

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Efecto de tres tratamientos pre-germinativos de
escarificación (químico, térmico y mecánico) sobre la
germinación de semillas de Chaperno
(FABACEAE:*Lonchocarpus minimiflorus* Donn. Sm.) y
Tecomasuche (BIXACEAE:*Cochlospermum vitifolium*
(Willd.) Spreng.).

Trabajo de investigación presentado
por Ana Cecilia Barrios Barrios
para optar al grado académico de Licenciada en Biología

Guatemala

2020

Efecto de tres tratamientos pre-germinativos de
escarificación (químico, térmico y mecánico) sobre la
germinación de semillas de Chaperno
(FABACEAE:*Lonchocarpus minimiflorus* Donn. Sm.) y
Tecomasuche (BIXACEAE:*Cochlospermum vitifolium*
(Willd.) Spreng.).

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades





Efecto de tres tratamientos pre-germinativos de
escarificación (químico, térmico y mecánico) sobre la
germinación de semillas de Chaperno
(FABACEAE:*Lonchocarpus minimiflorus* Donn. Sm.) y
Tecomasuche (BIXACEAE:*Cochlospermum vitifolium*
(Willd.) Spreng.).

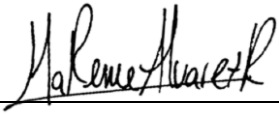
Trabajo de investigación presentado
por Ana Cecilia Barrios Barrios
para optar al grado académico de Licenciada en Biología


Guatemala

2020

Vo. Bo.: (f) 
M.Sc. Daniel Ariano Sánchez

Tribunal Examinador: (f) 
M.Sc. Daniel Ariano Sánchez

(f) 
Lic. María Renée Álvarez Ruano

(f) 
Lic. Alejandro Vásquez contreras

Fecha de aprobación: Guatemala 23 de noviembre de 2020

PREFACIO Y AGRADECIMIENTOS

Logré realizar el presente trabajo gracias al apoyo y colaboración de varias personas e instituciones sin las cuales no habría sido posible. Primero quiero agradecerle a mi asesor Daniel Ariano, por toda su ayuda y apoyo con ideas, literatura y consejos para hacer de este trabajo lo mejor posible. También le agradezco la disponibilidad que siempre mostró para resolver mis dudas y guiarme durante todo el proceso. En segundo lugar, quiero agradecerle a Gilberto Salazar, guardarrecurso de la Reserva para la Conservación del Heloderma y del Bosque Seco del Valle del Motagua (RNH), por la ayuda brindada en la colecta de semillas. Sin su ayuda no habría podido coleccionar los frutos (los árboles estaban muy altos). También le agradezco por su ayuda en la colecta de frutos de otras especies inicialmente propuestas para mi estudio y que por razones de la pandemia no pude ir a traer.

También le agradezco a la ONG Zootropic por proporcionar el personal de trabajo y los permisos para realizar la colecta en sus terrenos. Agradezco a la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) por brindarme el equipo y material utilizado. A Gabriela Alfaro, directora del departamento de Biología (UVG) por ayudarme con los trámites necesarios para realizar mi tesis y por apoyarme con los permisos necesarios para realizar la parte de laboratorio. Los trámites y permisos no se habrían efectuado sin la ayuda y eficiencia de Ericka Santos, secretaria del departamento de Biología (UVG), quien siempre estuvo atenta a todo el proceso para efectuarlo en la mayor brevedad posible, por lo que le agradezco no únicamente por este proyecto sino por su ayuda en toda la carrera. De igual forma agradezco a María Renée Álvarez curadora de Herbario UVAL por los consejos e ideas para realizar el diseño experimental de la parte de germinación y por ayudarme junto con Priscila Juárez a realizar los ensayos químicos. Sin la ayuda de ambas esta parte experimental no habría sido posible. De igual forma

agradezco a Alejandro Vásquez por las ideas brindadas para mejorar el diseño experimental y análisis estadístico.

Por último, pero no menos importante, agradezco a mis padres Álvaro Cecilio Barrios Álvarez y Ana Ester Barrios Rivas, por el apoyo moral y económico siempre brindado. Especialmente agradezco a mi padre por todo el esfuerzo realizado para permitirme llegar hasta aquí. Agradezco a mis hermanas por toda la ayuda brindada en la realización de este proyecto, especialmente en la elaboración del invernadero. Su constante ayuda fue indispensable, cada vez que la lluvia arruinó el techo, siempre me ayudaron a construirlo de nuevo hasta que logré dejarlo estable para realizar la siembra de semillas. A Edgar Mazariegos, por su incondicional ayuda y apoyo durante todo el proceso de este proyecto y a lo largo de toda la carrera. Él sabe lo mucho que significa para mí.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
A. Antecedentes.....	2
B. Justificación.....	13
C. Objetivos.....	15
D. Hipótesis de trabajo.....	16
II. METODOS.....	17
III. RESULTADOS.....	25
IV. DISCUSIÓN.....	34
V. CONCLUSIONES.....	39
VI. RECOMENDACIONES.....	40
VII. LITERATURA CITADA.....	42
VIII. ANEXOS.....	56

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Parámetros de regresión estimados, error estándar (ES), valor z, valor p e intervalos de confianza de las variables que explican el análisis de germinación de las semillas de <i>Lonchocarpus minimiflorus</i> (efecto de los tratamientos pre-germinativos sobre los porcentajes de germinación). Los parámetros informativos se encuentran en negrita.	30
2. Parámetros de regresión estimados, error estándar (ES), valor t, valor p e intervalos de confianza de las variables que explican el análisis de altura (mm) de las plántulas de <i>Lonchocarpus minimiflorus</i> (efecto de los tratamientos pre-germinativos sobre la altura de las plántulas). Los parámetros informativos se encuentran en negrita.	30
3. Parámetros de regresión estimados, error estándar (ES), valor z, valor p e intervalos de confianza de las variables que explican el análisis de germinación de las semillas de <i>Cochlospermum vitifolium</i> (efecto de los tratamientos pre-germinativos sobre los porcentajes de germinación). Los parámetros informativos se encuentran en negrita.	31
4. Parámetros de regresión estimados, error estándar (ES), valor t, valor p e intervalos de confianza de las variables que explican el análisis de altura (mm) de las plántulas de <i>Cochlospermum vitifolium</i> (efecto de los tratamientos pre-germinativos sobre la altura de las plántulas). Los parámetros informativos se encuentran en negrita.	31

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de la Reserva Natural para la Conservación del Heloderma y el Bosque Seco del Valle del Motagua (RNH).	18
2. Inflorescencia de Chaperno (<i>Lonchocarpus minimiflorus</i>).	19
3. Flores y frutos de Tecomasuche (<i>Cochlospermum vitifolium</i>).	21
4. Diagramas de caja de los porcentaje de semillas germinadas de (A) <i>Lonchocarpus minimiflorus</i> y (B) <i>Cochlospermum vitifolium</i> bajo los tratamientos: control, semillas sumergidas en agua caliente, semillas sumergidas en ácido sulfúrico al 98% y semillas lijadas.	25
5. Germinación diaria acumulada de las semillas de (A) <i>Lonchocarpus minimiflorus</i> y (B) <i>Cochlospermum vitifolium</i> , bajo los distintos tratamientos pre-germinativos.	26
6. Diagramas de caja del número de plántulas con desarrollo normal de (A) <i>Lonchocarpus minimiflorus</i> y (B) <i>Cochlospermum vitifolium</i> , bajo los tratamientos: control, semillas sumergidas en agua caliente, semillas sumergidas en ácido sulfúrico al 98% y semillas lijadas.	27
7. Diagramas de caja de la altura de las plántulas de (A) <i>Lonchocarpus minimiflorus</i> y (B) <i>Cochlospermum vitifolium</i> bajo	

los tratamientos: control, semillas sumergidas en agua caliente, semillas sumergidas en ácido sulfúrico al 98% y semillas lijadas. 28

8. Plántulas de *Lonchocarpus minimiflorus* (A) con desarrollo normal y (B) con desarrollo abortado y *Cochlospermum vitifolium* (C) con desarrollo anormal y (D) desarrollo abortado. 29

RESUMEN

Guatemala es uno de los países centroamericanos con menor cobertura de bosque seco y mayor cantidad de fragmentos de tamaño crítico. Por lo tanto, es necesario implementar estrategias de restauración en dichos bosques, utilizando especies nativas, para las cuales, en su mayoría, debe aplicarse tratamientos pre-germinativos. En esta investigación evalué el efecto de tres tratamientos pre-germinativos de escarificación: químico con ácido sulfúrico, térmico con agua caliente y mecánico por desgaste; sobre los patrones de germinación de semillas de dos especies prioritarias para la restauración del bosque seco en Guatemala: el chaperno (*Lonchocarpus minimiflorus*) y el Tecomasuche (*Cochlospermum vitifolium*). Las semillas de *L. minimiflorus* y *C. vitifolium* utilizadas en las pruebas pre-germinativas, las colecté en la Reserva Natural para la Conservación del Heloderma y el Bosque Seco del Valle del Motagua, Cabañas, Zacapa. Con las semillas colectadas realicé ensayos de germinación con los distintos tratamientos de escarificación (control, químico, térmico y mecánico) y comparé sus porcentajes de germinación, el desarrollo y altura de las plántulas. Los resultados demuestran que para propagar plántulas de *L. minimiflorus* no es necesario aplicar ningún tratamiento pre-germinativo. Por el contrario, la escarificación con lija e inmersión en agua caliente son los tratamientos pre-germinativos más efectivos para propagar eficientemente plántulas de *C. vitifolium*.

Palabras clave: Semilla, latencia, germinación, desarrollo, crecimiento, restauración.

ABSTRACT

Guatemala is one of the Central American countries with the least dry forest cover and the highest number of fragments of critical size. Therefore, it is necessary to implement restoration strategies in these forests using native species, for most of which pre-germination treatments should be applied. In this research I evaluated the effect of three pre-germination scarification treatments: chemical with sulfuric acid, thermal with hot water and mechanical with sandpaper; on the seed germination patterns of two priority species for the restoration of the dry forest in Guatemala: Chaperno (*Lonchocarpus minimiflorus*) and Tecomasuche (*Cochlospermum vitifolium*). The seeds of *L. minimiflorus* and *C. vitifolium* used for the pre-germination tests were collected in the Heloderma Natural Reserve. With the collected seeds, I performed germination assays with the different scarification treatments and compared their germination percentages, and the development and height of the seedlings. The results showed that to propagate *L. minimiflorus* seedlings it is not necessary to apply any pre-germination treatment. On the contrary, scarification with sandpaper and immersion in hot water are the most effective pre-germination treatments for efficiently propagate *C. vitifolium* seedlings.

Key words: seed, dormancy, germination, development, growth, restoration.

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques secos son los bosques tropicales más amenazados, fragmentados y degradados a nivel mundial y a pesar de su rápida destrucción, son de los bosques menos conocidos y protegidos. Los bosques secos de Guatemala no son la excepción a esta problemática, ya que es de los países centroamericanos con menor cobertura de bosque seco y mayor cantidad de fragmentos de tamaño crítico. Por lo tanto, es necesario implementar estrategias para la restauración de dichos bosques, utilizando especies nativas. Esto debido a que son ecosistemas de gran importancia ecológica y por los servicios ecosistémicos que brindan a las comunidades que los habitan.

Los proyectos de restauración utilizan plántulas obtenidas a partir de semillas para sembrar en campo, para mantener y aumentar la variabilidad genética. Usualmente, para dichas semillas debe aplicarse tratamientos pre-germinativos especie-específicos, los cuales en muchos casos se desconocen, en especial para especies del bosque seco. Se sabe que más del 60% de especies nativas del bosque seco producen semillas latentes, por lo que es necesario aplicarles tratamientos pre-germinativos para incrementar, y acelerar su germinación. Por lo tanto, debido a que la latencia puede ser un problema para la obtención de plántulas de especies nativas del bosque seco con fines de restauración, es necesario realizar estudios sobre tratamientos pre-germinativos en semillas de especies con potencial para restauración del bosque seco. De esta forma puede identificarse métodos pre-germinativos apropiados para cada especie y lograr un proceso de restauración más económico, eficiente y rápido.

El presente estudio busca aportar información sobre los tratamientos pre-germinativos más adecuados y eficientes para la producción de plántulas de dos especies prioritarias para la restauración del bosque seco en Guatemala, el chaperno (*Lonchocarpus minimiflorus* Donn. Sm.) y el Tecomasuche (*Cochlospermum vitifolium* (Willd.)), para las cuales aún no se han reportado métodos que incrementen su germinación.

A. Antecedentes

1. Germinación de semillas

a. **Semilla.** La formación, dispersión y germinación de las semillas son procesos importantes en el ciclo de vida de angiospermas y gimnospermas, por lo que la semilla es una de las estructuras más representativas de las plantas superiores. Esto debido a que permite el mantenimiento de la especie por ser el agente de dispersión con mayor capacidad de generar una planta vascular a largo plazo, a partir de la germinación (Bacchetta *et al.*, 2008). Las semillas son estructuras complejas que generalmente poseen 3 partes fundamentales: 1) el embrión, que resulta de la fusión entre el óvulo con el núcleo espermático. 2) El endospermo que generalmente está presente (con algunas excepciones), el cual nutre al embrión para el desarrollo de la plántula. 3) La testa o tegumento de la semilla formada por tejidos maternos del óvulo (Suárez, y Melgarejo, 2010; Finch y Leubner, 2006).

b. **Definición de germinación y sus fases.** La germinación es un proceso constituido por mecanismos metabólicos y morfogenéticos cuyo objetivo es promover el nacimiento de una plántula a partir de una semilla viva viable (Suárez, y Melgarejo, 2010). Durante la germinación ocurre el rompimiento de los tegumentos de las semillas por causa del alargamiento de la radícula. Este proceso se da en tres fases: 1) la imbibición de las semillas, durante el cual ocurre la absorción de agua, 2) la activación de los procesos metabólicos, en donde aumenta la respiración, síntesis de proteínas y movilización de nutrientes de reserva, y 3) el alargamiento del embrión y rompimiento de los tegumentos, a través del cual ocurre la salida de la radícula (Bacchetta, *et al.*, 2008; Suárez, y Melgarejo, 2010).

c. **Factores que inciden en la germinación.** Existen factores internos y externos que influyen en el proceso de germinación y sus fases sucesivas. Dentro de los factores internos se encuentra la viabilidad del embrión y madurez de la semilla, la cantidad y la calidad de los tejidos de reserva de nutrientes y la dormancia o latencia. Por otro lado, dentro de los factores externos se encuentran el grosor de la testa y los factores ambientales como la humedad, disponibilidad de oxígeno (Bacchetta, *et al.*, 2008;

Suárez, y Melgarejo, 2010), luz (Vázquez-Yanes *et al.*, 1990; Baskin y Baskin 1998; Kyereh *et al.* 1999; Pons 2000; Daws *et al.* 2002) y temperatura (Bell *et al.* 1995; Baskin y Baskin 1998; Probert 2000).

La humedad permite la activación del metabolismo para movilizar las sustancias nutritivas del endospermo hasta que la plántula sea fotosintética. Además, la rehidratación rompe los tegumentos para permitir el crecimiento de la radícula. El requerimiento de agua varía según la especie, y no debe ser superada, ya que de ser así se inhibirá la germinación. De igual forma si los tegumentos de la semilla son impermeables, no germinará hasta que esta impermeabilidad desaparezca (Bacchetta, *et al.*, 2008). La temperatura es otro factor que influye sobre la velocidad de las reacciones bioquímicas del proceso de germinación. Por lo tanto, afecta el porcentaje de germinación, la tasa de absorción de agua y de germinación, la velocidad de reacciones enzimáticas y el transporte de sustancias nutritivas de reserva (Probert, 2000). Este factor también varía según la especie y de no ser la adecuada puede inducir latencia secundaria. La disponibilidad de oxígeno también es indispensable en el proceso de germinación, y aunque los requerimientos varían según la especie, se sabe que plantas acuáticas necesitan menor concentración de oxígeno en comparación a las terrestres. Por último, pero no menos importante, la luz también favorece la germinación en semillas con fotosensibilidad positiva. Por lo tanto, el fotoperíodo y el tipo de luz son importantes en la germinación (Bacchetta, *et al.*, 2008).

