



UNIVERSIDAD DE CHILE -FACULTAD DE CIENCIAS - ESCUELA
DE PREGRADO

**“Regeneración natural de la Palma Chilena (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon):
Efecto del tamaño de las semillas y la profundidad de entierro sobre el vigor de las
plántulas”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los
requisitos para optar al Título de Bióloga Ambiental

Paula Ignacia Formas Fuentes

Director del Seminario de Título: Ramiro O. Bustamante

Co-Director del Seminario de Título: Marina Fleury

2019

Santiago – Chile

La palmera aún persiste
A pesar de la inclemencia
Ella tiene la paciencia
De quien vive y resiste

Ahora el Hombre es quien la embiste
Muchas mueren inocentes
Mata, quema inconsciente
Más la especie está con vida

No se encuentra abatida
¡Por siempre siga presente!

Ramiro Bustamante

BIBLOGRAFÍA



Nací un 27 de marzo de 1993, estude en el colegio Florence Nightingale el cual me enseñó a ser la persona que soy hoy, aquí conocí a personas que me hicieron amar lo que hago. Estuve en otro colegio de paso en la enseñanza media en donde agradezco a ver conocido a una persona especial. Elegí estudiar Biología ambiental porque me gustan las ciencias y a pesar de pensar que sería una carrera solitaria, encontré un espacio entre maravillosas personas, pero por sobre todo, encontré refugio en grandes bosques donde sobresalen inmensas palmeras que en sus cantos de media tarde cuentan hermosas historias.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Reserva Ecológica Oasis de la Campana por facilitarme el acceso y la disponibilidad de material para llevar acabo esta investigación.

Al profesor Ramiro, por siempre estar dispuesto y creer en mí, a Marina por su apoyo y energía.

A todos mis compañeros y compañeras del laboratorio de Ecología Geográfica por siempre estar escuchando, apoyando y divirtiéndonos.

A mi mamá y hermanas que son pilares fundamentales en mi vida, a mi papá por apoyarme en mis decisiones.

Le agradezco a la Lupe por las horas de compañía, los abrazos y besos perrunos que tanto suben el ánimo.

Y a mis amigas y amigos que si algún día leen esto se sentirán identificados por que sin ellos muchas de estas cosas no serían posibles.

ÍNDICE

LISTA TABLAS.....	VI
LISTA FIGURAS.....	VII
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
HIPÓTESIS	8
OBJETIVOS	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
RESULTADOS	15
DISCUSIÓN.....	20
CONCLUSIONES.....	25
REFERENCIAS	26
ANEXO.....	30

LISTA TABLAS

Tabla 1. Modelo lineal para evaluar el efecto del tamaño de semilla y de la profundidad de entierro sobre el vigor de plántulas de <i>Jubaea chilensis</i>	19
--	----

LISTA FIGURAS

Figura 1.-Diagrama teórico del vigor de las plántulas de <i>Jubaea chilensis</i> respecto a la profundidad de entierro de las semillas en conjunto con el efecto del tamaño de las semillas grandes (rojo) y pequeñas (azul) propuesta en la hipótesis.....	8
Figura 2.- Esquema de plántula de palma con germinación adyacente.....	12
Figura 3.-Diagrama del cajón de germinación de semillas de <i>Jubaea chilensis</i>	13
Figura 4.-Distribución de frecuencias sobre el ancho de semillas adyacentes a plántulas de <i>Jubaea chilensis</i> , en el Palmar de Ocoa, Chile Central.....	15
Figura 5.- Distribución de frecuencias de la profundidad de entierro de las semillas adyacentes a las plántulas de <i>Jubaea chilensis</i> en el palmar de Ocoa, Chile Central.....	16
Figura 6.- Relación entre el índice de vigor de plántulas de <i>Jubaea chilensis</i> y la profundidad de entierro de las semillas adyacentes ($r_s=-0.280$, $p=0.033$).....	17
Figura 7.- Correlación entre la profundidad de entierro de la semilla y el Índice de vigor de plántulas de <i>Jubaea chilensis</i>	17
Figura 8.- Índice de vigor de plántulas de <i>Jubaea chilensis</i> en relación al tamaño de las semillas adyacentes ($r_p= -0.0401$, $p= 0.699$).....	18

Figura 9.- Índice de vigor de plántulas de *Jubaea chilensis* en relación con la profundidad de entierro de las semillas adyacentes en tres niveles diferentes (11 cm, 21 cm, 30 cm), palmar de Ocoa, Chile Central.19

Figura 10.- Diagrama teórico del vigor de plántulas de *Jubaea chilensis* en función a la profundidad de entierro de las semillas adyacentes y el efecto del tamaño de semillas adyacentes según los resultados obtenidos.....23

RESUMEN

La regeneración natural de algunas especies leñosas pertenecientes al clima mediterráneo está limitada en las etapas iniciales del reclutamiento. El grado de exposición de las semillas post-dispersión enterrada en suelo, bajo hojarasca, puede afectar su desempeño frente a factores abióticos y bióticos como es la deshidratación o la depredación. El vigor de la semilla comprende aquellas propiedades que determinan el potencial para la emergencia rápida, uniforme y el desarrollo de plántulas normales bajo una amplia gama de condiciones de campo. En este trabajo se estudió la regeneración natural de *Jubaea chilensis*, y los factores potencialmente determinantes para el vigor de las plántulas de esta especie endémica y amenazada de la flora chilena. Se analizó el tamaño de la semilla y la profundidad de entierro de la semilla y sus efectos sobre el vigor de las plántulas, bajo condiciones naturales, para definir patrones de las variables estudiadas y en condiciones experimentales de germinación. Se sometió a las semillas a cuatro profundidades de entierro (11 cm, 21 cm, 30 cm y 40 cm) en un cajón de germinación, en el Palmar de Ocoa. Este estudio muestra que en condiciones naturales la profundidad de entierro promedio es de 10.07 cm y el tamaño de semilla promedio es de 2.23 cm. En relación con el vigor de las plántulas, se encontró una disminución significativa de este a medida que aumenta la profundidad de entierro. Sin embargo, no se detectó un efecto del tamaño de la semilla. Se sugieren investigaciones integradas del banco de semillas que incluyan los dispersores, los depredadores y los factores abióticos que afectan su regeneración, siendo el paso siguiente para enriquecer el conocimiento acerca de esta especie.

ABSTRACT

The natural regeneration of some woody plants species of Mediterranean climate is limited by the first stages of recruitment. The exposure level of post- dispersion buried seeds under the leaf litter can affect their performance in response to biotic and abiotic factors such as dehydration or predation. The seeds vigor include those properties that determine the rapid and uniform emergence potential and the development of normal seedlings under a wide range of conditions. This study evaluated the natural regeneration of *Jubaea chilensis* and the factors that potentially might be determining for seedlings vigor of this endemic and threatened species of the Chilean flora. The seed size, the seed burial depth and the effects of these variables on the seedlings vigor were analyzed in natural conditions, in order to define patterns of the variables studied in experimental germination conditions; where the seeds were subjected to four burial depths (11 cm, 21 cm, 30 cm, and 40 cm) in a germination box in the Palmar Ocoa. This study has shown that under natural conditions the depth burial average is 10.07 cm and the seed size average is 2.23 cm. Regarding the seedlings vigor, a significant decrease was found according to as burial depth increases. However, no effect of the seed size was detected. Integrated research of the seed bank including dispersers, predators and abiotic factors that affect its regeneration is suggested and should be the next step to enrich the knowledge about this species.

