLO, A. 1993. Propagación de especies nativas: Aspectos claves. En: Avances en Silvicultura, primera reunión. Programa y resúmenes. 6-8 octubre de 1993. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Depto. de Silvicultura, pp. 41-43.
- CABELLO, A. y DONOSO, C. 2013. *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser. Peumo Familia: Lauraceae. En: DONOSO, C. (Ed.). 2ª ed. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina, Autoecología. Valdivia, Marisa Cuneo Ediciones. pp. 206–212.
- CAMUS, P. 2006. Ambiente, Bosques y Gestión Forestal en Chile 1541-2005. Santiago, Centro de Investigaciones Barros Arana de la Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos -Lom Ediciones. 390p.
- CASTRO, J., ZAMORA, R., HÓDAR, J. y GÓMEZ, J. 2004. Seedling establishment of a boreal tree species (*Pinus sylvestris*) at its southernmost distribution limit: consequences of being in a marginal Mediterranean habitat. *Journal of Ecology* 92:266-277.
- CASTRO, J., ZAMORA, R., HÓDAR, J. y GÓMEZ, J. 2005a. Ecology of seed germination of *Pinus sylvestris* L. at its southern, Mediterranean distribution range. *Invest Agrar: Sist Recur For* 14(2):143-152.
- CASTRO, J., ZAMORA, R., HÓDAR, J. y GÓMEZ, J. 2005b. Alleviation of summer drought boosts establishment success of *Pinus sylvestris* in a Mediterranean mountain: an experimental approach. *Plant Ecology* 181:191-202.
- CHACÓN, P. 1998. Efecto del tamaño de la semilla y del pericarpio sobre el reclutamiento y biomasa de plántulas en *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser (Lauraceae) en un año lluvioso y en un año seco simulados experimentalmente. Tesis de Magister en Ciencias Biológicas con Mención en Ecología. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias. 49p.

- CHACÓN, P. y BUSTAMANTE, R. 2001. The effects of seed size and pericarp on seedling recruitment and biomass in *Cryptocarya alba* (*Lauraceae*) under two contrasting moisture regimes. *Plant Ecology* 152:137-144.
- CHARCO, J. 2002. Introducción al estudio de la velocidad de regeneración natural del bosque mediterráneo y de los factores antropozoógenos que la condicionan. En: CHARCO, J. (Ed.). *La regeneración natural del Bosque Mediterráneo en la Península Ibérica*. Madrid, Servicio de publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente. 308p.
- CODER, K. 2000. *Soil Compaction & Trees: Causes, symptoms & effects*. University of Georgia Warnell School of Forest Resources Extension Publication. 37p.
- CONAF. 2017. Catastro Vegetacional. [En línea] < <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/>> [Consulta: 21 noviembre 2018].
- DEL FIERRO, P., PANCEL, L., RIVERA, H. y CASTILLO, J. 1998. Experiencia silvicultural del bosque nativo de Chile. CONAF – GTZ, Santiago, Chile. 420p.
- DENSMORE, R. 1997. Effect of day length on germination of seeds collected in Alaska. *American Journal of Botany* 84(2): 274-278.
- DINIS, C., SUROVÝ, P., RIBEIRO, N. y OLIVEIRA, M. 2015. The effect of soil compaction at different depths on cork oak seedling growth. *New Forest* 46(2):235-246.
- DONOSO, C. 1982. Reseña ecológica de los bosques mediterráneos de Chile. *Bosque* 4(2):117-146.
- DONOSO, C. y CABELLO, A. 1978. Antecedentes fenológicos y de germinación de especies leñosas chilenas. *Ciencias Forestales* 1(2):31-41.
- DONOSO, S., PEÑA, K., PACHECO, C., LUNA, G. y AGUIRRE, A. 2011. Respuesta fisiológica y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* y *Cryptocarya alba* sometidas a restricción hídrica. *Bosque* 32(2):187-195.
- DORADO, M., JOSEAU, J., VERZINO, G y TABLADA, M. 1999. Calidad fisiológica de semilla de *Pinus elliotti* procedente de plantaciones del Valle de Calamuchita y de huertos semilleros de Estados Unidos. En: Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, Valdivia, Chile. 9p.
- ERIKSSON, O. y EHRLÉN, J. 2008. Seedling recruitment and population ecology En: ALESSIO, M., PARKER, V. y SIMPSON, R. (Eds.). *Seedling Ecology and Evolution*. Nueva York, Cambridge University Press. pp. 239-254.
- FAO. 2009. Descripción de suelos. En: FAO (Ed.). 4ª ed. Guía para la descripción de los suelos. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. pp. 21-66.