2. Latencia y problemas de germinación

a. Definición de latencia y sus causas. La latencia, dormición o dormancia de las semillas, es una característica genética de supervivencia. Les permite a las semillas intactas y viables retrasar la germinación y sobrevivir hasta que las condiciones ambientales sean favorables para germinar. La latencia puede incluso impedir que las semillas germinen bajo condiciones ambientales normales que sin dormancia serían favorables para que una semilla germine (Coopeland y McDonald 1995; Baskin y Baskin, 2004; Finch y Leubner, 2006; Bewley *et al.*, 2013, Varela y Arana, 2010; Baskin y Baskin, 2014). La latencia puede ser causada por barreras físicas (factores

exógenos) o morfológicas y fisiológicas (factores endógenos), que no permiten la germinación. Cualquiera de estos factores se conoce como dormancia primaria. Sin embargo, la latencia también puede ser el resultado de la inactividad, conocido como dormancia secundaria, en donde las semillas no tienen barreras físicas ni morfofisiológicas, pero encuentran condiciones de temperatura, humedad, luz, etc. que inducen dormancia. En este caso, solo germinan cuando las condiciones de dichos factores son favorables. Por lo tanto, el fenómeno de latencia es afectado tanto por el ambiente, como por las hormonas de la planta (Baskin y Baskin, 1989; Thompson, 2000; Baskin y Baskin, 2004; Suárez, y Melgarejo, 2010; Dalling *et al.*, 2011; Baskin y Baskin 2014; Vásquez *et al.*, 2019).

b. Latencia exógena. La latencia exógena puede ser física, mecánica o química y se debe a que las semillas poseen en la parte exterior una capa impermeable al agua, conocida como “testa”. La testa puede causar latencia física cuando actúa como una barrera resistente a la emergencia de las plántulas y al ser impermeable puede preservar las semillas con bajo contenido de humedad. Por lo que la testa debe debilitarse para que la humedad entre en contacto con el embrión y dar inicio al proceso de geminación. La testa también puede ser demasiado dura, lo que impide que el embrión se expanda durante la germinación, causando latencia mecánica o bien pueden acumularse sustancias químicas inhibitoras de la germinación ya sea en el fruto o en la cubierta de las semillas induciendo latencia química (Baskin y Baskin, 2004; Suárez, y Melgarejo, 2010; Varela y Arana, 2010).

c. Latencia endógena. La latencia o dormancia endógena, es inherente a características internas de las semillas. Esto puede ser por embriones rudimentarios (pro-embriónes embebidos en un endosperma al momento de la maduración del fruto), los cuales son incapaces de germinar después del proceso de dispersión y maduran días o semanas después de dispersados. También puede ser por inhibición metabólica causada por compuestos presentes en las semillas, los cuales inhiben vías metabólicas específicas (Coopeland y McDonald, 1995; Varela y Arana, 2010). Un ejemplo de ello es la presencia de cianuro en ciertas semillas, que inhibe la geminación mediante el bloqueo de la cadena de transporte de electrones en la respiración (Coopeland y McDonald, 1995). También puede ser causada por inhibición osmótica inducida por

sustancias con alta presión osmótica que inhiben el proceso de germinación (Coopeland y McDonald 1995; Varela y Arana, 2010; Baskin y Baskin, 2014). En algunas especies, las semillas pueden tener una combinación de dormancia exógena y endógena, es decir una combinación de latencia física además de latencia fisiológica. Por ejemplo, semillas con testa impermeable al agua y un embrión fisiológicamente inactivo (Baskin y Baskin, 2004; Baskin y Baskin, 2014).

3. Tratamientos pre-germinativos

Los tratamientos pre-germinativos son procedimientos que permiten romper la latencia de semillas que en condiciones naturales no tienen la capacidad de germinar, hasta que las condiciones del medio sean adecuadas (Donoso, 1993; Arnold, 1996). Existen diferentes tipos de tratamientos pre-germinativos (Varela y Arana, 2010), dependiendo del tipo de latencia que presenten las semillas. Los métodos de estratificación son utilizados para romper la latencia fisiológica y los de escarificación para romper la latencia física (Contreras *et al.*, 2016; Patiño *et al.*, 1983; Hartmann y Kester, 1977; Hartmann y Kester, 1988; Donoso, 1993). Independientemente del tipo de tratamiento pre-germinativo, el objetivo es hacer que las semillas germinen de forma rápida y uniforme (Buch *et al.*, 1997; Contreras *et al.*, 2016).

a. Tratamientos pre-germinativos de estratificación. Consisten en colocar las semillas entre diferentes estratos que conserven algún grado de humedad a temperaturas específicas de frío o calor (Patiño *et al.*, 1983; Hartmann y Kester, 1977; Hartmann y Kester, 1988; Donoso, 1993; Hartmann y Kester 2002). En la estratificación en frío, se colocan las semillas a temperaturas bajas entre los 4 a 10°C, durante 20 a 60 días. Esto con la finalidad de asemejar las condiciones de invierno, por lo que el período puede extenderse a los 120 días dependiendo de la especie (Ordoñez, 1987; Willan, 1991; García, 1991; Varela y Arana, 2010). El tratamiento de estratificación cálida consiste en someter las semillas a temperaturas entre los 22 a 30°C durante 30 a 60 días (Patiño *et al.*, 1983; Hartmann y Kester, 1988; Figueroa y Jaksic, 2004).

b. Tratamientos pre-germinativos de escarificación. Este tipo de tratamientos, son utilizado en semillas con latencia física, causada por una cubierta que impide la

entrada de agua y por ende su germinación (Varela y Arana, 2010). Por lo tanto, la escarificación es un proceso que rompe, altera o ablanda la testa o cubierta seminal de la semilla, para hacerla permeable a los gases y al agua sin dañar el endospermo y el embrión (Padilla, 1995; Azcón y Talón 2008; Varela y Arana, 2010). De esta forma, la escarificación permite la adecuada imbibición de la semilla, promoviendo una germinación rápida y uniforme (Contreras *et al.*, 2016). El rompimiento o alteración de la testa puede ser mecánica, química o térmica (Varela y Arana, 2010).

La escarificación mecánica consiste en raspar la testa de la semilla con lija (puede ser arena o grava) o bien quebrarla con martillo o pinzas o utilizar cautín para punzar la testa (Goor y Barney, 1976; Willan, 1991; García, 1991; Wantland, 2009). Cualquiera que sea el método mecánico que se utilice, debe evitarse remover la testa por completo para no dejar expuesto el endospermo o dañar el embrión (Wantland, 2009).

La escarificación química consiste en sumergir las semillas en sustancias químicas corrosivas, durante determinados períodos de tiempo, que pueden durar entre 15 minutos a 2 horas, dependiendo de la especie. Para ello, las semillas al estar secas se vierten en recipientes no metálicos y se agrega ácido concentrado (usualmente ácido sulfúrico o ácido clorhídrico) Godínez y Flores, 1999; Baskin y Baskin, 2004; Varela y Arana, 2010; Soriano *et al.*, 2014). La proporción es una parte de semillas por dos de ácido y durante el tratamiento, las semillas deben agitarse de forma regular para uniformizar el tratamiento. Al finalizar el tiempo de tratamiento, las semillas se escurren y se enjuagan con agua para eliminar cualquier rastro de ácido que pueda dañar el embrión (Varela y Arana, 2010).

Por último, la escarificación térmica, consiste en sumergir las semillas en agua para remojarlas y de esta forma ablandar la testa. El agua puede estar a temperatura ambiente o puede ser agua caliente, y el tiempo de inmersión puede durar entre 12 hasta 72 horas dependiendo de la especie. En el caso de utilizar agua caliente, las semillas se sumergen en agua hirviendo, se retira de la fuente de calor y se dejan enfriar hasta que alcanzan la temperatura ambiente, que puede durar 12 horas aproximadamente (Patiño

et al., 1983; Hartmann y Kester, 1988; Willan, 1991; Godínez y Flores, 1999; Sánchez-Paz y Ramírez-Villalobos, 2006).

4. Importancia de los tratamientos pre-germinativos para la restauración del bosque seco

a. El bosque seco. El bosque seco se caracteriza por una marcada estacionalidad de la precipitación pluvial (Espinosa *et al.*, 2012; Ariano-Sánchez, 2018). Generalmente la precipitación media anual de estas zonas es de 1000 mm, con un máximo de 1,600 mm y un mínimo de 300 mm (CONAP-ZOOTROPIC-CECON-TNC, 2011; Ariano-Sánchez, 2018). Durante 5 a 6 meses (de noviembre a abril), la precipitación mensual es menor a los 100 mm, siendo esta la época seca (Ariano-Sánchez, 2017a). La temperatura media anual oscila entre los 19 a 26 °C, y aunque predomina el ambiente cálido, puede variar dependiendo si el bosque se encuentra en tierras bajas o medias (Ariano-Sánchez, 2018). Los patrones de precipitación de estos bosques crean un déficit hídrico (Gotsch *et al.*, 2010; Lima y Rodal, 2010), que determina la estructura y fenología característica de la vegetación arbórea de estos bosques. Durante la época seca pierden las hojas y retoñan durante la época lluviosa (Espinosa *et al.*, 2012; Berdugo-Lattke y Rangel-Ch, 2015; Ariano-Sánchez, 2017a).

En Guatemala los bosques secos se encuentran distribuidos por debajo de los 1,650 msnm y constituyen una extensión de 4,001 km², lo que representa un 3.67% del área del país (Ariano-Sánchez, 2018). Están ubicados en 16 departamentos (Baja Verapaz, Chimaltenango, Chiquimula, El Progreso, Escuintla, Guatemala, Huehuetenango, Izabal, Jalapa, Jutiapa, Quiché, Retalhuleu, San Marcos, Santa Rosa, Suchitepéquez y Zacapa (CONAP-ZOOTROPIC-CECON-TNC, 2011; Valdez-Porón, 2012; IARNA, 2018). A lo largo de su distribución, los bosques secos en Guatemala presentan principalmente 2 tipos de asociaciones vegetales: el matorral espinoso y el bosque seco alto (Ariano-Sánchez, 2017a). El matorral espinoso se caracteriza por la presencia de cactus columnares y arbustos que no superan los 6 metros de altura y diámetros < 12 cm (Véliz y Méndez, 2008; Ariano-Sánchez, 2017a; Ariano-Sánchez, 2018). Especies típicas de este tipo de vegetación son el palo de jiote (*Bursera simaruba*), el guayacán (*Guaiacum sanctum*), la zarza blanca (*Mimosa platycarpa*) y cactus de los géneros

Acanthocereus, *Mamillaria*, *Melocactus*, *Nopalea*, *Opuntia*, *Pereskia*, *Pilosocereus* y *Stenocereus* (Véliz y Méndez, 2008; IARNA, 2018). Por el contrario, los bosques secos altos se encuentran conformados por árboles con diámetros > 12 cm y alturas de hasta 25 metros. Especies características de este tipo de vegetación son el roble (*Bucida macrostachya*) el copal (*Bursera excelsa*), la caoba (*Swietenia humilis*) y el cedro (*Cedrela odorata*). También presentan una abundancia de bromelias terrestres como la piña de coche (*Hechtia guatemalensis*), la piñuela (*Bromelia hemisphaerica*) y la muta (*Bromelia pinguin*) (Ariano-Sánchez, 2017a; Ariano-Sánchez, 2018).

b. Amenazas del bosque seco. Históricamente, debido a sus características climáticas y edáficas, los bosques secos han albergado poblaciones humanas (Tosi y Voertman, 1964; Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005). Por lo que, el establecimiento de asentamientos humanos, el avance de la frontera agrícola y pastos para ganadería son de las principales amenazas para la biodiversidad de los bosques secos (Maass *et al.*, 1995; Dobson *et al.* 1997). Esto debido a que generalmente están ubicados en áreas con suelos aptos para agricultura y ganadería (Kalacska *et al.*, 2005). Sin embargo, la deforestación y el cambio climático también son importantes amenazas para el bosque seco (Miles *et al.*, 2006; Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010).

Inicialmente representaban el 42% de la vegetación tropical del mundo (Murphy y Lugo, 1995), sin embargo, en la actualidad, su extensión se ha reducido a menos del 0.1% de su extensión original (Miles *et al.* 2006). Es por ello que actualmente, en comparación a los bosques húmedos tropicales, los bosques secos se encuentran más amenazados y menos protegidos (Gerhardt, 1993).

A nivel mundial son los bosques tropicales más fragmentados y degradados (Miles *et al.* 2006) y de acuerdo con Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa (2010) en Centro América, el 72% de su cobertura se ha reducido debido a la agricultura y la urbanización. A pesar de ello, menos de 0.1% permanecen en algún estado de conservación y menos del 2% de estos bosques permanecen casi intactos (Janzen, 1988a; Sabagal, 1992). Por lo tanto, debido al alto grado de perturbación, los remanentes de bosque seco de Centro América presentan un paisaje en mosaico de

etapas sucesivas (Janzen, 1986; Janzen 1988a; Janzen, 1988b; Janzen, 1988c; Janzen, 1988d; Arroyo-Mora, 2002).

Guatemala es uno de los países centroamericanos con menor extensión de bosque seco en comparación a otros países. Sumado a esto, los bosques secos del país han sufrido un alto grado de perturbación, causando una pérdida del 86% de su cobertura (Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010). Además, es uno de los países de América con una mayor proporción de fragmentos de bosque seco de tamaño crítico (Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010). Esto debido a que los remanentes se encuentran altamente fragmentados, pero aún quedan parches relativamente extensos y continuos (Ariano-Sánchez, 2018), siendo la región semiárida del valle del Motagua la más extensa y conocida (CONAP-ZOOTROPIC-CECON-TNC, 2011). Sin embargo, en los últimos años se han extendido las áreas de cultivo a áreas de cobertura natural (Ariano-Sánchez, 2018). Dentro de los cultivos extensivos que han incrementado significativamente en estas regiones son el melón y la sandía (Secaira, 2008; Ariano-Sánchez, 2018).

c. Restauración del bosque seco. Existen diferentes definiciones sobre la restauración forestal (Maginnis y Jackson, 2002; SER, 2004; OIMT y UICN, 2005; UICN y WRI, 2014). Sin embargo, todas tienen como objetivo común el restablecimiento de la funcionalidad e integridad ecológica y el mejoramiento del bienestar humano en paisajes forestales degradados. Para Guatemala según La Estrategia Nacional de Restauración del Paisaje Forestal (2015), restauración forestal es “El proceso orientado a recuperar, mantener y optimizar la diversidad biológica y el flujo de bienes y servicios ecosistémicos para el desarrollo, ajustado al sistema de valores y creencias locales e implementadas con un enfoque intersectorial”. De igual forma, dicha estrategia reconoce a los servicios ecosistémicos como “todos aquellos beneficios prestados por los bosques y sistemas productivos al hombre”.

Dentro de los ecosistemas prioritarios para restauración se encuentran los bosques secos, por ser los bosques tropicales más amenazados y degradados a nivel mundial (Janzen, 1988a; Dinerstein *et al.* 1995; Hoekstra *et al.*, 2005; Portillo-Quintero y

Sánchez-Azofeifa, 2010; Dirzo *et al.*, 2011; Newton y Tejedor, 2011; Griscom y Ashton, 2011; Balvanera, 2012). Para lograrlo, la restauración de estos bosques debe ser específica, ya que sus características difieren entre sí y respecto a otros ecosistemas (Vieira y Scariot, 2006). Sin embargo, es muy poco lo que se conoce sobre las técnicas y los enfoques apropiados para la restauración de bosques secos especialmente en América Latina. Esto debido a que la mayoría de información sobre restauración y manejo forestal están enfocados a los bosques húmedos (Miles *et al.*, 2006; Newton, 2008; Griscom y Ashton, 2011).