INTRODUCCIÓN

La regeneración natural de algunas especies leñosas está limitada en las etapas iniciales del reclutamiento, debido a las restricciones que existen en la lluvia de semillas y a las presiones bióticas o abióticas a las que son sometidas las semillas y plántulas (Jordano et al. 2002). Por lo tanto, para la recuperación exitosa de especies vegetales es importante estudiar la dinámica regenerativa conociendo los factores ecológicos que facilitan o limitan su regeneración natural (Jordano et al. 2004).

Para que el establecimiento de la plántula sea exitoso, se requiere superar una serie de filtros ambientales que determinan la probabilidad de alcanzar el estado reproductivo adulto (Jordano et al. 2004). Dentro de estos filtros, el escape a la depredación por micromamíferos o por remoción resulta en la cantidad de semillas que queden disponibles para germinar. Este proceso es clave, ya que cada semilla posee características específicas que le permitirán responder de diferentes maneras a las condiciones ambientales que se enfrenten (e.g. exposición solar, profundidad de entierro, humedad, entre otras) (Bond et al. 1999; Forcella et al. 2000). Dentro de estos filtros ambientales, se pueden identificar factores abióticos que controlan la germinación, siendo la luz y la temperatura dos de los más relevantes (Baskin & Baskin 1998). En sistemas boscosos con una marcada estacionalidad térmica asociada a precipitaciones (e.g., bosques xerófilos, subtropicales y matorrales mediterráneos), la temperatura es el factor preponderante que regula la germinación (Funes et al. 2009). Debido a esto, las fluctuaciones de temperatura que existan según el tipo de suelo y la profundidad, pueden jugar un papel importante en la

desactivación de la latencia o en la velocidad de emergencia de la plántula (Forcella et al. 2000). Una vez iniciada la germinación, comienza la elongación de la plántula, etapa importante de la emergencia de la planta, debido a que podría estar limitada por la temperatura o el potencial de agua (Forcella et al. 2000). También, existe evidencia de que, la fuerza física ejercida por el suelo sobre la plántula o la dureza que puede presentar la corteza del suelo, puede impedir la emergencia, imposibilitando la salida de la plántula (Cussans et al. 1996, Forcella et al. 2000). Estos factores en conjunto con otros componentes, se expresan a lo largo de un gradiente de profundidad de entierro a la que se encuentra la semilla (Forcella et al. 2000). Por otra parte, es importante destacar que semillas enterradas muy cerca de la superficie, presentan mayor riesgo de ser depredadas que semillas enterradas a mayores profundidades, debido a que semillas superficiales pueden ser fácilmente detectadas tanto visual como olfativamente (Borchert et al. 1989, Vander Wall 1993).

La biología de las semillas constituye un área de investigación clave para entender los procesos de regeneración de comunidades vegetales (Sánchez et al. 2015; Jiménez-Alfaro et al. 2016). El tamaño de la semilla es un rasgo de historia de vida que presenta variación intraespecífica, donde las diferencias entre cada semilla pueden afectar el establecimiento de plántulas (Janzen 1982). Existen evidencias de que semillas grandes pueden presentar mayores tasas de germinación, crecimiento y aumento en la biomasa y sobrevivencias de plántulas (Weis 1980; Zimmermann & Weis 1982; Chacón et al. 1998; Chacon & Bustamante 2001). Semillas más grandes pueden tener mayores recursos energéticos disponibles para desarrollar embriones, debido a que poseen mayor

endospermo, por ende una mayor cantidad de nutrientes, que semillas más pequeñas, por lo cual endoesperma más grandes podrán entregar mayor energía para emerger y producir plántulas más vigorosas, presentando mayor crecimiento y sobrevivencia (Cussans et al. 1996). Sin embargo, un gran tamaño también puede desfavorecer la sobrevivencia en las primeras etapas de establecimiento, debido a que, la depredación, basada en el forrajeo óptimo, predice que los depredadores deberían preferir las semillas con la mayor recompensa neta, que, en igualdad de condiciones, son las semillas más grandes (Harper 1977), por lo que semillas pequeñas tendrían mayores posibilidades de sobrevivir y escapar a la depredación (Thompson et al. 1993). A su vez, la dispersión abiótica también se ve favorecida con un menor tamaño, como lo es el transporte por escorrentía o gravedad ya que al ser semillas pequeñas podrían alcanzar distancias más grandes (Moegenburg 1996).

El vigor de la semilla comprende aquellas propiedades que determinan el potencial para la emergencia rápida, uniforme y el desarrollo de plántulas normales bajo una amplia gama de condiciones de campo (AOSA 1983). Esta característica está dada por la interacción de propiedades bióticas y abióticas que influyen en las semillas, determinando el nivel de actividad y el comportamiento de las mismas en el tiempo (Navarro et al. 2015). Según Ferguson 1995, el vigor se representa en el comportamiento físico o fisiológico de un lote de semillas incluyendo cambios en los procesos bioquímicos; tasa y uniformidad de germinación y crecimiento de las plántulas y germinación o capacidad de emergencia de las semillas, al ser expuestas a condiciones de estrés. Se han propuesto varias pruebas de vigor dependiendo del enfoque del estudio a realizar (Navarro et al. 2015), una de esas

es la prueba de crecimiento de plántulas que implica la germinación en condiciones estándares controladas. Incluye mediciones del tamaño de las plántulas y el peso o la clasificación de plántulas en clases de vigor (Krzyzanowski et al. 1999).

La Palma chilena (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon) es una especie terciaria relictica de ambientes tropicales húmedos y cálidos, que fue capaz de adaptarse al clima mediterráneo en el periodo cuaternario (Kissling et al. 2012). La distribución natural actual de esta especie va desde la región de Coquimbo hasta la región del Maule, principalmente en la Cordillera de la Costa desde el nivel del mar hasta los 2000 m.s.n.m. (Hechenleitner et al. 2005). Esta es un área de alto endemismo asociada a una elevada pérdida de hábitat por lo cual, es considerada un *hotspot* de biodiversidad (Myers et al. 2000).

La intensa actividad humana en Chile central ha reducido esta especie a aproximadamente 120.000 palmeras en los bosques naturales mediterráneos remanentes, lo que corresponde a menos del 2.5% de la población existente a principios del siglo XIX (Michea 1992; Cabello 2006; González et al. 2009; González et al. 2017). Acciones antrópicas, como la remoción de semillas o tala para producción de miel, han fragmentado y reducido las poblaciones (Bordeau 1992), de tal manera, que se encuentra en un estado de conservación vulnerable (Hechenleitner et al. 2005; Gonzalez et al. 2009; Youlton et al. 2016). La extracción total de semillas es el principal motivo de la disminución de individuos y la baja regeneración natural (Serra et al. 1986).