- FENNER, M. 2000. Seeds: The ecology of regeneration in plant communities. 2<sup>a</sup> ed. Wallingford, CAB International. 410p.
- FENNER, M. y THOMPSON, K. 2005. The ecology of seeds. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 260p.
- FIGUEROA, P. 1999. Germinación de semillas de *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser y *Persea lingue* Ness bajo distintas condiciones de temperatura. Memoria de Ingeniero Forestal. Concepción, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. 45p.
- FIGUEROA, J. y JAKSIC, F. 2004. Latencia y banco de semillas en plantas de la región mediterránea de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* 77:201-215.
- FIGUEROA, J. ARMESTO, J. y HERNANDEZ, J. 1996. Estrategias de germinación y latencia de semillas en especies del bosque templado de Chiloé, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 69:243-251.
- FIGUEROA, J. TEILLIER, S. y JAKSIC, F. 2004. Composition, size and dynamics of the seed bank in a mediterranean shrubland of Chile. *Austral Ecology* 29:574-584.
- FUENTES, E., JAKSIC, F. y SIMONETTI, J. 1986. European rabbits versus native rodents in Central Chile: effects on shrub seedlings. *Oecologia* 58(3): 411-414.
- GAJARDO, R. 1994. La vegetación natural de Chile: Clasificación y distribución geográfica. 1<sup>a</sup> ed. Santiago, Editorial Universitaria. 165p.
- GALINDO, N. 2016. Efecto de la densidad de semillas y la cobertura de hojarasca sobre la depredación de semillas después de la dispersión en un bosque de *Beilschmiedia miersii* (Gay) Kosterm, Región Metropolitana. Memoria de Ingeniero Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. 53p.
- GORE-RMS y SEREMI MMA RMS. 2013. Estrategia Regional para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago 2015-2025. Gobierno Regional Metropolitano de Santiago y Secretaría Regional Ministerial del Ministerio del Medio Ambiente, Región Metropolitana de Santiago. Licitación 1261-3- LP12/2012. 145p.
- GUREVITCH, J., SCHEINER, S. y FOX, G. 2006. Plant Life Histories. En: The Ecology of Plants. 2<sup>a</sup> ed. Nueva York, Oxford University Press. pp. 185-202.
- HERRERA, C. 1992. Historical effects and sorting processes as explanations for contemporary ecological patterns: character syndromes in mediterranean woody plants. *The American Naturalist* 140(3): 421-446.
- HOLMGREN, M., SEGURA, A. y FUENTES, E. 2000. Limiting mechanisms in the regeneration of the Chilean matorral. Experiments on seedling establishment in burned and cleared mesic sites. *Plant Ecology* 147:49-57.

HONORATO, R. 2000. Manual de Edafología. 4ª ed. Santiago, Ediciones Universidad Católica de Chile. 195p.

IBACA, R. 2001. Monografía de árboles y arbustos chilenos con propiedades medicinales aromáticas. Memorias para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura. 246p.

JIMÉNEZ, H. y ARMESTO, J. 1992. Importance of the soil seed bank of disturbed sites in Chilean matorral in early secondary succession. *Journal of Vegetation Science* 3:579-586.

JORDANO, P., PULIDO, F., ARROYO, J., GARCÍA-CASTAÑO, J.L y GARCÍA-FAYOS, P. 2004. Procesos de limitación demográfica. En: VALLADARES, F. (Ed.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Organismo Autonomo Parques Nacionales. pp. 229-248.

KELLER, T. y HÅKANSSON, I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma* 154: 398-406.