Dentro de los estudios realizados en el bosque seco, se ha demostrado que estos ecosistemas tienen la capacidad de regenerarse debido que las especies pueden rebrotar después de la tala. Además, por la capacidad de los árboles remanentes de proporcionar semillas y modular la germinación y el establecimiento de plántulas por la humedad y microclima que proporcionan. Por lo que para sitios que no han sido excesivamente degradados y aún presentan algunos árboles y rebrotes, la restauración pasiva es un método apropiado, ya que se recuperan más rápido (Janzen, 1988d; Lamb y Gilmour, 2003; Vieira y Scariot, 2006; Williams-Linera y Álvarez-Aquino, 2010; Holl y Aide, 2011; Álvarez-Aquino y Williams-Linera, 2012). Sin embargo, también se ha demostrado que los bosques que han sufrido perturbaciones durante largos periodos de tiempo mantendrán una baja diversidad y carecerán de grupos funcionales. Por lo tanto, para zonas que han perdido casi toda la cobertura de vegetación nativa y el suelo y vegetación han cambiado su estructura y función, las plantaciones activas son la única opción para iniciar o acelerar el proceso sucesional y lograr su restauración (Gerhardt y Hytterborn, 1992; Lamb y Gilmour, 2003; Vieira y Scariot, 2006; Sampaio *et al.*, 2007; Prach y Hobbs, 2008; Griscom *et al.*, 2009; Griscom y Ashton, 2011). El problema es que, durante mucho tiempo, las acciones de restauración de los bosques secos han sido la reforestación con especies exóticas de rápido crecimiento y fácil propagación e interés comercial. Esto ha tenido efectos negativos a largo plazo en la hidrología y fertilidad del suelo, así como en la biodiversidad por el reemplazo de especies nativas y pérdida de nichos para la fauna (Godínez y Flores, 1999; Newton, 2008; Segura, 2005). Es por ello que, el uso de especies nativas es importante en las acciones de restauración para recuperar la estructura y función de estos ecosistemas (Cardona, 2008; Barrera, *et al.*, 2010).

Se ha demostrado que la plantación activa de especies nativas de sucesión tardía puede dar estructura y diversidad a los bosques secos degradados (Griscom y Ashton, 2011). De igual forma el enriquecimiento con especies heliófilas y frutos grandes puede formar nuevas islas de regeneración bajo sus copas (Padilla y Pugnaire, 2006). Plantar especies fijadoras de nitrógeno y de rápido crecimiento pueden ayudar a mejorar el estado del suelo y brindar sombra ligera útil para moderar el clima bajo sus copas, promoviendo el establecimiento y regeneración de especies de sucesión tardía (Griscom y Ashton, 2011). Por lo tanto, la identificación y propagación de especies nativas con potencial para restauración del bosque seco es una fase previa para lograr una restauración exitosa (Vargas y Lozano, 2008).

Para Guatemala, se han identificado 26 especies forestales nativas, que son de prioridad para su uso en estrategias de restauración activa del paisaje forestal en el bosque seco (Ariano-Sánchez, 2018; INAB, 2018). Dichas especies fueron escogidas de acuerdo con los lineamientos y parámetros de PROBOSQUE para la restauración del bosque seco. Por lo que estas especies pueden utilizarse para enriquecer bosques secundarios o degradados, como cercos vivos, como plantas nodrizas en núcleos de regeneración natural, restauración del suelo, como control biológico de malezas en etapas de sucesión pionera y en sistemas agroforestales y silvopastoriles (Ariano-Sánchez, 2018).

d. Aplicación de tratamientos pre-germinativos en semillas del bosque seco como herramienta de restauración. Como se mencionó anteriormente, para la restauración de áreas degradadas se busca utilizar especies nativas, por estar adaptadas a las condiciones de la región. Además, permiten aprovechar procesos sucesionales naturales que ayudan al restablecimiento de la vegetación original, lo cual contribuye al éxito de los proyectos de restauración (Vázquez-Yanes *et al.*, 1995; Cervantes *et al.*, 2001; Vargas y Lozano, 2008). Dichos proyectos de restauración introducen al campo individuos obtenidos de semillas. Este tipo de propagación contribuye al mantenimiento e incremento de variabilidad genética. Sin embargo, puede ser necesario aplicar tratamientos pre-germinativos a las semillas utilizadas para acelerar e incrementar su germinación (Baskin y Baskin, 1998), los cuales en muchos casos se desconocen. Esta falta de información para germinar las semillas limita la utilización y propagación de

especies nativas con valor para restauración (González y Camacho, 1994; Martínez-Pérez *et al.*, 2006).

Para el bosque seco se sabe que un 67% de especies nativas producen semillas con dormancia física y un 23% presentan dormancia fisiológica. Esta adaptación mantiene viables las semillas durante largos periodos de tiempo, principalmente la época seca (Pritchard *et al.*, 2004). Se ha observado que muchas de dichas especies, producen semillas maduras con embriones poco desarrollados y abundante endospermo, lo cual puede conferir latencia morfológica o morfofisiológica a las semillas (Romero-Saritama y Pérez-Ruiz 2016a). Por lo que se debe esperar algún tiempo para permitir la maduración del embrión antes de la germinación (Martin, 1946; Nikolaeva 1999; Forbis y Diggle 2001). Sin embargo, también hay especies con embriones bien desarrollados que pueden tener otros mecanismos de latencia ya sea física o fisiológica (Baskin y Baskin, 2014). Esto hace necesario el uso de tratamientos pre-germinativos antes de sembrar las semillas (Romero-Saritama y Pérez-Ruiz 2016b).

Debido a que la latencia de semillas del bosque seco puede ser un problema para la producción de plántulas, los tratamientos pre-germinativos son de gran relevancia para mejorar la producción de plántulas con fines de restauración. La aplicación de dichos tratamientos puede eliminar la latencia y promover la germinación (Baskin y Baskin 1998, Khurana y Singh 2001; Varela y Arana, 2010). Sin embargo, los tratamientos pre-germinativos deben ser específicos para cada especie (Ulian *et al.*, 2008; Latsague *et al.*, 2010; Viveros-Viveros *et al.*, 2015) y es muy poco lo que se conoce sobre la germinación y propagación de especies del bosque seco (Godínez y Flores, 1999; Martínez-Pérez *et al.*, 2006; Vargas-Figueroa *et al.*, 2015), inclusive para la propagación de especies con valor para la restauración (González y Camacho, 1994). Esto hace necesario aumentar y documentar la cantidad de estudios de tratamientos pre-germinativos en especies del bosque seco, especialmente las que tienen potencial para restauración, así mejorar los planes de propagación, introducción y reintroducción de especies para la restauración de dichos bosques. De esta forma puede lograrse un proceso de restauración más económico y rápido (Bradshaw, 1987; Khurana y Singh, 2001; Quesada *et al.*, 2009; Acero-Nitola y Cortés-Pérez, 2014; Vargas-Figueroa *et al.*, 2015).

B. Justificación

Los bosques secos de Guatemala han perdido un 86% de su cobertura natural por causas antropogénicas (Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010) y actualmente se encuentran altamente fragmentados y degradados (Ariano-Sánchez, 2018). Además, Guatemala es uno de los países de América con mayor cantidad de fragmentos de bosque seco de tamaño crítico (Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010). Por lo tanto, es necesario implementar estrategias de restauración de dichos bosques, ya que presentan una alta diversidad de especies animales y vegetales (Muñoz *et al.*, 2014). Muchas de las especies que albergan estos bosques son endémicas y están altamente amenazadas, como el lagarto escorpión (*Heloderma charlesbogerti*), el escorpión negro (*H. alvarezii*), la iguana de órgano (*Ctenosaura palearis*) y la culebrita de bosque seco (*Rhadinella xerophila*) (Acevedo 2006; Ariano-Sánchez y Campbell, 2018; Ariano-Sánchez *et al.*, 2020). Además, proveen una gran cantidad de servicios ecosistémicos a las poblaciones que habitan dichos bosques (Barrance *et al.* 2009; Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010).

Para lograr la restauración de los bosques secos altamente degradados y hacerlo en el menor tiempo posible, es necesario realizar plantaciones activas (Griscom y Ashton, 2011) con especies forestales nativas (Vargas y Lozano, 2008; Cardona, 2008; Barrera, *et al.*, 2010). Dichas plantaciones deben realizarse utilizando individuos obtenidos a partir de semillas para mantener la variabilidad genética (Latsague *et al.*, 2010). Para ello es necesario tener una producción masiva de plántulas (Ivetic y Novikov, 2019). Sin embargo, más del 60% de las especies nativas del bosque seco producen semillas dormantes (Baskin y Baskin, 1998; Pritchard *et al.*, 2004), lo que dificulta la obtención de plántulas. Esto hace necesario realizar tratamientos pre-germinativos para romper la latencia y lograr la propagación de dichas especies (Baskin y Baskin, 1998; Romero-Saritama y Pérez-Ruiz 2016b).

Los tratamientos pre-germinativos implementados deben ser específicos para cada especie (Ulian *et al.*, 2008; Latsague *et al.*, 2010; Viveros-Viveros *et al.*, 2015). Sin embargo, es muy poco lo que se conoce sobre la germinación y propagación de

especies nativas del bosque seco (Godínez y Flores, 1999; Martínez-Pérez *et al.*, 2006; Vargas-Figueroa *et al.*, 2015), inclusive para las especies con valor para restauración (González y Camacho, 1994). Para Guatemala se han identificado 26 especies de prioridad para restaurar el bosque seco (Ariano-Sánchez, 2018; INAB, 2018), para las cuales en su mayoría se conocen tratamientos pre-germinativos que mejoran su germinación. Sin embargo, dentro de este listado de especies hay muchas para las cuales aún no se han documentado tratamientos pre-germinativos que mejoren los porcentajes de germinación. Dentro de dichas especies se encuentran el chaperno (*Lonchocarpus minimiflorus*) y el tecomasuche (*Cochlospermum vitifolium*) (INAB, 2018).

Determinar el efecto de diferentes tratamientos pre-germinativos sobre las semillas de *L. minimiflorus* y *C. vitifolium* es importante para identificar los tratamientos más eficientes y fáciles para aumentar los porcentajes de semillas germinadas de dichas especies, y lograr una producción rápida y masiva de plántulas en viveros. Así mejorar los planes de propagación, introducción y reintroducción de estas especies, para restaurar los bosques secos de Guatemala. De igual forma lograr un proceso de restauración más económico, rápido y eficiente.

C. Objetivos

1. Objetivo general

- Comparar el efecto de tres tratamientos pre-germinativos de escarificación: químico con ácido sulfúrico, térmico con agua caliente y mecánico por desgaste; sobre los patrones de germinación de semillas de chaperno (*Lonchocarpus minimiflorus*) y tecomasuche (*Cochlospermum vitifolium*).

2. Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje de germinación de semillas de chaperno (*Lonchocarpus minimiflorus*) y tecomasuche (*Cochlospermum vitifolium*), después de la aplicación de cada tratamiento pre-germinativo.
- Determinar el desarrollo de las plántulas de chaperno (*Lonchocarpus minimiflorus*) y tecomasuche (*Cochlospermum vitifolium*), después de la aplicación de cada tratamiento pre-germinativo.
- Determinar la altura de las plántulas de chaperno (*Lonchocarpus minimiflorus*) y tecomasuche (*Cochlospermum vitifolium*) después de la aplicación de cada tratamiento pre-germinativo.

D. Hipótesis de trabajo

1. Hipótesis principal

- El porcentaje de germinación, el desarrollo y la altura de las plántulas se ve afectado por los tratamientos pre-germinativos.

2. Predicciones

- El uso de agua caliente como tratamiento pre-germinativo será el más eficiente en cuanto al porcentaje de germinación de las semillas y el tratamiento menos eficiente será el químico con ácido sulfúrico.
- El uso de agua caliente como tratamiento pre-germinativo será el más eficiente en cuanto al desarrollo de las plántulas y el tratamiento menos eficiente será el químico con ácido sulfúrico.
- El uso de agua caliente como tratamiento pre-germinativo será el más eficiente en cuanto a la altura de las plántulas y el tratamiento menos eficiente será el químico con ácido sulfúrico.

II. MÉTODOS

A. Área de estudio

La colecta de semillas la realicé en la Reserva Natural para la Conservación del Heloderma y el Bosque Seco del Valle del Motagua (RNH). La RNH está ubicada en la aldea El Arenal en el municipio de Cabañas, Zacapa, a 124 km de la ciudad capital y es administrada por la ONG Zootropic. Posee una cobertura forestal de bosque estacionalmente seco de 128 ha, de los cuales 58 ha, son de los bosque secos mejor conservados. La época seca es entre noviembre a abril y la época lluviosa entre junio a octubre. Comprende altitudes entre los 500 y 700 msnm, con una humedad relativa promedio de 60 a 80%, y una temperatura mínima promedio de 17.9 °C y la máxima de 34.1 °C (Ariano-Sánchez y Salazar, 2007; Ariano-Sánchez, 2017b). La topografía es bastante quebrada con pendientes entre 35 a 50%, cubierta por bosque seco y matorral espinoso. Dentro de la RNH se han identificado más de 125 especies forestales, incluidos árboles que alcanzan los 25 metros. Dentro de las especies forestales más importantes destacan el yaje (*Leucaena collinsii*), roble (*Bucida macrostachya*), quebracho (*Lysiloma divaricatum*) y cedro (*Cedrela odorata*) (Ariano-Sánchez, 2017b). El chaperno (*Lonchocarpus minimiflorus*) y el tecomasuche (*Cochlospermum vitifolium*) también son especies importantes y representativas dentro de la reserva (Ariano-Sánchez, 2017b; Ariano-Sánchez, 2018).

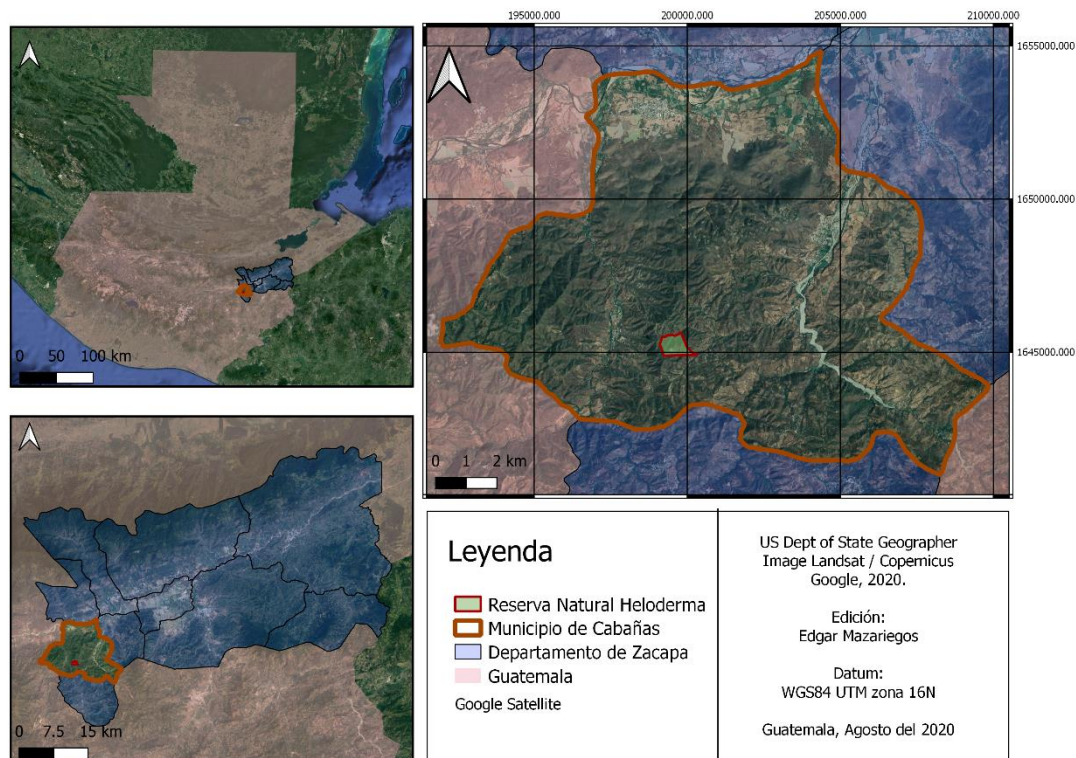


FIGURA 1. Mapa de la Reserva Natural para la Conservación del Heloderma y el Bosque Seco del Valle del Motagua (RNH).