Actualmente muchas de las poblaciones de palma chilena están constituidas por individuos senescentes con una baja proporción de individuos juveniles (Michea 1992), lo que indicaría que las mayores limitaciones para su regeneración se encontrarían en las etapas tempranas de su ciclo de vida (Marcelo et al. 2006). El establecimiento de esta especie estaría fuertemente ligado a la cobertura del bosque esclerófilo, el cual protege a la plántula de la desecación y actúa como refugio frente a los depredadores (Fleury et al. 2015). Las semillas de palma son consumidas por roedores como *Octodon degus* y *Rattus rattus* (Zunino et al. 1992; Yates et al. 1994), que, a su vez, podrían actuar como dispersores al momento de acaparar la semilla (véase Quispe et al. 2009).

Este trabajo, tiene como objetivo estudiar la regeneración natural de la palma chilena y algunos de los factores que podrían estar determinando el vigor de las plantas en etapas tempranas del ciclo de vida.

Para esto se plantearon las siguientes preguntas: ¿El tamaño de la semilla afecta el vigor de las plántulas de *Jubaea chilensis*?, ¿La profundidad de entierro de la semilla afecta el vigor de las plántulas? ¿La profundidad de entierro en conjunto con el tamaño de las semillas presenta un efecto en el vigor de las plántulas?

HIPÓTESIS

Según lo anterior, el tamaño de la semilla y la profundidad a la cual está enterrada afectan el vigor de la plántula de *Jubaea chilensis*. Por lo tanto, se espera que:

- a) En un gradiente de profundidad de entierro plántulas de semillas grandes presenten mayor vigor, que plántulas de semillas pequeñas.
- b) El efecto de la profundidad de entierro en el vigor de las plántulas sea menor para semillas grandes.

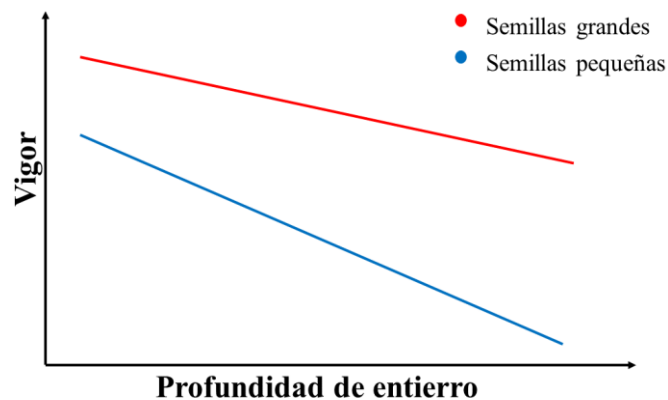


Figura 1.- Diagrama teórico del vigor de las plántulas de *Jubaea chilensis* respecto a la profundidad de entierro de las semillas en conjunto con el efecto del tamaño de las semillas grandes (rojo) y pequeñas (azul) propuesta en la hipótesis.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar si existe relación entre el tamaño de la semilla en conjunto con la profundidad de entierro de la semilla sobre el vigor de la plántula en la especie *Jubaea chilensis*.

Objetivos específicos

1. Documentar largo, ancho de semillas y largo de hojas, en condiciones naturales.
2. Documentar profundidad de entierro de las semillas, en condiciones naturales.
3. Determinar experimentalmente si el vigor de la plántula está relacionado con el tamaño de la semilla y con la profundidad de entierro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se realizó el año 2017 en el sector de Ocoa, Reserva Ecológica Oasis de la Campana a 32°51'S y 71°7'O y del Parque Nacional la Campana a 32°54' a 33°01'S y 70°12' a 70°59'O. Estos sitios están ubicados en la comuna de Hijuelas, en el Palmar de Ocoa, en el cordón montañoso La Campana- El Roble de la Cordillera de la Costa de Chile central, en la región de Valparaíso. El clima es de tipo mediterráneo, con inviernos lluviosos (mayo a agosto) que alcanzan aproximadamente 480 mm anuales, y con un período seco prolongado de septiembre a abril con sólo 120 mm de lluvia (Quintanilla et al. 2012). Este palmar se caracteriza por presentar vegetación del tipo bosque y matorral esclerófilo (Michea 1992), siendo el más grande de Chile, constituido por 60.000 individuos adultos aproximadamente (González et al. 2009).

Especie de estudio

Jubaea chilensis, es una especie endémica de Chile continental, longeva, perenne, monoica, de hábito arbóreo, que puede alcanzar hasta 30- 35 m de alto con diámetros de 2 m y vivir hasta 1000 años de edad (Del Fierro & Pancel 1998; Muñoz & Serra 2006).

Su fruto es una drupa ovoide, amarillenta de 4 x 3 centímetros de largo con perigonio persistente, la semilla es esférica de dos centímetros y medio de largo con tres poros germinativos circulares o elípticos ubicados en la parte inferior (Angulo 1985).

Se distribuye principalmente en quebradas con condiciones de humedad permanente y se encuentra asociada principalmente con especies arbóreas y arbustivas como el peumo (*Cryptocarya alba*), quillay (*Quillaja saponaria*), litre (*Lithrea caustica*), boldo (*Peumus boldo*) y tevo (*Retanilla triniveris*) (Michea 1988).

Presenta cuatro estados de desarrollo: regeneración, de 0 a 3 años con hoja simple; infantil, de 3 a 15 años hojas compuestas y formación del tronco; juvenil, de 15 a 45 años luce tronco; y adulto, sobre los 45 años, cuando comienza a fructificar (Michea 1992).

Presenta una germinación del tipo adyacente, en donde la semilla se queda enterrada asociada a la plántula (Meerow & Broschat 1991).

Diseño experimental

Observación en terreno

Se recolectaron datos de plántulas de palma chilena entre julio y agosto del 2017 en la Reserva Oasis de la Campana y en el Parque Nacional La Campana. Esto consistió en realizar una calicata y medir el tamaño de las semillas adyacentes y la profundidad de entierro (en cm) a la que se encontraban (véase anexo 1). Además, se midió el largo de la hoja simple (parte aérea) y el largo del mesocótilo (parte subterránea) (véase Figura 2).

El vigor de cada plántula se estimó, a través de una razón matemática entre la cantidad de área fotosintética (hoja simple) que adquiere la plántula y la cantidad de área vegetativa (largo de hoja simple más el largo del mesocótilo) que destinó en emerger. utilizando la siguiente expresión nombrada Índice de vigor (Iv):

$$Iv = \frac{\text{Largo de la hoja simple}}{(\text{Largo de la hoja simple} + \text{Largo del mesocótilo})} \quad (1)$$

Para la aplicación del índice de vigor, fue necesario que cada plántula estuviese libre de herbivoría en las hojas simples.

