

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI–

Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas

Programa universitario de investigación de la Digi

Estrategias para la reproducción, establecimiento y propagación de fabáceas nativas del Valle del Motagua en el Jardín Botánico de Oriente

Nombre del proyecto de investigación

AP10CU-2022

Código del proyecto de investigación

**Instituto de Investigaciones del Centro Universitario de Zacapa (IICUNZAC),
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

Coordinador

Ing. Agr. Elmerson Alexander Lopez Cordón

Auxiliar de Investigación II

Br. Ana Cristina Hernández Solis

Nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por Digi

Zacapa, 28/02/2023

Lugar y fecha de presentación del informe final

Autoridades

DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN

Dra. Alice Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador del Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas

CENTRO UNIVERSITARIO DE ZACAPA

Dr. Carlos Augusto Vargas Gálvez
Director, Centro Universitario de Zacapa

Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás
Coordinador, Instituto de Investigaciones, Centro Universitario de Zacapa

Autores

Coordinador: Ing. Agr. Elmerson Alexander López Córdón
Investigador asociado: Br. Carlos André Chúa Velásquez
Auxiliar de Investigación II: Br. Ana Cristina Hernández Solís

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2022. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través del código AP10CU-2022 en el Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas -PUICB-.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

Agradecimientos: A la Licda. Johanna Gil y Gilberto Salazar (Asociación Zootropic), Rudy Ortíz, Juan Manuel Alvarado (CONAP), Romeo Archila y Denilson Cordón por el apoyo brindado durante la recolección del germoplasma utilizado para la realización de este proyecto. Al Lic. Jimmy Alexander Vargas Salguero, tesorero del CUNZAC, por el seguimiento de trámites y compras ejecutadas durante el proyecto. Al Ing. Agr. Anibal Giovanni Echeverria De León y a la carrera de Nutrición del Centro Universitario de Zacapa por el préstamo del Laboratorio Multidisciplinario del CUNZAC, empleado para la ejecución de la fase experimental del proyecto. A Licda. Colombia Callén, la ONG Pro-Zac y a Antonio Sosa de la Municipalidad de Zacapa por su apoyo invaluable durante las jornadas de adopción de plantas. A la Dra. Michelle Bustamante Castillo y al Dr. Manuel Barrios Izás por su apoyo y acompañamiento durante la elaboración de la propuesta y ejecución del proyecto.

Acrónimos

CUNZAC	Centro Universitario de Zacapa
DIGI	Dirección General de Investigación - USAC
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
IICUNZAC	Instituto de Investigaciones - CUNZAC
JBO	Jardín Botánico de Oriente - CUNZAC
PRM	Parque Regional Municipal
RNP	Reserva Natural Privada
RSVM	Región Semiárida del Valle del Motagua

1. Índice	
1.1. Índice de tablas	6
1.2. Índice de figuras	6
2. Resumen y palabras claves	7
3. Introducción	8
4. Planteamiento del problema	9
5. Delimitación en tiempo y espacio	10
5.1. Delimitación en tiempo	10
5.2. Delimitación espacial	10
6. Marco teórico	11
7. Estado del arte	17
8. Objetivos	19
8.1. Objetivo general	19
8.2. Objetivos específicos	20
9. Hipótesis	20
10. Materiales y Métodos	20
10.1. Enfoque de la investigación	20
10.2. Recolección de información	20
10.3. Métodos	25
10.4. Técnicas e instrumentos	26
10.5. Procesamiento y análisis de la información	27
11. Resultados y discusión	28
11.1. Resultados	28
i. <i>Muestra colectada y morfología de las semillas</i>	28
ii. <i>Viabilidad y germinación</i>	30
iii. <i>Programa de adopción de plantas nativas del Valle del Motagua</i>	35
11.2. Discusión de resultados	39
i. <i>Ensayos de viabilidad y germinación</i>	39
ii. <i>Ensayos de establecimiento ex-situ con distintas combinaciones de sustrato</i>	42
iii. <i>Programa de adopción de plantas nativas del Valle del Motagua</i>	42
12. Conclusiones	43
13. Referencias	44

14. Apéndices	51
15. Aspectos éticos y legales	78
16. Vinculación	78
17. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual.	78
18. Aporte de la investigación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):	79
19. Orden de pago final	¡Error! Marcador no definido.
20. Declaración del coordinador del proyecto de investigación	¡Error! Marcador no definido.
21. Aval del Director del Instituto, Centro o departamento de investigación o Coordinador de Investigación del Centro Regional Universitario.	¡Error! Marcador no definido.
22. Visado de la dirección General de Investigación	¡Error! Marcador no definido.

1.1. Índice de tablas

1	Especies nativas del bosque seco estudiadas en el presente proyecto y criterios de selección.	21
2	Clasificación de los métodos pregerminativos a utilizar	25
3	Porcentajes de germinación (%) por tratamiento pre-germinativo y de viabilidad de las semillas de las seis especies de estudio.	30
4	Tiempo medio de germinación en días de las semillas de las seis especies de estudio bajo los distintos tratamientos	32
5	Porcentaje de sobrevivencia de plántulas en distintas combinaciones de sustrato	34
6	Plantas adoptadas por especie, durante la primera y segunda Jornada de Adopción	35

1.2. Índice de figuras

1	Delimitación espacial de la investigación. Los muestreos se realizarán en el valle del Motagua, en los departamentos de El Progreso y Zacapa	11
2	Sitios de colecta de germoplasma.	24
3	Volumen de semillas por especie.	29
4	Curvas de germinación por especie	31
5	Monitoreo del crecimiento vertical de plántulas en condiciones de vivero.	33
6	Monitoreo del crecimiento de hojas de las plántulas en condiciones de vivero.	33
7	Número y porcentaje de plantas adoptadas por especie durante las dos Jornadas de Adopción de plantas nativas	36
8	Número de participantes durante la Primera y Segunda Jornada de Adopción de plantas nativas	37
9	Perfil demográfico de los adoptantes de ambas Jornadas de Adopción de plantas nativas	37

2. Resumen y palabras claves

El bosque seco de la Región Semiárida del Valle del Motagua se encuentra en un proceso de pérdida de cobertura vegetal y diversidad debido a fuertes presiones antropogénicas que enfrenta. Para contribuir a su regeneración, es importante definir métodos que promuevan la germinación de semillas, el establecimiento de plántulas y la conservación de las especies nativas, por medio del involucramiento de la sociedad civil. Este estudio propuso evaluar la eficacia de cuatro métodos pregerminativos (escarificación mecánica, shock térmico, imbibición en agua e imbibición en una solución de peróxido al 3%) en semillas de seis especies de fabáceas nativas: *Caesalpinia exostemma*, *C. pulcherrima*, *C. velutina*, *Leucaena zacapana*, *Mimosa zacapana* y *Gliricidia sepium*. Se evaluó asimismo, la sobrevivencia y crecimiento de las plántulas de estas especies en condiciones de vivero bajo distintas combinaciones de sustratos (tierra negra, arena, broza, pumita y sustrato universal). Los resultados indican que la mayoría de especies presentan dormancia física que puede romperse mediante escarificación mecánica y que las distintas combinaciones de sustratos evaluadas no tienen un efecto diferencial en el crecimiento pero sí en la sobrevivencia de las plántulas. Por último, se realizaron Jornadas de Adopción de las plantas reproducidas en el Jardín Botánico de Oriente, durante las cuales se observó un mayor interés por la adopción de cactáceas y una mayor participación de mujeres adultas. Esta información guiará de mejor manera futuras actividades de adopción, con respecto a estrategias de divulgación que favorezcan una mejor recepción y mayor participación por parte de las personas locales.

Palabras clave: bosque seco estacional, viabilidad de semillas, reproducción *ex situ*, viveros, ciudades sostenibles.

Abstract

*"The dry forest of the Semi-Arid Region of the Motagua Valley is undergoing a process of loss of vegetation cover and diversity due to strong anthropogenic pressures. To contribute to its regeneration, it is important to define methods that promote seed germination, establishment of native species seedlings, and build a conservation strategy that involves civil society in the conservation of the ecosystem. This study proposed to evaluate the effectiveness of four pre-germination methods (mechanical scarification, thermal shock, water imbibition, and imbibition in a 3% hydrogen peroxide solution) in seeds of six native legume species: *Caesalpinia exostemma*, *C. pulcherrima*, *C. velutina*, *Leucaena zacapana*, *Mimosa zacapana*, and *Gliricidia sepium*. The survival and growth of these species' seedlings were also evaluated in a nursery under different substrate combinations (black soil, sand, brushwood, pumice, and universal substrate). The results indicate that most of the studied species have physical dormancy that can be broken by mechanical scarification and that the different combinations of substrates evaluated do not have a differential effect on growth, but they do have a differential effect on seedling survival.. Lastly, Plants' adoption activities were held for the plants reproduced in the Jardín Botánico de Oriente, during which a greater interest*

was observed for the adoption of cacti while a large part of the participants were adult women. This information will guide future adoption activities more effectively, with respect to dissemination strategies that favor better reception and greater participation by local people."

Keywords: *seasonal dry forest, seed viability, ex situ reproduction, nurseries, sustainable cities.*

3. Introducción

La región semiárida del Valle del Motagua (RSVM) se clasifica como una ecorregión única según la World Wildlife Fund (WWF) basado en su biodiversidad, niveles de endemismo e historia geológica (Dinerstein et al., 1995). Esta ecorregión se encuentra distribuida entre los departamentos de El Progreso, Zacapa y Chiquimula, a lo largo de la cuenca del río Motagua con alturas oscilando entre 100 y 400 msnm (Véliz, 2008). Ubicado al norte de las Sierra de las Minas y al sur de la Sierra del Merendón, ambos macizos montañosos evitan el paso de la humedad proveniente del océano Atlántico provocando aridez en la zona, temperaturas elevadas, precipitación pluvial en rango de 550 a 650 mm. anual y déficit de evapotranspiración potencial entre 600 a 800 mm. anuales (Nájera, 2006).

Las regiones semiáridas comúnmente son denominadas como bosques secos o espinosos debido a la estructura y composición de la vegetación, la cual ha sido históricamente poco estudiada en Guatemala a pesar de su alto valor biológico (Véliz, 2008). Estos ecosistemas se encuentran subrepresentadas dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SIGAP) a pesar de formar comunidades vegetales únicas en la región. El valle del Motagua alberga una diversidad florística de 598 especies distribuidas en 107 familias, siendo Fabaceae una de las familias más representadas con 41 especies las cuales representan asimismo el estrato arbustivo de la vegetación (Véliz Ramírez et al., 2003). Según Véliz (2008), el bosque seco espinoso de la RSVM alberga 21 especies vegetales con cierto grado de endemismo reconocido, aunque este valor puede que se encuentre subestimado (Govindarajulu, Hughes y Bailey, 2011).

Los bosques secos estacionales han sido reconocido desde finales del siglo XX como el ecosistema tropical más amenazado debido a las altas tasas de deforestación y explotación agrícola (Janzen, 1988; García Oliva & Jaramillo, 2011) En la RSVM, el bosque seco estacional se encuentra en un proceso de rápida fragmentación por la expansión de la actividad agropecuaria (Nájera, 2006) induciendo cambios importantes en el paisaje y provocando la pérdida de biodiversidad, catalizando proceso de extinción local.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) establece en su décimo quinto Objetivo de Desarrollo Sostenible -ODS15- la necesidad de proteger los ecosistemas terrestres, restablecer las redes de interacción ecológicas naturales y promover el uso sostenible de los

ecosistemas terrestres para detener la pérdida de biodiversidad y la desertificación de la tierra a nivel mundial (Naciones Unidas, 2018). Para ello, los Jardines Botánicos son excelentes aliados para su ejecución pues no solo son centros de documentación de la diversidad sino que contribuyen a la valorización de ésta a través de la difusión de la información acerca de su uso e importancia en los ecosistemas (Caballero et al., 2012).

El Jardín Botánico de Oriente (JBO) tiene como uno de sus objetivos contribuir a la protección de la biodiversidad de la RSVM mediante la reproducción de plantas nativas de valor, ecosistémico, cultural y/o conservacionista para su aprovechamiento por parte de la sociedad civil. En este estudio se propone analizar diferentes métodos pregerminativos y de establecimiento para plantas con potencial de regeneración ecosistémica y silvicultura urbana para definir una estrategia efectiva de reproducción *in/ex situ* y contribuir a la recuperación de las poblaciones nativas, fomentando su uso en ambientes urbanos y rurales para mantener los servicios ecosistémicos de soporte, regulación y cultura.

4. Planteamiento del problema

El bosque seco tropical se considera el ecosistema terrestre con mayor grado de amenaza a nivel mundial, tras verse sometido a una serie de cambios de uso de suelo profunda, que ha dado lugar a la conversión de áreas boscosas en pastizales, cultivos y bosques secundarios (Khurana & Singh, 2001). Ewel (1999) señala que las limitantes ambientales sobre el desarrollo y asentamiento humano dentro de estos ecosistemas son bajas en comparación a otros. Por ejemplo, la lluvia anual no se desvía considerablemente de la evapotranspiración potencial, el agua de riego es requerida en cantidades modestas, pero la precipitación pluvial se mantiene a niveles en los que la proliferación de plagas y lixiviación de nutrientes no son problemáticas dominantes (Ewel, 1999). Dadas estas características climáticas y edáficas, atractivas para los asentamientos humanos y desarrollo de actividades económicas en los trópicos, este ecosistema ha sustentado altas densidades poblacionales humanas de forma histórica (Tosi & Voertman, 1964; Sánchez-Azofeifa et al., 2005; Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010).

A nivel del Neotrópico, los bosques secos se encuentran como fragmentos de un bosque originalmente grande y continuo, que se extendía desde México hasta el sur de Argentina. Se considera que la extensión del bosque seco en el Neotrópico ha disminuido principalmente por la industria maderera y la extensión de la frontera agrícola-ganadera (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010). En Mesoamérica, las actividades de tala y establecimiento de sitios agrícola-ganaderos ha ocurrido desde hace aproximadamente 400 años (Balza & de Gouvenain, 2019). Esto ha derivado en una pérdida del 75% de la cobertura histórica del bosque seco en Guatemala (Ariano & Secaira, 2011).

La pérdida de cobertura de bosque seco ha derivado en un declive de la biodiversidad asociada a este ecosistema (Pinedo-Escatel et al., 2021), así como en la degradación de los servicios

ecosistémicos que provee, tales como el suministro de recursos alimenticios, madereros y medicinales, la regulación del clima y aprovisionamiento de sombra y humedad, mantenimiento de altas tasas de infiltración del suelo, control de la lixiviación e inundación del suelo (Maass et al., 2005). Esto evidencia la necesidad de restablecer y regenerar áreas degradadas que funcionen como reservorios de la diversidad biológica nativa de la región y permitan el mantenimiento de los servicios ecosistémicos ya mencionados. Sin embargo, la recuperación de los bosques tiende a ser un proceso lento e impredecible en las zonas tropicales secas, debido a las complejas interacciones entre el suelo, plántulas y condiciones climáticas (Bhadouria et al., 2017), y por ser sitios caracterizados por una cobertura de dosel mínima, lo cual se traduce en una mayor incidencia solar directa sobre el suelo y en una disminución de la humedad superficial del suelo (Minnick & Alwara, 2012; González-Rivas et al., 2009). Por ello, para la reforestación y regeneración exitosa de áreas boscosas, es crítico conocer las condiciones óptimas para la germinación de las semillas y el establecimiento y desarrollo de plántulas de especies nativas para utilizar en la regeneración de sitios perturbados, especialmente de especies de estratos arbustivos y arbóreos que promuevan una retroalimentación positiva para la colonización de más vegetación perenne (Minnick & Alwara, 2012).

5. Delimitación en tiempo y espacio

5.1. Delimitación en tiempo

Este proyecto tuvo un periodo de ejecución de 13 meses, de enero 2022 a febrero 2023. El estudio se desarrolló en 3 fases: en la fase 1 (primer trimestre 2022) se identificaron sitios de colecta y se obtuvo el germoplasma (semillas) de las especies vegetales propuestas para estudio, se tomaron medidas morfológicas de las semillas y tras un proceso de selección se depositaron en condiciones controladas. En la fase 2 (agosto a diciembre 2022) el germoplasma se empleó para realizar estudios de germinación y viabilidad de semillas y ensayos de establecimiento de plántulas. La tercera fase se realizó en paralelo a la fase 1 y 2 hasta febrero de 2023 y parte de la ejecución del Programa de Adopción de Plantas Nativas del bosque seco: la donación de especies reproducidas *ex situ* a particulares y el análisis del perfil del donatario.

5.2. Delimitación espacial

El estudio se ejecutó en la ecorregión semiárida del Valle del Motagua según la clasificación de ecorregiones de la World Wildlife Foundation (2021), las colectas se realizaron en los departamentos de El Progreso y Zacapa (Figura 1) mientras que las pruebas de germinación y establecimiento se realizaron en el Laboratorio Multidisciplinario de la carrera de Nutrición y en las instalaciones del JBO del Centro Universitario de Zacapa -CUNZAC-, ubicado en la Aldea Pueblo Modelo, municipio de Zacapa. Los experimentos se realizarán en el Jardín Botánico de Oriente, CUNZAC.

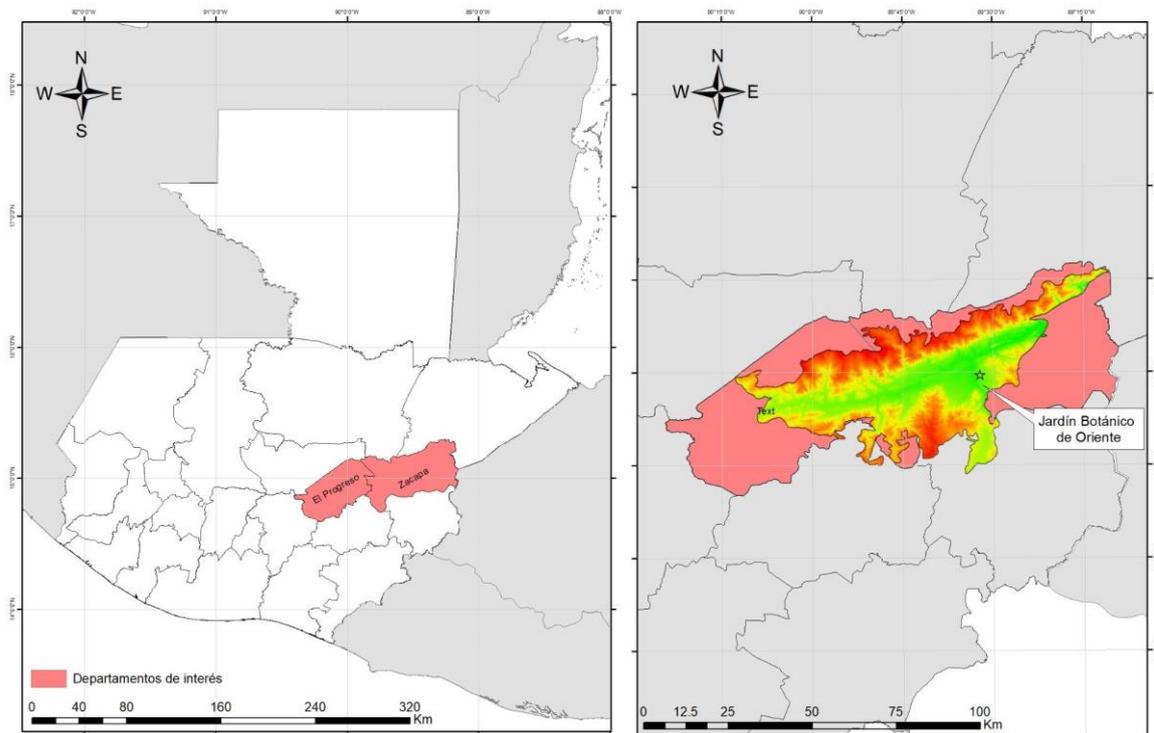


Figura 1. Delimitación espacial de la investigación.

6. Marco teórico

Ecología urbana, servicios ecosistémicos y resiliencia ecológica

Un servicio ecosistémico se entiende como cualquier beneficio que el ser humano obtiene a partir de un ecosistema (Daily, 1997; Maas et al., 2005). Los servicios ecosistémicos abarcan los procesos a través de los cuales los ecosistemas y la biodiversidad asociada a ellos permiten sostener y mantener la vida humana (Caro-Caro & Torres-Mora, 2015). Dentro de estos servicios se pueden distinguir los de soporte o apoyo (p. ej. productividad primaria de los ecosistemas y regulación de ciclos biogeoquímicos de la Tierra), aprovisionamiento (referidos a la obtención de bienes y materiales directamente de los ecosistemas, como la leña y frutos), regulación (relacionados al mantenimiento del clima, calidad del aire, moderación de fenómenos naturales, tratamiento de aguas, fertilidad del suelo, polinización, entre otros) y culturales (aquellos que satisfacen necesidades no materiales, como la recreación, actividades espirituales, de salud física y mentales) (Maas et al., 2005; Caro-Caro & Torres-Mora, 2015).

El mantenimiento de los servicios ecosistémicos es fundamental para que los ecosistemas sean resilientes, es decir, capaces de recuperarse ante perturbaciones antropogénicas. La

resiliencia surge a partir de la interacción y regulación recíproca entre los elementos bióticos (*i. e.* biodiversidad) y abióticos (p. ej. suelo y recursos hídricos) del ecosistema, y abarca desde la escala genética hasta la diversidad paisajística. Por ende, la degradación forestal representa una amenaza real, que puede derivar en la pérdida de resiliencia de los bosques a partir de eventos de perturbación severos que marcan un punto de inflexión, en los que los bosques no son capaces de recuperarse y derivan en una pérdida de los servicios dados (Thompson, 2011). La relación entre servicios ecosistémicos, pérdida de resiliencia de los ecosistemas y la calidad de vida humana, marca una pauta importante para que las sociedades se involucren activamente en la búsqueda de soluciones ante problemáticas ambientales como la pérdida acelerada de bosque.

El rol de los Jardines Botánicos

Los primeros jardines botánicos datan de mediados del siglo XVI, a jardines físicos establecidos por universidades europeas para el estudio de plantas medicinales. Posteriormente, entre los siglos XVII y XIX, durante la expansión europea, los jardines botánicos adquirieron el papel de centros de comercio e intercambio de semillas y frutos de distintas tierras, por lo que participaron activamente en los eventos de introducción y aclimatación de especies económicas recién descubiertas. Recientemente, el enfoque de los jardines botánicos ha cambiado, para incluir dentro de sus programas actividades de conservación de la biodiversidad florística, colecta y almacenamiento de germoplasma, contribución al mantenimiento de servicios ecosistémicos, investigación, educación, concientización ambiental y la creación de refugios urbanos para la vida silvestre y espacios de recreación para humanos (Krishnan & Novy, 2016).

Con este cambio de enfoque durante las últimas décadas, la Asociación Internacional de Jardines Botánicos para la Conservación (BGCI, por su nombre en inglés: “*Botanic Gardens Conservation International*”) define un jardín botánico como una institución que posee una colección documentada de ejemplares vivos de diversas especies de plantas, la cual es empleada con fines de conservación, investigación científica, educación y exhibición al público en general (Krishnan & Novy, 2016). Así, el rol de los jardines botánicos va más allá del resguardo y colección de especímenes nativos, amenazados o en peligro, cumpliendo un papel social que permite vincular a sus visitantes a programas de ciencia ciudadana, concientización e investigación para la valoración de los recursos florísticos (Krishnan & Novy, 2016).

Latencia en semillas de angiospermas

La incapacidad de germinación de una semilla, aún bajo condiciones ambientales favorables, se debe a que éstas son inviables, se encuentran vacías, o bien, en estado de relativa inactividad fisiológica, conocida como latencia. El estado de latencia se caracteriza por ser un bloqueo de la germinación de semillas viables en ambientes favorables, debido a factores

inherentes al tejido embrionario o a la cubierta seminal (Nasreen et al., 2002; Varela & Arana, 2011). Es un estado de dormición o letargo que cumple la función de impedir que la semilla germine en la planta madre antes de ser dispersada, además de contribuir a la supervivencia de la semilla al restringir su germinación cuando las condiciones ambientales no son adecuadas para el desarrollo de la plántula. Sin embargo, la latencia suele presentarse como un problema en programas de germinación y cuidado de plántulas en invernaderos (Varela & Arana, 2011).

Las características propias de la semilla, como su tipo de cubierta y el grado de desarrollo del embrión, son las que determinan el tipo de latencia bajo el cual puede encontrarse. La latencia endógena (morfológica) se presenta en aquellas semillas en las que el embrión no se desarrolla o se encuentra en un estado rudimentario. La latencia exógena se refiere al estado de dormancia que es inducido por características de la cubierta seminal. La latencia exógena puede ser física, cuando la cubierta seminal es impermeable y mantiene un bajo contenido de humedad dentro de la semilla; mecánica, cuando la cubierta es muy rígida y evita la expansión del embrión durante la germinación; y química, cuando la cubierta presenta sustancias químicas que inhiben la germinación (Varela & Arana, 2011).

La dormancia en fabáceas es causada por un bloqueo físico causado por el tegumento resistente e impermeable, el cual evita el embebimiento y oxigenación del embrión, por lo cual permanece en latencia (Barboza et al. 2007). Pérez (2004) propone la testa como una interfase entre embrión y ambiente, las interferencias en la testa afectará el intercambio entre embrión y ambiente. Los procedimientos de desgaste del tegumento que favorezcan la absorción de agua, conocidos como métodos de escarificación, promueven la terminación del periodo de latencia y la germinación del embrión.