B. Especies de estudio

Chaperno (*Lonchocarpus minimiflorus*)

Lonchocarpus minimiflorus Donn. Sm. conocido comúnmente como chaperno o chaperno negro, es una especie de árbol perteneciente a la familia Fabaceae (Cordero y Boshier, 2003; Armas y Meneces-Espinales, 2007). Está distribuido desde México, toda Centro América hasta Panamá y puede encontrarse desde el nivel del mar hasta los 1,300 msnm. En Guatemala se encuentra distribuido entre los 150 y 850 msnm, en los departamentos de Zacapa, Chiquimula, Jutiapa, Santa Rosa, Guatemala, Sololá y Quiché (Standley y Steyermark, 1956). Esta especie es común durante las etapas sucesionales tempranas de los bosques secos tropicales secundarios y puede medir alrededor de 10 m de altura y 16 cm de diámetro. Su corteza es lisa de color pálido o blanco. Posee hojas compuestas, alternas, imparipinadas que pueden medir de 7 a 15 cm de longitud y generalmente tienen de 7 a 11 pares de folíolos, siendo el primer par de hojas, más pequeñas y redondeadas que el resto (Cordero y Boshier, 2003; Silva *et al.*, 2008). Se reproduce al final de la estación húmeda, en la cual produce flores de

color blanco o púrpura, dispuestas en inflorescencia. Los frutos son legumbres indehiscentes de 4-6 cm de largo, son producidos durante la época seca y pueden contener una o dos semillas de 6 mm de largo, por fruto (Cordero y Boshier, 2003; Standley y Steyermark, 1956). La propagación y regeneración de esta especie se realiza principalmente por semilla y por rebrote. Esta especie presenta una alta capacidad de rebrote y un crecimiento rápido mediante esta medida de silvicultura (Cordero y Boshier, 2003; Silva *et al.*, 2008).



FIGURA 2. Inflorescencia de Chaperno (*Lonchocarpus minimiflorus*)

(Fuente: Fotografía tomada por Indiana Coronado González)

Tecomasuche (*Cochlospermum vitifolium*)

Cochlospermum vitifolium (Willd.) Spreng, conocido comúnmente como tecomasuche, tecomatillo o pumpunjuche, es un árbol deciduo perteneciente a la familia Bixaceae, que está distribuido desde México hasta el norte de Sudamérica (Standley y Williams, 1956; Fallas-Cedeño, 2010). En Guatemala se encuentra distribuido en alturas menores a los 1,000 metros, en los departamentos de Petén, alta Verapaz, Baja Verapaz, Izabal, Zacapa, El Progreso, Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla, Suchitepéquez,

Retalhuleu, San Marcos y Huehuetenango (Standley y Williams, 1956). Esta especie es muy común durante las etapas sucesionales tempranas de bosques secos tropicales secundarios, en donde puede encontrarse como árboles pequeños de 5 m, pero puede llegar a medir hasta 20-25 metros de altura en bosques maduros. El tallo es succulento y tiene hojas palmaticompuestas, se reproduce durante la época seca, en la cual bota todas las hojas y produce flores actinomorfas de color amarillo que pueden medir entre 8-12cm (Standley y Williams, 1956; Cedano y Villaseñor, 2004; Fallas-Cedeño, 2010). Generalmente, cada árbol produce cerca de 25 flores al día durante la época de floración (Roubik *et al.* 1982). Los frutos son cápsulas dehiscentes con forma ovada de 6-8 cm de largo. Son de color verde y al madurar se tornan de color café y se abren en 5 valvas. Cada fruto produce entre 100 a 300 semillas de color negro, de aproximadamente 0.5 cm de diámetro, cubiertas de abundante masa sedosa de color blanco, que les permite dispersarse por viento (Roubik *et al.* 1982; Bawa y Frankie, 1983; Rodríguez *et al.*, 2009). A pesar de que la reproducción de *C. vitifolium* sea generalmente en la época seca, no presenta reproducción anual y existe variación en la frecuencia de reproducción entre individuos (Bullock, 1995). La propagación y regeneración de esta especie se realiza principalmente por semilla, pero también por esqueje (Cedano y Villaseñor, 2004).



FIGURA 3. Flores y frutos de Tecomasuche (*Cochlospermum vitifolium*)

(Fuente: Fotografía tomada por Jiichiro Yoshimoto)

C. Procedimientos

1. Colecta y preservación de semillas. Las semillas de ambas especies las colecté en marzo del 2020. Para ello, de cada una de las especies, colecté frutos maduros de árboles ubicados dentro de la reserva y en sus alrededores. Coloqué los frutos en bolsas plásticas previamente rotuladas. Por consiguiente, puse los frutos al sol para secarlos, y en el caso de *Cochlospermum vitifolium*, extraje las semillas del fruto luego de haberlos puesto a secar, para almacenarlas en bolsas de papel previamente rotuladas, dentro de la cuales agregué arroz para evitar que las semillas absorbieran humedad. En cuanto a *Lonchocarpus minimiflorus*, almacené las legumbres sin abrir, en bolsas de papel y les agregué arroz para evitar que absorbieran humedad. Las semillas y frutos permanecieron a temperatura ambiente y en oscuridad hasta comenzar con los experimentos pre-germinativos.

2. Tratamientos experimentales pre-germinativos

a. Prueba pre-germinativa de escarificación química con ácido. Para la escarificación química utilicé ácido sulfúrico al 98%, en el cual sumergí las semillas de ambas especies durante 10 minutos. Para ello, coloqué las semillas de cada especie en una gasa y las até formando una bolsa (una bolsa por especie). Luego de haber sumergido las semillas en ácido, las lavé con agua a temperatura ambiente, y las puse a secar en papel absorbente durante 3 horas. Las semillas de este tratamiento las sembré un día después haberlas escarificado.

b. Prueba pre-germinativa de escarificación mecánica por desgaste. Para este tratamiento removí parte de la testa de las semillas de cada especie, cerca del hilum mediante desgaste, utilizando lija. Lijé la testa de las semillas hasta ver el embrión expuesto y luego las sembré.

c. Prueba pre-germinativa de escarificación térmica con agua caliente. Para cada especie calenté un volumen de agua 3 veces mayor al volumen de las semillas, hasta que ebullera (punto de ebullición a 1,600 msnm). Luego coloqué las semillas en una gasa y la até formando una bolsa (una bolsa por especie). Al momento en que el agua ebulló, la retiré del fuego e inmediatamente vertí el agua en frascos de vidrio que contenían las bolsas de gasa con las semillas (un frasco para cada bolsa) y las dejé en el agua caliente durante 2 minutos. Luego procedí a secarlas con papel absorbente durante 3 horas para luego sembrar las semillas.

d. Control: semillas extraídas de los frutos y no escarificadas. Antes de la siembra, no apliqué ningún tratamiento pre-germinativo sobre las semillas en ambas especies.

3. Siembra de semillas. La siembra de las semillas la realicé el mismo día de realizados los tratamientos pre-germinativos (excepto las semillas escarificadas con ácido), utilizando bandejas de poliestireno. En cada una de ellas sembré 10 semillas procedentes del mismo tratamiento, lo que conformó la unidad experimental. Hice 20 repeticiones por tratamiento haciendo un total de 200 semillas por tratamiento por

especie. Sembré las semillas en arena estéril (arena hervida), a una profundidad de 1 centímetro del mismo sustrato y les apliqué 20 milímetros de agua a temperatura ambiente y previamente hervida.

4. Condiciones de germinación. Coloqué las bandejas de forma aleatoria dentro en un invernadero durante 42 días (Anexo 1). La temperatura mínima promedio dentro del invernadero fue de 20°C, y la máxima de 29 °C. Para medir la temperatura utilicé la aplicación Galaxy Sensors. El riego de las semillas lo inicié a partir de la siembra con 20 milímetros de agua y lo repetí a cada 48 horas.

5. Revisión y conteo de semillas germinadas. La revisión de semillas germinadas la realice durante 42 días, a cada 24 horas a partir de la siembra de semillas. Contabilicé las semillas germinadas en cada una de las bandejas. El criterio para considerar a una semilla germinada fue el desarrollo y emergencia de una radícula visible.

6. Medición del desarrollo y tamaño de las plántulas. Al finalizar los 42 días de germinación, contabilicé la cantidad de semillas que desarrollaron una plántula en cada unidad experimental de cada tratamiento por especie. El criterio que utilicé para evaluar el desarrollo de una plántula fue la presencia de cotiledones. Además, medí el tamaño en longitud de las plántulas germinadas en cada tratamiento (Anexo 2,3). Las mediciones de altura las tomé en milímetros, para lo cual utilicé un vernier.

7. Análisis estadístico. Para determinar el efecto de los tratamientos pre-germinativos sobre los porcentajes de germinación de las semillas de *L. minimiflorus* analicé un modelo de Poisson generalizado inflado de ceros, debido a que mi base de datos de esta especie presentaba una inflación de valores igual a 0 para esta variable. Para este modelo utilice el tratamiento pre-germinativo como variable predictora. Para *C. vitifolium* analicé un modelo lineal generalizado mixto (GLMM) con una distribución binomial y utilicé el tratamiento pre-germinativo como efecto fijo y cada bandeja como efecto aleatorio. Para comparar los tiempos de germinación de cada tratamiento realicé curvas de germinación acumulada. El efecto de los tratamientos

sobre la altura de las plántulas lo analicé con un modelo Tobit para cada especie, debido a que mi base de datos presentaba una inflación de valores igual a 0 para esta variable en ambas especies. Para este modelo utilice el tratamiento pre-germinativo como variable predictora. Utilicé la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar el efecto de los tratamientos pre-germinativos sobre el desarrollo normal de las plántulas. El nivel de significancia que utilicé fue de 95% ($\alpha = 0.05$). Todos los análisis los realicé en R Studio versión 4.0.2.

III. RESULTADOS

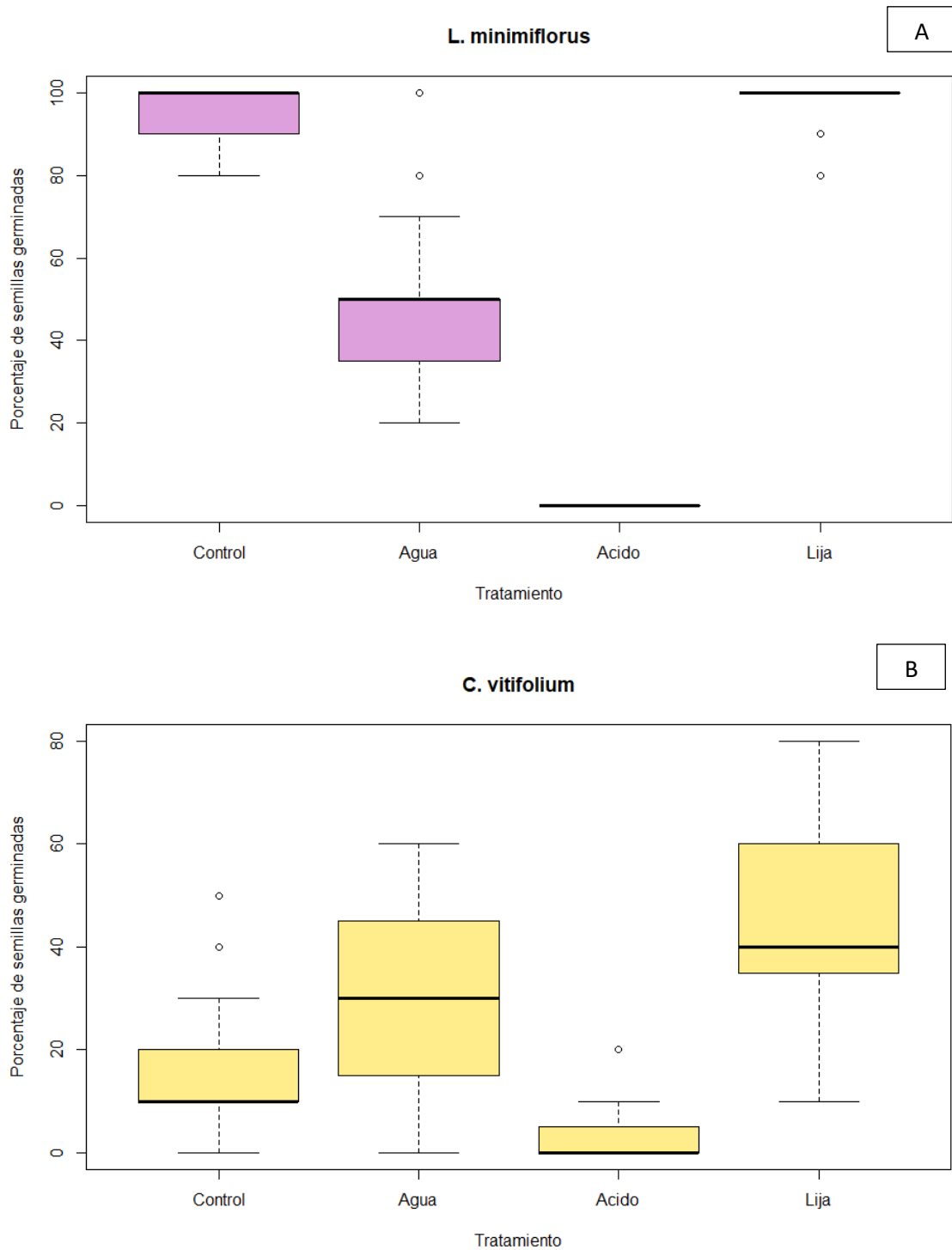


FIGURA 4. Diagramas de caja de los porcentaje de semillas germinadas de (A) *Lonchocarpus minimiflorus* y (B) *Cochlospermum vitifolium* bajo los tratamientos: control, semillas sumergidas en agua caliente, semillas sumergidas en ácido sulfúrico al 98% y semillas lijadas.