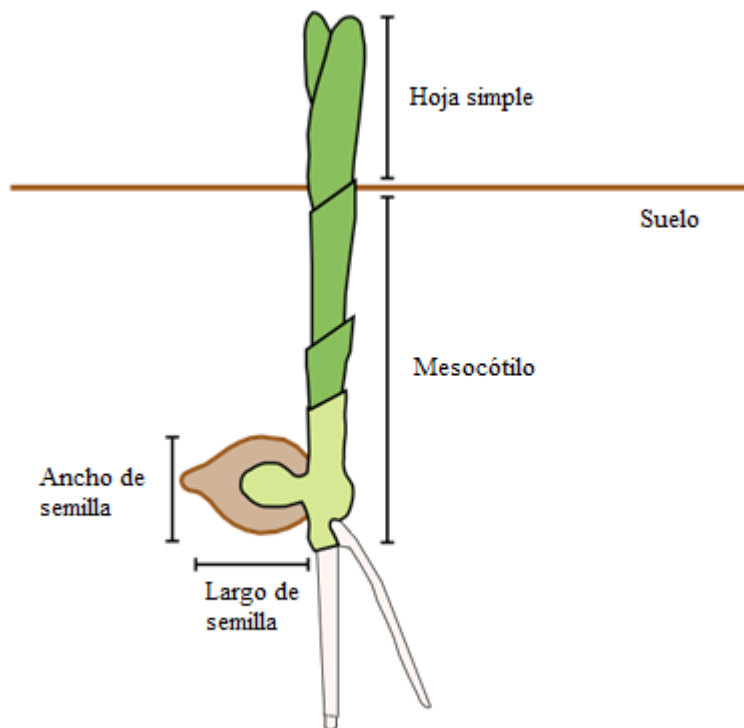


Figura 2.- Esquema de plántula de palma con germinación adyacente. Modificado de Meerow & Broschat (1991).

Experimento de germinación

Se tomó ventaja del procedimiento que se realiza normalmente para obtener plántulas en el vivero de la Reserva Oasis de la Campana.

Esto consiste en la recolección de frutos de diferentes individuos adultos ubicados dentro de la Reserva, los que posteriormente son tratados para remover el pericarpio a través de la rumia de una vaca. Posteriormente, se disponen en capas las semillas recolectadas en diferentes niveles de profundidad. El cajón utilizado contenía cuatro niveles de profundidad; 11 cm, 21 cm, 30 cm y 40 cm; y sus medidas eran 104 cm x 104 cm x 64 cm de alto (véase Figura 3, anexo 2), estas medidas fueron determinadas por el personal del vivero. El sustrato utilizado fue aserrín. El proceso de germinación comenzó el 26 de diciembre del 2016. El estudio de las plántulas y las semillas adyacentes se realizó el 12 de julio del 2017. Para las plántulas de los diferentes niveles, se les aplicó el índice de vigor (Iv) según la ecuación (1).

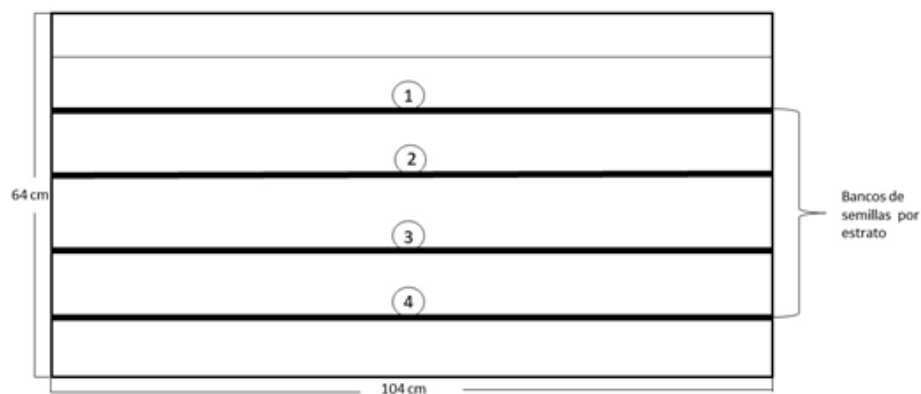


Figura 3.-Diagrama del cajón de germinación de semillas de *Jubaea chilensis* (104 cm de largo x 104 cm de ancho x 64 cm de alto).

Análisis estadístico

Para el tratamiento de datos del cajón de germinación se analizaron tres variables; profundidad de entierro de la semilla; tamaño de la semilla e Iv como una variable respuesta (vigor de la plántula).

Se apartó el estrato 4 debido a que no tuvo presencia de plántulas emergidas y porque no se encontraron semillas de plántulas sobre 40 cm de profundidad en su distribución natural.

Se realizó un Modelo Lineal, en donde se analizó la diferencia de la profundidad de entierro en interacción con el tamaño de la semilla en relación con el vigor de las plántulas, en conjunto con el análisis de normalidad de los residuales.

Posteriormente, se realizó un test de ANOVA de una vía, para probar la significancia del vigor de las plántulas respecto a la profundidad de entierro de las semillas.

Finalizando, con un test de Tukey HSD para evaluar el efecto de los estratos en el vigor de las plántulas.

Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa R Project v. 2.14.0 (R-Development Core Team, 2011).

RESULTADOS

Observación en terreno

Se muestrearon 133 plántulas entre julio y agosto de 2017, todas éstas se encontraban asociadas a la semilla. El ancho de las semillas varió entre 1.79 cm y 2.93 cm de ancho, con un promedio de 2.23 ± 0.19 cm (Figura 4). La profundidad de entierro en promedio fue de 10.07 ± 5.04 cm, algunas plántulas estaban ubicadas de manera superficial bajo la hojarasca con una profundidad de 3 cm, y otras a mayor profundidad con un máximo de 37 cm (Figura 5).

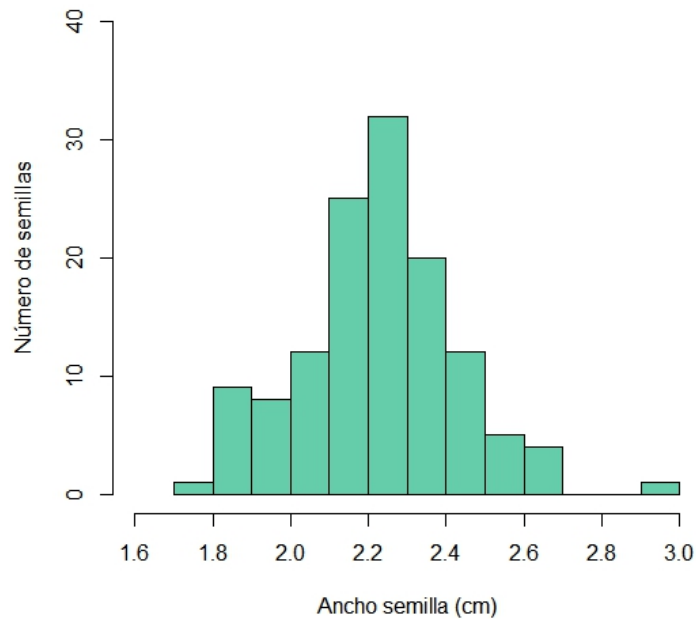


Figura 4.- Distribución de frecuencias sobre el ancho de semillas adyacentes a plántulas de *Jubaea chilensis*, en el Palmar de Ocoa, Chile Central.