KITAJIMA, K. y FENNER, M. 2000. Ecology of seed regeneration. En: FENNER, M. (Ed.). *The Ecology of Seed Regeneration in Plant Communities*. Wallingford, CAB International. pp. 331-359.

LÓPEZ, J., JIMÉNEZ, G. y REYES, B. 1986. Algunos antecedentes de cosecha, procesamiento y viverización de varias especies nativas. Parte I y II. *Chile Forestal*. Documento Técnico N° 14 y 15. 8p.

LUEBERT, F. y PLISCOFF, P. 2017. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. 2<sup>da</sup> ed. Santiago, Editorial Universitaria. 381p.

MAGNI, C., SCHERSON, R., ROMERO, F. y MARTÍNEZ, E. 2015. Informe final: Propuesta de protocolo para la definición de créditos por ganancias en biodiversidad en ecosistemas mediterráneos de Chile central. Santiago, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Centro Productor de Semillas y Árboles Forestales. 119p.

MARAÑÓN, T., ZAMORA, R., VILLAR, R., ZAVALA, M.A., QUERO, JL., PÉREZ-RAMOS, I., MENDOZA, I. y CASTRO, J. 2004. Regeneration of tree species and restoration under constricted Mediterranean habitats: field and glasshouse experiments. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences* 30(3): 187-196.

MARTIN, T. y OGDEN, J. 2002. The seed ecology of *Ascarina lucida*: a rare New Zealand tree adapted to disturbance. *New Zealand Journal of Botany* 40: 397-404.

MAO, P., HAN, G., WANG, G., YU, G. y SHAO, H. 2014. Effects of age and stand density of mother trees on early *Pinus thunbergii* seedling establishment in the Coastal zone, China. *The Scientific World Journal* 2014:1-9.

- MCKAY, J., CHRISTIAN, C., HARRISON, S. y RICE, K. 2005. How local is local? A review of practical and conceptual issues in the genetics of restoration. *Restoration Ecology* 13(3):432-440.
- MOLES, A. y WESTOBY, M. 2004. What do seedlings die from and what are the implications for evolution of seed size? *Oikos* 106(1): 193-199.
- MOLES, A. y LEISHMAN, M. 2008. The seedling as part of plant's life history strategy. En: ALESSIO, M., PARKER, V. y SIMPSON, R. (Eds.). *Seedling Ecology and Evolution*. Nueva York, Cambridge University Press. pp. 217-238.
- MONTENEGRO, G., ALJARO, M.E., AVILA, G. y MUJICA, A.M. 1988. Las formas de las plantas y su potencial como recurso. En: FUENTES, E. y PRENAFRETA, S. (Eds.). *Ecología del paisaje en Chile Central. Estudio sobre sus espacios montañosos*. Santiago, Ed. Universidad Católica de Chile. 125p.
- MURDOCH, A. y ELLIS, R. 2000. Dormancy, viability and longevity. En: FENNER, M. (Ed.). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2ª ed. Wallingford, CAB International. pp. 183-214.
- NAVAS, L. 1976. Flora de la Cuenca de Santiago de Chile Tomo II. *Dicotyledoneae-Archichlamydeae*. Santiago, Ediciones de la Universidad de Chile. 559p.
- PADILLA, F. 2008. Factores limitantes y estrategias de establecimiento de plantas leñosas en ambientes semiáridos. Implicaciones para la restauración. *Ecosistemas* 17(1):155-159.
- PADILLA, F. y PUGNAIRE, F. 2007. Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. *Functional Ecology* 21:489-495.
- PARADA, T. y LUSK, C. 2011. Patterns of tree seedling mortality in a temperate-mediterranean transition zone forest in Chile. *Gayana Bot* 68(2):236-243.
- PÉREZ-RAMOS, I. y MARAÑÓN, T. 2008. Factors affecting post-dispersal seed predation in two coexisting oak species: Microhabitat, burial and exclusion of large herbivores. *Forest Ecology and Management* 255: 3506–3514
- RAMÍREZ, B. 1997. Factores que afectan la germinación y la producción de plantas de *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser. Memoria de Ingeniero Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 69p.
- ROACH, D. y WULFF, R. 1987. Maternal effects in plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 18: 209-235.
- RODRÍGUEZ, R., MATTHEI, O. y QUEZADA, M. 1983. Flora arbórea de Chile. Concepción, Chile. Editorial de la Universidad de Concepción. 408p.
- SANCHÉZ-GÓMEZ, D., VALLADARES, F. y ZAVALA, M. 2006. Performance of seedlings of Mediterranean woody species under experimental gradients of irradiance and

water availability: trade-offs and evidence for niche differentiation. *New Phytologist* 170:795-806.