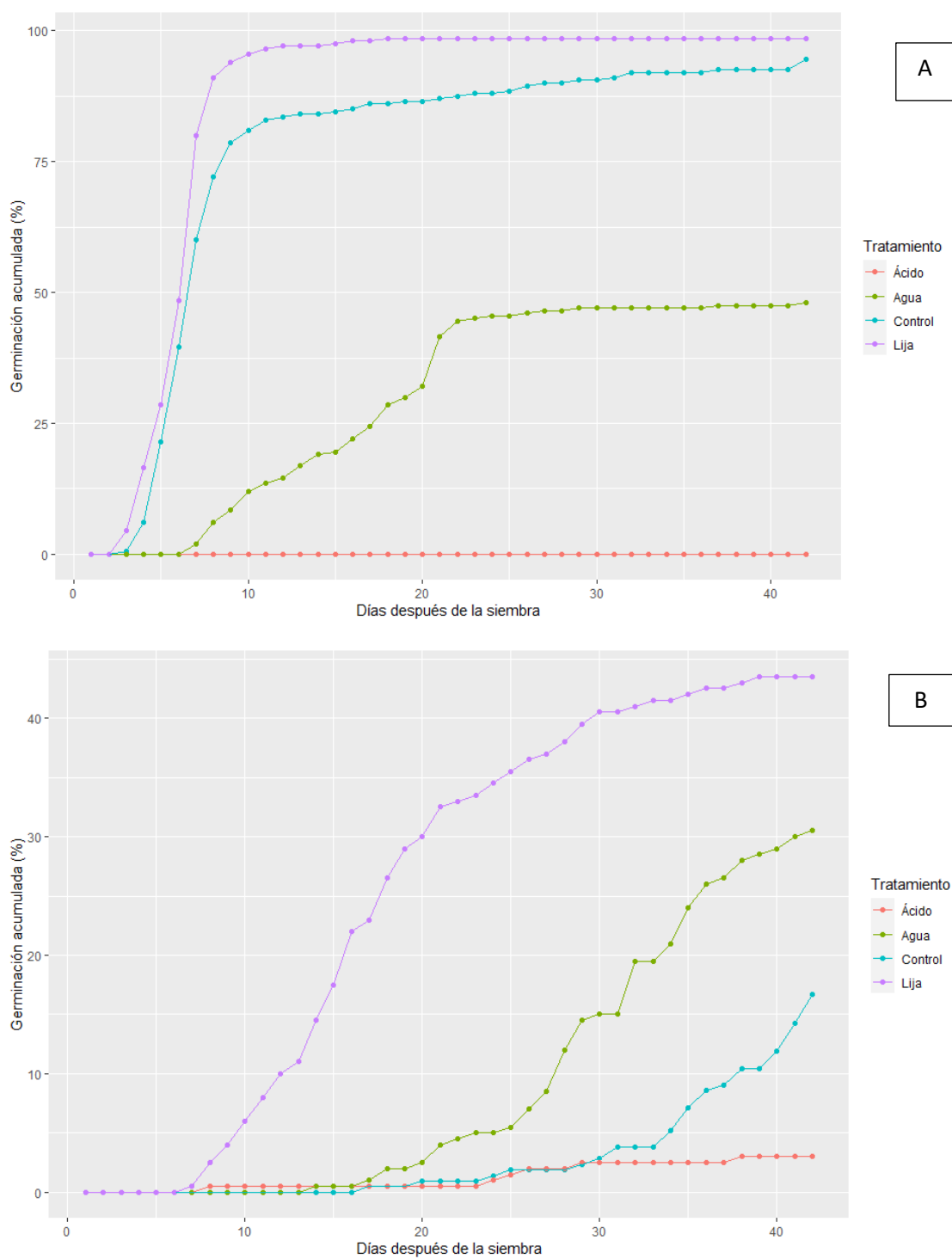


FIGURA 5. Germinación diaria acumulada de las semillas de (A) *Lonchocarpus minimiflorus* y (B) *Cochlospermum vitifolium*, bajo los distintos tratamientos pre-germinativos.

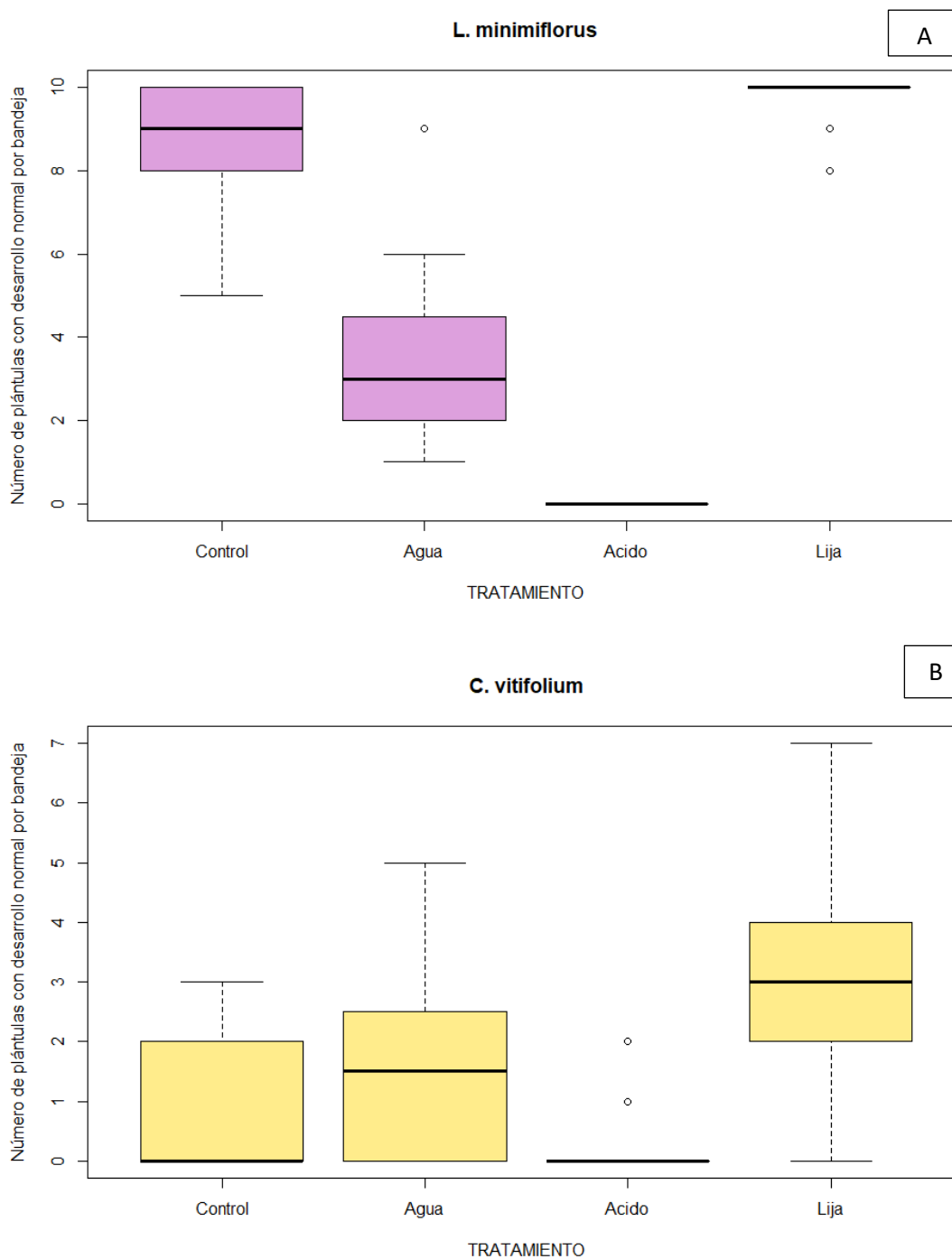


FIGURA 6. Diagramas de caja del número de plántulas con desarrollo normal de (A) *Lonchocarpus minimiflorus* y (B) *Cochlospermum vitifolium*, bajo los tratamientos: control, semillas sumergidas en agua caliente, semillas sumergidas en ácido sulfúrico al 98% y semillas lijadas.

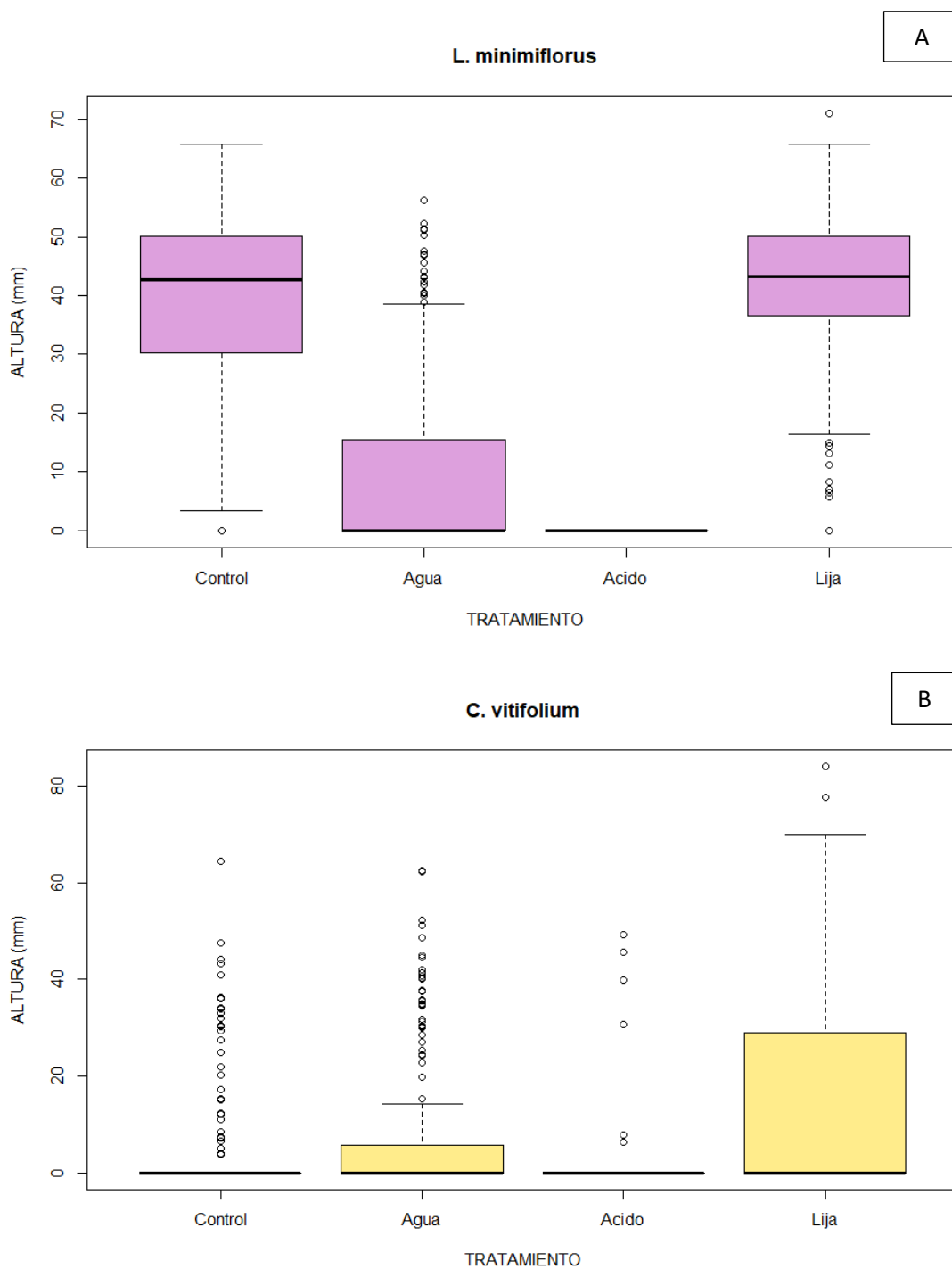


FIGURA 7. Diagramas de caja de la altura de las plántulas de (A) *Lonchocarpus minimiflorus* y (B) *Cochlospermum vitifolium* bajo los tratamientos: control, semillas sumergidas en agua caliente, semillas sumergidas en ácido sulfúrico al 98% y semillas lijadas.



FIGURA 8. Plántulas de *Lonchocarpus minimiflorus* (A) con desarrollo normal y (B) con desarrollo abortado y *Cochlospermum vitifolium* (C) con desarrollo normal y (D) desarrollo abortado.

(Fuente: Fotografías tomadas por Ana Barrios)

CUADRO 1. Parámetros de regresión estimados, error estándar (ES), valor z, valor p e intervalos de confianza de las variables que explican el análisis de germinación de las semillas de *Lonchocarpus minimiflorus* (efecto de los tratamientos pre-germinativos sobre los porcentajes de germinación). Los parámetros informativos se encuentran en **negrita**.

Variables	Estimado β	ES	z	p	Intervalos de confianza	
					2.5%	97.5%
Intercepto	-0.05130	0.07255	-0.707	0.480	-0.1934890	4.595467
Tratamiento agua	-0.05130	0.12522	-5.452	4.99e-08	-0.9281015	-0.43725048
Tratamiento ácido	-2.39012	NA	NA	NA	NaN	NaN
Tratamiento lija	0.03610	0.10181	1.737	0.723	-0.1634410	0.23564630

CUADRO 2. Parámetros de regresión estimados, error estándar (ES), valor t, valor p e intervalos de confianza de las variables que explican el análisis de altura (mm) de las plántulas de *Lonchocarpus minimiflorus* (efecto de los tratamientos pre-germinativos sobre la altura de las plántulas). Los parámetros informativos se encuentran en **negrita**.

Variables	Estimado β	ES	t	p	Intervalo de confianza	
					2.5%	97.5%
Intercepto	37.64417	1.26377	29.787	<2e-16	3.516722e+01	40.121119
Tratamiento agua	-34.60051	1.89462	-18.262	<2e-16	-3.831391e+01	-30.887121
Tratamiento ácido	-132.16119	1005.64630	-0.131	0.8954	-2.103192e+03	1838.869341
Tratamiento lija	3.51112	1.78760	1.964	0.0495	7.493802e-03	7.014747

CUADRO 3. Parámetros de regresión estimados, error estándar (ES), valor z, valor p e intervalos de confianza de las variables que explican el análisis de germinación de las semillas de *Cochlospermum vitifolium* (efecto de los tratamientos pre-germinativos sobre los porcentajes de germinación). Los parámetros informativos se encuentran en **negrita**.

Variables	Estimado β	ES	z	p	Intervalos de confianza	
					2.5%	97.5%
Intercepto	-1.6986	0.2259	-7.519	5.50e-14	- 2.1769590	- 1.2729356
Tratamiento agua	0.8209	0.2971	2.763	0.00573	0.2360841	1.4288686
Tratamiento ácido	-1.9031	0.4865	-3.912	9.17e-05	- 2.9536740	- 1.0068691
Tratamiento lija	1.4186	0.2931	4.841	1.29e-06	0.8507724	2.0272017

CUADRO 4. Parámetros de regresión estimados, error estándar (ES), valor t, valor p e intervalos de confianza de las variables que explican el análisis de altura (mm) de las plántulas de *Cochlospermum vitifolium* (efecto de los tratamientos pre-germinativos sobre la altura de las plántulas). Los parámetros informativos se encuentran en **negrita**.

Variables	Estimado β	ES	t	p	Intervalo de confianza	
					2.5%	97.5%
Intercepto	-38.90901	4.90704	-7.929	2.21e-15	-48.526631	-29.291385
Tratamiento agua	17.42105	5.42895	3.209	0.00133	6.780509	28.061600
Tratamiento ácido	-35.02110	8.18763	-4.277	1.89e-05	-51.068563	-18.973633
Tratamiento lija	33.71601	5.36240	6.287	3.23e-10	23.205907	44.226119

Chaperno (*Lonchocarpus minimiflorus*)

Los tratamientos de remojo de semillas en agua caliente y ácido sulfúrico tuvieron un efecto negativo significativo sobre la germinación de las semillas de *L. minimiflorus*, mientras que lijar la semilla no afectó su germinación (Cuadro 1). El tratamiento con ácido sulfúrico inhibió totalmente la germinación (0%) por lo que no se obtuvo ningún valor de significancia y el agua caliente retrasó el proceso de germinación y lo disminuyó a un 48% ($p = 4.99e-08$). Las semillas lijadas germinaron en un 99% el cual no es significativamente mayor ($p = 0.723$) al control las cuales germinaron en un 95%, ambos tratamientos fueron los primeros en germinar (segundo y tercer día respectivamente) (Figuras 4A y 5A). De las semillas germinadas en los tratamientos de agua caliente, lija y control, hay diferencia significativa (Kruskal-Wallis = $8.715e-15$) en el desarrollo normal de las plántulas entre los tratamientos (plántulas con desarrollo de cotiledones) (Figura 6A, 8A, Anexo 2). El agua caliente tuvo un efecto negativo sobre el desarrollo de las plántulas ($p = 4.7e-07$). De las semillas germinadas en este tratamiento, menos de 6 semillas por bandeja se desarrollaron de forma normal. El tratamiento de lija mejoró el desarrollo de las plántulas ($p = 0.0022$) y únicamente en dos bandejas no se obtuvo un desarrollo normal de las 10 semillas sembradas (figura 6A, 8A, Anexo 2). Respecto a la altura de las plántulas, únicamente el tratamiento de agua caliente tuvo un efecto negativo significativo ($p = <2e-16$) (Cuadro 2). Sin embargo, el efecto del ácido a pesar de no ser significativo ($p = 0.8954$), al inhibir totalmente la germinación, la altura alcanzada fue de 0. El agua caliente causó una disminución en la altura de las plántulas, las cuales en su mayoría alcanzaron alturas menores a los 40mm. Sin embargo, algunas plántulas superaron los 40mm de altura, pero se mantuvieron por debajo de los 60mm (Figura 7A). El tratamiento de lija afectó significativamente la altura de las plántulas ($p = 0.0495$), lo que sugiere que incrementa la altura de las plántulas en comparación al control. A pesar de ello, en ambos tratamientos se alcanzaron alturas mayores a los 40mm, algunas plántulas incluso superaron los 60mm de altura (Figura 7A).