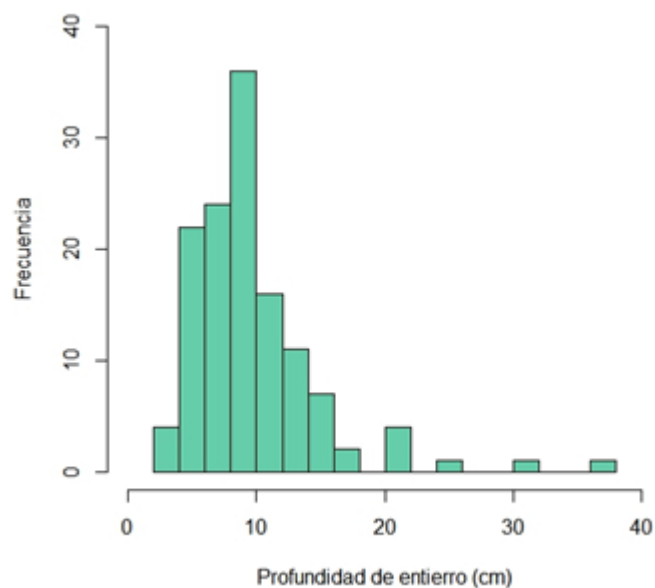


Figura 5.- Distribución de frecuencias de la profundidad de entierro de las semillas adyacentes a las plántulas de *Jubaea chilensis* en el palmar de Ocoa, Chile Central.

Se detectó una correlación negativa entre la profundidad de entierro y el índice de vigor de la plántula (coeficiente de correlación de Spearman $r_s = -0.280$; $P = 0.033$, Figura 6). No se encontró correlación entre índice de vigor y el tamaño de la semilla (coeficiente de correlación de Pearson $r_p = -0.0108$, $P = 0.936$, Figura 7).

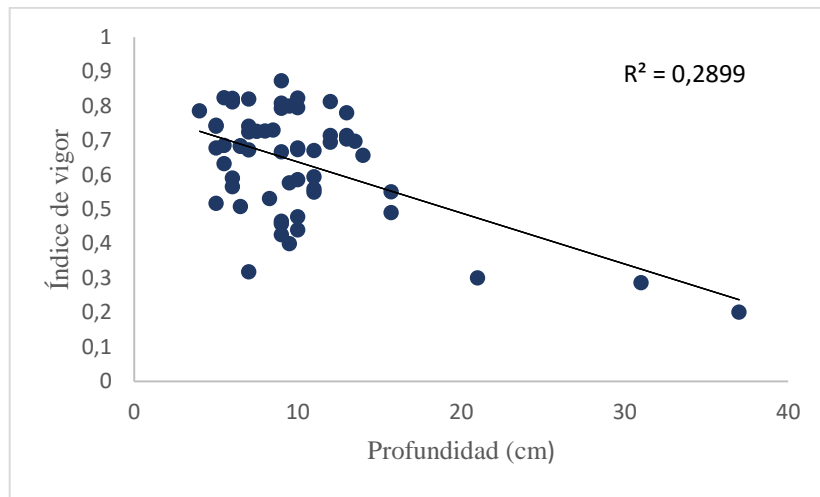


Figura 6.- Relación entre el índice de vigor de plántulas de *Jubaea chilensis* y la profundidad de entierro de las semillas adyacentes ($r_s = -0.280$, $P = 0.033$).

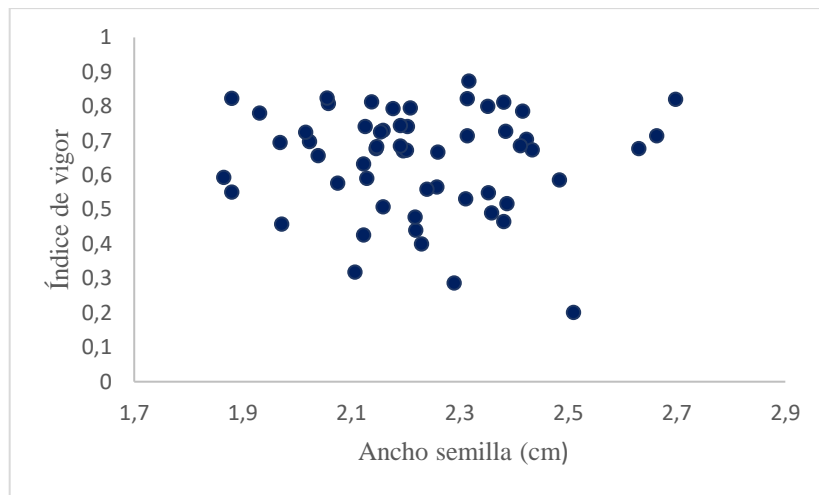


Figura 7.- Relación entre el índice de vigor de plántulas de *Jubaea chilensis* y el tamaño de las semillas adyacentes ($r_p = -0.0108$, $P = 0.936$).

Experimento de germinación

Se midieron 179 semillas adyacentes a plántulas, las cuales presentaban un ancho que abarca un rango desde 1.67 cm hasta 2.89 cm, con un promedio de 2.31 ± 0.20 cm. No se observó ningún efecto del tamaño de la semilla en el vigor de las plántulas (coeficiente de Pearson $r_p=0.04$, $P= 0.699$, Figura 8).

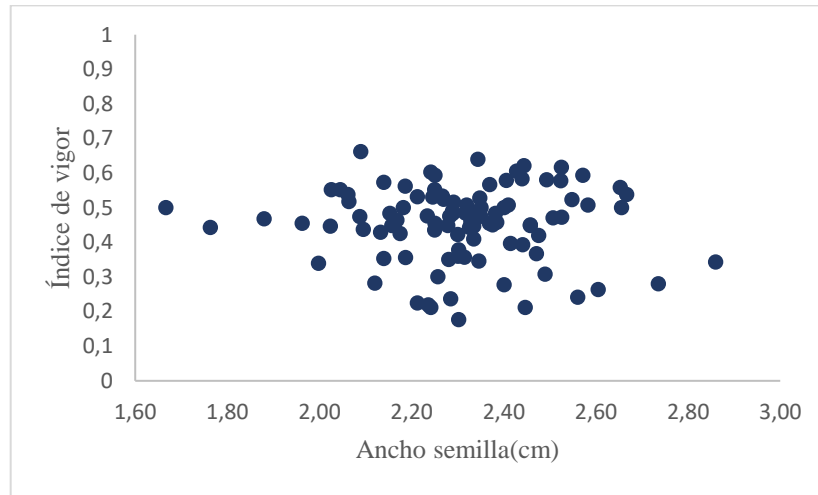


Figura 8.- Índice de vigor de plántulas de *Jubaea chilensis* en relación al tamaño de las semillas adyacentes ($r_p= -0.0401$, $P= 0.699$).