SANTIBÁÑEZ, F. y URIBE, J. M. 1990. Atlas Agroclimático de Chile. Regiones V y Metropolitana. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Laboratorio de Agroclimatología. Santiago, Chile. 66 p.

SCHULZ, J., CAYUELA, L., REY-BENAYAS, J. y SCHRÖDER, B. 2011. Factors influencing vegetation cover change in Mediterranean Central Chile (1975–2008). *Applied Vegetation Science* 14(2011):571-582.

SERRA, M. 1991. *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser (*Lauraceae*): Organización morfológica de semilla, plántula y estados juveniles. *Ciencias Forestales* 7(1-2): 21-27.

TOMLINSON, P.B. 1990. The structural biology of palms. Nueva York, Oxford University Press. 477p.

URBIETA, I., PÉREZ-RAMOS, I., ZAVALA, M., MARAÑÓN, T. y KOBE, R. 2008. Soil water content and emergence time control seedling establishment in three co-occurring Mediterranean oak species. *Can. J. For. Res.* 38: 2382-2393.

VITA, A. 1966. Reforestación por siembra directa con Quillay (*Quillaja saponaria* (Mol.)) y Peumo (*Cryptocarya alba* (Mol.) Looser). Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Agronomía. Santiago, Chile. 83 p.

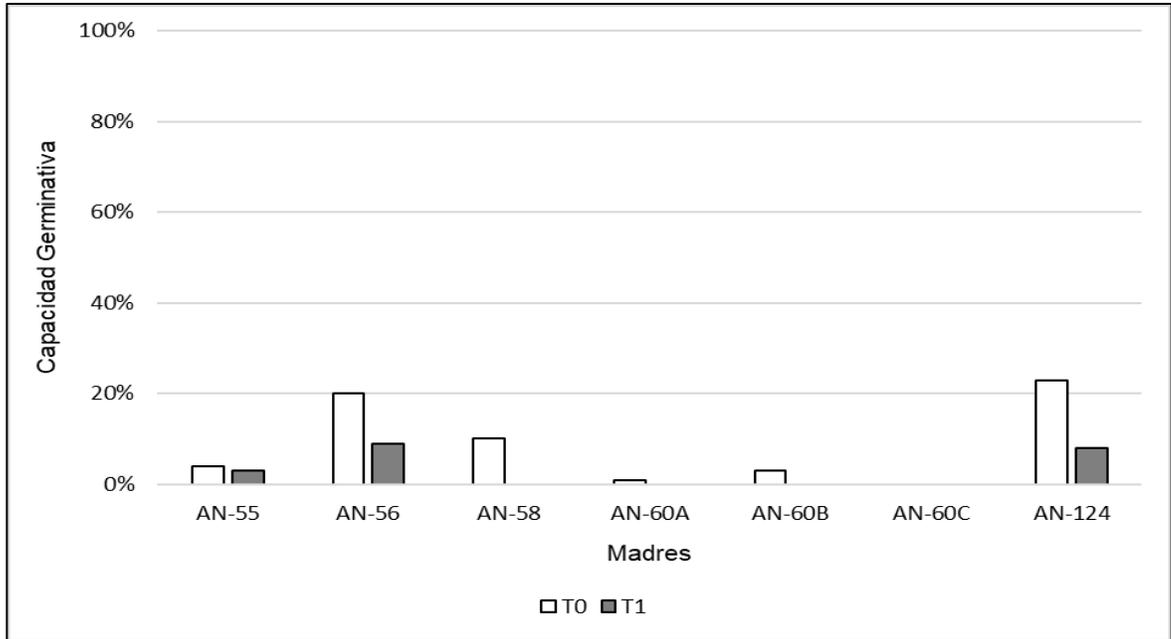
VOGEL, H., RAZMILIC, I., SAN MARTÍN, J., DOLL, U. y GONZÁLEZ, B. 2008. Plantas medicinales chilenas. Experiencia de domesticación y cultivo de boldo, matico, bailahuén, canelo, peumo y maqui. 2ª ed. Editorial de la Universidad de Talca. 194p.