Tecomasuche (*Cochlospermum vitifolium*)

Los tres tratamientos de escarificación tuvieron un efecto significativo sobre la germinación de las semillas de *C. vitifolium* (Cuadro 3). El sumergir las semillas en agua caliente y lijar las semillas tuvieron un efecto positivo sobre la germinación ($p = 0.00573$ y $1.29e-06$, respectivamente). Sin embargo, el tratamiento de lija germinó antes que el tratamiento con agua caliente (germinaron al séptimo y decimocuarto día respectivamente) y obtuvieron porcentajes de germinación de 44% y 31% respectivamente (Figura 4B, 5B). Por el contrario, el tratamiento con ácido sulfúrico tuvo un efecto negativo ($p = 9.17e-05$) sobre la germinación de las semillas de *C. vitifolium*. A pesar de haber geminado un día después de las semillas lijadas, el porcentaje de germinación fue de 3%, mientras que el tratamiento control alcanzó un porcentaje de germinación de 17.5% (Figura 4B, 5B). Respecto al desarrollo normal de las plántulas de las semillas germinadas (plántulas que desarrollaron cotiledones) hay diferencias significativas entre tratamientos (Kruskal-Wallis = $2.242e-07$). Los tratamientos de agua caliente y lija presentaron un mayor número de plántulas con desarrollo normal por bandeja (Figura 6B, Anexo 3), sin embargo, la diferencia entre control y agua caliente no es significativa ($p = 0.10696$), mientras que la diferencia entre control y lija es significativa ($p = 0.00013$), por lo que únicamente la lija mejoró el desarrollo de las plántulas (Anexo3). El tratamiento con ácido sulfúrico tuvo un efecto negativo sobre el desarrollo de las plántulas ($p = 0.02570$), y el número de plántulas con desarrollo normal por bandeja no fue mayor a 2 (Figura 6B). Respecto a la altura de las plántulas, los tres tratamientos tuvieron un efecto significativo (Cuadro 4). El tratamiento con agua caliente y lija tuvieron un efecto positivo ($p = 0.00133$ y $3.23e-10$ respectivamente), ambos aumentaron la altura de las plántulas, sin embargo, las plántulas del tratamiento con agua caliente, en su mayoría alcanzaron alturas menores a los 20mm, mientras que en el tratamiento de lija hubo una mayor cantidad de plántulas con alturas mayores a los 20mm (Figura 7B). En contraste, el tratamiento con ácido sulfúrico tuvo un efecto negativo ($p = 1.89e-05$), por lo que no incremento la altura de las plántulas.

IV. DISCUSIÓN

A. Germinación

Los resultados demuestran que para propagar eficientemente plántulas de *Cochlospermum vitifolium* es conveniente aplicar tratamientos pre-germinativos, mientras que las semillas de *Lonchocarpus minimiflorus* germinan muy bien sin tratamientos pre-germinativos. Para *C. vitifolium* los métodos de escarificación con lija e inmersión en agua caliente son los más efectivos (Cuadro 3), sin embargo, la escarificación con lija dio mejores resultados. Por el contrario, para *L. minimiflorus* la inmersión en agua caliente y ácido sulfúrico tienen un efecto negativo sobre los patrones de germinación, mientras que la lija no los afecta (Cuadro 1). Los resultados de ambas especies demuestran que, a diferencia de lo predicho, el agua caliente no fue el tratamiento más eficiente, mientras que el ácido sulfúrico, como se predijo, fue el menos eficiente, causando una disminución en el porcentaje de germinación en ambas especies (Cuadro 1, 3).

Los hallazgos encontrados sobre el efecto del tratamiento de lija en la germinación de *C. vitifolium* (Figura 4B, 5B) concuerdan con lo reportado para *Bixa orellana* (Godínez y Flores, 1999), para la cual la escarificación con lija incrementó el porcentaje de germinación (52%). Sin embargo, a diferencia de *C. vitifolium*, el tratamiento con ácido sulfúrico alcanzó un 50% de germinación en las semillas de *B. orellana*. El bajo porcentaje de germinación obtenido para *C. vitifolium* con ácido sulfúrico (Figura 4B) puede deberse a que el tiempo de inmersión no fue el adecuado, ya que en la metodología de Godínez y Flores (1999) se realizaron pruebas de inmersión que variaron entre 3 segundos hasta 30 minutos para evaluar el tiempo más adecuado. Por lo tanto, 10 minutos en ácido sulfuro al 98% pudo dañar los embriones. Lo mismo pudo haber sucedido con el agua caliente, ya que a pesar de que el porcentaje de germinación fue mayor al control (31% y 18% respectivamente), fue menor al tratamiento con lija (44%). Por lo que es probable que, 2 minutos en agua caliente dañaran los embriones o bien no fueran suficientes para ablandar la testa lo suficiente para romper la latencia. Por lo tanto, debido a que este estudio se limitó a pruebas de inmersión por tiempos fijos, es necesario realizar pruebas con agua caliente y ácido sulfúrico a distintos

tiempos para evaluar los tiempos en los que se obtienen los mejores porcentajes de germinación.

Por otra parte, respecto al efecto de los tratamientos de agua caliente y ácido sulfúrico sobre la germinación de las semillas de *L. minimiflorus* (Figura 4A, 5A) estos difieren a lo reportado en estudios con otras especies de leguminosas, para las cuales estos tratamientos han sido efectivos para promover y aumentar los porcentajes de germinación. Para *Bahuinia racemosa* (Prasad y Nautiyal, 1996), *Sesbania emerus* (Guerrero y Herrera, 1994), *Enterolobium cyclocarpum* (Viveros *et al.*, 2015), *Caesalpinia spinosa* y *Caesalpinia barahonensis* (Rossini-Oliva *et al.*, 2006), y especies de los géneros *Acacia* (Padma *et al.*, 1995) y *Senna* (Teketay, 1996; Baskin *et al.*, 1998b), el ácido sulfúrico incrementa los porcentajes de germinación. Godínez y Flores, (1999) también reportaron incrementos en los porcentajes de germinación de semillas de varias especies de leguminosas, al ser tratadas con ácido sulfúrico, entre ellas especies del género *Mimosa*. De igual forma el agua caliente ha sido efectiva en otras leguminosas como *Albizia gummifera* (Tigabu y Odén 2001) *Peltophorum pterocarpum* (Atencio *et al.*, 2003), *Leucaena leucocephala* (Sánchez-Paz y Ramírez-Villalobos, 2006) y *Enterolobium cyclocarpum* (Wantland, 2009), alcanzando porcentajes de germinación mayores al 70%. Sin embargo, hay especies para las cuales el ácido sulfúrico y agua caliente no han sido efectivos, como *Caesalpinia velutina* (Wantland, 2009) y *Prosopis laevigata* (Hernández-Vargas, 2001) respectivamente. Pero a diferencia *L. minimiflorus*, los porcentajes de germinación de dichas especies incrementan significativamente al aplicar otros métodos de escarificación. Esto sugiere que las semillas de *L. minimiflorus* no presentan latencia física causada por una testa dura, por lo que no requieren de la ruptura, adelgazamiento o ablandamiento del endocarpio para incrementar su germinación. Por lo tanto, sumergir las semillas en ácido sulfúrico y agua caliente pudieron haber dañado el embrión, causando los efectos anteriormente descritos. Esto se comprueba al observar el inicio de germinación y el porcentaje de germinación alcanzado en el control, los cuales no fueron significativamente menores al de las semillas lijadas (Cuadro 1, Figura 4A).

B. Desarrollo normal

A pesar de que la inmersión en agua caliente y desgaste con lija fueron los tratamientos más eficientes en la germinación de *C. vitifolium*, únicamente el desgaste con lija mejora el desarrollo de las plántulas ($p = 0.00013$) (Figura 6B, 8C-D). Esto puede deberse a que el tiempo de inmersión en agua caliente, no haya sido suficiente para ablandar la testa y lograr que el embrión se expandiera y desarrollara de forma adecuada. Por el contrario, el ácido sulfúrico parece disminuir la cantidad de plántulas con desarrollo normal por bandeja. A pesar de que el porcentaje de las plántulas germinadas en este tratamiento fue bastante bajo y por ende pocas plántulas, la cantidad de plántulas con desarrollo normal por bandeja no fue mayor a 2 (Figura 6B). Esto puede deberse a que el tiempo de inmersión en ácido no fue el adecuado, causando daño en el embrión de las semillas. Por lo tanto, el efecto de los distintos tratamientos sobre el desarrollo de *C. vitifolium*, indican que, para obtener un mayor número de plántulas con desarrollo normal, es recomendable aplicar un tratamiento pre-germinativo. Por otra parte, respecto al desarrollo de las semillas germinadas de *L. minimiflorus*, el efecto negativo del tratamiento con agua caliente sobre el desarrollo de las plántulas (Figura 6A, 8B), sugiere que, debido a la ausencia de una testa dura en las semillas, 2 minutos en agua caliente pudo causar daño en el embrión, provocando anomalías en su desarrollo. En cuanto al tratamiento con lija, aunque hay diferencia significativa positiva entre las semillas lijadas y el control ($p = 0.0022$), el número de semillas que desarrollaron cotiledones en el tratamiento control fue entre 8 y 10 semillas por bandeja (Figura 6A). Es por ello que no considero necesario aplicar ningún tratamiento pre-germinativo a las semillas de *L. minimiflorus* para incrementar la cantidad de plántulas con desarrollo normal.

C. Altura de las plántulas

La altura alcanzada por las plántulas de *C. vitifolium* fueron mayores en los tratamientos de inmersión en agua caliente y el desgaste con lija. Sin embargo, las plántulas obtenidas a partir de la escarificación con lija presentan alturas mayores a las desarrolladas a partir de semillas tratadas con agua caliente (Figura 7B). Esta diferencia en alturas puede deberse a que las semillas tratadas con agua caliente germinaron 7 después de las semillas lijadas (Figura 5B), permitiendo que las semillas lijadas tuvieran más tiempo para crecer. Por otra parte, la inmersión en ácido sulfúrico al igual que en la germinación y desarrollo de las plántulas, tuvo un efecto negativo sobre la altura de las plántulas de *C. vitifolium* (Cuadro 4, Figura 7B), por lo que no incrementó la altura. Esto a pesar de que las semillas tratadas con ácido germinaron un día después de las semillas lijadas (Figura 5B). Estos resultados demuestran que debido a la baja capacidad germinativa de las semillas de *C. vitifolium*, causada por la latencia, para obtener plántulas con alturas mayores a los 20mm en un periodo de 42 días, se deben aplicar tratamientos pre-germinativos, siendo el lijado y la inmersión en agua caliente los más eficientes.

Por último, con respecto a la altura de las plántulas de *L. minimiflorus* (Figura 7A), los resultados del tratamiento con agua caliente coinciden con lo reportado por Viveros *et al.*, (2015) para *Leucaena leucocephala*, en donde las plántulas originadas de semillas tratadas con agua caliente alcanzaron alturas menores al resto de tratamientos. Esta diferencia en altura puede deberse a que al ser el tratamiento que germinó de último, las plántulas alcanzaron alturas menores a las que germinaron de primero (lija y control) (Viveros *et al.*, 2015). Sin embargo, también es probable que, por la usencia de una testa dura en las semillas, 2 minutos en agua caliente pudo haber dañado el embrión, causando una reducción en el crecimiento de las plántulas de *L. minimiflorus*. Por otra parte, la escarificación con lija, incremento significativamente la altura de las plántulas ($p = 0.0495$), a pesar de que entre las semillas lijadas y el control únicamente hubo un día de diferencia en el inicio de germinación (segundo y tercer día respectivamente) (Figura 5A). Esto sugiere que el tiempo de inicio de germinación no pudo haber influido en el crecimiento de las plántulas. Sin embargo, en ambos tratamientos se alcanzaron alturas mayores a los 40mm, algunas plántulas incluso

superaron los 60mm de altura (Figura 7A). Por lo que a pesar de que hay una diferencia significativa, las semillas sin escarificar presentan un buen crecimiento.

El presente estudio indica que para propagar plántulas de *C. vitifolium* y *L. minimiflorus* para la restauración del bosque seco, únicamente para *C. vitifolium* es necesario aplicar tratamientos pre-germinativos, siendo la inmersión en agua caliente y desgaste con lija los mejores tratamientos. Sin embargo, a pesar de que se obtienen mejores resultados con el desgaste con lija, el tamaño y forma de la semilla puede dificultar el procedimiento y requerir mayor tiempo para la escarificación de cantidades grandes de semillas. Por lo tanto, si no se dispone de tiempo para lijar una gran cantidad de semillas, recomiendo utilizar el método de inmersión en agua caliente. Pero si se desea obtener una mayor cantidad de plántulas en menor tiempo, recomiendo utilizar el lijado. Por el contrario, para alcanzar porcentajes de germinación mayores al 90% en semillas de *L. minimiflorus*, no es necesario aplicar ningún tratamiento pre-germinativo, pero sí para obtener mejores resultados de desarrollo y altura de las plántulas. A pesar de que el desgaste con lija puede mejorar el desarrollo y altura de las plántulas, debido al tamaño de las semillas, se requiere de mucho tiempo invertido en el lijado de las semillas y al no tener una testa dura, hay un alto riesgo de lastimar el embrión. Por lo que recomiendo sembrar las semillas sin ser tratadas. Sin embargo, para que los resultados con semillas sin tratar sean como los obtenidos en este estudio, las semillas utilizadas no deben superar los 5 meses de almacenamiento, ya que podrían disminuir su capacidad germinativa con el tiempo.

V. CONCLUSIONES

- Para propagar plántulas de *Lonchocarpus minimiflorus* y obtener porcentajes de germinación mayores al 90%, no es necesario aplicar ningún tratamiento pre-germinativo. Pero el lijado mejora el desarrollo y altura de las plántulas.
- El ácido sulfúrico al 98% durante 10 minutos y el agua caliente por 2 minutos afectan negativamente los patrones de germinación, desarrollo y altura de las plántulas de *Lonchocarpus minimiflorus*.
- El ácido sulfúrico al 98% durante 10 minutos inhibe totalmente la germinación de *Lonchocarpus minimiflorus*.
- El agua caliente durante 2 minutos retrasa y disminuye la germinación a un 48% y reduce el desarrollo normal y altura de las plántulas de *Lonchocarpus minimiflorus*.
- La escarificación con lija e inmersión en agua caliente por 2 minutos son los tratamientos pre-germinativos más efectivos para propagar eficientemente plántulas de *Cochlospermum vitifolium*.
- La escarificación con lija e inmersión en agua caliente por 2 minutos incrementan la germinación de *Cochlospermum vitifolium* a un 44% y 31% respectivamente.
- El ácido sulfúrico durante 10 minutos disminuye la germinación de *Cochlospermum vitifolium* a un 3%.