Métodos pregerminativos

La germinación es un proceso que empieza por la imbibición de la semilla seca, dado a que el agua le permite reactivar sus actividades metabólicas (Azcón-Bieto & Talón, 2008; Varela & Arana, 2011). Es por ello que, para interrumpir el estado de latencia, se han desarrollado distintos métodos pregerminativos que favorecen la absorción de agua por parte de la semilla (Varela & Arana, 2011). Dentro de los métodos pregerminativos más comunes se encuentran:

- a. Estratificación: empleado para interrumpir la latencia por factores fisiológicos. En este método, las semillas son depositadas en sustratos que preserven la humedad, tales como arena, turba o vermiculita (Hartmann & Kester, 1988, Donoso, 1993; Varela & Arana, 2011). La estratificación puede realizarse con estratos fríos (4-10°C) o calientes (20-30°C), según se busque asemejar condiciones frías o cálidas que estén reportadas como las condiciones de germinación óptimas de las especies de interés (Varela & Arana, 2011).

- b. Escarificación: se conoce como escarificación al proceso de romper, desgastar, alterar o ablandar las cubiertas de las semillas, permeando la semilla y permitiendo el paso de agua y gases. Debido a ello, la escarificación es útil cuando se trata con latencia física. La escarificación puede dividirse en escarificación mecánica y química. La escarificación mecánica son todos aquellos procesos que requieren de fuerza física y herramientas para raspar o romper la cubierta, tales como lijas, martillos o contenedores con arena y material abrasivo. Por otro lado, en el método químico de escarificación, las semillas se remojan en disoluciones de compuestos químicos, como ácido sulfúrico, con el fin de desgastar y ablandar uniformemente la cubierta seminal (Mansilla, 2015; Varela & Arana, 2011). El ácido sulfúrico es el compuesto más utilizado en este método, y suele emplearse en concentraciones del 70% y 90% (Mansilla, 2015).
- c. Lixiviación: consiste en remojar las semillas en agua, con el fin de diluir y remover los compuestos inhibidores de la germinación que se encuentran en la cubierta seminal, así como para ablandarla. Usualmente, las semillas se remojan durante un tiempo de 12 hasta 72 h. Este tratamiento es útil con semillas de latencia exógena química (Hartmann & Kester, 1988; Mansilla, 2015; Varela & Arana, 2011).
- d. Choque térmico: similar al método de lixiviación, el método de choque térmico tiene como fin ablandar la cubierta seminal. Para ello, las semillas son colocadas en un recipiente con agua hirviendo e inmediatamente son retiradas de la fuente de calor. El agua con las semillas se deja reposar hasta que se encuentre a temperatura ambiente (entre 12 y 24 h) (Mansilla, 2015; Varela & Arana, 2011). Para las semillas de algunas plantas, este método suele perjudicar su viabilidad si su tiempo de permanencia en agua hirviendo supera un límite crítico de tolerancia, el cual puede ir de 5 a 30 seg o más (Doran et al., 1983). Es por ello, que existen otros métodos de menor riesgo para las semillas, que consisten en la imbibición con agua a una temperatura de 60-90°C durante 1 a 10 minutos y que se consideran igual de efectivas que la imbibición con agua a 100°C (Doran et al., 1983).
- e. Hormonas y estimulantes químicos: otro método para inducir la germinación es la aplicación de fitohormonas en medios de cultivo. Dentro del amplio grupo de fitohormonas, el ácido giberélico, o giberelinas, es la más empleada, dado a que interrumpe la latencia y es un promotor primordial de la germinación. Su acción es antagónica a la del ácido abscísico, la fitohormona responsable del mantenimiento de la latencia, por medio de la inhibición de absorción de agua (Varela y Arana, 2011; Vishal y Kumar, 2018).

Pruebas de viabilidad de semillas

La viabilidad de una semilla se define como el mantenimiento de la actividad metabólica y enzimática necesaria para impulsar los procesos de germinación y crecimiento de plántulas (Copeland y McDonald, 2001). El ensayo de tetrazolio (cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio) es un método ampliamente usado para la rápida evaluación de la viabilidad y potencial de germinación de las semillas (Patil y Dadlani, 2006; Verma y Majee, 2013). Este ensayo se basa en la capacidad de los tejidos aeróbicos para reducir el tetrazolio, una sal incolora, en formazan, un compuesto rojizo e insoluble en agua, por acción de las enzimas deshidrogenasas celulares. Al ser un compuesto insoluble y no difusible, el formazan termina por teñir de color rojizo todos los tejidos vivos de la semilla, mientras que los tejidos muertos permanecen sin teñir (Patil y Dadlani, 2006; Verma y Majee, 2013; Iossi et al., 2016)

Dentro de los usos y ventajas del ensayo de tetrazolio se encuentran: 1) una detección temprana de estados deteriorados de la semilla, previo a las pruebas de germinación, 2) evaluación rápida del estado de las semillas en latencia y 3) funcionar como una guía para el control de calidad de semillas y plántulas en programas de reproducción (Ramírez, 1999).

Relación de las características físicas e histológicas con la germinación de la semilla

La dormancia física es una condición que se encuentra altamente ligada a las características histológicas de la cubierta seminal. En las fabáceas, estas características se relacionan a la naturaleza hidrofóbica de la cutícula y epidermis que rodean la semilla (Venier et al., 2011; Smýkal et al., 2014). El esquema general de la semilla de las fabáceas se caracteriza por la epidermis de la cubierta seminal, que forma una única capa de células en empalizada, alargadas radialmente, apretadas y con paredes celulares engrosadas irregularmente, llamadas macroesclereidas (Smýkal et al., 2014). La pared celular externa de las macroesclereidas se encuentra cubierta por la cutícula, una capa continua de composición lipídica que actúa como la barrera más externa para la imbibición de la semilla. Por otro lado, las células en empalizada suelen estar impregnadas por compuestos fenólicos, como la lignina, y suberinas, que también impermeabilizan la cubierta seminal (Smýkal et al., 2014).

Si bien se cuenta con un esquema general de la anatomía de las semillas de fabáceas, también pueden encontrarse diferencias interespecíficas en la estructura de la cubierta seminal, tal como con algunas especies de *Acacia* (Venier et al., 2011), y diferencias en la clase de compuestos hidrofóbicos que se encuentran impregnados en las macroesclereidas (Jayasuriya et al. 2007; Geisler et al., 2016). Estas diferencias en la composición química y estructura de la cubierta seminal pueden relacionarse con la presencia, ausencia e intensidad de la latencia de las semillas. A su vez, esto se traduce a potenciales de regeneración de cobertura boscosa diferentes, según la especie y las condiciones ambientales (Tweddle et al., 2003; Venier et al., 2011). Por otro lado, también se cuenta con estudios que relacionan la viabilidad y

germinación de las semillas de fabáceas con sus características morfométricas (Marshall, 1986; Lopes y Fagundes, 2014; Fagundes et al, 2020). En general, estos estudios relacionan un mayor tamaño de semilla con velocidades de germinación más bajas que son compensadas con una mayor vigorosidad de las plántulas.

Sustratos de cultivo

Un sustrato, o medio de crecimiento, es el material sólido de origen mineral, orgánico o una mezcla de ambos, que brinda a las plantas un sitio de anclaje y de obtención de agua, minerales y oxígeno para que se desarrollen y crezcan con normalidad (Instituto Forestal de Chile, 2013). Los sustratos pueden clasificarse como inertes y activos, siendo los primeros aquellos que únicamente brindan soporte a la planta, mientras que los segundos actúan como un depósito de reserva de nutrientes. Otra clasificación de los sustratos es según su origen, como orgánicos o inorgánicos. Los sustratos orgánicos abarcan las turbas, compuestos poliméricos no biodegradables y corteza. Dentro de los sustratos inorgánicos se encuentran los de origen natural, como la arena, grava y tierra volcánica, y los sustratos transformados, como la perlita y vermiculita (Instituto Forestal de Chile, 2013).

Por lo general, los sustratos para cultivo se encuentran como una mezcla de distintos componentes, con el fin de cumplir con los requerimientos para el desarrollo de cada planta en particular, como puede serlo un pH levemente ácido y una alta capacidad de intercambio catiónico (Instituto Forestal de Chile, 2013; Colque, 2016). Dentro de estos componentes se encuentra la tierra negra, un sustrato con una gran cantidad de materia orgánica descompuesta que proporciona nutrientes y permite mantener la humedad. Otro componente común es la arena, que permite una aireación y drenaje adecuado y evita el encharcamiento del agua posterior al riego (Colque, 2016). Otros componentes de sustratos de cultivos son el aserrín, vermiculita y broza. El aserrín aumenta el porcentaje de porosidad del sustrato y permite un mejor intercambio gaseoso y un mayor flujo, almacenamiento y drenaje de agua, además de mantener constante la temperatura del suelo. La vermiculita posee una capacidad elevada de intercambio catiónico, por lo que retiene y libera nutrientes en reserva. Por último, la broza es el conjunto de desechos vegetales que funciona como un reservorio de nutrientes y materia orgánica (Colque, 2016).

Plantas nodrizas y establecimiento de plántulas

Las plantas nodrizas son especies de particular interés en proyectos de restauración de bosques, dado que cumplen el rol de brindar las condiciones necesarias de establecimiento, crecimiento y desarrollo de otras especies durante sus primeras etapas de vida (Martínez, 2011). Al modificar beneficiosamente las condiciones microclimáticas del sitio, brindar protección contra alta incidencia solar, mayor humedad, nutrientes y protección contra herbívoros, las plantas nodrizas permiten que las especies que crecen asociada a ella se desempeñen mejor que aquellas que crecen en su ausencia (Cruz-Bolaños et al., 2018), por lo

que tienen un alto potencial como restauradoras de sitios perturbados, como la RSVM , al promover la recolonización de otras especies vegetales.

7. Estado del arte

Tratamientos pregerminativos con semillas de especies nativas del bosque seco tropical

La restauración ecológica de ecosistemas profundamente perturbados requiere de estrategias que consideren los factores limitantes de los procesos biológicos de las especies nativas, tales como la germinación y longevidad de las semillas de las especies típicas de estos sitios (Vargas-Figueroa et al., 2014). La consideración de los tratamientos pregerminativos como un requisito para la obtención de plántulas viables, que puedan ser empleados en esfuerzos de reforestación, ha sido reconocido por otros autores como Ferro y colaboradores (2018) y González-Rivas y colaboradores (2009).

A la fecha se han realizado diversos estudios sobre los tratamientos pregerminativos óptimos para distintas especies presentes en la RSVM . En su estudio con *Cedrela odorata* L., *Guaiacum sanctum* L. y *Calycophyllum candidissimum* (Vahl) DC., González-Rivas et al. (2009) reportan que la exposición continua de las semillas de *C. candidissimum* (Vahl) DC. a la luz, dentro de un rango de temperaturas de 20-35°C favorece la germinación de esta especie a comparación del mismo tratamiento en oscuridad. Por otro lado, las tasas de germinación de *C. odorata* L. y *G. sanctum* L. fueron mayores cuando la temperatura se encontraba entre 20-25°C. Para otras especies, como *Plocosperma buxifolium* Benth. y *Crescentia alata* Kunth., se ha observado que tanto el porcentaje, como la velocidad de germinación de sus semillas, se reducen al tratarlas con los métodos de escarificación mecánica con papel lija, escarificación química con ácido y escarificación por choque con agua caliente (Coba-Pérez et al., 2013).

En otros casos, el tiempo de germinación de las semillas es considerablemente corto, por lo que no se considera necesario someter a las semillas a métodos de escarificación que puedan comprometer su viabilidad, tal como se ha observado en *Haematoxylum brasiletto* H. Karst., que germina a las 48 h de sembrarse en sustrato humedecido (Ventura et al., 2020). Estos antecedentes evidencian la necesidad de evaluar el efecto de distintos tratamientos pregerminativos con las especies de interés, ya que cada semilla presenta un nivel de susceptibilidad diferente ante estos.

Estudios de tratamientos pregerminativos y viabilidad con las especies de interés

Con respecto a las especies de interés para esta propuesta de investigación, se cuenta con información de tratamientos pregerminativos realizados con semillas de *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw., *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. y *Caesalpinia velutina* (Britton & Rose) Standl en distintas áreas del Neotrópico. En el caso de *C. pulcherrima* (L.) Sw. se ha observado un ligero aumento en los porcentajes de germinación, al tratar las semillas con escarificación mecánica con papel lija a temperaturas de 20-30°C, en comparación con semillas sin escarificar (Ferro et al., 2019). Con *C. velutina* (Britton & Rose) Standl, se han realizado estudios con tratamientos de imbibición en agua a 80°C por tres minutos, inmersión en agua a temperatura ambiente por 48 h e imbibición en ácido sulfúrico al 80% por 10 minutos, obteniendo porcentajes de germinación de 77, 75 y 34.5%, respectivamente (Mansilla, 2015).

Para *C. velutina* (Britton & Rose) Standl y *C. pulcherrima* (L.) Sw. también se han realizado análisis de viabilidad por la prueba de tetrazolio. Ramírez (1999) reportó un porcentaje de viabilidad de 92% para semillas de aripín colectadas en el municipio de Morazán, El Progreso, considerando como viables las semillas que presentaban el embrión y cotiledones completamente teñidos por una solución de tetrazolio al 0.1%. Para *C. pulcherrima* (L.) Sw. se han reportado porcentajes de viabilidad del 92% y 91%, empleando soluciones de tetrazolio del 0.075% y 0.1%, respectivamente, a condiciones de 30°C y en períodos de 2 y 4 h. Los resultados de la prueba de tetrazolio fueron similares a las pruebas de germinación realizadas durante el mismo estudio (tasas de germinación del 91%), lo cual demostró su utilidad como medio de evaluación rápido de la viabilidad y permitió comprobar una correcta aplicación de los métodos pregerminativos (Ferro et al., 2019).

Tratamientos pregerminativos y establecimiento de plántulas en el área de estudio

La RSVM cuenta con un estudio que evaluó el efecto de distintos tratamientos de escarificación, manejo de luz y aplicación de fitohormonas en las tasas de germinación de 10 especies nativas de cactáceas de la región. Con respecto a los métodos de escarificación, los resultados del estudio mostraron un aumento leve en las tasas de germinación de las semillas a comparación del control. El estudio también evaluó distintas mezclas de sustrato para el establecimiento *ex situ* (en vivero) de las plántulas germinadas (Domínguez y Aldana, 2021). Sin embargo, la restauración ecológica de ecosistemas perturbados, requiere del establecimiento *in situ* de las especies de interés, lo cual tiende a ser complicado debido a las condiciones climáticas adversas de estos sitios (Minnick y Alwara, 2012; González-Rivas et al., 2009). Diversos estudios han profundizado en la germinación, reclutamiento y supervivencia de plántulas de especies de cactus en bosques secos tropicales, encontrando que muchas de estas especies requieren de plantas nodrizas perennes durante, por lo menos, la etapa de aclimatación y establecimiento, dado a que estas proveen la humedad y protección a la radiación excesiva que las plántulas necesitan durante etapas tempranas de su crecimiento

(Nolasco et al., 1997; Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 1999). Por ello, es importante evaluar el desempeño de especies nativas como potenciales plantas nodrizas que promuevan la restauración del bosque en la RSVM .

Jardines botánicos como medios de investigación, conservación y vinculación a la sociedad

A nivel Latinoamericano, Colombia es un importante referente para otros jardines botánicos de la región, en cuanto al planteamiento de objetivos y estrategias para la vinculación de los jardines con temas de investigación, conservación y sociedad. A través de la Red Nacional de Jardines Botánicos, ha definido estrategias para fortalecer los distintos jardines que la conforman. Entre estas estrategias se encuentra: 1) el fortalecimiento del labor de conservación de flora amenazada, por medio del establecimiento de bancos de semillas o germoplasma, 2) promoción y asesoramiento de las actividades de investigación relacionadas a la flora regional, con especial énfasis en los temas de biología reproductiva de especies amenazadas y/o con algún grado de importancia cultural y económica, y 3) fortalecimiento de las actividades de educación y concientización ambiental, con el fin de divulgar la importancia de la diversidad florística regional y el papel que los jardines botánicos cumplen en su conservación (Instituto Alexander von Humboldt, 2001).

La Universidad Autónoma de México (UNAM), por medio del Instituto de Biología (IBUNAM), es un claro ejemplo de la implementación y puesta en marcha de estas estrategias. El Jardín Botánico del IBUNAM posee dentro de sus colecciones 300 especies clasificadas en algún nivel de riesgo según la Norma Oficial Mexicana 059, contribuyendo a la conservación de las mismas. Además, como parte de su estrategia de vinculación a la sociedad y educación ambiental, cuenta con un Centro de Adopción de Plantas que permite que el público general forme parte de la estrategia de conservación de especies nativas que se encuentran extintas en su hábitat natural, amenazadas o en peligro de extinción. Con este programa de adopción, el Jardín Botánico del IBUNAM busca que las plantas adoptadas funcionen como una fuente de germoplasma que permita la recuperación paulatina de las poblaciones de las especies adoptadas en su medio natural (Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2012).

8. Objetivos

8.1. Objetivo general

Determinar las estrategias óptimas para la reproducción, propagación y establecimiento de las especies de plantas nativas de la región Semiárida del Valle del Motagua y su vinculación con la sociedad para la conservación

8.2. Objetivos específicos

- Obtener una muestra de germoplasma genética y espacialmente representativa de las especies focales del estudio,
- Evaluar la eficiencia de diferentes métodos pregerminativos en la germinación de semillas de las especies focales del estudio.
- Evaluar la eficiencia de distintas combinaciones de sustratos para el establecimiento *ex situ* de plántulas de las especies focales del estudio.
- Dar a conocer la labor del Jardín Botánico de Oriente y vincularlo a la sociedad por medio de la ejecución de un programa de donaciones de especies nativas

9. Hipótesis

La implementación de distintos métodos pregerminativos sobre las semillas sujetas a experimentación tiene efecto diferencial en su viabilidad y germinación.

10. Materiales y Métodos

10.1. Enfoque de la investigación

La investigación es de enfoque mixto y consta de dos partes: la primera parte es investigación cuantitativa experimental longitudinal y analítica pues se estimaron las tasas de germinación y establecimiento de plantas del bosque seco bajo distintos tratamientos pregerminativos y sustratos y el efecto de los tratamientos en la germinación y establecimiento. La segunda parte es de enfoque mixto transversal donde se evalúa tanto el impacto del programa de donación de plantas nativas como el perfil del donatario adscrito al programa de reproducción de plantas nativas.

10.2. Recolección de información

Para los ensayos de germinación y establecimiento se seleccionaron 6 especies pertenecientes a la familia Fabaceae *sensu* APG (The Angiosperm Phylogeny Group et al., 2016). La selección de las especies de plantas para el presente estudio obedece a tres criterios de selección: 1) Deben de ser especies arbóreas o arbustivas de rápido crecimiento para establecer condiciones de colonización en sitios degradados y contribuir al establecimiento de vegetación perenne 2) debe de haber documentación previa sobre interacciones ecológicas y/o aprovechamiento por parte de las poblaciones locales y 3) deben de ser especies nativas de la RSVM . El listado de especies se resume en el cuadro 1.

Cuadro No. 1: Especies nativas del bosque seco estudiadas en el presente proyecto y criterios de selección.

ESPECIE	CRITERIOS DE SELECCIÓN	REFERENCIA
<i>Caesalpinia velutina</i> (Britton & Rose) Standl	Regeneración del ecosistema ^{1,2} , Madera y leña ³	Núñez-Flores, Pérez-Gómez y Fernández-Méndez (2019) ¹ , Foroughbakhch et al. (2006) ² Román-Miranda, Mora-Santacruz y Gonzales-Cueva (2016) ³ INAB, FAO/FFF (2016) ⁴
<i>Caesalpinia exostemma</i> DC.	Medicinal ^{1,2} , Regeneración del ecosistema ³	Defensores de la Naturaleza (2012) ¹ , García de Alba-Verduzco (2018) ² , Bustamante-Castillo, Hernández-Baño y Arizmendi (2019) ³
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	Silvicultura urbana ¹ , Regeneración del ecosistema ^{2,3} Sistemas agroforestales ⁴ ,	Núñez-Flores, Pérez-Gómez y Fernández-Méndez (2019) ¹ Suárez, et al. (2011) ² Alvarez-Añorvem Quesadam Sánchez-Azofeifa, Ávila-Cabadilla y Gamon (2012) ³ Román-Miranda, Mora-Santacruz y Gonzales-Cueva (2016) ⁴
<i>Mimosa zacapana</i> Standl. & Steyerl.	Ornamental ¹ , Endémica del valle del Motagua. ²	Castañeda (2004) ¹ , Standley y Steyerl (1946) ²
<i>Leucaena zacapana</i> (C.E.Hughes) R.Govind. & C.E.Hughes)	Comestible ¹ , cerco vivo ¹ , leña ^{1,2} sistemas silvopastoriles ² . Endémica del valle del Motagua. ^{3,4}	Hughes (1998) ¹ , Stewart y Dunsdon (1998) ² , Hughes (1991) ³ , Govindarajulu, Hughes y Bailey (2011) ⁴ .
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp.	Leña ¹ , cerco vivo ^{1,2} , plaguicida ³ , regeneración del ecosistema ⁴	Lowe et al., (2004) ² , Batish et al., (2008) ² , Vásquez-Yanes et al., (1999) ³ , Gutiérrez y Dorantes (2006) ⁴

La información de cada especie se describe a continuación, tomando como referencia las descripciones botánicas de Standley y Steyerl (1946) y Hughes (1991):

***Caesalpinia exostemma* DC.:** Arbusto o árbol sin espinas, raramente hasta 12 metros de altura, ramillas con indumento corto-piloso o glabro; 2-4 pares de pinnas, 4-6 pares de foliolos, oblongos a redondos-ovalados, 1.5-2.5 cm. de largo, redondos en la punta, comúnmente emarginada, usualmente densamente velutino-piloso en ambas caras de la hoja; flores racimosas, abundantes por racimo, pedicelos 1-1.15 cm. de largo, articulado cerca del extremo; cáliz casi glabro, 12 mm. de largo, pétalos rojo fuego o naranja-rojo a naranja-amarillo, ovoides a suborbiculares, 1.5 cm. de largo; filamentos del doble de largo que los pétalos, curvos y declinados, poco pilosos; legumbre oblonga, subfalcada, 6-8 cm. de largo y 1.8 cm. ancho en promedio.

***Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw.:** arbusto o árbol pequeño de 5 metros de altura o menos, glabro, con ramas frágiles, las ramas más antiguas presentan indumento setoso; hojas largas, 3-9 pares de pinnas, 6-12 pares de foliolos, finos, cortamente peciolulado, pálido en el envés, oblongas a oblongas-ovoides, de 1-2 cm. de largo y 7-10 mm. de ancho, redondeadas en el ápice, obtusa en la base; flores racimosas, racimos largos y elongados, terminales y axilares; pedicelos 5-8 cm. largo; lóbulo inferior del cáliz ancho, en forma de capucha, 1.5 cm de largo, mucho más largo que el resto de lóbulos; pétalos color rojo-fuego o amarillo, 1.5-2.5 cm. de largo; estámenes 5-6 cm. de largo; legumbre elasticamente dehiscente, hasta 12 cm. de largo y 1.5-2 cm. de ancho, un poco oblicua, glabra.

***Caesalpinia velutina* (Britton & Rose) Standl:** árbol de 5-10 metros de altura de corona ancha; raquis de las hojas corta y densamente pilosas-velutinosas; hojas comúnmente bastante largas, pinna con 2-4 pares, 5-7 pares de foliolos oblongos u oblongo-ovalados, mayoritariamente de 3-6 cm.. Base de la hoja larga, obtusa, redonda y a veces oblicua, densamente velutinosa, especialmente por abajo donde el color es más pálido; flores racimosas, racimos más cortos que las hojas, indumento tomentoso, pedicelos de 5-10 mm. de largo; cáliz de 5 mm. de largo, tomentoso, con el lóbulo exterior pectinado-dentado; pétalos amarillos de 8 mm. de largo; legumbre oblonga de 10-15 cm. de largo y 2.5-3 cm. ancho, obtuso en la base, largamente estipitado, densamente velutinoso-pubescente, coloración café con valvas delgadas no elásticas.

***Leucaena zacapana* (C.E.Hughes) R.Govind. & C.E.Hughes:** árbol o arbusto de hasta 15 metros de altura, ramas y raquis puberulento; estípulas triangular-subuladas, 5 mm. de largo; glándula peciolar suborbicular, cupular, inserta justo debajo de la primera pinna; pecíolo corto, usualmente 10-15 pares de pinnas o menos, foliolos en pares de 20-50, lineares, 4-6 mm. de largo, ciliados o glabros, subagudos o obtusos, subfacados; pedúnculos solitarios o geminados, 1-2 cm. de largo, involucro insertado 3 mm. debajo del ápice; flores glabras, corola un poco más larga que el cáliz, legumbre linear, puberulenta, 7-14 cm. de largo, obtusa, 1-1.15 cm. de ancho. Fue identificado incorrectamente por Standley y Steyenmark (1946) como *Leucaena diversifolia* y propuesto como subespecie de *Leucaena collinsii* por Hughes (1991). Actualmente, análisis filogenéticos demostraron que se trata en realidad de una especie nueva endémica de la RSVM (Govindarajulu, Hughes y Bailey, 2011)

***Mimosa zacapana* Standl. & Steyerl.:** arbusto de 1-1.5 metros de alto o algunas veces encontrado como árbol pequeño densamente ramificado; ramas escasamente hirsutas a glabras; armada con espinas cortas; estípulas subuladas; hojas cortamente pecioladas, pecíolo 1-1.15 cm. de largo, 1 par de pinnas; 6-9 pares de folíolos, oblongos de 6-11 mm. de largo y 2.5-3.5 mm. de ancho. obtusos, sub apiculados, adpresos-setulosos-ciliados, glabros en el envés, costa conspicua; pedúnculos axilares, solitarios 3-4.5 cm de largo, bastante finos, flores globosas, rosadas con filamentos blancos, glabros o la corola escasamente puberulenta en los lóbulos. legumbre de 3 cm. de largo y 7 mm. ancho, un poco constreñida entre semillas, pubescente, presenta algunas setas inconspicuas en el margen y a veces en las valvas, tetra articulado.

***Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.:** árbol de hasta 10 metros de altura, con la copa extendida o piramidal, con un tronco de hasta 30 cm de diámetro, ramificaciones cercanas a la base y corteza rugosa de color marrón claro a bastante oscura; estípulas ovadas a lanceoladas, de 2 mm de largo; hojas deciduas, con 7-17 folíolos lanceolados a ovados o elípticos de 3-7 cm de largo y 2-3 cm de ancho, agudos u obtuso-acuminados, agudos en la base, glabros al crecer, verdes en el haz, manchas púrpuras pálidas en el envés; flores en racimos de 5-10 cm de largo, con muchas flores y a menudo en gran densidad, brácteas ovadas de 1 mm de largo, los pedicelos de 5 mm de largo; cáliz puberulento o casi glabro, de 4-5 mm de largo; corola 1.5-2 cm de largo, rosa brillante a casi blanco; legumbres o vainas de 10-15 cm de largo, 1-1.5 cm de ancho, cortamente estipitadas, glabras, con valvas gruesas y algo leñosas; semillas lenticulares, de color marrón oscuro, de aproximadamente 1 cm largo.

Para la obtención del material biológico se realizaron muestreos por conveniencia en áreas periurbanas y rurales con vegetación silvestre. Se identificaron 8 sitios donde estuvieran presentes 2 o más especies focales del estudio para optimizar esfuerzos de colecta durante el periodo de fructificación (Figura 2, Apéndice 1). Para la colecta de germoplasma se utilizó el método empleado en Martín-Alves et al. (2017) considerando la metodología propuesta por Di Sacco, León-Lobos y Suárez-Ballesteros (2018): se colectaron las legumbres maduras de las plantas con una distancia mínima de 20 metros entre ellas. Se colectaron no más del 20% de los frutos disponibles por planta para obtener una muestra representativa de la variabilidad genética (Apéndice 2) y se optó por visitar varios sitios con presencia de 2 o más especies para obtener una muestra espacialmente representativa. Se extrajeron las semillas de las vainas *in situ* y se clasificaron por especie, asignándole código de identificación por colecta.

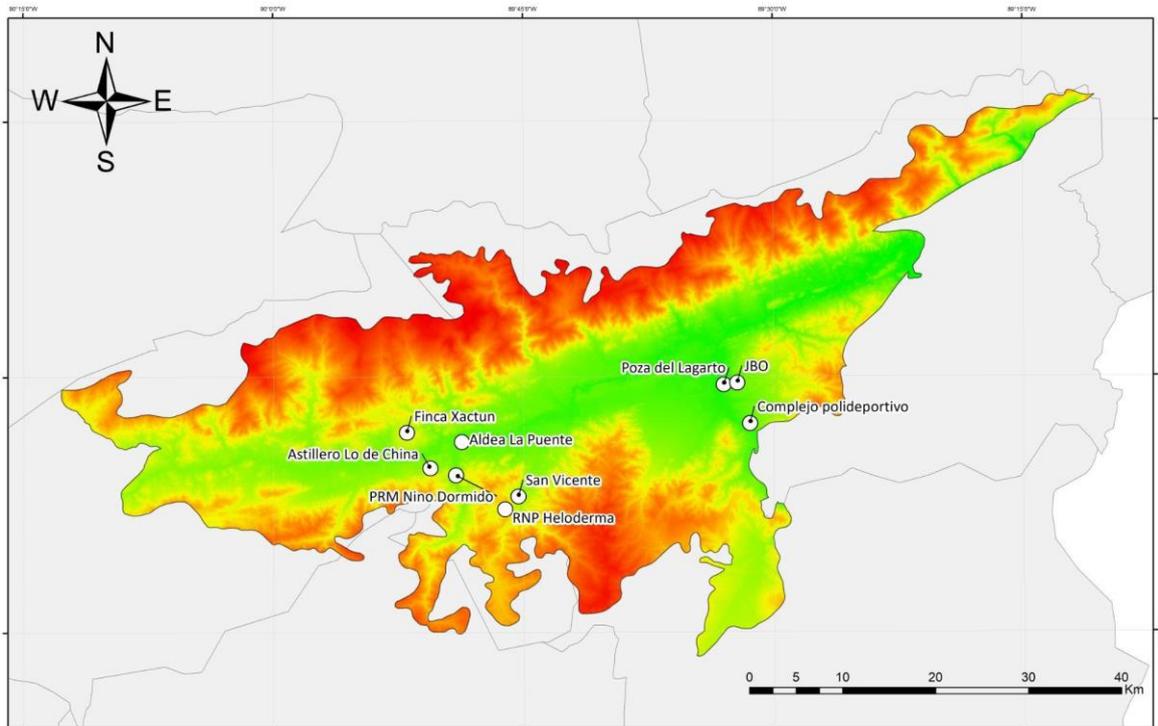


Figura 2. Sitios de colecta de germoplasma. Los colores representan el gradiente altitudinal dentro de la RSVM (verde = 150-329 msnm; amarillo = 330-379 msnm; anaranjado = 380-449 msn; rojo = ≥ 450 msnm).

Se realizaron 25 colectas distribuidas en 8 sitios ubicados entre el departamento de El Progreso (Astillero Lo de China y finca “Xactún”) y el departamento de Zacapa (Aldea La Puente; Reserva Natural Privada (RNP) “Heloderma”; Parque Regional Municipal (PRM) “Niño Dormido”; comunidad “San Vicente”, *Ebird hotspot* “Poza del Lagarto” y Complejo Polideportivo Municipal).

Las semillas por cada sitio se homogeneizaron en un solo grupo por especie y se seleccionaron al azar 100 semillas por cada especie. Se tomaron medidas de altura, ancho y alto de cada semilla con un vernier digital de resolución 0.01mm para estimar el volumen aproximado y la varianza asociada por cada especie (Apéndice 3). Del total de semillas colectadas, se excluyeron de los ensayos aquellas que presentaron tamaño anormal (considerando para ello los datos morfométricos por especie), signos de malformación o depredación por insectos, daños mecánicos o inmadurez. Las semillas restantes se almacenaron en frascos sellados y se depositaron en las instalaciones del Museo de Historia Natural del Centro Universitario de Zacapa a una temperatura constante de 18°C (Apéndice 4).

10.3. Métodos

Se evaluó la viabilidad del germoplasma por especie empleando la técnica del fenil tetrazolio de Cotrell, (1947) y el protocolo de Verna y Maje (2013). El 2,3,5-trifeniltetrazolio se reduce por consecuencia de la activación de enzimas deshidrogenasas involucradas en el metabolismo inicial del embrión, lo que se traduce en la tinción del tejido metabólicamente activo a una coloración rojiza. Las semillas no viables no reducen el 2,3,5-trifeniltetrazolio y no ocurre tinción del tejido. Se cortaron 50 semillas longitudinalmente por especie y se incubaron en una solución de cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio al 0.1% a 18°C durante 24 hora. Transcurridas las 24 h, se evaluó la tinción bajo un estereomicroscopio para detectar actividad respiratorio y viabilidad de los tejidos (Apéndices 5-10).

Para los ensayos de germinación se consideró el trabajo de Sánchez-Paz y Ramírez-Villalobos (2006), Barboza y colaboradores (2007) y Martins-Alves y colaboradora (2017) pues son métodos accesibles para entornos no especializados por lo que son ideales para ser replicados por terceros interesados en producción forestal y conservación del ecosistema. Se sometieron 5 cohortes de 10 semillas por cada especie a tratamientos pregerminativos físicos, químicos y mecánicos: 1) sumergirlas en agua a 25°C durante 24 h, 2) sumergirlas en agua a 80°C durante 10 minutos y posterior enfriamiento hasta temperatura ambiente 3) escarificación mecánica con papel lija grano 80 en la región opuesta al hilio 4) sumergidas en peróxido de hidrógeno (H₂O₂) 3% v/v por 24 h y un quinto grupo de control (sin tratamiento pregerminativo) (Apéndice 11). Estos mismos tratamientos se emplearon para 5 cohortes más a las que se les aplicó una solución de ácido giberélico 150 ppm como estimulante hormonal para la germinación.

Cuadro 2: Clasificación de los métodos pregerminativos a utilizar

Método	Clase
Agua 25°C/24 h	
Choque térmico con agua 80°C/10 min y enfriamiento	Físicos
Peróxido de hidrógeno 3%/24 h	Químico
Escarificación con papel lija posterior al hilio	Mecánico

Las semillas tratadas se depositaron en cajas de petri de 9 cm de diámetro con una solución estéril de *Phytigel*[®] 1% como medio de cultivo. Como criterio para determinar germinación exitosa se utilizó la emergencia de una radícula de al menos 2 milímetros de largo.

Para los ensayos de establecimiento y crecimiento de plántulas en condiciones de vivero, se sembraron 4 cohortes de 7 semillas germinadas por especie en bolsas de polietileno rellenas con 5 combinaciones de sustratos comunes de bajo costo (tierra negra, broza, arena, pumita y sustrato universal) en distintas proporciones (Apéndice 12):

- A. **Tratamiento A** “*Tierra compuesta*”: 1:1:1:0:0
- B. **Tratamiento B** “*Tierra compuesta con pumita*”: 1:1:0:1:0
- C. **Tratamiento C**: “*Tierra con pumita*” 2:0:1:1:0
- D. **Tratamiento D**: “*Tierra compuesta con sustrato universal*” 1:1:1:0:1
- E. **Tratamiento E**: “*Tierra compuesta con pumita y sustrato universal*” 1:1:1:1:1

Las semillas para el ensayo fueron germinadas *de novo* para evadir el posible efecto de utilizar semillas germinadas provenientes de diferentes métodos escarificación. La germinación se realizó por hidratación del germoplasma: se utilizaron bolsas plásticas herméticas con papel algodón humedecido donde se depositaron las semillas y se extrajeron conforme germinaran para depositarlas en los sustratos experimentales (Apéndice 13). Se observó el número de plántulas sobrevivientes por tratamiento, altura de plántulas sobrevivientes y número de hojas de las plántulas sobrevivientes cada 5 días durante 20 días de observación continua en vivero.

Con el fin de promover la propagación, uso y valoración de la flora nativa en espacios urbanos, rurales y semi-rurales de la región, se dio inicio al Programa de Adopción de Plantas Nativas del Valle del Motagua. Para ello, se realizaron dos jornadas de adopción de plantas nativas: la primera durante los días 5 y 6 de marzo de 2022, en el campus universitario del CUNZAC, y la segunda en los días 4 y 5 de febrero de 2023, en el Parque Central de Zacapa, Zacapa. Durante estas jornadas se contó con diversas especies de plantas nativas reproducidas dentro del vivero del JBO, las cuales se pusieron a disposición de las personas interesadas en adoptar una o más plantas. Se llevó un registro de los adoptantes, con el fin de: 1) obtener un perfil demográfico del grupo de adoptantes, 2) obtener estadísticas sobre las especies adoptadas y 3) contar con un medio de seguimiento de las plantas adoptadas y generar en las personas un mayor sentido de responsabilidad y cuidado de la(s) planta(s) adoptada(s) (Apéndices 14-15)

10.4. Técnicas e instrumentos

Para la toma de datos en campo durante los muestreos se utilizaron boletas de datos evaluación previo a recolección y boletas de datos de recolección basado en los instrumentos propuestos por Way y Gold (2014a; 2014b), las boletas incluyeron datos sobre el sitio de muestreo, especie muestreada, localización GPS, hora y fecha del muestreo y cantidad colectada en el sitio (Apéndice 16). Para la estimación del volumen del germoplasma se tomaron medidas de altura, ancho y alto de cada semilla con un vernier digital de resolución 0.01mm.

Para los experimentos de germinación, se realizaron observaciones diarias del desarrollo del ensayo durante 15 días para registrar germinación por día y germinación acumulada. El porcentaje de germinación se obtuvo a partir de la relación entre semillas sembrada y semilla germinada multiplicado por 100. A partir de los datos de conteo de germinación se estimó el índice de germinación y la desviación estándar del índice de germinación (Ranal y Santana, 2006). El índice de germinación es el tiempo promedio requerido para la máxima germinación de un lote de semillas y se estima de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^k N_i T_i}{\sum_{i=1}^k N_i}$$

Donde T_i es el tiempo desde el inicio del experimento hasta el enésimo día, N_i es el número de semillas germinadas en el enésimo día y k es el número total de días de experimentación. Para efectuar el cálculo del índice de germinación y su desviación estándar se utilizó el paquete *Germinationmetrics* (Aravind et al., 2023) para lenguaje de programación R (R core team, 2022).

Para los ensayos de establecimiento en condiciones de vivero se cuantificó el número de plantas con presencia de hojas primarias cada 5 días por 20 días, al igual que la altura y número de hojas de las plántulas sobrevivientes. Para ello se utilizaron reglas flexibles transparentes de 30cm y los datos se almacenaron en una boleta digital en la nube con ayuda de teléfonos inteligentes con acceso a internet. Adicionalmente, se monitoreó la temperatura ambiente utilizando *data loggers* HOBO® Mx Temp/Light durante los ensayos de germinación y establecimiento (Apéndice 17)

Para el registro de los adoptantes durante las jornadas de adopción se empleó un formulario en el que se anotó el nombre, correo, número telefónico, sexo y rango de edad del adoptante, especie(s) adoptada(s) y el número de plántulas adoptadas por especie

10.5. Procesamiento y análisis de la información

Se efectuaron análisis de varianza para evaluar las diferencias entre los distintos tratamientos aplicados durante los ensayos de germinación y establecimiento en condiciones de vivero. Para el ensayo de germinación se evaluaron las variables de tipo de escarificación, interacción entre especie y escarificación y uso de fitohormona como factores mientras que para el ensayo de establecimiento se utilizó el tipo de sustrato como único factor. Para el ensayo de germinación se eligió el mejor modelo utilizando el criterio de información de Akaike (AIC), el cual contó como factores 1) especie, 2) tratamiento, 3) aplicación de fitohormona y 4) interacción especie*tratamiento (Apéndice 18). En los casos donde la hipótesis nula de igualdad de medias del análisis de varianza se rechazó ($P < 0.05$), se realizó la prueba de rangos de Tukey (*Tukey's*

HSD) para realizar evaluaciones entre pares y detectar dónde existe evidencia de diferencia entre tratamientos. Los análisis se realizaron utilizando el paquete *base* y la evaluación de los modelos se realizó con el paquete *AICcmodavg* (Mazerolle, 2020) para el lenguaje de programación *R* (R core team, 2022).

Con la información recopilada en los formularios de registro de adoptantes, se obtuvo el número total de plantas adoptadas por especie durante ambas jornadas de adopción. A partir de estos datos también se calculó el porcentaje de adopción que cada especie representó del total de plantas dadas en adopción durante la actividad. Este porcentaje fue considerado como una medida del interés existente de las personas locales por conocer y comprometerse al cuidado de estas especies. A partir de los datos recopilados de sexo y rango de edad, se construyó un perfil demográfico para observar qué sectores de la población local mostraron una mayor participación e interés por involucrarse en actividades relacionadas a la flora local.

11. Resultados y discusión

11.1. Resultados

i. Muestra colectada y morfología de las semillas

Se obtuvieron entre 250 y ~5000 semillas de las 6 especies focales del estudio. Las más abundantes fueron las de hábito arbóreo: *Leucaena zacapana*, *Gliricidia sepium*, *Caesalpinia velutina* y el arbusto *Caesalpinia pulcherrima*, especies comunes en la RSVM. *Mimosa zacapana* solo se encontró fructificando en uno de los sitios visitados, a 50 metros de la orilla del río Grande en Zacapa.

Morfológicamente, las semillas de las fabáceas son dorsoventralmente aplanadas y presentan un volumen espacial reducido. Las semillas de *G. sepium* presentaron mayor volumen ($292.53 \pm 100.76 \text{ mm}^3$) seguido de cerca por *C. exostemma* ($225.57 \pm 184.63 \text{ mm}^3$), *C. velutina* ($224.24 \pm 62.70 \text{ mm}^3$) y *C. pulcherrima* ($201.31 \pm 43.31 \text{ mm}^3$) mientras que *L. zacapana* ($61.59 \pm 27.17 \text{ mm}^3$) y *M. zacapana* ($19.42 \pm 3.86 \text{ mm}^3$) presentaron las dimensiones más pequeñas (Figura 3).

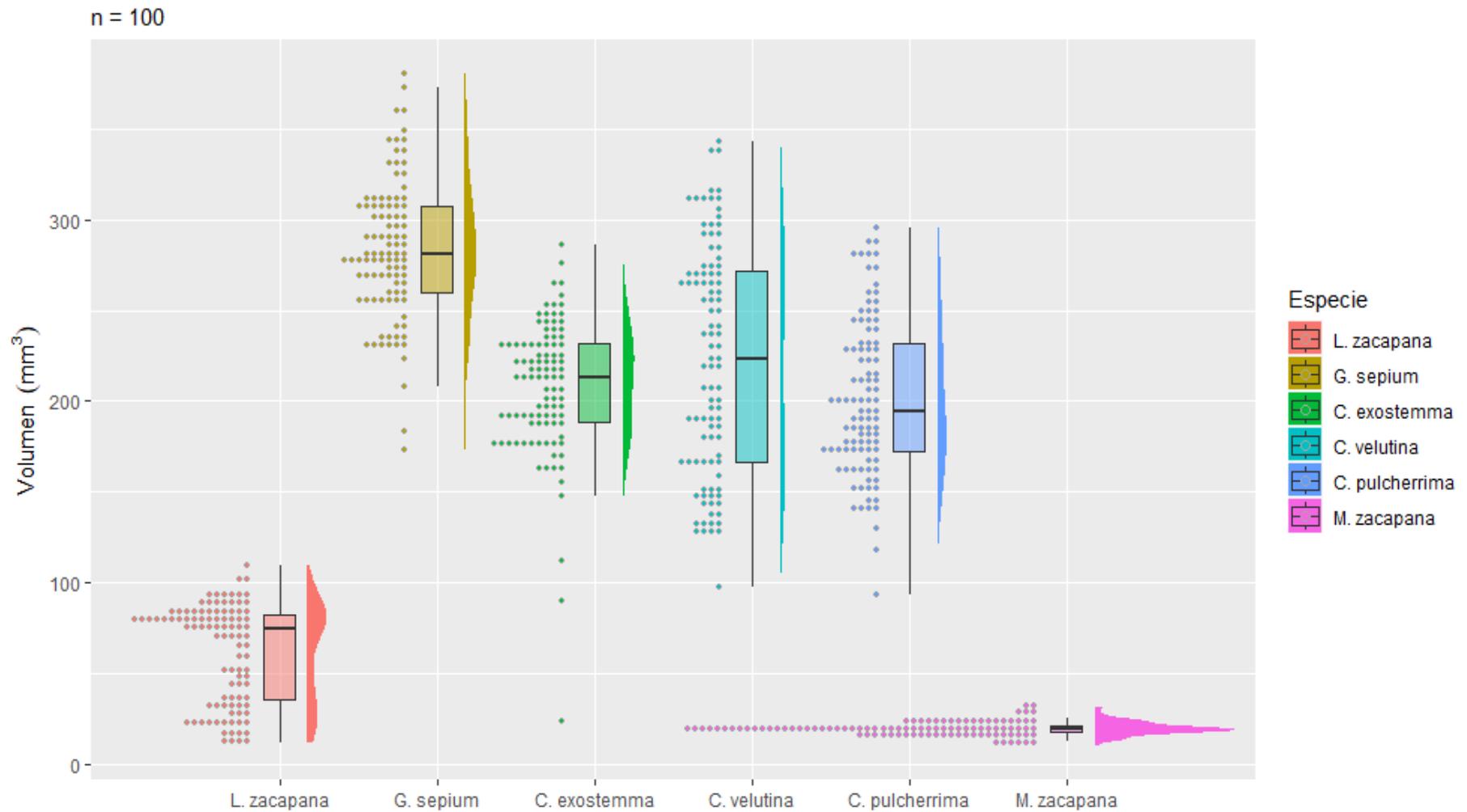


Figura 3. Volumen de semillas por especie

ii. Viabilidad y germinación

Cuadro 3. Porcentajes de germinación (%) por tratamiento pre-germinativo y de viabilidad de las semillas de las seis especies de estudio.

	SIN FITOHORMONA					CON ÁCIDO GIBERÉLICO (AG ₃)					Viabilidad (%)
	Control	E. M.*	H ₂ O 80° C 10 min.	H ₂ O 25°C 24 h	H ₂ O ₂ 3% 24 h	Control	E. M.*	H ₂ O 80° C 10 min.	H ₂ O 25°C 24 h	H ₂ O ₂ 3% 24 h	
CE	62.00	92.00	73.33	53.33	73.33	56.00	88.00	56.67	36.37	86.67	77.27
CP	76.00	34.00	82.00	70.00	54.00	74.00	52.00	90.00	46.00	26.00	84.00
CV	68.00	100.00	62.00	38.00	48.00	46.00	100.00	66.00	22.00	38.00	68.00
LZ	2.00	74.00	42.00	2.00	16.00	2.00	94.00	46.00	14.00	4.00	66.00
MZ	38.00	92.00	26.00	4.00	24.00	34.00	90.00	46.00	26.00	28.00	72.00
GS	100.00	100.00	96.00	88.00	62.00	100.00	94.00	92.00	96.00	68.00	100.00

*E. M. = escarificación mecánica; CE = *C. exostemma*; CP = *C. pulcherrima*; CV = *C. velutina*; LZ = *L. zacapana*; MZ = *M. zacapana*; GS = *G. sepium*.

En el ensayo del tetrazolio, se obtuvieron valores de viabilidad del germoplasma superiores a 60% para todas las especies, con la mayor viabilidad observada en *G. sepium* quien presentó 50/50 semillas viables. En los ensayos de germinación se encontró diferencia estadística significativa en el uso de tratamientos germinativos ($F = 53.012$; $P = 6.35 \times 10^{-13}$). Las pruebas *post hoc* sugieren que las diferencias observadas entre escarificación mecánica, hidratación con H₂O durante 24 h y el uso de peróxido 3% durante 24 h con respecto al grupo control son estadísticamente significativas (E.M-C $P_{adj} = 0.000001$; H₂O-C $P_{adj} = 0.000089$; H₂O₂-C = 0.001145), de estos tres métodos únicamente la escarificación mecánica presentó mayores porcentajes de germinación, mientras que la hidratación y uso de peróxido mostraron porcentajes más bajos. Con respecto al uso de ácido giberélico, no se observaron diferencias significativas, como se observa en los resultados de germinación de *L. zacapana*, donde el control presentó una tasa de germinación de 2%, tanto con aplicación de fitohormona como sin ésta (Cuadro 3).

Los resultados de la escarificación mecánica en la germinación superaron los valores de viabilidad de algunas de las especies estudiadas. Sin embargo, para *C. pulcherrima*, el tratamiento con shock térmico presentó resultados distintos. A pesar que globalmente no se encontró diferencia significativa en el efecto del shock térmico con respecto al control, para *C. pulcherrima* se obtuvieron porcentajes de germinación inusualmente altos, incluso superiores que el valor de viabilidad obtenido por el ensayo con tetrazolio (Figura 4).