ZAMORA, R., GARCÍA-FAYOS, P. y GÓMEZ-APARICIO, L. 2008. Las interacciones planta-planta y planta animal en el contexto de la sucesión ecológica. En: VALLADARES, F. (Ed.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 2ª ed. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Organismo Autonomo Parques Nacionales. pp. 373-396.

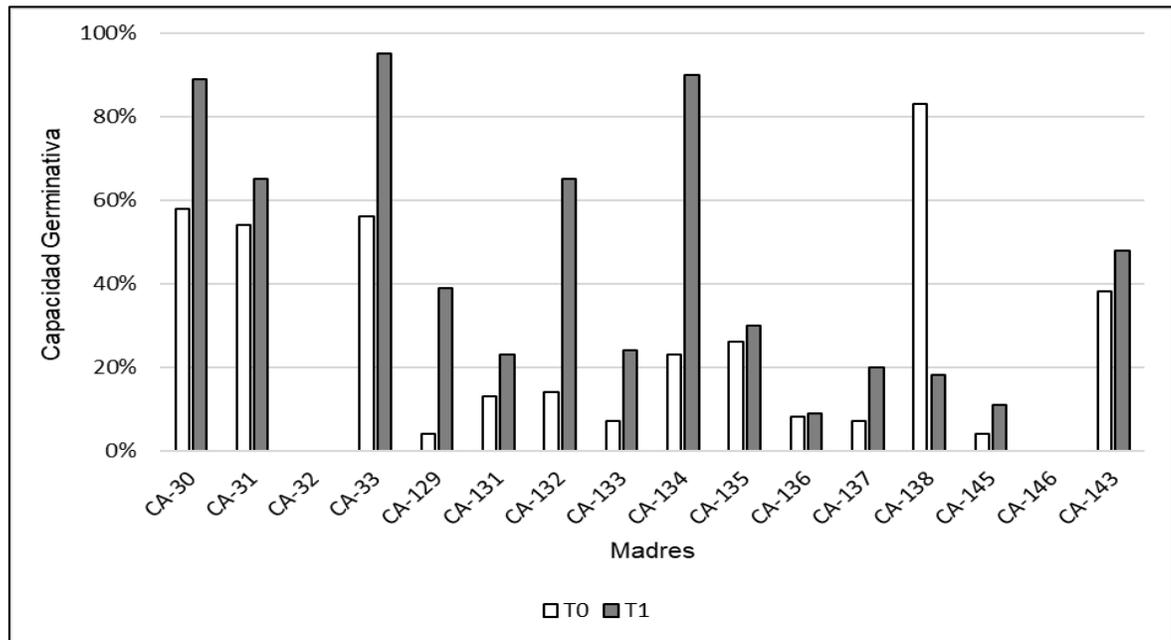
ZOBEL, B. y TALBERT, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México, Ed. Limusa. 545p.