VI. RECOMENDACIONES

- Recomiendo ampliar la presente investigación, realizando pruebas pre-germinativas con ácido sulfúrico y agua caliente a distintos tiempos, en semillas de *Cochlospermum vitifolium*. De esta forma comprobar si se obtienen mejores o iguales resultados a los encontrados en este estudio.
- Recomiendo no aplicar ningún tratamiento pre-germinativo sobre las semillas de *Lonchocarpus minimiflorus*. Sin embargo, para obtener mejores resultados de desarrollo y crecimiento recomiendo el desgaste con lija.
- Debe evaluarse el tiempo de viabilidad de las semillas de *Lonchocarpus minimiflorus*, de esta forma determinar el tiempo que estas semillas pueden permanecer preservadas, y obtener buenos resultados de germinación sin ser previamente tratadas.
- Debido a que el tamaño y forma de la semilla puede dificultar el desgaste con lija de semillas de *Cochlospermum vitifolium*, si no se dispone de tiempo para lijar una gran cantidad de semillas, recomiendo utilizar el método de inmersión en agua caliente. Pero si se desea obtener una mayor cantidad de plántulas en menor tiempo recomiendo utilizar el lijado.
- Al replicar este estudio, recomiendo utilizar bandejas germinadoras para sembrar las semillas. De esta forma evitar el empozamiento de las semillas y evitar posibles efectos que el uso de poliestireno pueda tener sobre las semillas. Además, para reducir el uso y desecho de materiales no biodegradables, ya que, por la fragilidad del material, las bandejas suelen romperse impidiendo su uso en nuevas siembras.

- Recomiendo evaluar tratamientos pre-germinativos en *Bucida macrostachya*, *Bursera bipinnata*, *Haematoxylum brasiletto* y *Ximenia americana*. Estas especies también son de prioridad para restaurar los bosques secos del país y se desconocen datos sobre su germinación.
- Para replicar el presente estudio o evaluar tratamientos pre-germinativos sobre otras especies del bosque seco, recomiendo hacerlo en un sitio ubicado en el bosque seco, para evitar que condiciones ambientales distintas a las de este ecosistema, afecten los resultados de germinación y crecimiento.

VII. LITERATURA CITADA

- Acerro-Nitola, A. M. y F. Cortés-Pérez. 2014. *Propagación de especies nativas de la microcuenca del río La Vega, Tunja, Boyacá, con potencial para la restauración ecológica*. Rev. Acad. Colomb. Ciencias 38(147): 195-205.
- Acevedo, M. 2006. *Anfibios y reptiles de Guatemala: Una breve síntesis con bibliografía*. En: Cano, E. (ed.). Biodiversidad de Guatemala. Volumen I. Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala. 675pp.
- Álvarez, H. G. y A.F. Martínez. 2000. *Germinación de semillas de 32 especies de plantas de la costa de Guerrero: su utilidad para la restauración ecológica*. Polibotánica 11: 1-29.
- Álvarez-Aquino, C. y G. Williams-Linera. 2012. *Seedling survival and growth of tree species: site condition and seasonality in tropical dry forest restoration*. Botanical Sciences 90(3): 341-351.
- Ariano-Sánchez, D. y G. Salazar. 2007. *Notes on the distribution of the endangered lizard, Heloderma horridum charlesbogerti, in the dry forests of Eastern Guatemala: An application of multi-criteria evaluation to conservation*. Iguana 14(3): 152-158.
- Ariano-Sánchez, D. 2017a. *Introducción al bosque seco: Distribución y ecología*. En: Yoshimoto, J. y D. Ariano. El bosque estacionalmente seco de Guatemala: Flora, fauna y cultura. ProNatura Japan, Guatemala. Pp. 9-24.
- Ariano-Sánchez, D. 2017b. *Reservas del bosque seco*. En: Yoshimoto, J. y D. Ariano. El bosque estacionalmente seco de Guatemala: Flora, fauna y cultura. ProNatura Japan, Guatemala. Pp. 107-137.
- Ariano-Sánchez, D. 2018. *Sistematización de información sobre el ecosistema estratégico del Bosque Seco en Guatemala*. INAB, Documento técnico. 61pp.
- Ariano-Sánchez, D. y J. Campbell. 2018. *A new species of Rhadinella (Serpentes: Dipsadidae) from the dry forest of Motagua Valley, Guatemala*. Zootaxa 4442 (2): 338-344.

- Ariano-Sánchez, D., R.M. Mortensen, S. Reinhardt y F. Rosell. 2020. *Escaping drought: Seasonality effects on home range, movement patterns and habitat selection of the Guatemalan Beaded Lizard*. *Global Ecology and Conservation*, e01178.
- Ariano-Sánchez, D. y G. Salazar. 2007. *Notes on the distribution of the endangered lizard, Heloderma horridum charlesbogerti, in the dry forests of Eastern Guatemala: An application of multi-criteria evaluation to conservation*. *Iguana* 14(3): 152-158.
- Armas, H. E. y E. Meneces-Espinales. 2007. *Composición, diversidad, estructura e importancia de las especies arbóreas y palmas del bosque seco de la Finca "Rosita", reserva natural estero Padre Ramos, Chinandega, Nicaragua*. Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA.
- Arnold, F. E. 1996. *Manual de vivero forestal: Elaborado para algunas especies forestales nativas de la zona templada del Sur de Chile*. Documento Técnico CONAF-DED. 123 pp.
- Arroyo-Mora, P. 2002. *Forest cover assessment, fragmentation analysis and secondary forest detection for the Chorotega Region, Costa Rica*. Master of Science Thesis. University of Alberta, Edmonton. 111 pp.
- Atencio, L., R. Colmenares, M. Ramírez-Villalobos y D. Marcano. 2003. *Tratamientos pregerminativos en acacia San Francisco (Peltophorum pterocarpum) Fabaceae*. *Revista de la Facultad de Agronomía* 20(1): 63-71.
- Azcón, J. y M. Talón. 2008. *Fundamentos de fisiología vegetal*. Segunda Edición. Interamericana-McGraw-Hill. Nueva York. 656 pp.
- Bacchetta, G., A. Bueno-Sánchez, G. Fenu, B. Jiménez-Alfaro, E. Mattana, B. Piotto y M. Virevaire. (eds.). 2008. *Conservación ex situ de plantas silvestres*. Principado de Asturias / La Caixa. España.
- Barrance, A., K. Schreckenberg y J. Gordon. 2009. *Conservación mediante el uso: Lecciones aprendidas en el bosque seco tropical mesoamericano*. Overseas Development Institute, Londres, Inglaterra. 141 pp.

- Barrera, J. I., S.M. Contreras, N. Garzón, A.C. Moreno y S.P. Montoya. 2010. *Manual para la restauración ecológica de los ecosistemas disturbados del distrito capital*. Primera Edición. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Balvanera, P. 2012. *Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales*. *Ecosistemas* 21(1): 136-147.
- Baskin, J.M y C.C. Baskin. 1989. *Physiology of dormancy and germination in relation to seed bank ecology*. pp 53–66. En: Leck, M. A., V.T. Parker y R.L. Simpson. (eds) *Ecology of Soil Seed Banks*. Academic Press, San Diego, CA.
- Baskin J.M. y C.C. Baskin. 1998. *Seeds. Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, San Diego. 666pp.
- Baskin, J. M., X. Nan y C. C. Baskin. 1998. *A comparative study of seed dormancy and germination in an annual and a perennial species of Senna (Fabaceae)*. *Seed Science Research* 8:501-512.
- Baskin, J. M. y C.C. Baskin. 2004. *A classification system for seed dormancy*. *Seed science research* 14(1): 1-16.
- Baskin, J.M. y C.C. Baskin. 2014. *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Second edition. Elsevier, San Diego. 1573pp.
- Bawa, K.S. y G. W. Frankie. 1983. *Cochlospermum vitifolium (Poro-poro, Cochlospermum, Silk tree, cotton tree)*. pp. 215–216. En D. H. Janzen (ed.). *Costa Rican natural history*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- Bell, D. T., D.P. Rokich, C.J. McChesney y J.A. Plummer. 1995. *Effects of temperature, light and gibberellic acid on the germination of seeds of 43 species native to Western Australia*. *Journal of Vegetation Science* 6(6): 797-806.
- Berdugo-Lattke, M.L. y J.O. Rangel-Ch. 2015. *Composición florística del bosque tropical seco del santuario “Los Besotes” y fenología de especies arbóreas dominantes (Valledupar, Cesar, Colombia)*. *Colombia Forestal* 18(1): 87-103.
- Bewley, J.D., K. Bradford, H. Hilhorst y H. Nonogaki. 2013. *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. 3rd ed. Springer. New York. 392 pp.

- Bradshaw, A.D. 1987. *Restoration: an acid test for ecology*. pp. 23-29. En: Jordan III, W.R., M. E. Gilpin y J. D. Aber (eds.). *Restoration ecology, a synthetic approach to ecological research*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Buch, M.S., L.F. Jara y E. Franco. 1997. *Viabilidad de semillas pretratadas de Caesalpinia velutina (B. & R.) Standl., Enterolobium cyclocarpum (J.) Griseb. y Leucaena leucocephala (Lamb.) de Wit*. Boletín de Mejoramiento Genético y Semillas Forestales 18: 8-14.
- Bullock, S.H. 1995. *Plant reproduction in neotropical dry forests*. En: S. Bullock, H. Mooney, y E. Medina (Eds.): *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. Pp. 277–303.
- Cardona, A. 2008. *Propagación vegetativa de cinco especies potencialmente importantes para la restauración ecológica del bosque antioqueño*. pp. 497-516. En: Vargas, O. (ed.). *Restauración ecológica del bosque altoandino. Estudios diagnósticos y experimentales en los alrededores del Embalse de Chisacá (Localidad de Usme, Bogotá D.C.)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Cedano, M. y L. Villaseñor. 2004. *Usos y nombre comunes de las especies de Cochlospermaceae en México*. *Etnobiología* 4: 73-88.
- Cervantes V., M. López-González, N. Salas-Nava y G. Hernández-Cárdenas. 2001. *Técnicas para Propagar Especies Nativas de Selva Baja Caducifolia y Criterios para Establecer Áreas de Reforestación*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- CONAP-ZOOTROPIC-CECON-TNC. 2011. *Plan de conservación de las regiones secas de Guatemala*. En: Ariano, D., B. García, M. Flores, y E. Secaira, (eds.). (Documento técnico). No.99:01-2011, Guatemala. 74pp.
- Contreras, E., J. Grez y M. Gambardella. 2016. *Scarification and stratification protocols for raspberry (Rubus idaeus L.) seed germination*. *Acta Horticulturae* 1133:153-158.
- Coopeland L.O. y M.B. McDonald. 1995. *Principles of seed science and technology*. Kluwer Academic Publishing Third edition, Massachusetts, USA. pp 59-111.

- Cordero, J. y D. Boshier. 2003. *Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas*. OFI-CATIE, Costa Rica. 1080pp.
- Dalling, J.W., A.S. Davis, B.J. Schutte y E. Arnold. 2011. *Seed survival in soil: interacting effects of predation, dormancy and the soil microbial community*. *Journal of Ecology* 99: 89–95.
- Daws, M.I., D.F.R.P. Burslem, L.M. Crabtree, P. Kirkman, C.E. Mullins y J.W. Dalling. 2002. *Differences in seed germination responses may promote coexistence of four sympatric Piper species*. *Functional Ecology* 16(2): 258-267.
- Dinerstein, E., D.M. Olson, D.J. Graham, A.L. Webster, S.A. Primm, M.P. Bookbinder y G. Ledec. 1995. *A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean*. The World Bank, Washington, DC., USA.
- Dirzo R., H.S. Young, H.A. Mooney y G. Ceballos. 2011. *Seasonally dry tropical forest: Ecology and conservation*. Island Press, Washington, DC.
- Dobson, A.P., A.D. Bradshaw y A.J.M. Baker. 1997. *Hopes for the future: Restoration ecology and conservation biology*. *Science* 277: 515–22.
- Donoso, C. 1993. *Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 483 pp.
- Espinosa, C.I., M. de la Cruz, A.L. Luzuriaga y A. Escudero. 2012. *Bosques tropicales secos de la región Pacífico Ecuatorial: diversidad, estructura, funcionamiento e implicaciones para la conservación*. *Ecosistemas* 21(1-2): 167-179.
- Fallas-Cedeño, L., N.M. Holbrook, O.J. Rocha, N. Vázquez y M.V. Gutiérrez-Soto. 2010. *Phenology, lignotubers, and water relations of Cochlospermum vitifolium, a pioneer tropical dry forest tree in Costa Rica*. *Biotropica* 42(1): 104–111.
- Figuroa, J. y F. Jaksic. 2004. *Latencia y banco de semillas en plantas de la región mediterránea de Chile central*. *Revista Chilena de Historia Natural* 77:201-215.
- Finch, W. y G. Leubner. 2006. *Seed dormancy and the control of germination*. *New Phytologist* 171: 501-523.

- Forbis, T.A. y P.K. Diggle. 2001. *Subnivean embryo development in the alpine herb *Caltha leptosepala* (Ranunculaceae)*. Canadian Journal of Botany 79:635-642.
- García, J. 1991. *Manual de repoblaciones forestales*. Volumen I. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Fund. Conde del Valle de Salazar. Madrid, España. 794 pp.
- Gerhardt K. y H. Hytterborn. 1992. *Natural dynamics and regeneration methods in tropical dry forest-an introduction*. Journal of Vegetation Science 3: 361-364.
- Gerhardt, K. 1993. *Tree seedling development in tropical dry abandoned pasture and secondary forest in Costa Rica*. Journal of Vegetation Science 4: 95–102.
- Godínez, A.C. y M.A. Flores. 1999. *Germinación de semillas de 32 especies de plantas de la costa de Guerrero: Su utilidad para la restauración ecológica*. Polibotánica 11: 1-19.
- González, K.V. y M.F. Camacho. 1994. *Avances en la propagación de cuatro especies presentes en El Pedregal de San Ángel D.F.* pp. 403-410. En: Rojo A. (ed.). Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Ecología, Historia Natural y Manejo. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Goor, A.Y. y C.W. Barney. 1976. *Forest tree planting in arid zones*. 2a ed. The Ronald Press, New York. 504 pp.
- Gotsch, S.G., J.S. Powers y M.T. Lerda. 2010. *Leaf traits and water relations of 12 evergreen species in Costa Rican wet and dry forests: patterns of intra-specific variation across forests and seasons*. Plant Ecology 211:133-146.
- Guerrero, M. y J. Herrera. 1994. *The germination of *Sesbania emerus* (Fabaceae): Effect of immersion in sulphuric acid*. Revista de Biología Tropical 42:461-466.
- Griscom, H.P., B.W. Griscom y M.S. Ashton. 2009. *Forest regeneration from pasture in the dry tropics of Panama: effects of cattle, exotic grass, and forested riparia*. Restoration Ecology 17: 117-126.
- Griscom, H.P. y M.S. Ashton. 2011. *Restoration of dry tropical forests in Central America: a review of pattern and process*. Forest Ecology and Management 261(10): 1564-1579.

- Hartmann, H. y D. Kester. 1977. *Propagación de plantas. Principios y prácticas*. Continental, México. 810 pp.
- Hartmann, H. y D. Kester. 1988. *Propagación de Plantas*. Compañía editorial continental, S.A. de C.V. México D.F. 760 pp.
- Hartmann, H. y D. Kester. 2002. *Plant propagation. Principles and practices*. Prentice Hall, New Jersey. 880 pp.
- Hernández-Vargas, G.H., L.R.S. Velásquez y F. Aragón. 2001. *Tratamientos pregerminativos en cuatro especies arbóreas de uso forrajero de la selva baja caducifolia de la Sierra de Manantlán*. Foresta Veracruzana, 3(1), 9-15.
- Hoekstra, J., T. Boucher, T. Ricketts y C. Roberts. 2005. *Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection*. Ecology Letters 8: 23–29.
- Holl K.D. y T.M. Aide. 2011. *When and where to actively restore ecosystems*. Forest Ecology and Management 261:1558-1563.
- Hunt R. 1990. *Basic growth analysis: Plant growth analysis for beginners*. Unwin Hyman Ltd., London.
- IARNA-URL. 2018. *Ecosistemas de Guatemala basado en el sistema de clasificación de zonas de vida*. IARNA.
- INAB. 2018. *Guía de las 26 especies prioritarias para restauración del bosque seco*. 27pp.
- IUCN y WRI. 2014. *A guide to the restoration opportunities assessment methodology (ROAM): Assessing forest landscape restoration opportunities at the national or sub-national level*. Working Paper (Road-test edition) (IUCN). Gland, Switzerland.
- Ivetić, V. y A.I. Novikov. 2019. *The role of forest reproductive material quality in forest restoration*. Forestry Engineering Journal 9: 56-65.
- Janzen, D.H. 1986. *Guanacaste National Park: Tropical, ecological and cultural restoration*, Universidad Estatal a Distancia, San Jose, Costa Rica.
- Janzen, D.H. 1988a. *Management of habitat fragments in a tropical dry forest: growth*. Annals of the Missouri Botanical Garden 75:105-116.