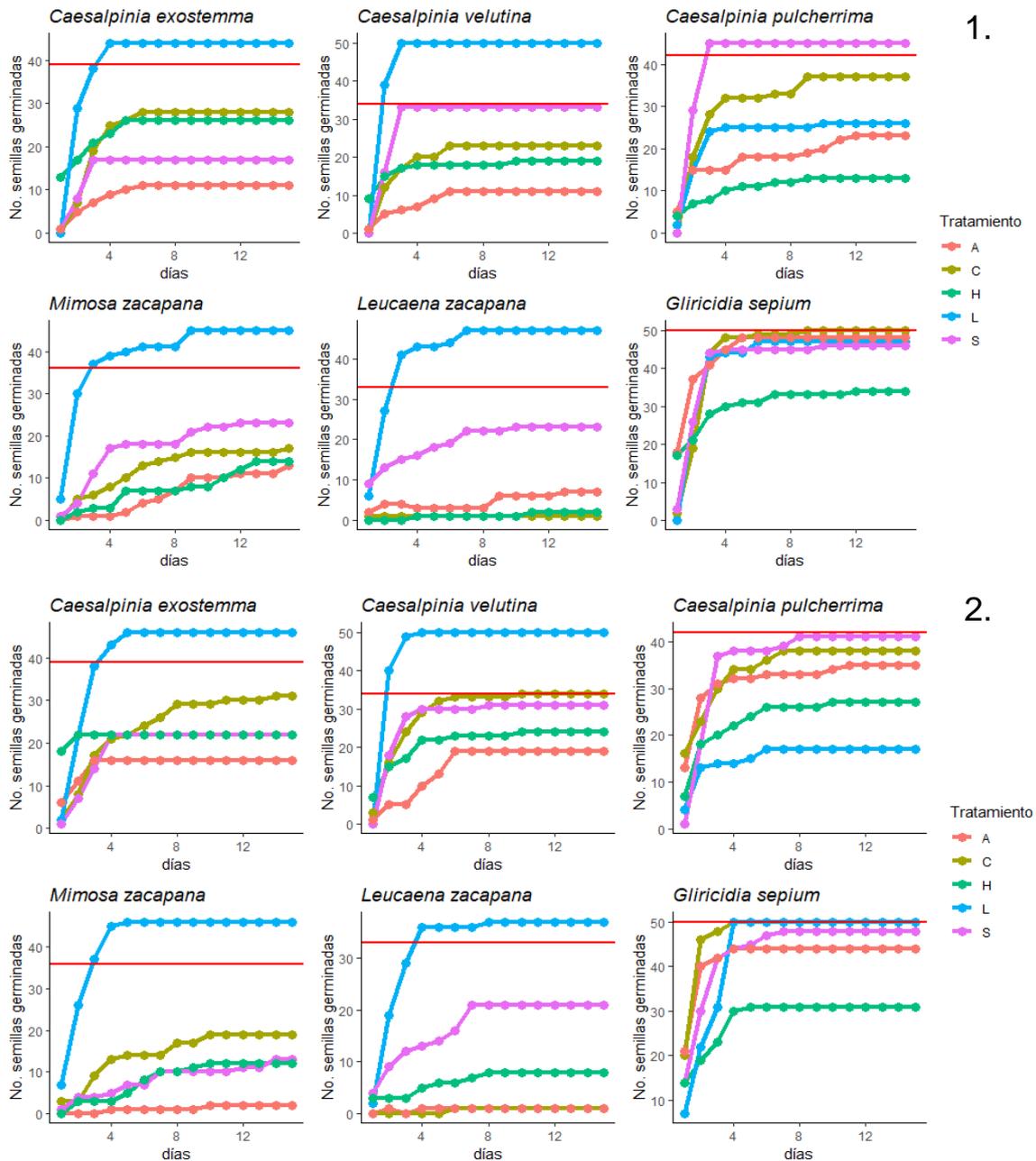


Figura 4. Curvas de germinación por especie. (1). con fitohormona. (2). sin fitohormona. A = H₂O 25°C por 24 h; C = Control; H = H₂O₂ 25°C por 24 h; L = escarificación mecánica; S = shock térmico

Cuadro 4. Tiempo medio de germinación en días de las semillas de las seis especies de estudio bajo los distintos tratamientos

	SIN FITOHORMONA					CON ÁCIDO GIBERÉLICO (AG ₃)				
	Control	E. M.*	H ₂ O 80° C 10 min.	H ₂ O 25°C 24 h	H ₂ O ₂ 3% 24 h	Control	E. M.*	H ₂ O 80° C 10 min.	H ₂ O 25°C 24 h	H ₂ O ₂ 3% 24 h
CE	2.45 ± 0.33	2.71 ± 0.29	3.00 ± 0.42	1.94 ± 0.45	1.82 ± 0.45	3.25 ± 0.37	2.48 ± 0.30	2.47 ± 0.59	3.09 ± 0.59	2.15 ± 0.40
CP	2.45 ± 0.33	2.47 ± 0.49	2.90 ± 0.31	2.37 ± 0.34	2.78 ± 0.38	3.38 ± 0.32	2.65 ± 0.39	2.36 ± 0.39	4.04 ± 0.30	3.23 ± 0.53
CV	3.06 ± 0.34	2.22 ± 0.29	2.65 ± 0.36	4.21 ± 0.43	2.71 ± 0.40	3.13 ± 0.40	2.22 ± 0.29	2.52 ± 0.58	3.45 ± 0.35	2.16 ± 0.46
LZ	6.00 ± 1.78	2.76 ± 0.33	3.76 ± 0.42	3.00 ± 2.04	3.86 ± 0.67	1.00 ± 2.20	2.66 ± 0.29	3.22 ± 0.65	6.00 ± 0.40	7.15 ± 1.14
MZ	4.53 ± 0.42	2.5 ± 0.30	6.30 ± 0.45	7.0 ± 1.17	5.58 ± 0.50	5.18 ± 0.42	2.91 ± 0.29	4.61 ± 0.40	8.54 ± 0.29	7.71 ± 0.41
GS	1.72 ± 0.29	2.8 ± 0.28	2.38 ± 0.29	1.66 ± 0.31	2.23 ± 0.36	2.84 ± 0.28	2.66 ± 0.29	2.54 ± 0.29	2.06 ± 0.29	2.50 ± 0.34

*E. M. = escarificación mecánica; CE = *C. exostemma*; CP = *C. pulcherrima*; CV = *C. velutina*; LZ = *L. zacapana*; MZ = *M. zacapana*; GS = *G. sepium*.

Los valores obtenidos en el ensayo de germinación son similares entre las cohortes sometidas a ácido giberélico y las cohortes donde no se aplicó fitohormona como estimulante. No se encontró diferencia significativa en la aplicación de la solución de ácido giberélico 150 ppm ($F = 0.140$; $P = 0.711$).

El tiempo promedio requerido para la máxima germinación en las especies estudiadas se observó entre 1 y 9 días, lo cual sugiere que el proceso de imbibición sucede rápidamente en las especies estudiadas. Las semillas de *L. zacapana* y *M. zacapana* presentaron tiempos de germinación mayores con respecto al resto de semillas de otras especies, mientras que *G. sepium* presentó los valores más bajos (Cuadro 4). Los tratamientos germinativos tienden a reducir el tiempo necesario para la máxima germinación, como se observa en el caso de la escarificación mecánica (cuadro 4). La temperatura media del ensayo de germinación fue de 29.5°C con una máxima de 34.8°C y mínima de 21°C (Apéndice 17).

Establecimiento ex situ

No se encontraron diferencias significativas entre los distintos sustratos en el crecimiento vertical de las plántulas ($F = 1.729$; $P = 0.14192$) ni en el crecimiento de hojas primarias o secundarias (Figuras 5 y 6).

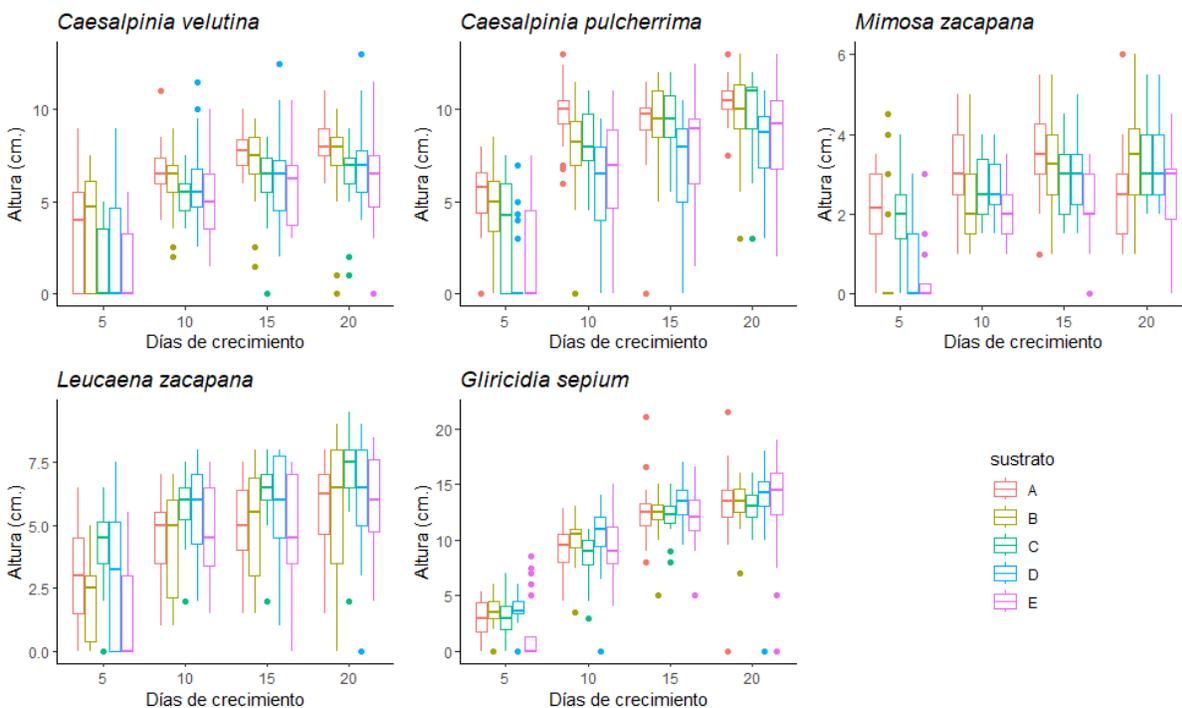


Figura 5. Monitoreo del crecimiento vertical de plántulas en condiciones de vivero.

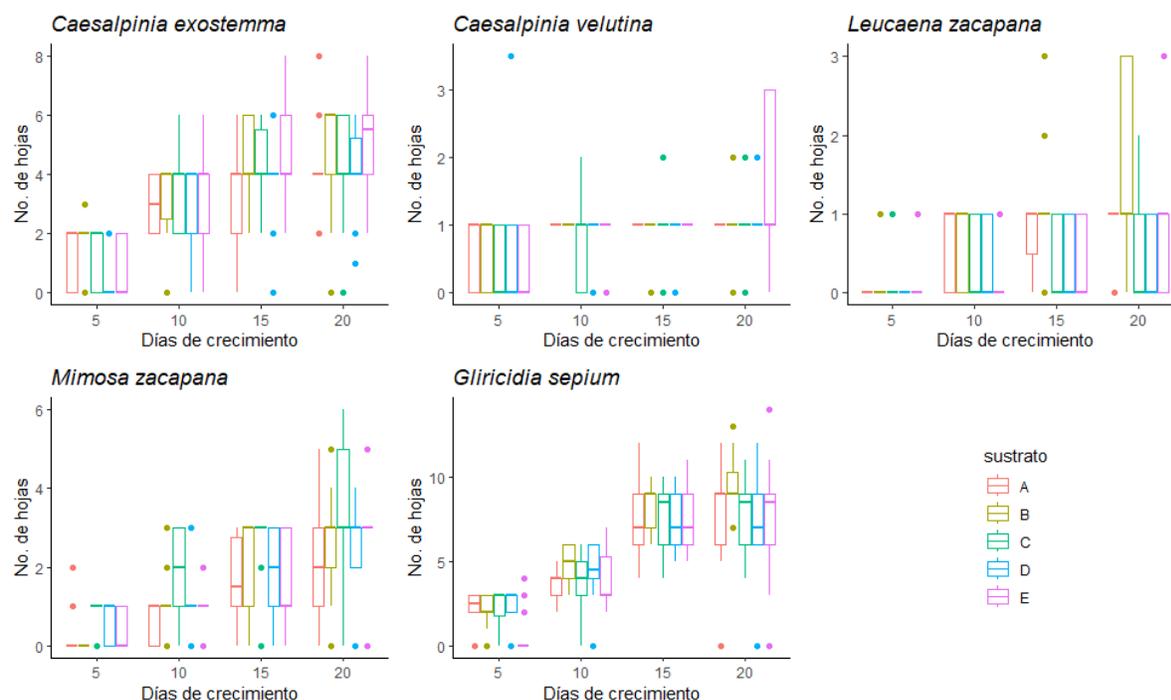


Figura 6. Monitoreo del crecimiento de hojas de las plántulas en condiciones de vivero.

Sin embargo, se observaron diferencias en cuanto a la sobrevivencia de plántulas en los sustratos (Cuadro 5). Los sustratos tierra compuesta, tierra con pumita y tierra compuesta con pumita presentaron porcentajes de sobrevivencia de plántulas mayores al 90% en comparación con los sustratos de tierra compuesta con sustrato universal y tierra compuesta con pumita y sustrato universal. El sustrato tierra con pumita presentó el promedio de sobrevivencia más alto (95.72%). Los resultados indican un mejor desempeño en aquellos sustratos compuestos donde no se agrega sustrato universal. *G. sepium* presentó los porcentajes de sobrevivencia más altos durante el ensayo, con un promedio de 96.43% mientras que *M. zacapana* y *L. zacapana* presentaron los porcentajes promedios más bajos (80.00% y 79.29% respectivamente). La temperatura media durante el ensayo de establecimiento fue de 25.72°C con una máxima de 39.21°C y mínima de 17.76 °C. Para el ensayo de establecimiento no se evaluó a *C. exostemma* pues el germoplasma era limitado y se priorizó realizar el ensayo de viabilidad ante el ensayo de establecimiento.

Cuadro 5. Porcentaje de sobrevivencia de plántulas en distintas combinaciones de sustrato

Especie	A	B	C	D	E	$\bar{x} \pm DS$
CP	92.86	100	92.86	92.86	95.71	92.83 \pm 5.05
CV	92.86	92.86	92.86	96.42	78.57	90.71 \pm 6.96
LZ	92.86	92.86	92.86	64.29	57.14	80.00 \pm 17.79
MZ	89.29	100	89.29	53.57	64.29	79.29 \pm 19.46
GS	96.42	100	100	96.42	89.29	96.43 \pm 4.37
$\bar{x} \pm DS$	92.85 \pm 2.52	95.72 \pm 3.91	95.00 \pm 4.79	79.282 \pm 19.46	76.43 \pm 15.49	

CP = *C. pulcherrima*; CV = *C. velutina*; LZ = *L. zacapana*; MZ = *M. zacapana*; GS = *G. sepium*. $\bar{x} \pm DS$ = media y desviación estándar. A = tierra compuesta; B = tierra con pumita; C = tierra compuesta con pumita; D = tierra compuesta con sustrato universal; E = tierra compuesta con pumita y sustrato universal.

iii. Programa de adopción de plantas nativas del Valle del Motagua

Durante las dos jornadas de adopción realizadas, se adoptaron un total de 116 plantas de 10 especies distintas reproducidas en el vivero del JBO: 37 (32%) durante la primera y 79 (68%) durante la segunda jornada. Las especies adoptadas fueron Santa Rosa (*C. pulcherrima*), morro (*Crescentia alata*), aripín (*C. velutina*), tuno de órgano (*Stenocereus pruinosus*), guayacán (*Guaiacum sanctum*), cola de gato (*Nyctocereus guatemalensis*), matilisguate (*Tabebuia rosea*), melocactus (*Melocactus curvispinus*), opuntia (*Opuntia decumbens*) y yaje (*Leucaena* spp.) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Número de plantas adoptadas por especie, durante la primera y segunda Jornada de Adopción

No.	Nombre común	Nombre científico	Familia	No. Plantas adoptadas		
				Primera Jornada	Segunda Jornada	Total
1	Cola de gato	<i>Nyctocereus guatemalensis</i>	Cactaceae	9	21	30
2	Opuntia	<i>Opuntia decumbens</i>	Cactaceae	4	17	21
3	Santa Rosa	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	Fabaceae	6	10	16
4	Melocactus	<i>Melocactus curvispinus</i>	Cactaceae	0	15	15
5	Tuno de órgano	<i>Stenocereus pruinosus</i>	Cactaceae	6	7	13
6	Guayacán	<i>Guaiacum sanctum</i>	Zygophyllaceae	8	1	9
7	Aripín	<i>Caesalpinia velutina</i>	Fabaceae	1	3	4
8	Matilisguate	<i>Tabebuia rosea</i>	Bignoniaceae	3	0	3
9	Yaje	<i>Leucaena spp.</i>	Fabaceae	0	3	3
10	Morro	<i>Crescentia alata</i>	Bignoniaceae	0	2	2
Total				37	79	116

La especie que fue adoptada en mayor proporción durante las jornadas de adopción fue la cola de gato (25.9%), seguida por la opuntia (18.1%), Santa Rosa (13.8%), melocactus (12.9%), tuno de órgano (11.2%), guayacán (7.8%), aripín (3.4%), matilisguate (2.6%), yaje (2.6%) y morro (1.7%) (Figura 7).

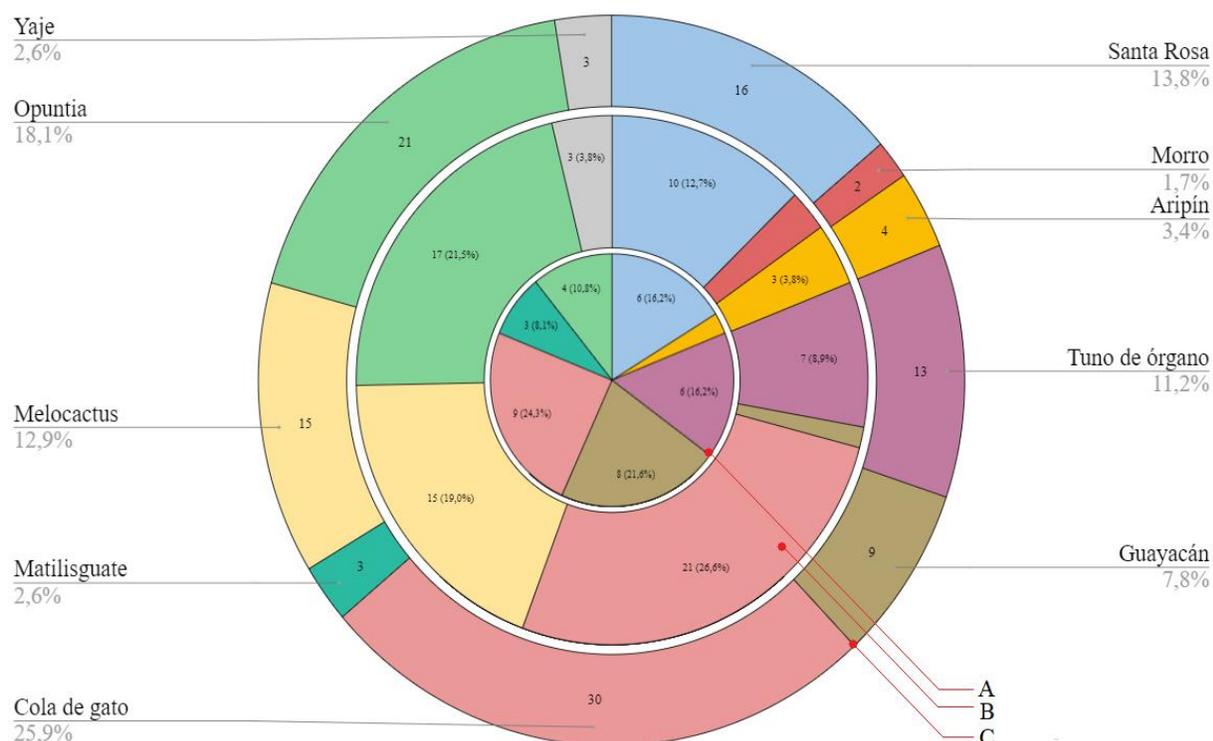


Figura 7. Número y porcentaje de plantas adoptadas por especie durante las dos Jornadas de Adopción de Plantas Nativas. A = Primera Jornada de Adopción. B = Segunda jornada de Adopción. C = Datos de ambas jornadas.

En total participaron 80 adoptantes (55 mujeres y 25 hombres), 19 durante la primera jornada (10 mujeres y 9 hombres) y 61 durante la segunda jornada (45 mujeres y 16 hombres). La cantidad de participantes durante la segunda jornada fue tres veces mayor a la registrada durante la primera jornada. También se observó una mayor participación de adoptantes de sexo femenino en ambas jornadas (Figura 8).

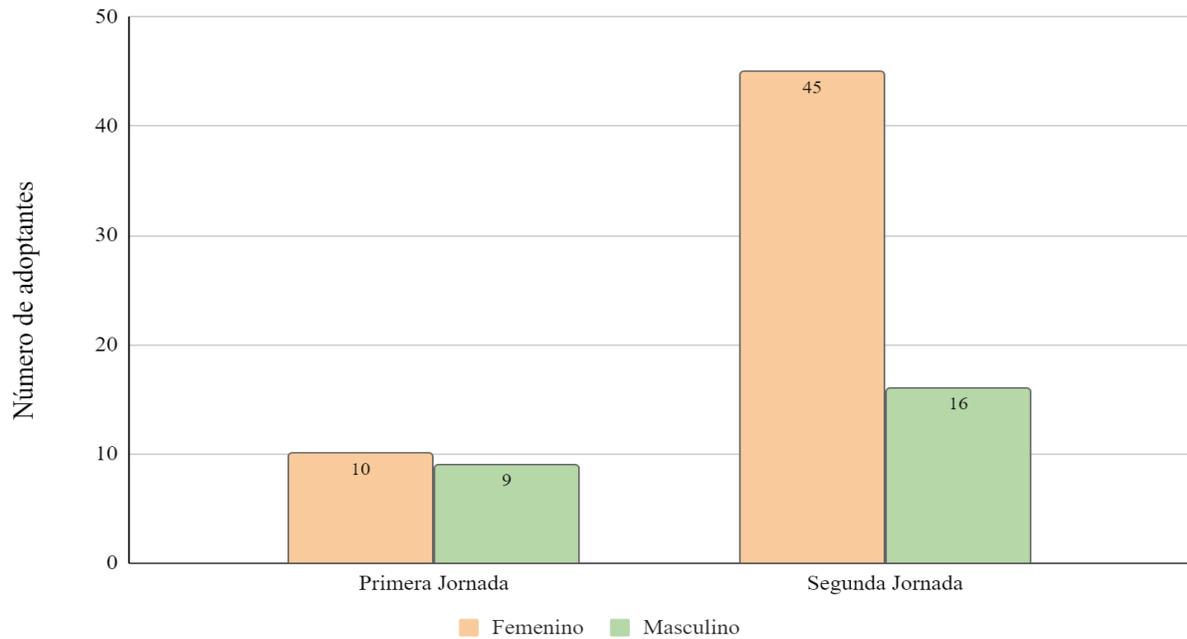


Figura 8. Número de participantes durante la Primera y Segunda Jornada de Adopción de Plantas.

Con relación al perfil demográfico del grupo de adoptantes, se contó con la participación de personas de todos los rangos de edad para ambos sexos. En general, se observó una mayor participación de mujeres en todos los rangos de edad, con la excepción del grupo de niños (10-15) en la que hubo un igual número de adoptantes. El grupo con mayor participación fue el de mujeres mayores a 50 años (Figura 9).

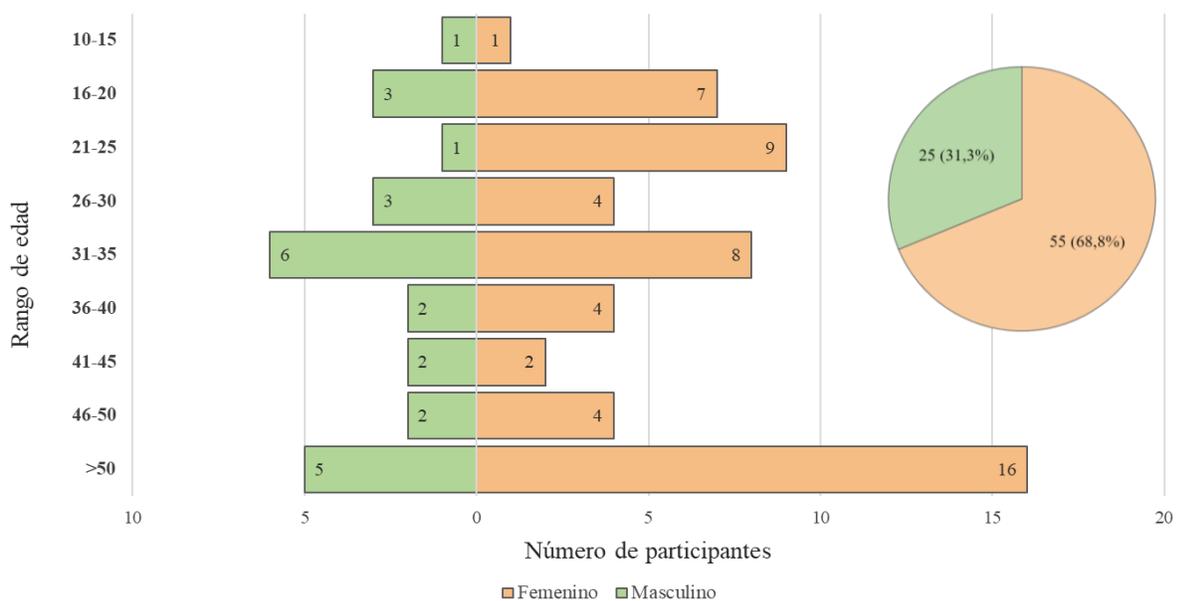


Figura 9. Perfil demográfico de los adoptantes de ambas Jornadas de Adopción de plantas nativas

Las plantas producidas a través de este proyecto se encuentran disponibles para adopción inmediata en el programa de adopción de plantas nativas del JBO y para su uso en jardinería de áreas verdes del Centro Universitario de Zacapa.

11.2. Discusión de resultados

i. Ensayos de viabilidad y germinación

La dormancia física en las semillas se encuentra regulada por la presencia de una cubierta seminal densa que posee compuestos hidrofóbicos que evitan el embebimiento y oxigenación del embrión (Barboza et al. 2007; Geisler et al., 2016). Este tipo de dormancia se encuentra en las tres subfamilias de Fabaceae: Mimosoideae, Papilionoideae y Caesalpinioideae, siendo así una de las familias con mayor número de especies que presentan dormancia física (Jaganathan et al. 2017). La escarificación mecánica fue el método pregerminativo más efectivo para la germinación de *C. exostemma*, *C. velutina*, *M. zacapana* y *L. zacapana*, a comparación del control y el resto de tratamientos (Cuadro 3). Para las semillas de fabáceas, en las que la dormancia está regida mayormente por la acción externa de la cubierta seminal y en menor medida por características intrínsecas del embrión (i. e. dormancia fisiológica), el tratamiento mecánico resulta ser de los más efectivos dado que rompe por completo la integridad de una porción de la cubierta seminal, lo que facilita la absorción de agua y el crecimiento del embrión (Maldonado-Arciniegas et al., 2018). La efectividad de este método también ha sido reportado para estas especies y géneros por Tang y colaboradores (2022) con *Mimosa pudica*, Mansilla (2015) con *C. velutina* y Koobonye, Maule y Mogotsi (2018) con *Leucaena leucocephala*.