El vigor de las plántulas presenta una disminución significativa con la profundidad de entierro. Sin embargo, no se detectó un efecto significativo del tamaño de la semilla, ni un efecto en la interacción de ambas variables en el vigor de las plántulas (Tabla 1). Lo que indicaría, que a medida que aumenta la profundidad de entierro el índice de vigor de las plántulas disminuye (ANOVA $df= 2$, $F= 4.93$, $p= 0.009$), dándose fundamentalmente

entre el nivel 1 y el nivel 3 (Tukey $p = 0.031$, Figura 9). Los residuales no difieren de una distribución normal, validando el modelo propuesto.

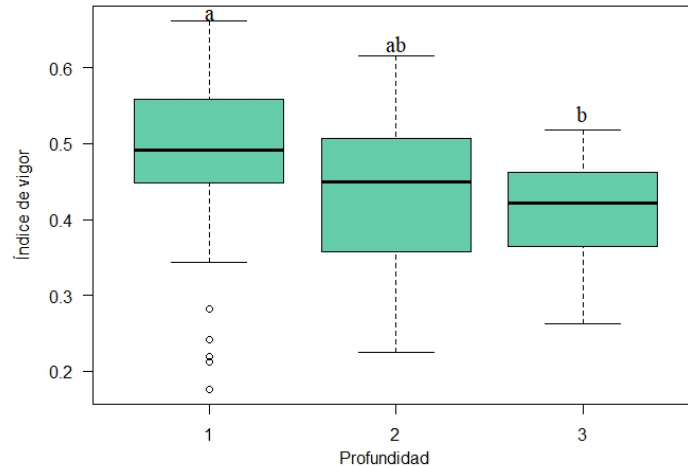


Figura 9.- Índice de vigor de plántulas de *Jubaea chilensis* en relación con la profundidad de entierro de las semillas adyacentes en tres niveles diferentes (11 cm, 21 cm, 30 cm), Palmar de Ocoa, Chile Central.

Tabla 1.- Modelo lineal para evaluar el efecto sobre el vigor de plántulas de *Jubaea chilensis* del tamaño de las semillas adyacentes en interacción con la profundidad de entierro de semillas adyacentes.

<i>Variable</i>	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
<i>Tamaño de semilla</i>	<i>1</i>	<i>0.160</i>	<i>0.690</i>
<i>Profundidad</i>	<i>2</i>	<i>5.041</i>	<i>0.008**</i>
<i>Profundidad*Tamaño de semilla</i>	<i>2</i>	<i>2.647</i>	<i>0.077.</i>
<i>Residuales</i>	<i>87</i>		

DISCUSIÓN

El objetivo general de esta tesis fue evaluar el efecto de la profundidad de entierro y el tamaño de la semilla en el vigor de las plántulas de *Jubaea chilensis*. Los resultados sugieren que la profundidad de entierro de las semillas genera un efecto negativo en el vigor de las plántulas de palma chilena, encontrándose los mayores índices de vigor a menores profundidades mientras que el tamaño de las semillas no tiene efectos sobre el vigor de las plántulas.

Estos efectos negativos tienen una base mecánica, es decir, a mayor profundidad la plántula debe gastar mayor energía en superar la barrera de fuerza física que impone el suelo, teniendo que producir un mesocótilo de un tamaño que permita llevar las primeras hojas a la superficie (Forcella et al. 2000). Este proceso de emergencia de las plántulas desde diferentes profundidades podría ser considerada la primera barrera al reclutamiento de *Jubaea chilensis*. Es decir, plántulas con semillas enterradas a profundidades entre 3 cm - 11 cm, invertirán menos energía en emerger desde el suelo, lo que implicará un desarrollo rápido y un mayor tamaño, esto les puede permitir superar los efectos negativos de la herbivoría por vertebrados, como el conejo común, los cuales son abundantes y se ha documentado que afectan significativamente la sobrevivencia de las plántulas (Fleury et al. 2015). Si la plántula ha alcanzado un tamaño suficiente en términos de hojas nuevas, el daño por herbivoría puede ser compensado por un crecimiento vigoroso (Price 1991).

Se ha propuesto que la mayoría de los mamíferos pequeños que son dispersores de semillas también son consumidores de semillas, disminuyendo así la probabilidad de

establecimiento de plántulas, debido a que la mayoría de las veces son consumidas antes de que ocurra la emergencia o en algunos casos éstas no logran llegar a la superficie (Vander Wall 1993, 1994; Seiwa et al. 2002). Por otra parte, existe la posibilidad de que las semillas no consumidas se vean beneficiadas al ser acaparadas lejos de la planta madre, lejos de los depredadores denso-dependientes (Vander Wall 2001; Gómez et al. 2018).

En el caso de *J. chilensis* el entierro de las semillas se produce por acaparamiento de *Octodon degus* y por escorrentía. Se ha estudiado el rol de *O. degus* como agente depredador, acumulador y enterrador de semillas (Fleury et al. 2015), y existe evidencia que este roedor estaría enterrando las semillas entre 1 cm - 2 cm de profundidad (Quispe et al. 2009), proporcionando a la semilla un escondite frente a otros depredadores o un sitio seguro para soportar condiciones de estrés ambiental, generando una interacción positiva (Nuñez-Hidalgo 2018), al acaparar la semilla a profundidades que le podrían estar entregando mayor oportunidades de establecimiento. Es importante mencionar que en este estudio la profundidad de entierro más próxima a la superficie fue de 3 cm, lo que podría sugerir que las semillas que se encuentren por sobre esta medida, estarían más expuestas a diferentes filtros ambientales que no permitirán su establecimiento.

Por otra parte, es esperable que el índice de vigor sea más alto a bajas profundidades, ya que un entierro superficial mejora la germinación, la emergencia y supervivencia de las plántulas, debido a que una capa superficial de suelo (e.g, hojarasca o arena) generarían un ambiente más moderado para soportar las fluctuaciones de

temperatura y humedad del ambiente, impidiendo la desecación o congelamiento (Seiwa et al. 2002).

Nuestros resultados demuestran que el tamaño de las semillas no tiene un efecto significativo sobre el vigor de las plántulas, lo cual ha sido también demostrado por Marcelo et al. (2006) y Fleury et al. (2014). Esto puede deberse a que la variación intraespecífica en algunos rasgos de una especie puede no ser suficiente para que cambie el vigor de las plántulas, lo que indicaría que la energía entregada por el endospermo sería independiente del tamaño de la semilla.

Las semillas que se entierran a 11 cm de profundidad (nivel 1) producen plántulas más vigorosas, lo cual concuerda con los patrones de entierro observados en el terreno. Esto permite inferir que dentro de este rango estaría la profundidad óptima para el reclutamiento de esta especie. Por lo tanto, dado que el tamaño de la semilla no afecta el vigor de la plántula y que éste decrece con la profundidad a la cual es enterrada, es esperable que las semillas enterradas superficialmente se establezcan y generen plántulas con un mayor vigor, y que este disminuya a medida que aumente la profundidad (véase figura 10).