## 7. APÉNDICES

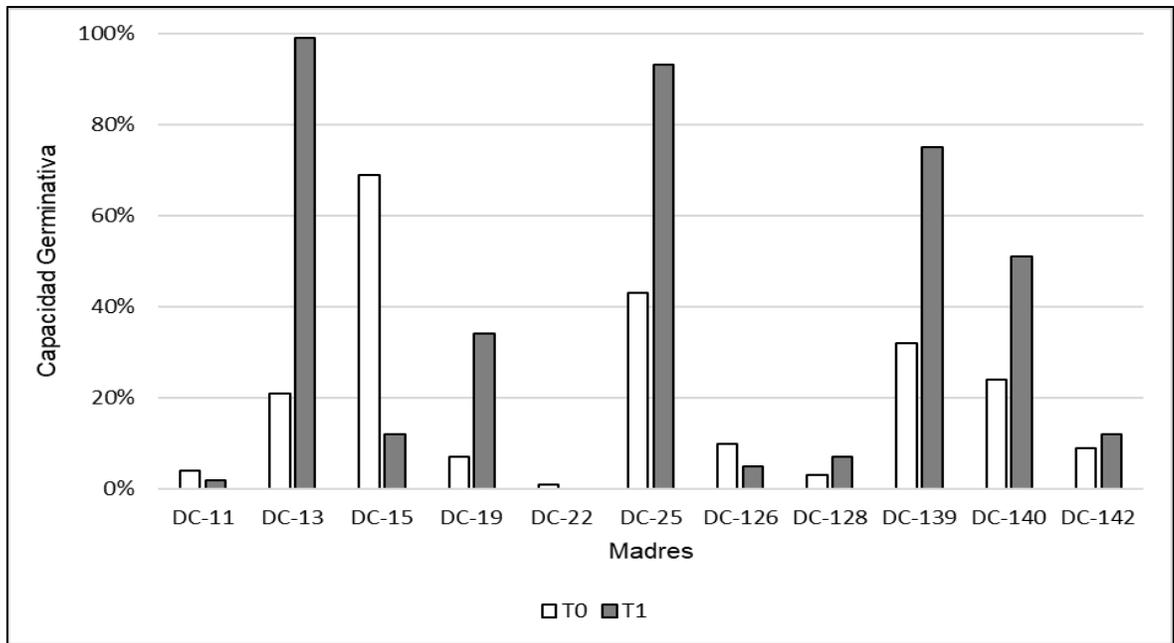
### Apéndice I: Análisis de calidad de semillas dentro de procedencias, por tratamiento



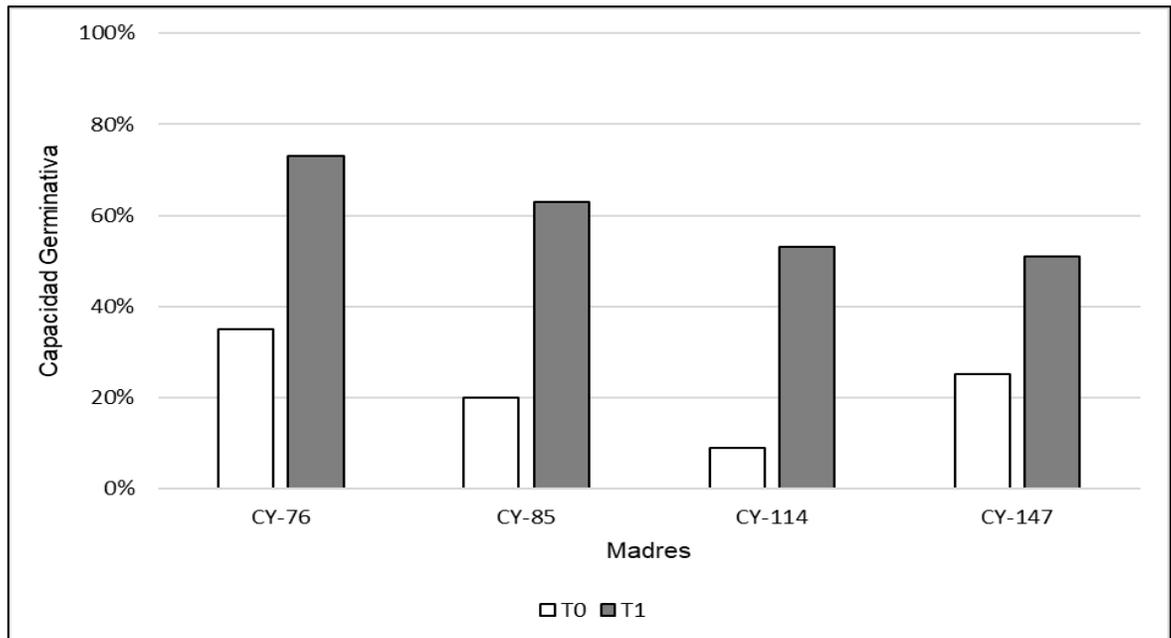
**Figura 1:** Capacidad germinativa, por tratamiento de las madres de Antumapu