- Janzen, D.H. 1988b. *Guanacaste National Park: tropical ecological and biocultural restoration*. pp 143–192. En: Cairns, J.J. (ed.), *Rehabilitating Damaged Ecosystems*, vol. II. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Janzen, D.H. 1988c. *Complexity is in the eye of the beholder*. pp. 29–51. En: Almeda, F., Pringle, C.M. (eds.). *Tropical Rainforests: Diversity and Conservation*, California Academy of Science and AAAS, San Francisco.
- Janzen, D.H. 1988d. *Tropical dry forests. The most endangered major tropical ecosystem*. pp 130–137. En: Wilson, E.O. (ed.), *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Kalacska, M.E.R., G.A. Sanchez-Azofeifa, J.C. Calvo-Alvarado, B. Rivard y M. Quesada. 2005. *Effects of season and successional stage on leaf area index and spectral vegetation indices in three Mesoamerican tropical dry forests*. *Biotropica* 37:486-496.
- Khurana, E.K.T.A. y J.S. Singh. 2001. *Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forest: a review*. *Environmental Conservation* 39-52.
- Kyereh, B., M.D. Swaine y J. Thompson. 1999. *Effect of light on the germination of forest trees in Ghana*. *Journal of Ecology* 87(5): 772-783.
- Latsague Vidal, M., P. Sáez Delgado y L. Coronado Ancaten. 2010. *Tratamientos pregerminativos para Myrceugenia exsucca (Myrtaceae)*. *Bosque (Valdivia)* 31(3): 243-246.
- Lamb D. y D. Gilmour. 2003. *Rehabilitation and restoration of degraded forests*. International Union for Conservation of Nature World Wildlife Fund, Gland.
- Lima, A.L.A. y M.J.N. Rodal. 2010. *Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil*. *Journal of Arid Environments* 74(11): 1363-1373.
- Maass, J.M. 1995. *Conversion of tropical dry forest to pasture and agriculture*. pp. 399–422. En: Bullock, S.H., H.A Mooney y E. Medina, (eds.), *Seasonally dry tropical forest*. Cambridge University Press, Cambridge, MA.

- Maginnis, S. y M. Jackson. 2002. *Restoring forest landscapes: Forest landscape restoration aims to re-establish ecological integrity and enhance human well-being in degraded forest landscapes*. IUCN. 6pp.
- Martin, A.C. 1946. *The comparative internal morphology of seeds*. The American Midland Naturalist 36: 513-660.
- Martínez Pérez, G., A. Orozco Segovia y C. Martorell. 2006. *Efectividad de algunos tratamientos pre-germinativos para ocho especies leñosas de la Mixteca Alta Oaxaqueña con características relevantes para la restauración*. Botanical Sciences 79: 9-20.
- Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala. 2015. *Estrategia de restauración del paisaje forestal: Mecanismo para el desarrollo rural sostenible de Guatemala*. 58 pp.
- Miles, L., A.C. Newton, R.S. DeFries, C. Ravilious, I. May, S. Blyth, V. Kapos y J.E. Gordon. 2006. *A global overview of the conservation status of tropical dry forests*. Journal of Biogeography 33: 491–505.
- Muñoz, J., S. Erazo y D. Armijos. 2014. *Composición florística y estructura del bosque seco de la quinta experimental “El Chilco” en el suroccidente del Ecuador*. Cedamaz 4(1): 53 – 61.
- Murphy, P.G. y A.E. Lugo. 1995. *Dry forests of Central America and Caribbean islands*. pp 9–34. En: Bullock S.H., H.A. Mooney, y E. Medina, (eds.). *Seasonally dry tropical forests*, Cambridge University Press, New York, Estados Unidos.
- Newton, A.C. 2008. *Restoration of dryland forests in Latin America: The ReForLan project*. Ecological Restoration 26(1): 10-13.
- Newton A.C. y N. Tejedor. 2011. *Principles and practice of forest landscape restoration: Case studies from the drylands of Latin America*. International Union for Conservation of Nature, Gland.
- Nikolaeva, M.G. 1999. *Patterns of seed dormancy and germination as related to plant phylogeny and ecological and geographical conditions of their habitats*. Russian Journal of Plant Physiology 46: 432-437.

- OIMT y UICN. 2005. *Restaurando el paisaje forestal: Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales*. 160 pp.
- Ordoñez, A. 1987. *Germinación de las tres especies de Nothofagus siempreverdes (Coigües), y variabilidad en la germinación de procedencias de Coigüe común (Nothofagus dombeyi (Mirb) Oerst)*. Tesis Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 134 pp.
- Padilla, M. 1995. *Tratamientos pre-germinativos*. pp. 1-6. En: Trujillo, E. (ed.). Memoria del curso nacional de recolección y procesamiento de semillas forestales. CATIE-PROSEFOR. Turrialba, Costa Rica.
- Padilla, F.M. y F.I. Pugnaire. 2006. *The role of nurse plants in the restoration of degraded environments*. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4(4): 196-202.
- Padma, V., B.M. Reddy y G. Satyanarayana. 1995. *Breaking dormancy in certain Acacia spp. by pre-sowing seed treatments*. *Seed Research* 21:26-30.
- Patiño, F., P. de la Garza, Y. Villagomez, I. Talavera y F. Camacho. 1983. *Guía para la recolección y manejo de semillas de especies forestales*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Subsecretaría Forestal. Boletín Divulgativo N° 63. México D.F. 181 pp.
- Pons, T. 2000. *Seed responses to light*. pp. 237-260. En: Fenner, M (ed.). *Seeds: The ecology of Regeneration in Plants Communities*. CAB International, Wallingford, UK.
- Portillo-Quintero, C.A. y G.A. Sánchez-Azofeifa. 2010. *Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas*. *Biological conservation* 143(1): 144-155.
- Prach, K. y R.J. Hobbs. 2008. *Spontaneous succession versus technical reclamation in the restoration of disturbed sites*. *Restoration Ecology* 16(3): 363-366.
- Prasad, P. y A.R. Nautiyal. 1996. *Physiology of germination in Bahuinia: Involvement of seed coat in inhibition of germination in B. racemosa Lam. seeds*. *Seed Science and Technology* 24:305-308.

- Pritchard, H.W., M.I. Daws, B.J. Fletcher, C.S. Gaméné, H.P. Msanga y W. Omondi. 2004. *Ecological correlates of seed desiccation tolerance in tropical African dryland trees*. *American Journal of Botany* 91: 863-870.
- Probert, R.J. 2000. *The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination*. pp. 261-292. En: Fenner, M (ed.) *Seeds: The ecology of regeneration in plant communities*. CAB International, Wallingford, UK.
- Quesada, M., A. Sánchez-Azofeifa, M. Álvarez-Añorve, K.E. Stoner, L. Avila-Cabadilla, J. Calvo-Alvarado y G. Sánchez-Montoya. 2009. *Succession and management of tropical dry forests in the Americas: Review and new perspectives*. *Forest Ecology and Management* 258: 1014-1024.
- Rodriguez, J., P. Sinaca y G. Jamangapé. 2009. *Frutos y semillas de árboles tropicales de México*. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (Semarnat), México. 123pp.
- Romero-Saritama, J.M. y C. Pérez-Ruiz. 2016a. *Rasgos morfológicos regenerativos en una comunidad de especies leñosas en un bosque seco tropical tumbesino*. *Revista de Biología Tropical / International Journal of Tropical Biology and Conservation* 64 (2): 859-873.
- Romero-Saritama, J. M. y C. Pérez-Ruiz. 2016b. *Rasgos morfológicos de semillas y su implicación en la conservación ex situ de especies leñosas en los bosques secos tumbesinos*. *Revista Ecosistemas* 25(2): 59-65.
- Rossini-Oliva, S., B. Valdés, M.C. Márquez-Campona y M. Bueso-López. 2006. *Germinación de las semillas en algunas especies americanas de Fabaceae y Bignoniaceae cultivadas en Sevilla (SO España)*. *Lagascalia* 26: 119-129.
- Roubik, D.W. 1982. *The ecological impact of nectar-robbing bees and pollinating hummingbirds on a tropical shrub*. *Ecology* 63: 354-360.
- Sabagal, C. 1992. *Regeneration of tropical dry forest in central America, with examples from Nicaragua*. *Journal of Vegetation Science* 3:407-16.
- Sampaio A.B., K.D. Holl y A. Scariot. 2007. *Does restoration enhance regeneration of seasonal deciduous forests in pastures in central Brazil?* *Restoration Ecology* 15:462-471.

- Sánchez-Azofeifa, G. A., M. Quesada, J.P. Rodríguez, J.M. Nassar, J.K.E. Stoner, A. Castillo, T. Garvin, E.L. Zent, J.C. Calvo-Alvarado, M.E. Kalacska y L. Fajardo. 2005. *Research priorities for Neotropical dry forests*. Biotropica: The Journal of Biology and Conservation 37(4): 477-485.
- Sánchez-Paz, Y. y M. Ramírez-Villalobos. 2006. *Tratamientos pregerminativos en semillas de Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit. y Prosopis juliflora (Sw.) DC.* Revista de la Facultad de Agronomía 23(3): 257-272.
- Secaira, E. 2008. *Evaluación del impacto ambiental y socio-económico del cultivo de melón en el valle del Motagua*. pp. 48-49. En: P. Negreros (ed). II Seminario de investigaciones para la conservación y desarrollo sostenible de los bosques secos de Guatemala-FDN/TNC.
- Segura, B.S.G. 2005. *Las especies introducidas: ¿benéficas o dañinas?*. Temas sobre restauración ecológica. Pp.127-133.
- SER. 2004. *The SER international primer on ecological restoration & Tucson: Society for ecological restoration international*. En: www.ser.org [con acceso el 17-08-2020].
- Silva, C.E., O.D. Salgado y B. González. 2008. *Evaluación de la capacidad de rebrotes de dos especies arbóreas en el bosque tropical seco en Nandarola, Pacífico Sur*. La Calera 8(11): 57-61.
- Soriano, D., P. Huante, A. Gamboa-deBuen y A. Orozco-Segovia. 2014. *Effects of burial and storage on germination and seed reserves of 18 tree species in a tropical deciduous forest in Mexico*. Oecologia 174(1): 33-44.
- Standley, P.C. y L.O. Williams. 1956. *Flora of Guatemala*. EE. UU. Chicago Natural Museum. Fieldiana botany 24 (7):67-70.
- Standley, P.C. y J.A. Steyermark. 1956. *Flora of Guatemala*. EE. UU. Chicago Natural Museum. Fieldiana botany 24 (5):281-282.
- Suárez, D. y L.M. Melgarejo. 2010. *Biología y germinación de semillas*. Experimentos en fisiología vegetal. Pp.13-25.

- Teketay, D. 1996. *The effect of different presowing seed treatments, temperature and light on the germination of five Senna species from Ethiopia*. *New Forests* 11:155-171.
- Thompson, K. 2000. *The functional ecology of soil seed banks*. pp. 215–235. En: M. Fenner (ed). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2nd Edn, Wallingford: CAB International.
- Tigabu, M. y P.C. Oden. 2001. *Effect of scarification, gibberellic acid and temperature on seed germination of two multipurpose Albizia species from Ethiopia*. *Seed science and technology* 29(1): 11-20.
- Tosi Jr., J.A. y R.F. Voertman. 1964. *Some environmental factors in the economic development of the tropics*. *Economic Geography* 40: 189–205
- Ulian T., A. Rovere y B. Muñoz. 2008. *Taller sobre conservación de semillas para la restauración ecológica*. *Ecosistemas* 17(3): 147 -148.
- Váldez Póron J. 2012. *Análisis de la riqueza florística del bosque seco de la Finca San Miguel, Municipio De Sanarate, El Progreso, Guatemala*. (Tesis de licenciatura). Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Varela, S.A. y V. Arana. 2010. *Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos*. *Sistemas Forestales Integrados* 3:1-10.
- Vargas Figueroa, J.A., O.L. Duque-Palacio y A.M. Torres-González. 2015. *Germinación de semillas de cuatro especies arbóreas del bosque seco tropical del Valle del Cauca, Colombia*. *Revista de Biología Tropical* 63(1): 249-261.
- Vargas, W. y F. Lozano. 2008. *El papel de un vivero en un proyecto de restauración en paisajes rurales andinos. Establecimiento del corredor Barbas – Bremen*. pp. 67-82. En: Barrera, J.I., M. Aguilar y D. Rondón, (eds.). *Experiencias de restauración ecológica en Colombia “Entre la sucesión y los disturbios”*. Escuela de Restauración Ecológica ERE. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Vásquez, W., P. Pupiales, P. Viteri, A. Sotomayor, C. Feican, D. Campaña y W. Viera. 2019. *Escarificación química y aplicación de ácido giberélico para la*

- germinación de semillas de cultivares de mora (Rubus glaucus Benth)*. Interciencia 44(3): 159-164.
- Vázquez-Yanes, C., A. Orozco-Segovia, E.E.A. Rincon, M.E. Sánchez-Coronado, P. Huante, J.R. Toledo y V.L. Barradas. 1990. *Light beneath the litter in a tropical forest: effect on seed germination*. Ecology 71(5): 1952-1958.
- Vázquez-Yanes C., A.I. Batis-Muñoz, M.I. Alcocer, M. Gual-Díaz y C. Sánchez-Dirzo. 1995. *Árboles y Arbustos Nativos Potencialmente Valiosos para la Restauración Ecológica y la Reforestación*. CONABIO, México, D.F.
- Veliz, M. y C. Méndez. 2008. *Análisis comparativo de la diversidad florística y endemismo de las zonas semiáridas de Guatemala* (Proyecto FODECYT No. 27-2006). Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Vieira D.L.M. y A. Scariot. 2006. *Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration*. Restoration Ecology 14:11-20.
- Viveros Viveros, H., J.D. Hernández Palmeros, M.V. Velasco García, R. Robles Silva, C. Ruiz Montiel, A. Aparicio Rentería, M.J. Martínez Hernández, J. Hernández Villa y M.L. Hernández Hernández. 2015. *Análisis de semilla, tratamientos pregerminativos de Enterolobium cyclocarpum (Jacq.) Griseb. y su crecimiento inicial*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 6(30): 52-65.
- Wantland, R. 2009. *Comparación de la eficiencia de tres tratamientos pregerminativos de semillas, mecánico con cautín; químico con ácido sulfúrico y físico por inmersión en agua caliente, en tres especies de árboles forestales, Teca (Tectona grandis); Conacaste (Enterolobium cyclocarpum); y Aripín (Caesalpinea velutina)*. Tesis para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal. Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad del Valle de Guatemala. 74pp.
- Willan, R.L. 1991. *A Guide to forest seed handling with special reference to the tropics*. Humleback, Denmark: FAO Forestry Paper, DANIDA Seed Centre.
- Williams-Linera, G. y C. Alvarez-Aquino. 2010. *Tropical dry forest landscape restoration in Central Veracruz, Mexico*. Ecological Restoration 28(3): 259-261.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Ubicación de las unidades experimentales de los distintos tratamientos pre-germinativos dentro del invernadero.



(Fuente: Fotografía tomada por Ana Barrios)

ANEXO 2. Plántulas con desarrollo normal de *Lonchocarpus minimiflorus* al finalizar los 42 días de germinación.



(Fuente: Fotografía tomada por Ana Barrios)

ANEXO 2. Plántulas con desarrollo normal de *Cochlospermum vitifolium* al finalizar los 42 días de germinación.



(Fuente: Fotografía tomada por Ana Barrios)