Los métodos de imbibición en agua y en disolución de peróxido al 3% por 24 h mostraron diferencia significativa con respecto al control. Sin embargo, a diferencia de la escarificación mecánica, la diferencia observada con estos métodos fue un generalizado porcentaje de germinación mejor (Cuadro 3). Según Vidak y colaboradores (2022) y Nkengurutse y colaboradores (2016), uno de los factores biológicos que afectan negativamente el establecimiento de fabáceas en sitios naturales es la rápida absorción de agua; una excesiva absorción termina por causar daño celular y pérdida de electrolitos en el embrión de la semilla, seguido por una reducida germinación y crecimiento anormal de plántulas. Si bien el método de shock térmico también implica la imbibición de semillas en agua, se hipotetiza que este método no redujo las tasas de germinación debido a que la inducción de calor puede asemejar las condiciones de temperatura a las que estas especies se encuentran adaptadas en la RSVM (Silveira & Overbeck, 2013). Además,

el método de shock térmico requiere de un tiempo de imbibición menor, en el que las semillas probablemente no llegaron a absorber agua en exceso y, por ende, no se redujo la germinación.

Dado a que el método pregerminativo de imbibición es uno de los métodos más económicos y que pueden ser rápidamente aplicables a una gran cantidad de semillas al mismo tiempo, a diferencia del uso de lija para escarificación mecánica de las semillas una por una, se considera valioso determinar los tiempos óptimos de imbibición de las semillas (Nkengurutse et al., 2016) y que este conocimiento sea aplicado por parte de las personas locales interesadas en próximos esfuerzos de reproducción.

El aumento en las tasas de germinación de las semillas de *C. exostemma*, *C. velutina*, *L. zacapana* y *M. zacapana* mediante la ruptura de la cubierta seminal indican que éstas presentan únicamente dormancia física. De presentar dormancia fisiológica, las tasas de germinación no hubieran mostrado aumentos significativos, dado a que se hubiera requerido un mecanismo adicional para romper este tipo de dormancia (Tang et al., 2022). Esto se confirmó al no encontrar diferencia significativa en la aplicación de la solución de ácido giberélico a las semillas (Cuadros 3-4), el cual es un método empleado para reducir la dormancia endógena causada por compuestos inhibidores de la germinación, intrínsecos del embrión (Maldonado-Arciniegas et al., 2018).

C. pulcherrima presenta mixospermia, una adaptación evolutiva común en las angiospermas donde la semilla secreta una capa de mucopolisacáridos que rodea el tegumento al hidratarse (Viudes y Burlat, 2020). La secreción del mucílago representa una inversión energética alta, hasta de 3% de las reservas energéticas reportada para *Arabidopsis thaliana* (Macquet, Ralet, Kronenberg, Marion-Poll y North, 2007), sin embargo, ofrece ventajas frente a condiciones de estrés abiótico y en la dispersión y establecimiento de la semilla (Western, 2012; Tsai et al., 2021). Una de las funciones del mucílago es el mantenimiento de la dormancia al prevenir el ingreso de oxígeno al embrión y la protección del embrión a la depredación (Chen et al., 2018) por lo que la escarificación mecánica sería insuficiente en *C. pulcherrima* para favorecer la germinación en un corto periodo de tiempo. En contraste, un aumento de temperatura en el agua durante el tratamiento de shock térmico favorece la disolución del mucílago en un tiempo de imbibición menor, lo que favorece la terminación de la latencia fisiológica inducida por el mucílago. Por estas razones se considera que *C. pulcherrima* presentó mayores porcentajes de germinación con el método del shock térmico (Cuadro 3; figura 4), aunque no se encontró evidencia estadística significativa global para el tratamiento.

En el caso de *L. zacapana* y *M. zacapana*, al considerar únicamente las tasas de germinación del grupo control, podría considerarse que las semillas presentan una baja viabilidad. Sin embargo, la tinción con tetrazolio evidencia que las semillas de estas especies presentan una actividad metabólica bastante mayor a la inferida por las tasas de germinación del control (Cuadro 3),

demonstrando la utilidad de este método como una evaluación rápida del potencial de germinación de las semillas de interés (*i. e.* viabilidad). Esto también evidencia la necesidad de aplicar métodos pregerminativos que permitan obtener rendimientos de germinación cercanos a lo indicado por las pruebas de viabilidad, sobre todo en proyectos de esta naturaleza, interesados en la obtención del máximo número de plántulas posibles para esfuerzos de conservación. Se observaron algunos porcentajes de germinación mayores a la viabilidad calculada por el ensayo de tetrazolio (Cuadro 3). Lo anterior puede ser resultado de limitaciones inherentes al método, como la dificultad de tinción de algunas semillas (ver semillas completamente sin teñir de *C. velutina*, *L. zacapana* y *M. zacapana* en Apéndices 7-9). También se ha reportado que las especies con una baja capacidad de germinación suelen presentar poco acuerdo entre los resultados de germinación y viabilidad (Willan, 1987). Esto podría ser cierto para *L. zacapana* y *M. zacapana*, que presentan porcentajes de germinación < 40% en las semillas no tratadas (Cuadro 3).

Si bien hubo una generalizada falta de concordancia entre los porcentajes de germinación y la viabilidad calculada, el madrecazo (*G. sepium*) fue la única especie en la que se observaron resultados similares de germinación y viabilidad (Cuadro 3). Esta especie también fue la única en presentar porcentajes de germinación del 100% en el grupo control y en la mayoría de tratamientos. Estas observaciones coinciden con los resultados obtenidos por Reino, González y Sanchez (2008) y Chichaghare et al. (2020) quienes reportaron altas tasas de germinación de sus semillas. También coinciden con lo señalado por el Danida Forest Seed Center (2002), que menciona que esta especie no presenta dormancia y que por ende no requiere de métodos pregerminativos para su reproducción. Sin embargo, existe evidencia con poblaciones de *G. sepium* en México (Ngulube, 1989), de que esta especie puede presentar diferentes valores en su tasa de germinación (desde <50% hasta >95%), según la procedencia de las semillas. Los resultados de este proyecto indican que la población de *G. sepium* de la RSVM es un importante recurso genético y forestal para la producción de plántulas, por lo que debería tomarse en consideración en proyectos de reforestación de sitios perturbados dentro de la región.

Los tiempos promedio de germinación cortos (< 3 días) observados para todas las especies en la mayoría de tratamientos pregerminativos (Cuadro 4) se consideran como una adaptación ante las condiciones climáticas de su entorno. Al tratarse de especies nativas de una región semiárida, las semillas se enfrentan a un déficit de recurso hídrico para su desarrollo durante al menos la mitad del año. Así pues, en cuanto se rompe el estado de latencia, los tiempos de germinación de estas semillas tienden a ser considerablemente cortos dado a que una rápida germinación les permite aprovechar el agua disponible durante la época lluviosa (Mascia-Vieira, de Lima, Sevilha y Scariot, 2008). Si los tiempos de germinación fueran mayores, estas semillas producirían plántulas que apenas aprovecharían entre tres y cuatro meses de la época lluviosa, dependiendo de si la semilla entra en contacto con el suelo durante el fin de la época seca o inicios de la época lluviosa. En todo caso, este tiempo no se considera apto para que la plántula pueda crecer y establecerse de

forma óptima para sobrevivir durante la próxima época seca (Vargas, Werden y Powers, 2015; Duncan, 2019).

ii. Ensayos de establecimiento ex-situ con distintas combinaciones de sustrato

Los resultados del ensayo de establecimiento sugieren que las distintas combinaciones de sustrato no tienen efecto diferencial en el desarrollo de la plántula una vez establecida, fenómeno reportado de igual forma para otras especies de plantas de bosque seco tropical (Luera et al., 2021). Estas plantas, al estar adaptadas al clima semiárido del bosque tropical estacionalmente seco, dependen de la dinámica entre disponibilidad de agua y estrés hídrico para su sobrevivencia. Por tanto, es posible que las diferencias entre las tasas de sobrevivencia observadas podrían estar relacionadas a las propiedades edafológicas de los sustratos tales como retención de agua, densidad y porosidad, tal como sugiere Luera y colaboradores, (2021). La adición de pumita a los tratamientos reduce la densidad total del sustrato favoreciendo la aireación del sustrato y reduce la evaporación de agua al retener humedad. En contraste, el sustrato universal comercial es más denso y, sí bien retiene humedad, la presencia de materia orgánica podría favorecer el crecimiento de microorganismos patógenos capaces de dañar la plántula. Es meritorio realizar más estudios en torno a las cualidades edafológicas de los sustratos como densidad y porosidad para evaluar el rol de la disponibilidad de agua y el estrés hídrico en la sobrevivencia y crecimiento de las plántulas.

iii. Programa de adopción de plantas nativas del Valle del Motagua

Las cuatro especies de la familia Cactaceae disponibles durante las jornadas de adopción se encuentran dentro de las cinco especies adoptadas en mayor proporción, representando el 68% del total de plantas adoptadas (79 de 116 plantas) (Cuadro 6, Figura 7). A partir de las charlas y preguntas realizadas por los adoptantes, se considera que la popularidad de las cactáceas dentro de las jornadas puede atribuirse a: 1) lo vistoso y atractivo de sus flores, 2) la poca necesidad de riego y notable adaptación a las condiciones climáticas de la región y 3) un lento crecimiento que no exige gran extensión de espacio para su mantenimiento, al menos en el corto y mediano plazo. También es posible que al tratarse de una familia tan característica de la región, exista un vínculo cultural y de identidad entre las personas locales y las cactáceas. En todo caso, los resultados de estas jornadas señalan a los cactus como un importante componente que facilita el involucramiento de las personas en actividades de valoración de la flora local, lo que se espera que favorezca su interés por otras especies de la región, como las fabáceas, en futuras actividades. De las fabáceas reproducidas en este proyecto, únicamente *C. pulcherrima* figura como una de las plantas considerablemente adoptadas (Cuadro 6, Figura 7). Esto se atribuye a factores similares a los

observados con las cactáceas: 1) flores llamativas y presentes a lo largo de todo el año, 2) un hábito arbustivo que no requiere de mucho espacio para su crecimiento y 3) ser una especie de hojas perenne que asegura sombra continua. Se considera importante que en futuras jornadas de adopción, se plantee aumentar los esfuerzos por divulgar la importancia, tanto en términos ecológicos como de uso humano, de otras especies menos solicitadas por los adoptantes, como el aripín, el yaje y el morro, con el fin de promover su valoración y propagación en la región.

Durante la segunda jornada se contó con el apoyo institucional y mediático de la Municipalidad de Zacapa y la ONG Pro-Zac, quienes facilitaron la divulgación de la actividad por redes sociales y el espacio físico y equipo publicitario utilizados durante la jornada de adopción. Como resultado de esta vinculación, se contó con una participación considerablemente mayor durante la segunda jornada, a comparación de la primera jornada (Figura 8), realizada únicamente con el apoyo del IICUNZAC. Esto constituye un importante precedente sobre las estrategias a seguir necesarias para el desarrollo exitoso de futuras actividades de adopción.

Los resultados de las jornadas de adopción también indican que el sector con mayor interés por el cuidado de plantas de la región son las mujeres, especialmente las mujeres mayores de 50 años (Figura 9). Es valioso señalar la oportunidad de la formación de una red de ciencia ciudadana tomando en consideración a estos grupos de adoptantes, quienes pueden proveer información sobre fenología e interacciones ecológicas de especies adoptadas, dar apoyo en la divulgación de futuras actividades de adopción e incluso mostrar interés por formar parte de un grupo de voluntarios del JBO y el Vivero de Reproducción de Plantas Nativas. Durante las charlas entabladas con las personas interesadas (no necesariamente adoptantes) que se acercaron a las jornadas de adopción, se notó que muchos hombres estaban en búsqueda de árboles que pudieran usar dentro de sus terrenos de cultivo (p. ej. para sombra o cerco), más no mostraban interés por adoptar especies como el aripín, morro o yaje (Figura 9). Esto vuelve a evidenciar la importancia de aumentar el esfuerzo por divulgar la importancia y usos sostenibles de todas las especies disponibles durante las jornadas, con el fin de que éstas resulten atractivas para todos los sectores demográficos y así promover una mayor participación equitativa de las personas en la conservación de los recursos locales.

12. Conclusiones

- i. La escarificación mecánica fue el método pregerminativo que presentó una diferencia significativa con respecto al grupo control y mayores porcentajes de germinación en *C. exostemma*, *C. velutina*, *M. zacapana* y *L. zacapana*, lo que se atribuye al fácil rompimiento de la cubierta seminal y terminación de la dormancia física. Por otro lado, los métodos de imbibición (en agua y solución de peróxido 3%) mostraron una

- disminución significativa en el porcentaje de germinación a comparación del grupo control.
- ii. Las distintas combinaciones de sustratos evaluadas no tienen un efecto diferencia en el crecimiento de las plántulas de las especies estudiadas pero las características edafológicas de cada sustrato, como porosidad y densidad, podrían estar relacionadas a las diferencias observadas en la tasa de sobrevivencia.
 - iii. Los resultados de las Jornadas de Adopción indican que hay una preferencia generalizada por la adopción y cuidado de cactus y una participación mayoritaria de la población de mujeres adultas. Esta información será utilizada para guiar las estrategias de divulgación de futuras actividades de donación.

13. Referencias

- Aravind, J., Vimala Devi, S., Radhamani, J., Jacob, S. R., y Kalyani, S. (2023) *germinationmetrics: Seed Germination Indices and Curve Fitting. R package version 0.1.7*. <https://github.com/aravind-j/germinationmetrics><https://cran.r-project.org/package=germinationmetrics>.
- Alvarez-Añorve, M. Y., Quesada, M., Sánchez-Azofeifa, G. A., Avila-Cabadilla, L. D., & Gamon, J. A. (2012). Functional regeneration and spectral reflectance of trees during succession in a highly diverse tropical dry forest ecosystem. *American journal of botany*, 99(5), 816-826.
- Ariano, D., y Secaira, E. (2011). *Plan de Conservación de las Regiones Secas de Guatemala*. Guatemala. Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-, Asociación ZOOTROPIC, Centro de Estudios Conservacionistas -CECON-, The Nature Conservancy -TNC-.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw Hill.
- Balza, U., & De Gouvenain, R. C. (2019). Evaluación de veinte años de *Lignum-vitae* (*Guaiacum sanctum*, *Zygophyllaceae*) en el Parque Nacional Palo Verde de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 67(6), 1269-1277.
- Bhadouria, R., Srivastava, P., Singh, R., Tripathi, S., Singh, H., & Raghubanshi, A. S. (2017). Tree seedling establishment in dry tropics: an urgent need of interaction studies. *Environment Systems and Decisions*, 37(1), 88–100. <http://doi.org/10.1007/s10669-017-9625-x>
- Barboza, E., Zago, R., García J., Farías, J., dos Santos, M. y Barroso, M. (2007). Efeito de métodos de escarificação do tegumento em sementes de *Leucaena diversifolia* L. *Pesquisa agropecuária Tropical*, 37(3), 142-146
- Batish, D., Kumar, R., Jose, S. y Singh, H. (2008). *Ecological Basis of Agroforestry*, CRC Press
- Bustamante-Castillo, M., Hernández-Baños, E. y Arizmendi, M. (2018). Hummingbird Diversity and Assemblage Composition in a Disturbed Tropical Dry Forest of Guatemala. *Tropical Conservation Science*, 11, 1-15. <https://doi.org/10.1177/1940082918793303>
- Caballero-Nieto, J. (coord.) (2012), *Jardines botánicos: contribución a la conservación vegetal de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/pais/files/JardinesBotanicos_baja.pdf
- Caro-Caro, C. y Torres-Mora, M. A. (2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. *ORINOQUIA*, 19(2), 237-252.

- Castañeda, C. 2004. *Ecología del bosque seco y muy seco. Seminario de Investigaciones para la Conservación de la Región Semiárida del Valle del Motagua*. Fundación Defensores de la Naturaleza y The Nature Conservancy. Guatemala
- Chen, Y., Zhang, L., Lu, X., Lan, X., Shen, M. y Lu, C. (2018). Role of mucilage during achene germination and sprout growth of the endangered Tibetan medicinal herb *Mirabilis himalaica* (Nyctaginaceae) exposed to abiotic stresses, *Journal of Plant Ecology*, 11(2), 328–337, <https://doi.org/10.1093/jpe/rtx047>
- Chichaghare, A. R., Sony, D., Sant, P., Yashwant, S. (2020). Study of germination behavior and growth response of *Gliricidia sepium* towards various preseed treatments in Vindhyar region, India. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(5), 673-676.
- Coba-Pérez, P., Cortés-Flores, J., Méndez-Toribio, M., Martínez-Cruz, J. e Ibarra-Manríquez, G. (20-25 de octubre de 2013). *Tratamientos pregerminativos de especies leñosas de un bosque tropical caducifolia del estado de Michoacán, México* [Resumen de presentación de la conferencia]. XIX Congreso Mexicano de Botánica, Tuxla Gutiérrez, México. <https://studylib.es/doc/8153708/or7-germinacion-y-propagacion-parte-2>
- Colque, N. (2016). *Efecto de tres tipos de sustratos en dos variedades de Liliun (Lilium sp) en la estación experimental de Cota Cota*. Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia. Tesis de grado.
- Copeland, L. O. y McDonald, M. B. (2001). *Principles of Seed Science and Technology*. Springer.
- Cottrell, H. (1947). Tetrazolium Salt as a Seed Germination Indicator. *Nature* 159, 748. <https://doi.org/10.1038/159748a0>
- Cruz-Bolaños, S., Maldonado-de León, D., Martínez-Arévalo, J. V. y Cáceres, A. (2018). Bioactividad de extractos de seis especies vegetales nodrizas de bosques de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) de Ixchiguan, San Marcos, Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 5(1), 7-15.
- Daily, G. C. (1997). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington D.C., Island Press.
- Danida Forest Seed Centre. (2002). *Seed Leaflet: Gliricidia sepium (Jacq.) Steud.* <https://sl.ku.dk/rapporter/seed-leaflets/filer/giliricidia-sepium-51.pdf>
- Defensores de la Naturaleza (2012). *Guía para la identificación de plantas medicinales en la región semiárida del Valle del Motagua*. Fondo Nacional para la Conservación de la Naturaleza
- Dinerstein, E., Olson, D., Graham, D., Webster, A., Primm, S., Bookbinder, M. y Ledec, G. (1995). *Una evaluación del estado de conservación de las ecoregiones terrestres de América Latina y el Caribe*. Banco Mundial. Fondo Mundial para la Naturaleza.
- Di Sacco, A., León-Lobos, P. y Suárez-Ballesteros, C. (2018). Manula de recolección, procesamiento y almacenamiento de semillas de plantas silvestres. V. 1.2, Royal Botanic Gardens Kew. Disponible en <http://brahmsonline.kew.org/msbp/Training/Resources>
- Domínguez, C. E. y Aldana, E. Y. (2021). *Informe final. El Jardín botánico de oriente: Vinculando ciencia con sociedad*. Dirección General de Investigación. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Donoso, C. (1993). *Bosques Templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y Dinámica*. Editorial Universitaria.
- Doran, J. C., Boland, D. J., Turnbull, J. W. y Gunn, B. V. (1983). *Manual sobre las semillas de acacias secas: una guía para la cosecha, extracción, limpieza, almacenamiento de la semilla y para el tratamiento que estimule la germinación de las acacias de la zona seca*. CSIRO. <https://www.fao.org/3/Q2190S/Q2190S00.htm>
- Duncan, C., Schultz, N., Lewandrowski, W., Good, M. K., y Cook, S. (2019). Lower dormancy with rapid germination is an important strategy for seeds in an arid zone with unpredictable rainfall. *PLOS ONE*, 660159. <https://doi.org/10.1101/660159>
- Ewel, J. J. (1999). Natural systems as models for the design of sustainable systems of land use. *Agroforestry Systems*, 45(1), 1–21.
- Fagundes, M., Cuevas-Reyes, P., Araújo, W. S., Faria, M. L., Valerio, H. M., Pimental, M. A., Falcão, L. A., Reis-Junior, R., Aguilar-Peralta, J. S. y dos Santos, H. T. (2020). Influence of light availability and seed mass on

- germinability and initial growth of two congeneric species of Fabaceae. *Acta Botánica Mexicana*, 127, 1-13. <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1638>
- Ferro, J. S., Rocha, D. F., Junior, J. L., Neto, J. C., Silva, J. V. y Junior, J. S. (2019). Germination and viability of seeds of *Caesalpinia pulcherrima* newly harvested and stored. *Journal of Agricultural Science*, 11(7), 73-85.
- Foroughbakhch, R., Alvarado-Vásquez, M., Hernández-Piñero, J., Rocha-Estrada, A., Guzmán-Lucio, M. y Treviño-Garza, (2006). Establishment, growth and biomass production of 10 tree woody species introduced for reforestation and ecological restoration in northeastern México. *Forest Ecology and Management*. 235(1-3), 194-201. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.012>
- García de Alba-Verduzco, J., García de Alba-García, J., Salcedo-Rocha, A., Rodríguez-Morán, M. y Ramírez-Hernández, B. (2017). Comercio de plantas medicinales en mercados municipales de Guadalajara. *e-CUCBA*. 8(1). <https://doi.org/10.32870/e-cucba.v0i8.83>
- García-Oliva, F. y Jaramillo, V. (2011). *Chapter 10: Impact of Anthropogenic Transformation of Seasonally Dry Tropical Forests on Ecosystem Biogeochemical Process*. En Dirzo, R., Young, H., Mooney, H y Ceballos, G. *Seasonally Dry Tropical Forests: Ecology and Conservation*. Island Press.
- Geisler, G. E., Pinto, T. T., Santos, M., y Paulilo, M. T. (2016). Seed structures in water uptake, dormancy release, and germination of two tropical forest Fabaceae species with physically dormant seeds. *Brazilian Journal of Botany*, 40(1), 67–77. <http://doi.org/10.1007/s40415-016-0334-3>
- González-Rivas, B., Tigabu, M., Castro-Marín, G., & Odén, P. C. (2009). Seed germination and seedling establishment of Neotropical dry forest species in response to temperature and light conditions. *Journal of Forestry Research*, 20(2), 99-104. <https://doi.org/10.1007/s11676-009-0018-y>
- Govindarajulu, R., Hughes, C. y Bailey, D. (2011). Phylogenetic and population genetic analyses of diploid *Leucaena* (Leguminosae; Mimosoideae) reveal cryptic species diversity and patterns of divergent allopatric speciation. *American Journal of Botany*. 98(12): 2046-63. <http://doi.org/10.3732/ajb.1100259>.
- Gutiérrez Carvajal, L., & Dorantes López, J. (2005). *Especies forestales de uso tradicional del Estado de Veracruz: potencialidades de especies con uso tradicional del estado de Veracruz, con opción para establecer plantaciones forestales comerciales 2003-2004* (No. Sirsi) a438046). Universidad Veracruzana. Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología..
- Hartmann, H. y Kester, D. (1988). *Propagación de Plantas*. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.
- Hughes, C.E. (1998). *Leucaena. A Genetic Resources Handbook*. Tropical Forestry Paper 37. Inglaterra: Oxford Forestry Institute
- Hughes, C. E. (1991). Two New Subspecies of *Leucaena* (Leguminosae : Mimosoideae) from Guatemala. *Kew Bulletin*, 46(3), 547. doi:10.2307/4110544
- INAB, FAO/FFF (2016). *Guía Técnica de las especies forestales más utilizadas para la producción de leña en Guatemala*. Serie Técnica GT-009(2016). recuperado de: http://portal.inab.gob.gt/images/centro_descargas/industria_comercio_forestal/Gu%C3%ADa%20de%20Especies%20Forestales%20para%20Le%C3%B1a.PDF
- Instituto Alexander von Humboldt. (2001). *Plan nacional de jardines botánicos de Colombia*. Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. (2012). *Centro de Adopción de Plantas Mexicanas en Peligro de Extinción*. <http://www.ib.unam.mx/jardin/comoadop/>
- Instituto Forestal de Chile. (2013). *Propagación de especies forestales nativas de las zonas áridas y semiáridas de Chile*. INFOR.
- Iossi, E., Vitti, F., Aparecida, R., Marani, R. y Daiton, R. (2016). Chemical composition, embryo anatomy and viability by tetrazolium test of pyrenes of *Euterpe edulis* Mart. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 11(4), 310-316. <https://doi.org/10.5039/agraria.v11i4a5399>