Otro aspecto que puede estar relacionado con los efectos que presenta la profundidad de entierro en las semillas de palma chilena se relaciona con la variación de agua disponible en el suelo. Ya que la absorción de agua e intercambio gaseoso por parte de la semilla está directamente influenciada por la permeabilidad que esta tenga (Bewley & Black 1994). Así, la profundidad puede impedir o facilitar el flujo necesario de agua y

oxígeno para la germinación (Kelly et al. 1992). Este aspecto no es un tema tratado en el presente estudio, por lo cual estudios futuros específicos de germinación de semillas podrían abordarlo.

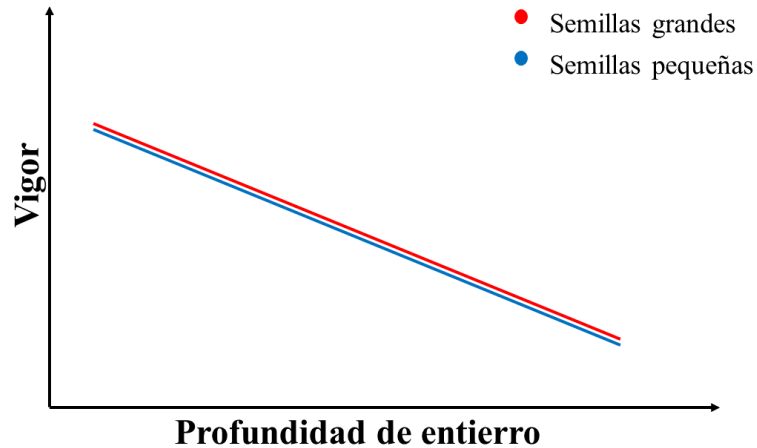


Figura 10.- Diagrama teórico del vigor de plántulas de *Jubaea chilensis* en función a la profundidad de entierro de las semillas adyacentes y el efecto del tamaño de semillas adyacentes según los resultados obtenidos en este estudio.

Una de las principales limitaciones de este trabajo fue el diseño y manipulación de los cajones de germinación, los cuales estuvieron a cargo del personal del vivero, imposibilitando el establecimiento de los niveles de profundidad de entierro dentro del cajón acordes a lo observado en terreno, la duración del periodo de germinación de las semillas y la manipulación de las plántulas para la obtención de datos.

Investigaciones más integradas del banco de semillas que incluyan los dispersores, los depredadores y los factores abióticos que afectan la regeneración deberían ser el paso siguiente para enriquecer el conocimiento acerca de esta especie.

CONCLUSIONES

Con respecto a la Palma chilena, la hipótesis propuesta es rechazada, debido a que no se encontró un efecto en conjunto del tamaño de la semilla con la profundidad de entierro en el vigor de las plántulas estudiadas. Sin embargo, la interacción fue marginal, lo que sugiere la necesidad de reevaluar esta relación de una manera más exhaustiva.

El tamaño de la semilla no tendría un efecto significativo sobre el vigor de las plántulas.

La profundidad de entierro estaría afectando negativamente el vigor de las plántulas a profundidades mayores a 11 cm.

Aun cuando no fue el foco de este trabajo, se destaca el rol de *O. degus* como un enterrador de semillas, contribuyendo así en forma positiva al reclutamiento de la palma chilena.

REFERENCIAS

- Angulo, R. 1985. La palma chilena, interesante recurso natural renovable. Santiago, Sociedad Agrícola y Forestal Hacienda Las Palmas de Cocalán Ltda.
- AOSA, I. (1983). Seed vigor testing handbook. Association of Official Seed Analysts. Contribution, (32).
- Borchert, M. I., F. W. Davis, J. Michaelsen, and L. D. Oyler. 1989. Interaction of factors affecting seedling recruitment of blue oak (*Quercus douglasii*) in California. *Ecology* 70:389-404.
- Bordeau, A. 1992. Visión del estado de la palma chilena *Jubaea chilensis*: su conservación y potencial reproductivo. Corporación nacional Forestal. Simposio “La palma chilena, un recurso forestal. Estado actual del conocimiento.
- Bewley, J. D., & Black, M. (1994). Seeds. In *Seeds* (pp. 1-33). Springer, Boston, MA.
- Cabello (2006) *Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon. Las Especies arbóreas de los Bosques Templados de Chile y Argentina. Autoecología., Valdivia, Chile., p 678
- Bond WJ, Honig M, Maze KE (1999) Seed size and seedling emergence: An allometric relationship and some ecological implications. *Oecologia* 120:132–136.
- Chacón, P., & Bustamante, R. O. (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(2), 137-144
- Cussans GW, Raudonius S, Brain P, Cumberworth S (1996) Effects of depth of seed burial and soil aggregate size on seedling emergence of *Alopecurus myosuroides*, *Galium aparine*, *Stellaria media* and wheat. *Weed Res* 36:133–141.
- Del Fierro, P. & L. Pancel. 1998. Experiencia silvicultural del Nativo de Chile. GTZ-CONAF. 420 pp.
- Fleury, M., Marcelo, W., Vásquez, R. A., González, L. A., & Bustamante, R. O. (2015). Recruitment dynamics of the relict palm, *Jubaea chilensis*: intricate and pervasive effects of invasive herbivores and nurse shrubs in central Chile. *PLOS one*, 10(7), e0133559.
- Ferguson, J. (1995, June). An introduction to seed vigour testing. In *Seed vigour testing seminar*, Copenhagen, Zurich: International Seed Testing Association (pp. 1-10).
- Forcella, F., Arnold, R. L. B., Sanchez, R., & Ghersa, C. M. (2000). Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*, 67(2), 123-139.
- Funes, Guillermo; Díaz, Sandra Myrna; Venier, Maria Paula; La temperatura como