**Figura 2:** Capacidad germinativa, por tratamiento de las madres de Cantillana



**Figura 3:** Capacidad germinativa, por tratamiento de las madres de Cuesta La Dormida



**Figura 4:** Capacidad germinativa, por tratamiento de las madres de Cayumanque

## Apéndice II: Análisis de varianza

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
ger	114	0,48	0,43	43,20

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	146,11	11	13,28	8,70	<0,0001
SITIO	19,25	2	9,62	6,31	0,0026
PROC	108,85	3	36,28	23,78	<0,0001
SITIO*PROC	4,82	6	0,80	0,53	0,7867
Error	155,64	102	1,53		
Total	301,75	113			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,56211

Error: 1,5259 gl: 102

SITIO	Medias	n	E.E.	
3	3,04	38	0,23	A
1	2,91	38	0,23	A
2	1,99	38	0,23	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,73931

Error: 1,5259 gl: 102

PROC	Medias	n	E.E.	
2	3,96	48	0,18	A
4	2,83	12	0,36	B
1	1,90	21	0,27	C
3	1,88	33	0,22	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Figura 5:** Análisis de varianza para el fenómeno de germinación.

**Apéndice III: Número de plántulas establecidas al final del primer verano después de la emergencia**

<b>Ambiente</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Madre</b>	<b>N° semillas germinadas</b>	<b>N° plántulas establecidas</b>
Abierto	CD	15	4	2
	CA	33	40	2
	CY	133	24	1
Semidenso	CA	76	7	1
		31	20	14
		33	8	2
		129	6	1
		133	16	4
		11	5	3
Denso	CD	15	14	8
		19	9	4
		22	3	2
		25	7	1
		128	8	4
		55	14	10
	AN	60 <sup>A</sup>	17	11
		60 <sup>B</sup>	19	17
		30	34	28
	CA	31	30	14
		32	19	12
		33	30	27
		129	33	28
		131	19	11
		132	21	19
133		18	9	
134		34	23	
135		15	12	
136		4	1	
137		8	3	
145		8	6	
146		15	10	
143		38	35	
CY		76	11	6
	85	12	2	
	114	4	1	
		147	15	9
<b>TOTAL</b>				<b>342</b>

**Figura 6:** N° de plántulas establecidas al final del primer verano después de la emergencia, para el total del ensayo.

## Apéndice IV: Tablas de contingencia y valor de $X^2$

Cuadro 1. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por tratamiento (ambientes) para el establecimiento.

<b>Ambiente</b>	<b>Frecuencia observada (Oi)</b>	<b>Frecuencia esperada (Fe)</b>	<b><math>(O_i - F_e)^2 / F_e</math></b>
Abierto	6	114	102,315789
Semidenso	21	114	75,8684211
Denso	315	114	354,394737
<b>Total</b>	<b>342</b>	<b>342</b>	<b>532,578947</b>
<b><math>X^2</math></b>	<b>532,58</b>		
<b>Grados de libertad</b>	<b>de 2</b>		
<b><math>X^2</math> tabla</b>	<b>5,99</b>		

Cuadro 2. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por tratamiento (procedencias) para establecimiento.

<b>Procedencia</b>	<b>Frecuencia observada (Oi)</b>	<b>Frecuencia esperada (Fe)</b>	<b><math>(O_i - f_e)^2 / f_e</math></b>
Cuesta la Dormida	24	85,5	26,3888889
Antumapu	38	85,5	360,236842
Cantillana	261	85,5	44,2368421
Cayumanque	19	85,5	430,862573
<b>Total</b>	<b>318</b>	<b>256,5</b>	<b>861.725146</b>
<b><math>X^2</math></b>	<b>861,73</b>		
<b>Grados de libertad</b>	<b>3</b>		
<b><math>X^2</math> tabla</b>	<b>7,81</b>		