- Jaganathan G. K., Wu, G. R., Han, Y. Y., y Liu, B. L. (2017). Role of the lens in controlling physical dormancy break and germination of *Delonix regia* (Fabaceae: Caesalpinioideae). *Plant Biol (Stuttg)*, 19(1), 53-60. <http://doi.org/10.1111/plb.1245>.
- Jayasuriya, K. M., Baskin J. M., Geneve, R. L. y Baskin, C. C. (2007). Morphology and anatomy of physical dormancy in *Ipomoea lacunosa*: identification of the water gap in seeds of Convolvulaceae (Solanales). *Annals of Botany*, 100(1), 13–21.
- Janzen, D. (1988). Tropical dry forests, the most endangered major tropical ecosystem. En Wilson, E. (Ed.) Biodiversity. Estados Unidos de América: National Academies Press
- Khurana, E., y Singh, J. S. (2001). Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forest: a review. *Environmental Conservation*, 28(1), 39-52. <https://doi.org/10.1017/S0376892901000042>
- Krishnan, S. y Novy, A. (2016). The role of botanic gardens in the twenty-first century. *CAB Reviews*, 11(23), 1-10. <http://doi.org/10.1079/PAVSNNR201611023>
- Koobonye, M., Maule, B. V., y Mogotsi, K. (2018). Mechanical scarification and hot water treatments enhance germination of *Leucaena leucocephala* (Lam.) seed. *Livestock Research for Rural Development*, 30(1), 1-8.
- Lopes, M. y Fagundes, M. (2014). Seed size as key factor in germination and seedling development of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). *American Journal of Plant Sciences*, 5, 2566-25. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.517270>
- Lowe, A., Harris, S. y Ashton, P. (2004). *Ecological Genetics: Design, Analysis and Application*. Willey-Blackwell.
- Maass, J. M., Balvanera, P., Castillo, A., Daily, G. C., Mooney, H. A., Ehrlich, P., Quesada, M., Miranda, A., Jaramillo, V. J., García-Oliva, F., Martínez-Yrizar, A., Cotler, H., López-Blanco, J., Pérez-Jiménez, A., Búrquez, A., Tinoco, C., Ceballos, G., Barraza, L. y Ayala, R. (2005). Ecosystem services of tropical dry forests: insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and Society*, 10(1), 17-39.
- Maldonado-Arciniegas, F., Ruales, C., Caviedes, M., Ramírez, D. X., y León-Reyes, A. (2018). An evaluation of physical and mechanical scarification methods on seed germination of *Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Seigler & Ebinger. *Acta agronómica*, 67(1), 120-125. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.60696>
- Mansilla, C. E. (2015). *Evaluación de siete tratamientos de escarificación en semilla de aripín (Caesalpinia velutina) y causas de la no formación de semilla en orotoguaje (Acacia deamii) y zarza blanca (Mimosa platycarpa), diagnóstico y servicios realizado en la Dirección Regional III de Oriente del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Zacapa, Guatemala, C.A.* Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Tesis de Licenciatura
- Macquet A., Ralet M.-C., Loudet O., Kronenberger J., Mouille G., Marion-Poll A. y North H.M. (2007) A naturally occurring mutation in an Arabidopsis accession affects a β -d-Galactosidase that increases the hydrophilic potential of rhamnogalacturonan I in seed mucilage. *The Plant Cell*, 19, 3990–4006. <https://doi.org/10.1105/tpc.107.050179>
- Marshall, D. L. (1986). Effect of Seed Size on Seedling Success in Three Species of *Sesbania* (Fabaceae). *American Journal of Botany*, 73(4), 457-464. <https://doi.org/10.2307/2444249>
- Martins-Alves, M., Usulino-Alves, E., Rodrigues de Araújo, L. y dos Santos-Lima, M. (2017). Substrate in the emergence and initial growth of seedlings of *Caesalpinia pulcherrima*. *Ciência Rural*, 47(3). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150433>
- Mazerolle, M. (2020). *AICcmodavg: Model selection and multimodel inference based on (Q)AIC(c)*. R package version 2.3-1, <https://cran.r-project.org/package=AICcmodavg>.
- Minnick, T. J., y Alward, R. D. (2012). Soil moisture enhancement techniques aid shrub transplant success in an arid shrubland restoration. *Rangeland Ecology & Management*, 65(3), 232-240. <https://doi.org/10.2111/REM-D-10-00133.1>

- Nájera, A. (Ed). *Plan de Conservación de la Región Semiárida del Valle del Motagua, Guatemala*. Fundación Defensores de la Naturaleza.
- Nasreen, S., Yousaf, M., Mohmand, A. S. y Mailk, M. A. (2002). Study of seed dormancy mechanisms; causes and control. *Asian Journal of Plant Sciences*, 1(2), 210-212.
- Ngulube, M. R. (1989). Seed germination, seedling growth and biomass production of eight Central-American multipurpose trees under nursery conditions in Zomba, Malawi. *Forest Ecology and Management*, 27(1), 21–27. [http://doi.org/10.1016/0378-1127\(89\)90079-0](http://doi.org/10.1016/0378-1127(89)90079-0)
- Nkengurutse, J., Khalid, A., Mzabri, I., Kakunze, A. C., Masharuba, T., y Berrichi, A. (2016). Germination optimization study of five indigenous Fabaceae tree species from Burundi Miombo woodlands. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(12), 4391-4402.
- Nolasco, H., Vega-Villasante, F. y Díaz-Rondero, A. (1997). Seed germination of *Stenocereus thurberi* (Cactaceae) under different solar irradiation levels. *Journal of Arid Environments*, 36, 123–132.
- Nuñez-Floreza, R., Pérez-Gómez, U. y Fernández-Méndez, F. (2019). Functional diversity criteria for selecting urban trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38, 254-266. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.01.005>
- Organización de Naciones Unidas -ONU- (2018): *ODS15: Vida de ecosistemas terrestres: por qué es importante*. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/15_Spanish_Why_it_Matters.pdf
- Patil, V. N. y Dadlani, M. (2006). *Tetrazolium test for seed viability and vigour*. <https://seednet.gov.in/PDFFILES/Chapter%2014.pdf>
- Pérez, S. (2004). *Envolutorios*. En Ferreria, A. y Borghetti, F. (Org.) *Germinação: do básico ao aplicado*: Artmed.
- Portillo-Quintero, C. A., y Sánchez-Azofeifa, G. A. (2010). Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation*, 143(1), 144–155. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.09.020>
- Pinedo-Escatel, J. A., Moya-Raygoza, G., Dietrich, C. H., Zahniser, J. N., & Portillo, L. (2021). Threatened Neotropical seasonally dry tropical forest: evidence of biodiversity loss in sap-sucking herbivores over 75 years. *Royal Society Open Science*, 8(3), 201370. doi/10.1098/rsos.201370
- R Core Team (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Ramírez, M. L. (1999). *Desarrollo de patrones de pruebas rápidas para determinar viabilidad en semillas de Pinus caribaea Morelet (pino del Petén), Grevillea robusta A. Cunn (gravilea) y Caesalpinia velutina (Britt. & Rose) Standl (aripín)*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Tesis de grado
- Ranal, M. y Santana, D. (2006). How and why to measure the germination process. *Revista Brasileira de Botânica*, 29(1), 1-11.
- Reino, J., González, Y., y Sánchez, J. A. (2008). Temperatura óptima de germinación y patrones de imbibición de las semillas de *Albizia lebbek*, *Gliricidia sepium* y *Bauhinia purpurea*. *Pastos y Forrajes*, 31(3), 209-216.
- Rojas-Aréchiga, M. y Vázquez-Yanes, C. (2000). Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments*, 44, 85-104.
- Román-Miranda, M., Mora-Santacruz, A. y González-Cueva, A. (2016), Sistemas agroforestales con especies de importancia maderable y no maderable en el trópico seco de México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 20(2), 53-72.
- Sánchez-Azofeifa, G. A., Quesada, M., Rodríguez, J. P., Nassar, J. M., Stoner, K. E., Castillo, A., Gravin, T., Zent, E. L., Calvo-Alvarado, J. C., Kalacska, M. E., Fajardo, L., Gamon, J. A. y Cuevas-Reyes, P. (2005). *Research priorities for Neotropical dry forests*. *Biotropica*, 37(4), 477–485
- Sánchez-Paz, Y. y Ramírez-Villalobos, M. (2006). Tratamientos pregerminativos en semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. *Revista de la Facultad de Agronomía. de Caracas*, 23(3). 257-272.

- Smýkal, P., Vernoud, V., Blair, M. W., Soukup, A., y Thompson, R. D. (2014). The role of the testa during development and in establishment of dormancy of the legume seed. *Frontiers in Plant Science*, 5(351), 1-19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00351>
- Silveira, F. S., y Overbeck, G. E. (2013). Effect of high temperature on germination of four legumes from a forest-grassland mosaic in Southern Brazil. *Biota Neotropica*, 13(2), 331-335. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000200035>
- Standley, P. y Steyermark, J. (1946). *Flora of Guatemala. Volumen 24, Part V*. Chicago Natural History Museum.
- Stewart, J. y Dunsdon, A. (1998). Preliminary evaluation of potential fodder quality in a range of *Leucaena* species. *Agroforestry Systems*, 40, 177-198.
- Suárez, A., Williams-Linera, G., Trejo, C., Valdez-Hernández, J. I., Cetina-Alcalá, V. M., y Vibrans, H. (2011). Local knowledge helps select species for forest restoration in a tropical dry forest of central Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems*, 85(1), 35–55. <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9437-9>
- Tang, L., Baskin, C., Baskin, J., Luo, K., Yu, X., Huang, W., Zhang, R., y Chen, Y. (2022). Methods of breaking physical dormancy in seeds of the invasive weed *Mimosa pudica* (Fabaceae) and a comparison with 36 other species in the genus. *PeerJ*, 10, e13567. <https://doi.org/10.7717/peerj.13567>
- The Angiosperm Phylogeny Group, Chase, W., Maarten, J., Christenhusz, M., Fay, M., Byng, J. W., Judd, W., Soltis, D. E., Mabberley, D. J., Sennikov, A., Soltis, P. S. y Steven, P. F. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1-20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- Tsai, A., McGee, R., Dean, G., Haughn, G. y Sawa, S. (2021). Seed Mucilage: Biological Functions and Potential Applications in Biochemistry. *Plant & Cell. Physiology*, 62(12), 1847-1857. <http://doi.org/10.1093/pcp/pcab099>.
- Thompson, I. (2011). Biodiversidad, umbrales ecosistémicos, resiliencia y degradación forestal. *Unasylva* 238, 62(2), 1-6.
- Tosi, J. A. y Voertman, R. F. (1964). Some environmental factors in the economic development of the tropics. *Economic Geography*, 40, 189–205
- Tweddle, J. C., Dickie, J. B., Baskin, C. C. y Baskin, J. M., (2003). Ecological aspects of seed desiccation sensitivity. *Journal of Ecology*, 91, 294–304.
- Varela, S. A. y Arana, V. (2011). Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_latencia.pdf
- Varela, R. O. y Albornoz, P. L. (2013). Morpho-anatomy, imbibition, viability and germination of the seed of *Anadenanthera colubrina* var. cebil (Fabaceae). *Revista de Biología Tropical*, 6(3), 1109-1118.
- Vargas-Figueroa, J. A., Duque-Palacio, O. L. y Torres-González, A. M. (2014). Germinación de semillas de cuatro especies arbóreas del bosque seco tropical del Valle de Cauca, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 63(1), 249-261.
- Vásquez-Yanes, C., Batis-Muñoz, A., Alcocer, M., Díaz, M. y Sánchez-Dirzo, C. (1999). *Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación*. Reporte técnico del proyecto J084. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Instituto de Ecología, UNAM.
- Vargas G., G., Werden, L. K., & Powers, J. S. (2015). *Explaining Legume Success in Tropical Dry Forests Based on Seed Germination Niches: A New Hypothesis*. *Biotropica*, 47(3), 277–280. doi:10.1111/btp.12210
- Venier, P., Funes, G. y Carrizo, C. (2011). Physical dormancy and histological features of seeds of five *Acacia* species (Fabaceae) from xerophytic forests in central Argentina. *Flora*, 207, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2011.07.017>
- Ventura, J. C., Cuellar, A., De León, J. S. y Pérez, M. E. (2020). Germinación, sobrevivencia y crecimiento inicial de especies nativas con potencial para la restauración del paisaje forestal en la región de las Verapaces, Guatemala. *Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático Yu'am*, 4(1), 4-22.

- Véliz, M. (2008). *Análisis comparativo de la diversidad florística y endemismos de las zonas semiáridas de Guatemala*. Informe final FODECYT No, 27-2006. CONCYT/SENACYT/USAC, 84 pp.
- Véliz, M., Ramírez, F., Cóbar, A. y García, M. (2003). *La diversidad florística del monte espinoso de Guatemala*. Informe Final DIGI-USAC, 61 pp.
- Verma, P. y Majee, M. (2013). *Seed germination and viability test in tetrazolium (TZ) assay*. Bio-protocol LLC. <https://bio-protocol.org/e884>
- Vidak, M., Lazarević, B., Javonik, T., Šatović, Z., y Carović-Stanko, K. (2022). Seed water absorption, germination, emergence and seedling phenotypic characterization of the common bean landraces differing in seed size and color. *Seeds*, 1(4), 324-339. <https://doi.org/10.3390/seeds1040027>
- Vishal, B., y Kumar, P. P. (2018). Regulation of seed germination and abiotic stresses by gibberellins and abscisic acid. *Frontiers in Plant Science*, 9(838), 1-15.
- Viudes S., Burlat V., y Dunand, C. (2020). Seed mucilage evolution: Diverse molecular mechanisms generate versatile ecological functions for particular environments. *Plant Cell Environ.* 2043(12): 2857-2870. doi: 10.1111/pce.13827. Epub 2020 Jul 23. PMID: 32557703.
- Willan, R. L. (1985). *A guide to forest seed handling*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/3/ad232e/AD232E10.htm>
- Way M. & Gold K. (2014a) *Technical Information Sheet_02. "Assessing a population for seed collection"* Millennium Seed Bank Partnership, Kew. <http://brahmsonline.kew.org/Content/Projects/msbp/resources/Training/02-Assessingpopulation.pdf>
- Way, M. y Gold, K. (2014b). *Technical Information Sheet_03. "Seed collecting techniques"*. Millennium Seed Bank Partnership, Kew. <http://brahmsonline.kew.org/Content/Projects/msbp/resources/Training/03-Collecting-techniques.pdf>
- Western, T. (2012). The sticky tale of seed coat mucilages: production, genetics, and role in seed germination and dispersal. *Seed Science Research*, 22(1), 1-25. doi:10.1017/S0960258511000249

14. Apéndices

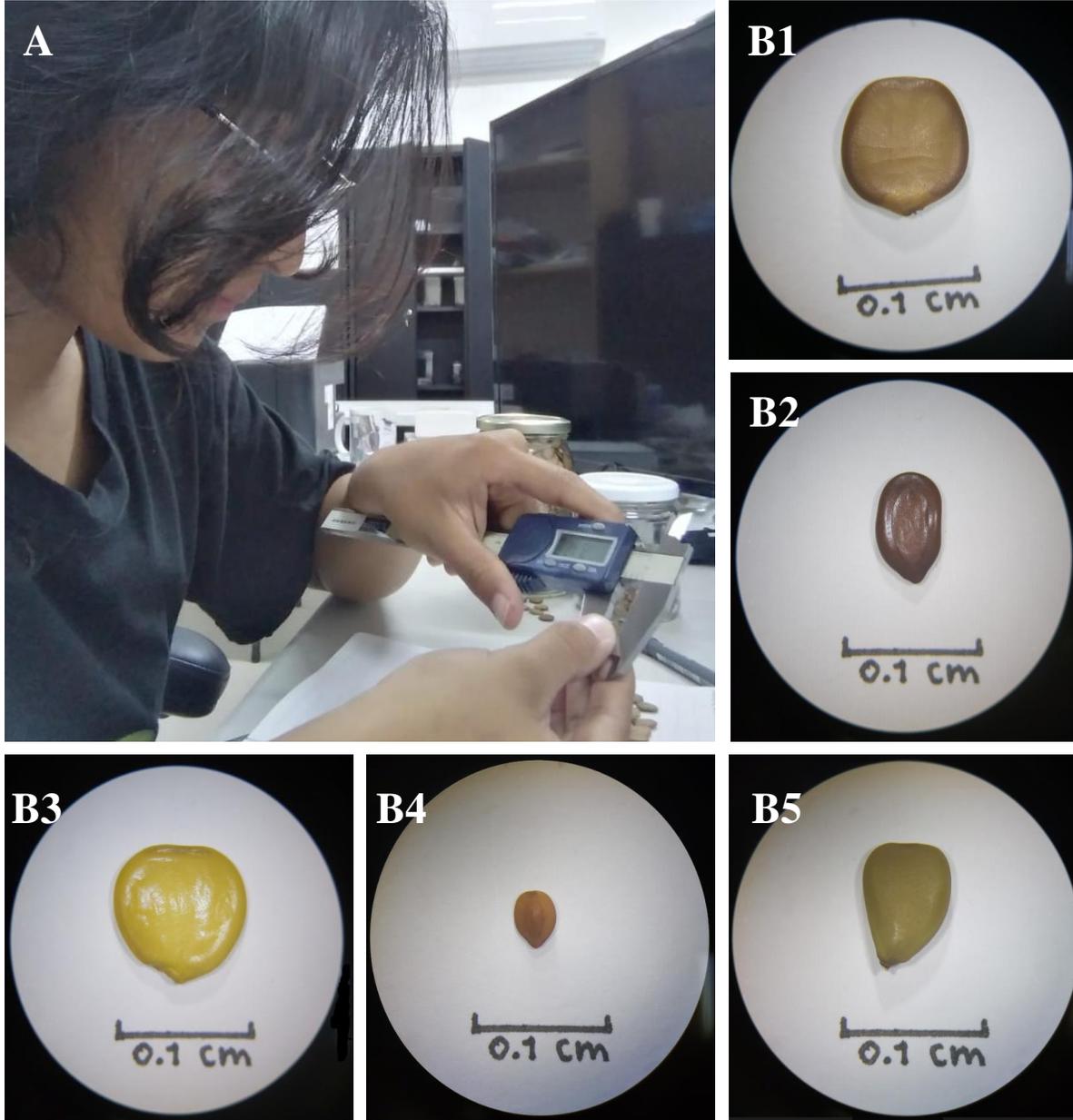
Apéndice 1. Nombre y ubicación geográfica de los sitios de colecta de las semillas utilizadas durante el proyecto

No.	Departamento	Municipio	Nombre del sitio	Coordenadas geográficas	
				Longitud	Latitud
1	El Progreso	El Júcaro	Lo de China	-89.843435	14.910769
2	El Progreso	San Cristóbal Acasaguastlán	Finca Xactún	-89.8666493	14.9456472
3	Zacapa	Zacapa	Poza del Lagarto	-89.549951	14.992085
4	Zacapa	Zacapa	Complejo deportivo	-89.523862	14.954012
5	Zacapa	Cabañas	PRM Niño Dormido	-89.817728	14.904026
6	Zacapa	Cabañas	Aldea La Puente	-89.811778	14.936428
7	Zacapa	Cabañas	RNP “Heloderma”	-89.768802	14.870629
8	Zacapa	Cabañas	Aldea San Vicente	-89.755486	14.883025

Apéndice 2. Colecta de semillas de Santa Rosa (*C. pulcherrima*) en campo en la Aldea La Puente, Cabañas, Zacapa.



Apéndice 3. Toma de datos morfológicos de las semillas colectadas



Apéndice 4. Revisión y limpieza de semillas (A) para su almacenamiento en el Museo de Historia Natural del Centro Universitario de Zacapa

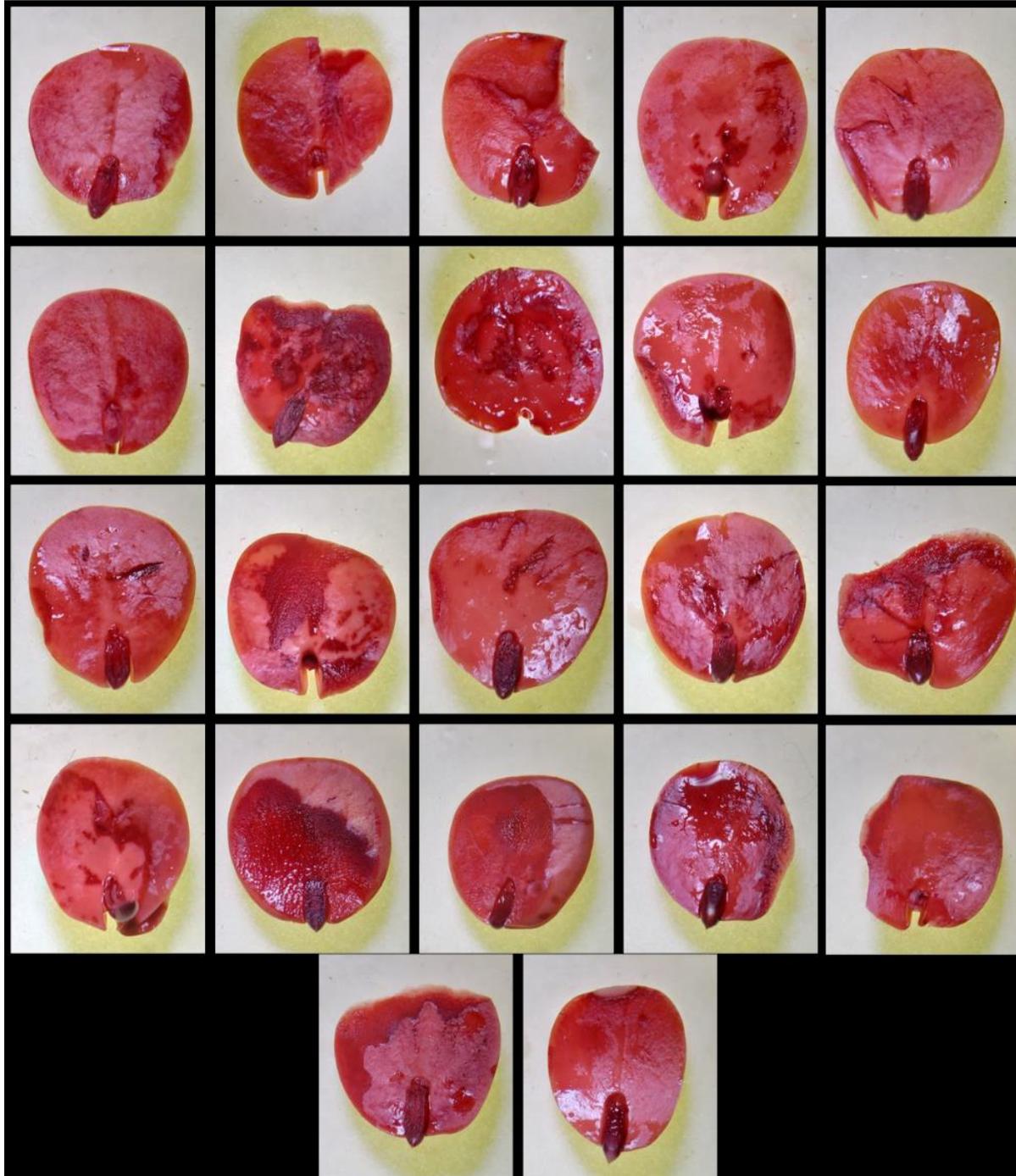


A



B

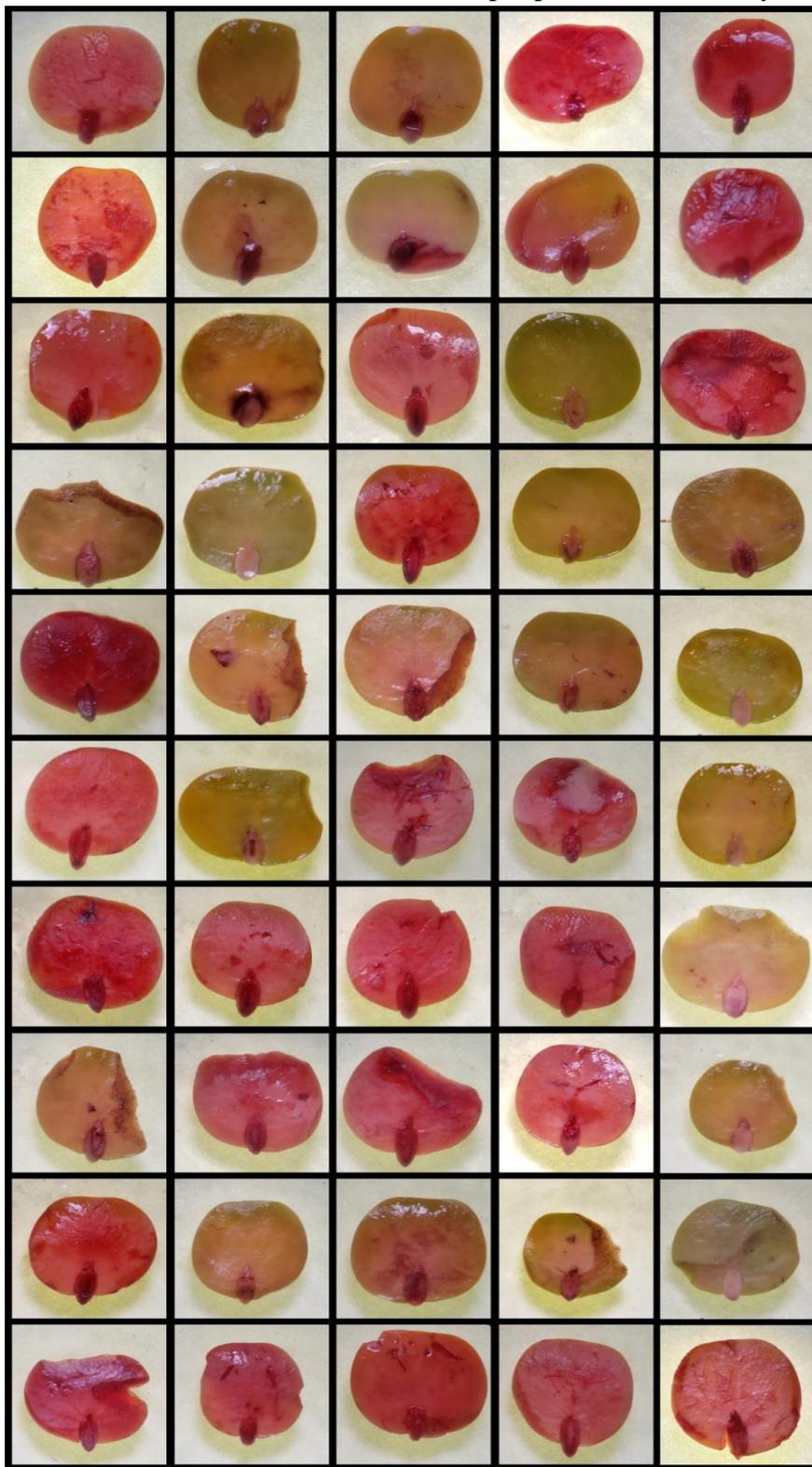
Apéndice 5. Prueba de viabilidad de las semillas de carcompo por medio del ensayo de tetrazolio