- principal determinante de la germinación en especies del Chaco seco de Argentina; Asociación Argentina de Ecología; Ecología Austral; 19; 2; 8-2009; 129-138
- Gómez, J. M., Schupp, E. W., & Jordano, P. (2018). Synzoochory: the ecological and evolutionary relevance of a dual interaction. *Biological Reviews*.
- Gonzalez, L. A., Bustamante, R. O., Navarro, C., Herrera, M., & Toral, I. (2009). Ecology and management of the Chilean palm (*Jubaea chilensis*): history, current situation and perspectives. *Palms*, 53(2), 68-74.
- González LA, Ibáñez MA, Cerrillo N (2017) Palma Chilena: Una especie emblemática que Chile necesita recuperar. Origo Ediciones. Santiago, Chile.
- Grime, J.P. (1989) Seed banks in ecological perspective. *Ecology of Soil Seed Banks*, pp. 5–15. Academic Press, San Diego.
- Hechenleitner V., P., M. F. Gardner, P. I. Thomas, C. Echeverría, B. Escobar, P. Brownless y C. Martínez A. 2005. Plantas Amenazadas del Centro-Sur de Chile. Distribución, Conservación y Propagación. Primera Edición. Universidad Austral de Chile y Real Jardín Botánico de Edimburgo. 188 pp
- Janzen, D. H. (1982). Variation in average seed size and fruit seediness in a fruit crop of a Guanacaste tree (Leguminosae: *Enterolobium cyclocarpum*). *American Journal of Botany*, 69(7), 1169-1178.
- Jiménez-Alfaro, B., Silveira, F. A., Fidelis, A., Poschlod, P., & Commander, L. E. (2016). Seed germination traits can contribute better to plant community ecology. *Journal of Vegetation Science*, 27(3), 637-645.
- Jordano P, Pulido F, Juan A, J., García-Castaño, J. L., & García-Fayos, P. (2004) Procesos de limitación demográfica. In: *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp 229–248
- Kelly, K. M., Van Staden, J., & Bell, W. E. (1992). Seed coat structure and dormancy. *Plant growth regulation*, 11(3), 201-209.
- Kissling, W. D., Eiserhardt, W. L., Baker, W. J., Borchsenius, F., Couvreur, T. L., Balslev, H., & Svenning, J. C. (2012). Cenozoic imprints on the phylogenetic structure of palm species assemblages worldwide. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(19), 7379-7384
- Marcelo, W., Bustamante, R. O., & Vásquez, R. A. (2006). Efectos de la herbivoría, el microhábitat y el tamaño de las semillas en la sobrevivencia y crecimiento de plántulas de la palma chilena. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 22(2), 55-62.
- Meerow, A. W., & Broschat, T. K. (1991). Palm seed germination. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.

- Michea, G. (1988). Estudios poblacionales de de palma chilena (*Jubaea chilensis*). En el sector de Ocoa, Parque Nacional La Campana. Medio Ambiente 9: 124–130
- Michea, G. (1992). Antecedentes técnicos y caracterización de los principales palmares de la V Región. En: Simposio “La Palma chilena, un recurso forestal: estado actual del conocimiento”. Stgo. Chile. Dpto. de Silvicultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. 17-18 de diciembre de 1992. pp. 30 – 32.
- Moegenburg, S. M. (1996). Sabal palmetto seed size: causes of variation, choices of predators, and consequences for seedlings. *Oecologia*, 106(4), 539-543.
- Muñoz M, Serra MT (2006) Ficha de antecedentes de especie, *Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon. Recuperado el 10 de diciembre del 2018 de http://www.mma.gob.cl/clasificacionespecies/Anexo_tercer_proceso/plantas/Jubaea_chilensis_FINAL.pdf
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853.
- Navarro M, Febles G, Herrera RS (2015) Vigor: essential element for seed quality. *Cuban Journal of Agricultural Science* 49(4), 447–458.
- Núñez-Hidalgo I (2018) Importancia de *Octodon degus* sobre la regeneración natural de *Jubaea chilensis* (Molina Baillón): una aproximación a dos escalas espaciales. Tesis de Magíster, Universidad de Chile.
- Price PW (1991) The plant and herbivore attack hypothesis. *Oikos* 62:244–251
- Quintanilla, V. Cadiñanos, J.; Latasa, I.; Lozano, P. (2012). Aproximación biogeográfica a los bosques de la zona mediterránea de Chile: caracterización e inventario. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles (Madrid)* (60);91-114
- Quispe R., Villavicencio CP., Cortés A., Vásquez R. A. (2009) Inter-Population Variation in Hoarding Behaviour in Degus, *Octodon degus*. *Ethology* 115(5):465–474.
- R-Development Core Team. 2011. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Sánchez, J. A., Montejo, L., & Pernús, M. (2015). Germinación de nuestras semillas: factor de éxito en la restauración ecológica. *Tendremos desarrollo socioeconómico sin conservación de la biodiversidad*, 130-145.
- Seiwa, K., Watanabe, A., Saitoh, T., Kannu, H., & Akasaka, S. (2002). Effects of burying depth and seed size on seedling establishment of Japanese chestnuts, *Castanea crenata*. *Forest Ecology and Management*, 164(1-3), 149-156.
- Serra, M., R. Gajardo and A. Cabello. (1986). *Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon. Palma chilena. Palmaceae. Ficha técnica de especies amenazadas: especies vulnerables.

Programa de protección y recuperación de la flora nativa de Chile. Corporación Nacional Forestal-Universidad de Chile, Santiago, Chile

- Simpson, R.L., Leck, M.A. & Parker, V.T. (1989) Seed banks: general concepts and methodology. *Ecology of Soil Seed Banks* (eds M. A. Leck, V. T. Parker & R. L. Simpson), pp. 3-8. Academic Press, San Diego, California
- Thompson, K., Band, S.R. & Hodgson, J.G. (1993) Seed size and shape predict persistence in soil. *Functional Ecology* 7, 236–241
- Vander Wall, S. B. (1993). A model of caching depth: implications for scatter hoarders and plant dispersal. *The American Naturalist*, 141(2), 217-232.
- Vander Wall, S. B. (1994). Seed fate pathways of antelope bitterbrush: dispersal by seed-caching yellow pine chipmunks. *Ecology*, 75(7), 1911-1926.
- Vander Wall, S. B. (2001). The evolutionary ecology of nut dispersal. *The Botanical Review*, 67(1), 74-117.
- Weis, I. M. (1982). The effects of propagule size on germination and seedling growth in *Mirabilis hirsuta*. *Canadian Journal of Botany*, 60(10), 1868-1874.
- Yates LR, Saiz F, Zunino S (1994) *Octodon degus* : Valor nutricional y preferencia del recurso trófico en el Palmar de Ocoa. *Revista Chilena de Historia Natural*, 67: 89-99.
- Youlton, C., Hormazabal, C., Schiappacasse, I., Contreras, P., & Poblete-Echeverría, C. (2016). Distribución, tamaño y estructura poblacional de *Jubaea chilensis* en "Las Palmas", comuna de Petorca, región de Valparaíso-Chile. *Bosque (Valdivia)*, 37(3): 501-507.
- Zimmerman, J. K., & Weis, I. M. (1983). Fruit size variation and its effects on germination and seedling growth in *Xanthium strumarium*. *Canadian Journal of Botany*, 61(9), 2309-2315.
- Zunino S, Saiz F, Yates LR (1992) Uso del espacio , densidad de *Octodon degus* y oferta de recursos en Ocoa , Parque Nacional La Campana, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 65, 343-355.

ANEXO

Anexo 1: Imágenes de observación en terreno

Imágenes de plántulas observadas en terreno, en donde se muestra la calicata realizada para poder medir la parte subterránea de la plántula y la semilla adyacente.



Anexo 2: Imágenes experimento de germinación

Imágenes de plántulas ubicadas en el cajón de germinación en los diferentes estratos (lado izquierdo) y removidas del cajón (lado derecho).