Apéndice 6. Prueba de viabilidad de las semillas de Santa Rosa por medio del ensayo de tetrazolio



Apéndice 7. Prueba de viabilidad de las semillas de aripín por medio del ensayo de tetrazolio



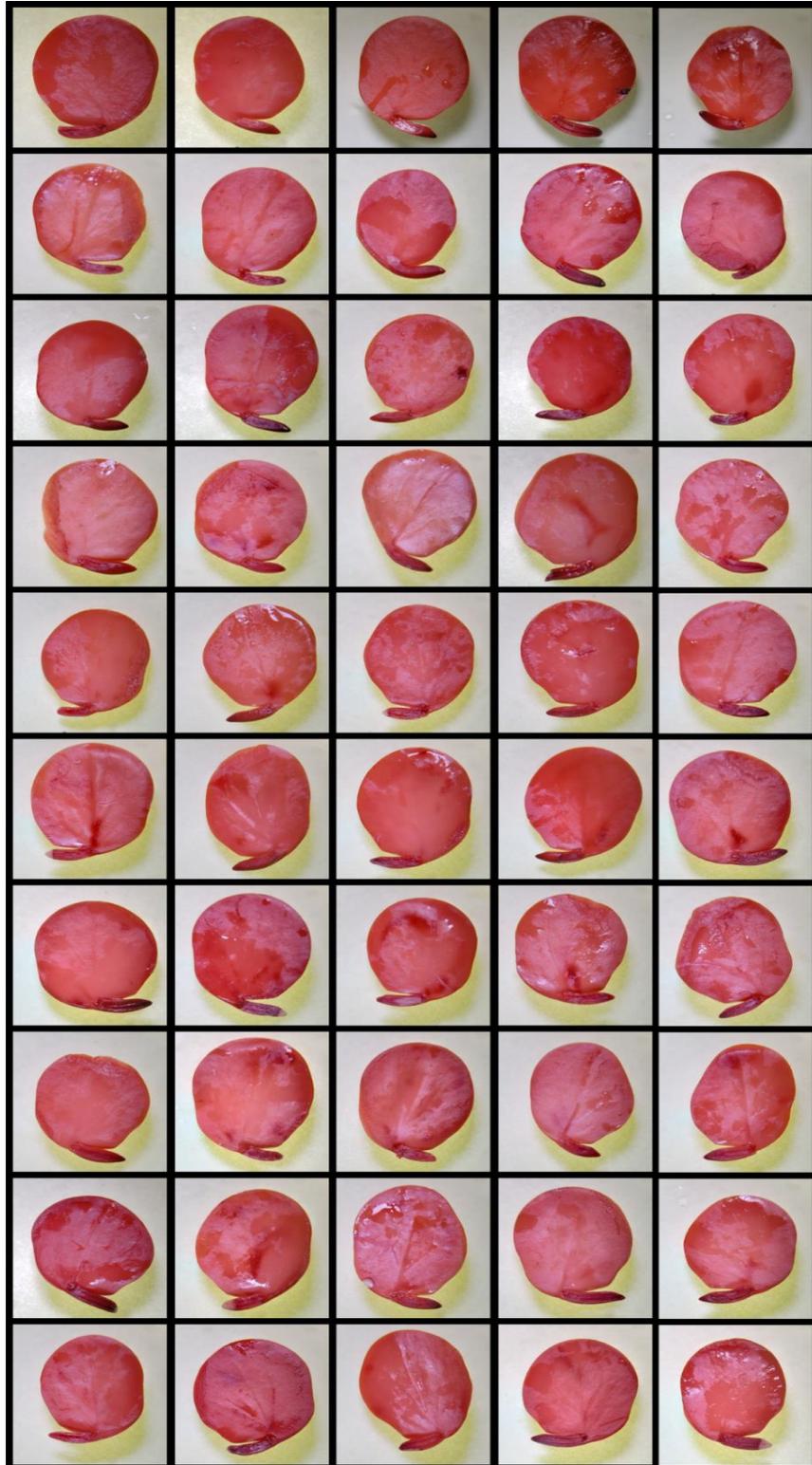
Apéndice 8. Prueba de viabilidad de las semillas de yaje por medio del ensayo de tetrazolio



Apéndice 9. Prueba de viabilidad de las semillas de motapino por medio del ensayo de tetrazolio



Apéndice 10. Prueba de viabilidad de las semillas de madrecaao por medio del ensayo de tetrazolio



Apéndice 11. Fase experimental de métodos pregerminativos. (A) Uso de autoclave para la esterilización de cristalería y agua a emplear durante la fase experimental. (B) Preparación del medio de cultivo de *Phytigel*. (C) Lijado de semillas para la prueba de escarificación mecánica. (D) Imbibición de semillas en agua a 80°C para la prueba de shock térmico. (E) Uso de mechero para el mantenimiento de condiciones estériles durante la experimentación. (F) Semillas sembradas en cajas de Petri. (G) Conteos diarios de semillas. (H) Germinación de semillas de aripín tratadas con shock térmico



Apéndice 12. Fase experimental de establecimiento de plántulas en distintas combinaciones de sustratos. (A y B). Preparación de sustratos. (C) Llenado de bolsas de vivero con los distintos sustratos. (D) Siembra de semillas germinadas en bolsas de vivero.



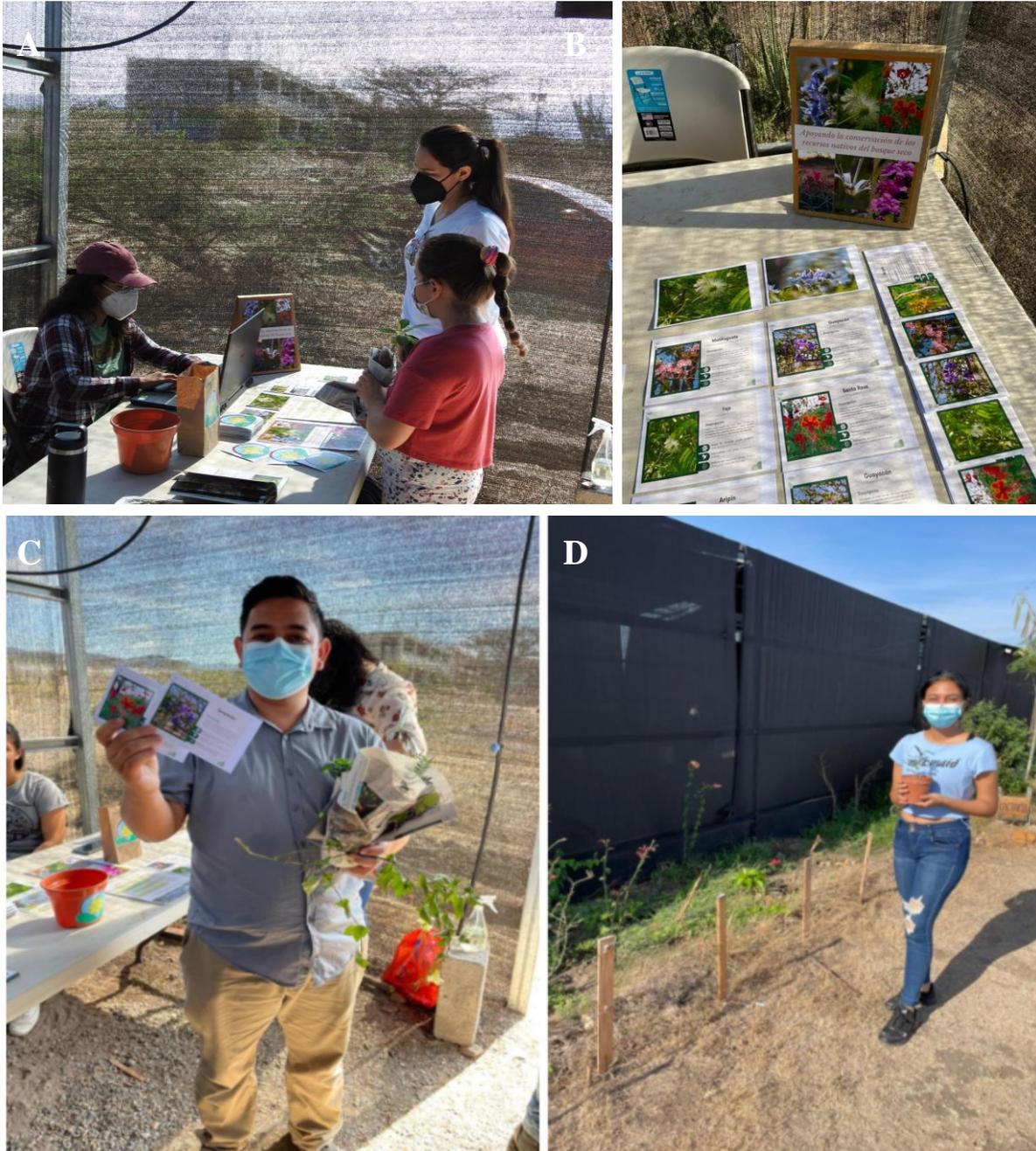
Apéndice 13. Germinación *de novo* de semillas (A-B) para su siembra en bolsas de vivero con los distintos sustratos de experimentación (B)



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Apéndice 14. Fotografías de la Primera Jornada de Adopción de Plantas Nativas del Bosque Seco, llevada a cabo los días 5 y 6 de marzo de 2022, en el Vivero de Reproducción de Plantas Nativas del JBO, campus universitario de CUNZAC. (A) Registro de adoptantes durante la actividad. (B) Material informativo sobre las características, cuidados y polinizadores de las especies en adopción. (C y D) Estudiantes del CUNZAC que participaron como adoptantes.



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Apéndice 15. Fotografías de la Segunda Jornada de Adopción de Plantas Nativas del Bosque Seco, llevada a cabo los días 4 y 5 de febrero de 2022, en el Parque Central de Zacapa, Zacapa. (A-D) Participación de adoptantes de distintos grupos demográficos. (E) Material informativo sobre las características, cuidados y polinizadores de las especies en adopción.



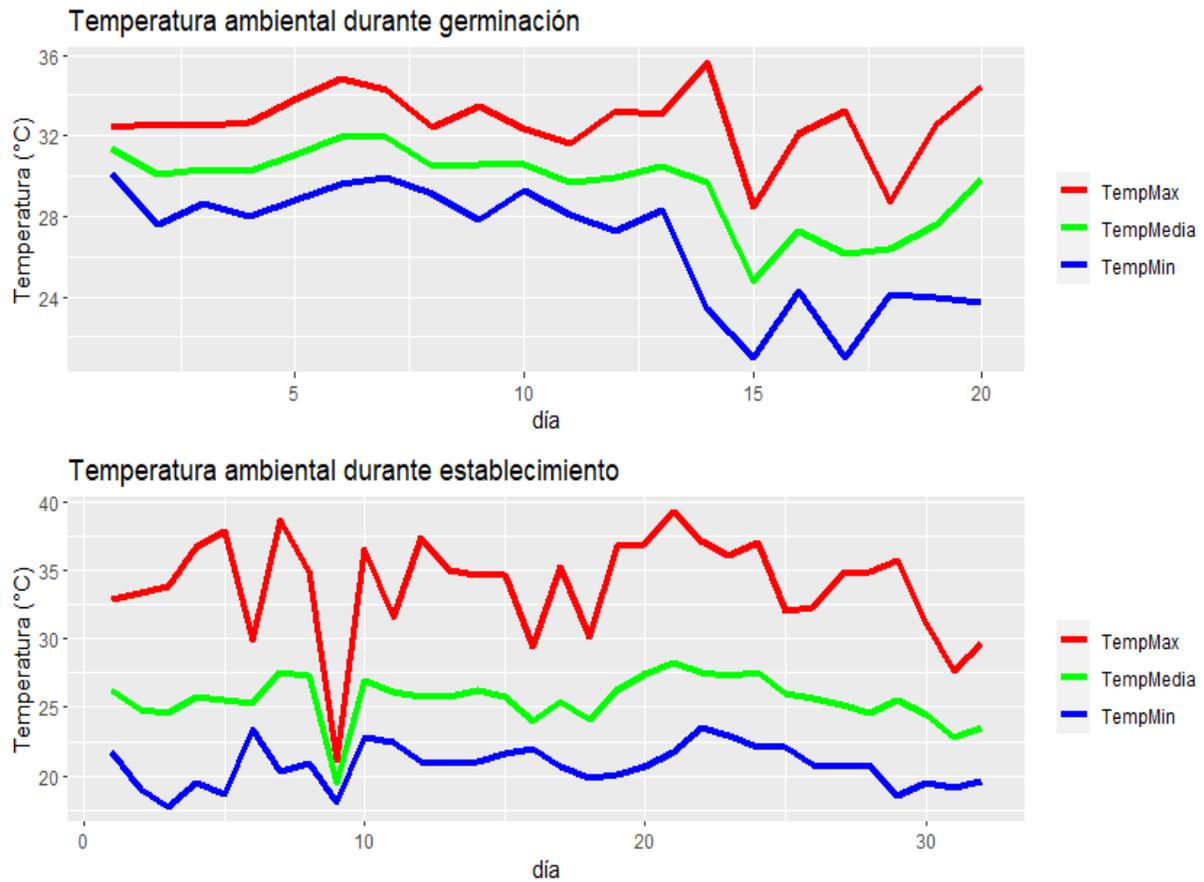
Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI–

Apéndice 16. Boletas para la toma de datos de las semillas colectadas en campo

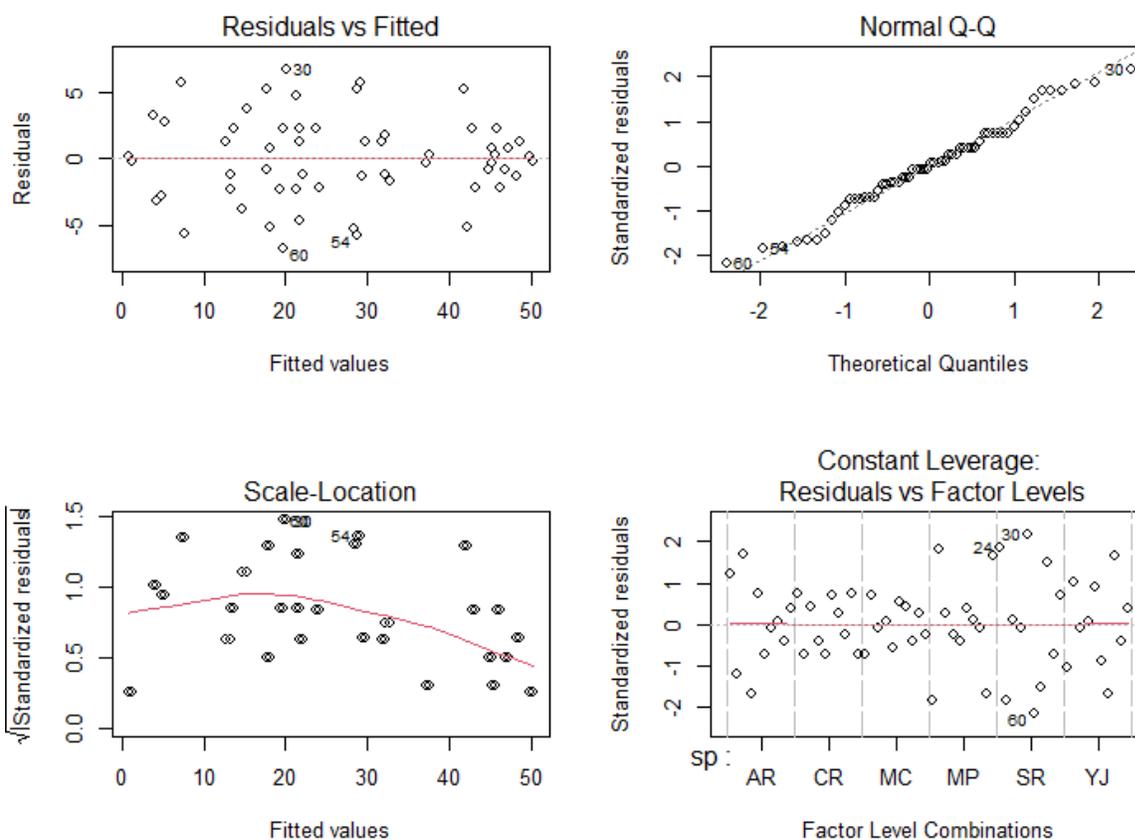
COLECTA DE GERMOPLASMA: HOJA DE DATOS					
IDENTIFICACIÓN					
Familia		COORDENADAS	X		
Género			Y		
Especie		Fecha de muestreo	dd/mm/aa		
EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN					
Taxón identificado y diferenciado de taxa similar	SI / NO				
Tamaño aproximado del parche de vegetación					
Número aproximado de individuos	1-10	11-50	51-100	101-1000	>1000
Evidencia de perturbación (fuego, ganadería, herbicidas, etc)	SI / NO				
EVALUACIÓN DE LA PREPARACIÓN DE LA POBLACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE SEMILLAS					
Etapa fenológica que ocurre con mayor frecuencia (marcar o dar porcentaje)					
Vegetativo					
Reproductivo	En flor				
	Semillas inmaduras				
	Alrededor de la dispersión natural				
	Post dispersión				
CALIDAD FÍSICA					
Cortar 10 semillas al azar de la muestra, indicar la categoría que ocurre con mayor frecuencia (marcar con una X o dar porcentaje aproximado)					
Semillas llenas					
Semillas vacías					
Semillas inmaduras					
Semillas infestadas					
DISPONIBILIDAD DE SEMILLAS					
Número promedio de semillas por unidad de dispersión (fruto)					
Número medio de frutos/unidades de dispersión por planta individual					
Número aproximado de semillas colectadas					
MONITOREO					
Para las poblaciones que aún NO están en dispersión natural, estimar una fecha adecuada para regresar y recolectar semillas.					

Apéndice 17. Temperatura ambiental mínima, máxima y promedio registrada durante los ensayos de germinación y establecimiento en condiciones de vivero



Apéndice 18. Selección y evaluación del mejor modelo para ensayo de germinación.

Modelo ANOVA	K	AIC	Δ AIC
germinación ~ tratamiento + fitohormona + especie*tratamiento	32	449.10	0.00
germinación ~ tratamiento + fitohormona + especie*tratamiento + especie	12	455.41	6.32
germinación ~ tratamiento + fitohormona	7	489.70	40.60



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Apéndice 19. Licencia de aprovechamiento de vida Silvestre y de Investigación autorizadas para el presente proyecto.

Forma LCA

CONSEJO NACIONAL DE AREAS PROTEGIDAS (CONAP)
GUATEMALA, C.A.

Serie A Nº 004024

LICENCIA DE COLECTA O APROVECHAMIENTO DE VIDA SILVESTRE

1. Nombre o razón social: Carlos Andrés Chua Velásquez
Centro Universitario de Zacapa CUNZAC, Aídaa Pueblo Modelo Zacapa

Dirección: 4886451 Identificación: DPI 2956-34928-0101

Teléfono: 4886451

2. Tipo de colecta: comercial científica XXX aficionada

3. No. de registro: IORP-006-2022

4. Especies a coleccionar:

ESPECIES	CANTIDAD	FORMA
<i>Caesalpinia velutina</i>	1000 semillas	Método empleado en Martínez et al. (2017) considerando la metodología propuesta por Di Cicco, Leon-Lakee y Soarez
<i>Caesalpinia exoniiformis</i>	1000 semillas	Martínez et al. (2018). Observaciones: el método será utilizado para fotos de especímenes
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	1000 semillas	
<i>Mimosa zacapana</i>	1000 semillas	
<i>Leucosena zacapana</i>	1000 semillas	

5. Ubicación de la colecta o aprovechamiento: Región semiárida del valle del Motagua, departamentos de Zacapa y el Progreso

6. Número de registro de la propiedad: _____

7. Técnicas de colecta autorizadas: Se colectarán las legumbres maduras de al menos diez plantas con una distancia mínima de 20 metros entre ellas como homogéneas y apariencia saludable, se utilizará tijera tipo pediga con mango telescópico para alcanzar frutos que se encuentren en una altura mayor a 2 metros y se colectarán más del 30% de los frutos

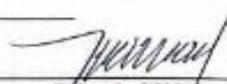
8. Nombre de colector(es) autorizado(s) e identificación: Ana Cristina Hernández Sols DPI 2686-54881-0101

9. Localidad de traspaso de material colectado: _____

Zacapa, 28 de julio del 2022

Lugar y fecha de emisión: Zacapa, 27 de julio del 2022

Válido hasta: _____

(f) 
Delegado CONAP 

Escaneado con CamScanner

Forma LCA

**CONSEJO NACIONAL DE AREAS PROTEGIDAS (CONAP)
GUATEMALA, C.A.**

Serie A N° 004025

LICENCIA DE COLECTA O APROVECHAMIENTO DE VIDA SILVESTRE

1. Nombre o razón social: Carlos André Chía Velásquez
Centro Universitario de Zacapa CUNZAC, Aldea Puerto Modelo Zacapa
 Dirección: 4884451 Identificación: DPI 2995-34928-0101
 Teléfono: _____

2. Tipo de colecta: comercial _____ científica XXX aficionada _____

3. No. de registro: I-DRP-008-2022

4. Especies a coleccionar:

ESPECIES	CANTIDAD	FORMA
<i>Proscopis juliflora</i>	1000 semillas	Método empleado en Martín-Liteo et Al. (2017) considerando la
<i>Glinisole cepium</i>	1000 semillas	metodología propuesta por Di
..... Última línea		Secor, L. del-Lobos y Suarez-Beltrán (2015). Observaciones
		El método será utilizado para todas las especies.

5. Ubicación de la colecta o aprovechamiento: Región semiárida del valle del Motagua, departamentos de Zacapa y el Progreso

6. Número de registro de la propiedad: _____

7. Técnicas de colecta autorizadas: Se colectará las legumbres maduras de al menos diez plantas con una distancia mínima de 20 metros entre ellas como herroganas y apariencia saludable, se utilizará línea tipo perliga con mango telescópico para alcanzar frutos que se encuentran en una altura mayor a 3 metros y se recolectarán más del 20% de los frutos

8. Nombre de colector(es) autorizado(s) e identificación: Ana Cristina Hernández Solís DPI 2966-54881-0101

9. Localidad de traspaso de material coleccionado: _____

Zacapa, 28 de julio del 2022

Lugar y fecha de emisión: Zacapa, 27 de julio del 2022

Válido hasta: _____

(f) 
 Delegado CONAP 

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-


CONSEJO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS
CONAP
PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA
GUATEMALA, C. A.

Forma LI
Nº 00424 -B

LICENCIA DE INVESTIGACION

Resolución DRO 45/2022
No. _____

Nombre: CARLOS ANDRÉ CHUÁ VELÁSQUEZ No. Reg. DRP-006-2022
Nacionalidad: GUATEMALTECO Identificación: DP: 2995 34928 0101
Institución: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CUNZAC INSTITUTO DE INVESTIGACION
Si existe contrato administrativo que ampara esta Licencia, especificar referencia: _____

Título de la Investigación: ESTRATEGIAS PARA LA REPRODUCCION, ESTABLECIMIENTO Y PROPAGACION DE FABACEAS NATIVAS DEL VALLE DEL MOTAGUA EN EL JARDIN BOTANICO DE ORIENTE

Institución nacional que avala la investigación: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Nombre e identificación de otros investigadores participantes:
Ana Cristina Hernández Solís DPI: 2986 54881 0101

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Fecha de Emisión: Zacapa, 28 de julio del 2022
Fecha de Vencimiento: Zacapa, 27 de julio 2023


Firma Secretario Ejecutivo o Delegado de CONAP



Firma de Recibido

Escaneado con CamScanner

Apéndice 20. Vinculación del proyecto de investigación con otras entidades: (A) Zootropic y (B) Organización Pro-Zac.



De izquierda a derecha. Foto superior: Ana Hernández, Licda. Colombia Callén (Pro-Zac), Michelle Bustamante y Carlos Chúa. Foto inferior: Marcos Romeo Archila (colaborador), Carlos Chúa y Gilberto Salazar (Zootropic).

Apéndice 21. Participación durante el “II Simposio de Botánica” realizado en conmemoración del centenario del Jardín Botánico del Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) de la USAC. (A) Carlos Chúa exponiendo la charla titulada “*El Jardín Botánico de Oriente: enlazando conservación, ciencia y sociedad*”. (B) Ana Hernández exponiendo la charla “*Reproducción de plantas nativas en Jardín Botánico de Oriente*”



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Apéndice 22. Manual para la reproducción y establecimiento de fabáceas nativas del Valle del Motagua, elaborado como medio de divulgación del proyecto DIGI AP10-CU 2022.



Manual para la reproducción y establecimiento de fabáceas nativas del Valle Del Motagua

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Zacapa -CUNZAC-

Con el apoyo de **DGI** Dirección General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Sobre este manual

Este manual fue elaborado bajo el proyecto de investigación titulado "Estrategias para la reproducción, establecimiento y propagación de fabáceas nativas del Valle del Motagua en el Jardín Botánico de Oriente", financiado por la Dirección General de Investigación (DIGI) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), bajo el código API0CU-2022.

Dicho estudio propuso contribuir a la reproducción y recuperación de las poblaciones nativas de seis especies de fabáceas nativas del Valle del Motagua con alto potencial para la regeneración ecosistémica y silvicultura urbana. Para ello, se evaluaron los métodos pregerminativos óptimos para fomentar la germinación de sus semillas, así como distintas combinaciones de sustratos que favorecieran su establecimiento en condiciones de vivero.

Se espera que esta información sea de utilidad para todas aquellas personas interesadas en la reproducción de las especies focales de este estudio y que con ella puedan maximizar la cantidad y calidad de plántulas obtenidas en sus proyectos o esfuerzos de reproducción.

Agradecimientos especiales al personal administrativo, docente, de servicios y estudiantil del Centro Universitario de Zacapa -CUNZAC-, a los guardarrecursos y voluntarios que brindaron su invaluable apoyo en la ejecución de este proyecto.

Autores
Ana Cristina Hernández Salis
Carlos André Chua Velásquez

Febrero, 2023.

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Zacapa -CUNZAC-

Con el apoyo de **DGI** Dirección General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Madrecacao

Gliricidia sepium (Jacq.) Kunth ex Walp.

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Árbol de hasta más de 10 m de alto, ramificado cerca de la base. Hojas deciduas, compuestas por folíolos elípticos y de superficie lisa. Las flores forman racimos y son vistosas, de color rosado a blanquecino. Los frutos son vainas de 10-15 cm de largo.

Semillas

Su forma es redondeada, con la región del hilo levemente hundida. Su coloración va de mostaza a café oscuro. En promedio, mide 10 mm de largo y 10 mm de ancho.

Polinizadores: usualmente visitada por colibríes, mariposas y abejas.

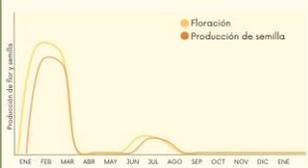
Preferencias: favorecida por exposición solar directa y suelos bien drenados.

Germinación de las semillas

Esta especie presenta porcentajes de germinación similares al ser tratada con escarificación mecánica, lixiviación y shock térmico. El método menos efectivo es la escarificación química.

FENOLOGÍA DE LA ESPECIE

La mayor época de floración se da a inicios de año, desde mediados de enero hasta marzo. Algunos árboles florecen entre junio y julio. Presenta flores y vainas verdes al mismo tiempo. Presenta follaje mientras el suelo se mantenga húmedo.



Motapino

Mimosa zacapana Standl. & Steyerl

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Arbusto o árbol pequeño de 1-3 m de alto, muy ramificado y cubierto por pequeños agujones. Hojas compuestas por 6-9 pares de folíolos. Flores pequeñas (2.5 mm de longitud), rosadas con filamentos blancos. Los frutos son vainas aplanadas de 3 cm de longitud y 7 mm de ancho.

Semillas

Su forma es ovada y su superficie es lisa, de color café con tonos naranjas. Pequeñas, en promedio miden 4 mm de largo y 3 mm de ancho.

Polinizadores: mayormente polinizada por insectos y por acción del viento.

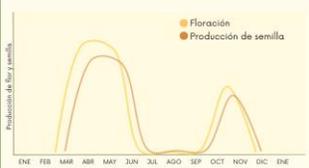
Preferencias: exposición parcial al sol y suelo bien drenado.

Germinación de las semillas

Esta especie presenta mayores porcentajes de germinación al escarificar sus semillas mecánicamente con lija. También muestra una leve preferencia por el shock térmico.

FENOLOGÍA DE LA ESPECIE

La mayor época de floración se presenta al final de la época seca e inicio de las lluvias, entre marzo y mayo, siendo estos los mejores meses para coleccionar semilla. También florea y produce semilla en menor medida entre octubre y noviembre.



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Apéndice 23. Conferencia sobre los objetivos y resultados del proyecto



Universidad de San Carlos de Guatemala
CENTRO UNIVERSITARIO DE ZACAPA - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES

proyecto DIGI AP10CU - 2022

ESTRATEGIAS PARA LA REPRODUCCIÓN, ESTABLECIMIENTO Y PROPAGACIÓN DE FABÁCEAS NATIVAS DEL VALLE DEL MOTAGUA EN EL JARDÍN BOTÁNICO DE ORIENTE

Coordinador: Ing. Agr. Elmeron Alexander López
Auxiliar de Investigación: Ana Cristina Hernández
Investigador asociado: Carlos André Chua



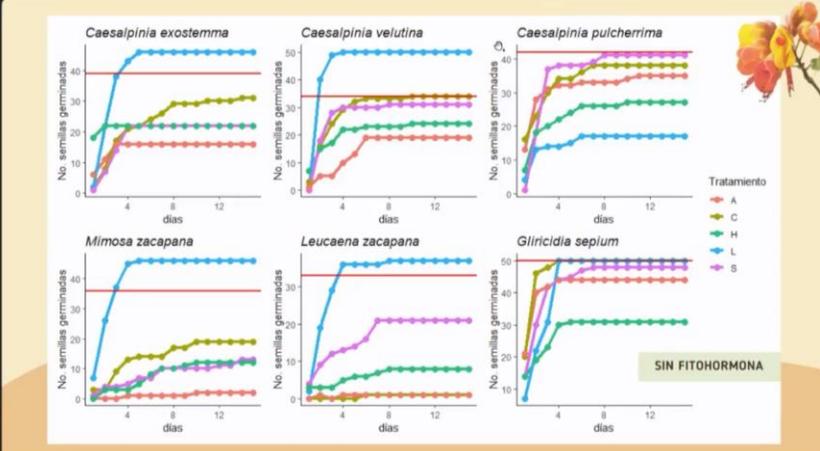
Dirección General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala



Ana Cristina Hernandez Solis



Tú



Caesalpinia exostemma *Caesalpinia velutina* *Caesalpinia pulcherrima*

Mimosa zacapana *Leucaena zacapana* *Gliricidia sepium*

Tratamiento: A, C, H, L, S

SIN FITOHORMONA



Ana Cristina Hernandez Solis



Tú

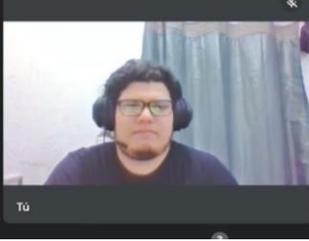
ESPECIES ADOPTADAS DURANTE LAS JORNADAS



Especie	Cantidad	Porcentaje
Yojo	2	2,6%
Opuntia	18	18,1%
Melocactus	13	12,9%
Matisignate	3	3,0%
Cola de gato	33	32,7%
Santa Rosa	16	15,8%
Morro	2	1,7%
Arijón	4	3,4%
Tuno de órgano	13	11,2%
Guayacán	9	7,8%



Ana Cristina Hernandez Solis



Tú

74

Apéndice 24. Póster científico

Estrategias para la reproducción, establecimiento y propagación de fabáceas nativas del Valle del Motagua en el Jardín Botánico de Oriente

Ana Cristina Hernández Solís, Carlos André Chúa Velásquez, Elmerson Alexander López Cordón¹

¹ Instituto de Investigaciones, Centro Universitario de Zacapa, Universidad de San Carlos de Guatemala, Zacapa, 01019, Guatemala



Resumen

Se evaluó la eficacia de cuatro métodos pregerminativos en semillas de seis especies de fabáceas nativas, con y sin aplicación de ácido giberélico. También se evaluó la sobrevivencia y crecimiento de estas especies en distintas combinaciones de sustratos en condiciones de vivero. La mayoría de las especies presentaron dormancia física que pudo romperse mediante escarificación mecánica y no respondieron ante el estímulo de la fitohormona. Las distintas combinaciones de sustratos evaluadas no mostraron un efecto diferencial en el crecimiento de las plántulas. Además, se realizaron Jornadas de Adopción de Plantas Nativas del Valle del Motagua, donde se observó un mayor interés por la adopción de cactáceas y una mayor participación de mujeres adultas.

Métodos

Se sometieron 5 grupos de 10 semillas por cada especie a los tratamientos pregerminativos de imbibición en agua a 25°C durante 24 horas, shock térmico (imbibición en agua a 80°C durante 10 minutos y posterior enfriamiento), escarificación mecánica con papel lija, e imbibición en peróxido de hidrógeno (H₂O₂) 3% v/v por 24 horas, y un quinto grupo de control. Estos mismos tratamientos se emplearon para 5 cohortes más a las que se les aplicó una solución de ácido giberélico 150 ppm como estimulante hormonal para la germinación. También se evaluó la viabilidad de las semillas incubándolas en una solución de cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio al 0.1% a 18°C durante 24 horas. Transcurridas las 24 horas, se evaluó la tinción bajo un estereomicroscopio para detectar actividad respiratoria y viabilidad de los tejidos. En los ensayos de establecimiento y crecimiento de plántulas *ex situ*, se sembraron 4 cohortes de 7 semillas germinadas por especie en 5 combinaciones de sustratos comunes (tierra negra, broza, arena, pumita y sustrato universal) en distintas proporciones:

- **Sustrato A:** "Tierra compuesta": 1:1:1:0:0
- **Sustrato B:** "Tierra compuesta con pumita": 1:1:0:1:0
- **Sustrato C:** "Tierra con pumita": 2:0:1:1:0
- **Sustrato D:** "Tierra compuesta con sustrato universal": 1:1:1:0:1
- **Sustrato E:** "Tierra compuesta con pumita y sustrato universal": 1:1:1:1:1

Por último, se realizaron dos Jornadas de Adopción de Plantas Nativas en las que se llevó un registro de los adoptantes con el fin de obtener un perfil demográfico de los participantes, obtener estadísticas sobre las especies adoptadas y contar con un medio de seguimiento de las plantas y generar en los adoptantes un mayor sentido de responsabilidad con la(s) planta(s) adoptada(s).

Resultados y discusión

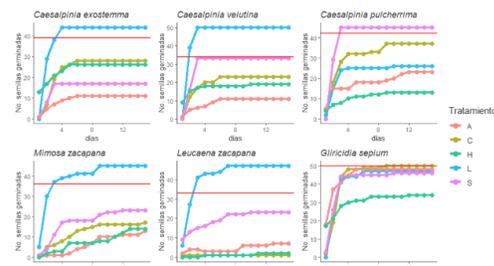


Figura 1. Curvas de germinación por especie. A = H₂O 25°C, 24 hrs.; C = Control; H = H₂O₂ 25°C, 24 hrs.; L = escarificación mecánica; S = shock térmico

Se encontró que el método de escarificación mecánica tiene un efecto positivo sobre la tasa de germinación en las especies estudiadas y los métodos de inhibición por 24 horas en agua y peróxido tienden a reducir la tasa de germinación ($P < 0.05$). Para *C. pulcherrima*, el shock térmico tiende a aumentar la tasa de germinación. La mayor tasa de germinación y viabilidad se observó en *G. sepium*.

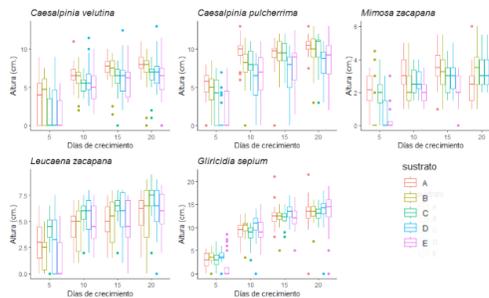


Figura 2. Monitoreo del crecimiento vertical de plántulas en condiciones de vivero.

Se encontró que el método de escarificación mecánica tiene un efecto positivo sobre la tasa de germinación en las especies estudiadas y los métodos de inhibición por 24 horas en agua y peróxido tienden a reducir la tasa de germinación ($P < 0.05$). Para *C. pulcherrima*, el shock térmico tiende a aumentar la tasa de germinación. La mayor tasa de germinación y viabilidad se observó en *G. sepium*.

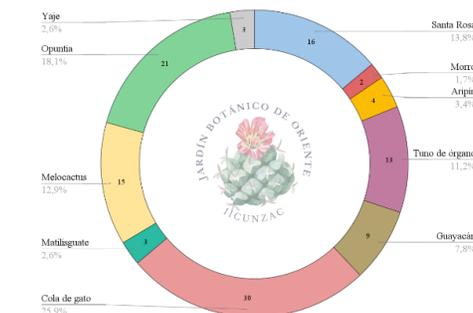


Figura 3. Número y porcentaje de plantas adoptadas por especie durante las dos Jornadas de Adopción de Plantas Nativas.

Se adoptaron un total de 116 plantas de 10 especies, de las cuales el 68% eran cactáceas. Al ser símbolos culturales de la región, los cactus se consideran un componente que facilita el involucramiento de las personas en actividades de valoración de la flora local. Se contó con una mayor participación de mujeres mayores a 50 años, lo que indica la posibilidad de formación de redes de ciencia ciudadana interesadas en la conservación de los recursos nativos, así como la necesidad del desarrollo de estrategias que promuevan una participación más equitativa entre los distintos sectores demográficos.

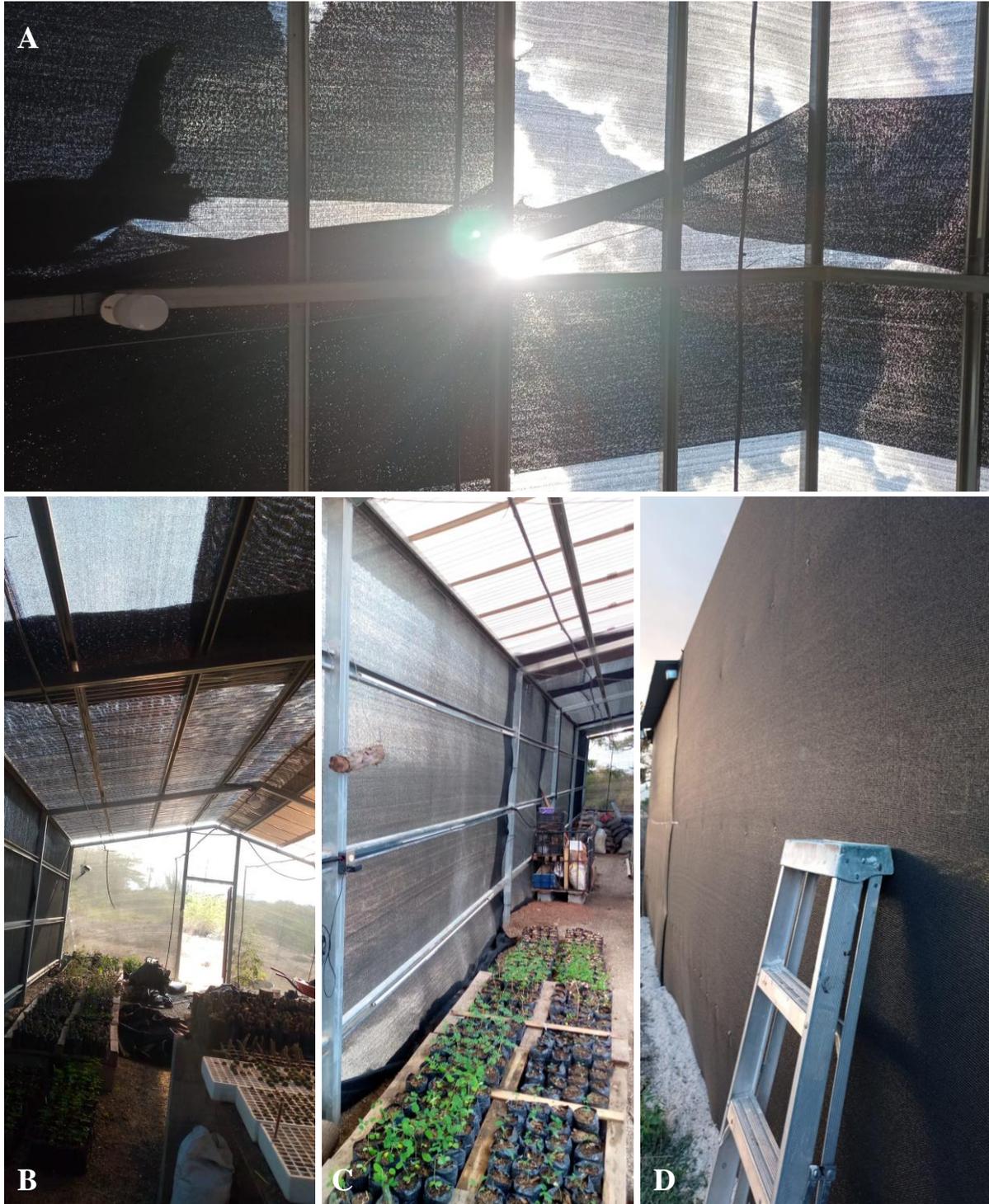
Agradecimientos

A la Licda. Johanna Gil y Gilberto Salazar (ZOOTROPIC), Rudy Ortiz, Juan Manuel Alvarado (CONAP), Romeo Archila y Denilson Cordón por el apoyo durante la colecta de semillas. Al Ing. Agr. Giovanni Echeverría y a la carrera de Nutrición por el préstamo del Laboratorio Multidisciplinario del CUNZAC. A Colombia Callén (ONG Pro-Zac) y a la Municipalidad de Zacapa por su apoyo durante las jornadas de adopción de plantas. A la Dra. Michelle Bustamante y al Dr. Manuel Barrios por su apoyo y acompañamiento durante la elaboración y ejecución del proyecto.

Apéndice 25. Elaboración y colocación de rótulos identificadores de las especies presentes en el JBO para el establecimiento de senderos educativos dentro del mismo (A-D) y rótulo de identificación y bienvenida al Vivero de Reproducción de Plantas Nativas (E).



Apéndice 26. Reparaciones realizadas al Vivero de Reproducción de Plantas Nativas. (A) Estado del sarán al inicio del proyecto (febrero 2022), debido a las condiciones ambientales del sitio. (B-D) Instalación de lámina y sarán nuevo en el vivero (diciembre 2022).



15. Aspectos éticos y legales

La presente investigación contó con la aprobación de la licencia de Investigación No. 424-B y licencia de colecta No. 4024-4025 (Resolución DRO 55/2022) extendidas por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP- Dirección Regional de Oriente, en cumplimiento con la legislación nacional y los compromisos adquiridos por la Dirección General de Investigación -DIGI- en la carta de entendimiento entre ambas instituciones (Apéndice 19).

16. Vinculación

Este proyecto estableció vínculos con CONAP y la Asociación Zootropic, particularmente con guardarecursos de estas entidades, quienes se interesan por la protección y conservación de la biodiversidad de la región. Los guardarecursos guiaron y apoyaron la colecta de semillas dentro de la RSVM y compartieron sus conocimientos sobre la flora nativa. Durante la ejecución del proyecto también se estableció una importante alianza con la Municipalidad de Zacapa y la ONG Pro-Zac, la cual permitió difundir conocimiento sobre la flora nativa y promover su uso dentro de espacios urbanos, rurales y semirurales con la sociedad civil, con quien se comparte la responsabilidad de establecer estrategias para la protección de la flora nativa y la restauración del ecosistema de la RSVM (Apéndice 20). Se logró vinculación entre el JBO y el Jardín Botánico de Centro de Estudios Conservacionistas (CECON-USAC) mediante la invitación al *II Simposio de Botánica*, en conmemoración del centenario del Jardín Botánico CECON (Apéndice 21). Por último, este proyecto se vinculó directamente con los miembros de la sociedad civil de Zacapa mediante su participación directa en las jornadas de adopción de plantas nativas del Valle del Motagua.

17. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual.

Se elaboró el “*Manual para la reproducción y establecimiento de fabáceas nativas del Valle del Motagua*”, el cual resume las características de las especies de estudio para su identificación en campo, así como los hallazgos obtenidos durante la ejecución del proyecto con relación a los tiempos de colecta, métodos pregerminativos y sustratos de siembra óptimos para la reproducción exitosa de las mismas (Apéndice 22). El manual se encontrará en formato digital y será divulgado a través de las redes sociales del Instituto de Investigaciones del CUNZAC, con el fin de que las personas interesadas en reproducir estas especies puedan hacer uso de esta información.

Durante el mes de noviembre de 2022, se participó en el *II Simposio de Botánica*, en conmemoración del centenario del Jardín Botánico del Centro de Estudios Conservacionistas (CECON-USAC), con dos charlas tituladas “*El Jardín Botánico de Oriente: enlazando*

conservación, ciencia y sociedad” y “*Reproducción de plantas nativas en Jardín Botánico de Oriente-CUNZAC*” (Apéndice 21). Esta actividad permitió dar a conocer la labor del JBO y el presente proyecto de investigación a personas vinculadas a la academia con intereses particulares en temas botánicos, así como al público en general.

En las Jornadas de Adopción de Plantas Nativas se divulgó la misión y labor del JBO. Además, fueron actividades de educación ambiental que contribuyeron a la formación de una cultura de conservación y aprovechamiento de la flora y biodiversidad local.

Los resultados del proyecto serán divulgados por medio de una conferencia pre-grabada (Apéndice 23) y la elaboración de un póster científico (Apéndice 24) para su difusión, tras aprobación previa, a través de las redes sociales del Instituto de Investigaciones del Centro Universitario de Zacapa. El póster se colocará en los pasillos del CUNZAC para su divulgación con los estudiantes de este centro universitario.

Para finalizar, se elaboró un manuscrito de artículo científico para divulgar los resultados del proyecto al sector académico. El manuscrito se sometió a la Revista de Biología Tropical (*H index* = 42) de la Universidad de Costa Rica (UCR). Se tiene contemplado elaborar un segundo manuscrito con los resultados del Programa de Donación de Plantas Nativas del JBO y someterlo a la Revista Científica del Centro Universitario de Zacapa para dar a conocer los logros, avances y retos del programa a la comunidad local universitaria.

18. Aporte de la investigación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

Este proyecto, enmarcado en la misión del JBO, contribuyó al cumplimiento del ODS15 Vida de Ecosistemas Terrestres y sus principales metas tales como la 15.1, “velar por la conservación, restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres”, la 15.2, “recuperar los bosques degradados e incrementar la forestación y reforestación” y la 15.5 “detener la pérdida de la diversidad biológica”, mediante la identificación y optimización de las mejores estrategias para la producción y establecimiento de las fabáceas nativas de la Región Semiárida del Valle del Motagua con fines de conservación, producción y regeneración del ecosistema.

De igual forma, este proyecto contribuye a los ODS3 Salud y Bienestar y el ODS11 Ciudades y Comunidades Sostenibles mediante dos líneas de trabajo desarrolladas 1) el Programa de Donación de Plantas Nativas, donde cada donatario participante del programa contribuye al establecimiento de árboles nativos en un ambiente urbano y 2) La inversión en recursos para el JBO, como rotulación de las especies de plantas establecidas en el jardín y las reparaciones realizadas al vivero de plantas nativas (Apéndices 25-26). El establecimiento de plantas nativas en la ciudad de Zacapa ofrece una oportunidad para reforzar los servicios ecosistémicos de regulación como regulación

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

de la temperatura, polinización y calidad de aire, además de servicios ecosistémicos culturales como valor estético y salud física y mental. Por otro lado, el JBO ofrece a la comunidad local un espacio recreativo donde se fomenta el aprendizaje y la valoración de la biodiversidad de la RSVM

Por último, este proyecto se enmarca en la filosofía del ODS17 Alianzas para Lograr los Objetivos, pues la vinculación entre organizaciones no gubernamentales, gobierno municipal, sociedad civil y comunidad universitaria fue vital para el éxito del presente estudio y el cumplimiento de sus objetivos.

19. Orden de pago final

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Ana Cristina Hernández Solís	Auxiliar de investigación II	20200372	Sí	

20. Declaración del coordinador del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Ing. Agr. Elmerson Alexander López Cordón Coordinador del proyecto de investigación	 Firma
Fecha: 28/02/2023	

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

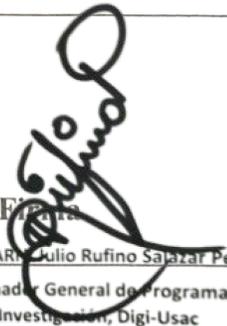
21. Aval del Director del Instituto, Centro o departamento de investigación o Coordinador de Investigación del Centro Regional Universitario.

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe mensual de las actividades realizadas en el proyecto “Estrategias para la reproducción, establecimiento y propagación de fabáceas nativas del Valle del Motagua en el Jardín Botánico de Oriente” en mi calidad de Coordinador de Investigación del centro regional de Zacapa, mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Vo.Bo. Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás Coordinador de Investigación del Centro Universitario de Zacapa	 Firma
Fecha: 28/02/2023	

22. Visado de la dirección General de Investigación

Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas	 Firma Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez Coordinador General de Programas de Investigación, Digi-Usac
Fecha: 28/02/2023	

Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación	 Firma Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez Coordinador General de Programas de Investigación, Digi-Usac
Fecha: 28/02/2023	