

Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación en...

Informe final
El Jardín botánico de oriente: Vinculando ciencia con sociedad

Equipo de investigación

Ing. Christian Eduardo Domínguez Morales
Coordinador del proyecto

Enma Yamileth Aldana Salguero
Auxiliar de investigación I

Guatemala, febrero 2021

Instituto de Investigaciones
Centro Universitario de Zacapa -CUNZAC

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación

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

Dra. Sandra Herrera Ruiz
Programa Universitario de Investigación en Asentamientos Humanos

MsC. Carlos Augusto Vargas Gálvez
Director del Centro Universitario de Zacapa

Dr. Manuel Alejandro Barrios Izàs
Coordinador del Instituto de Investigaciones del Centro Universitario de Zacapa

Ing. Christian Eduardo Domínguez Morales
Coordinador del proyecto

Enma Yamileth Aldana Salguero
Auxiliar de investigación I

Otros colaboradores

Dr. Manuel Alejandro Barrios Izàs (Investigador del Instituto de Investigaciones de CUNZAC)

Dra. Carmen Lucía Yurrita Obiols (Investigadora del Intituto de Investigaciones de CUNZAC)

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2020. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria AP2CU-2020. durante el año 2020 en el Programa Universitario de Investigación en Asentamientos Humanos.

Índice

Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
Apéndice	9
Resumen	7
Abstract	8
Introducción	8
Planteamiento del problema	10
Pregunta de investigación	11
Delimitación en tiempo y espacio	11
Marco teórico	12
Estado el arte	13
Objetivos	16
Hipótesis	17
Materiales y métodos	17
Vinculación, difusión y divulgación	23
Productos, hallazgos, conocimientos o resultados	24
Análisis y discusión de resultados	31
Conclusiones	34
Impacto esperado	35
Referencias	36
Apéndice	40

Índice de tablas

Tabla 1. Especies estudiadas de la familia Cactaceae, nativas del bosque seco del municipio Zacapa, y su estado de conservación	18
Tabla 2. Operacionalización de las variables o unidades de análisis	22
Tabla 3. Porcentajes promedio de germinación de semillas de cactáceas nativas del bosque seco presentes en el municipio de Zacapa, con aplicación de ácido giberélico (AG) y sin aplicación (control) y en dos condiciones de fotoperíodo (12h luz/12h oscuridad y 20h luz/4h oscuridad).	24

Índice de figuras

Figura 1. Área de estudio de la investigación: ubicación del municipio de Zacapa (estrella roja en el mapa inserto).	13
Figura 2. Diagrama de cajas comparando el porcentaje de germinación de semillas de cactáceas nativas del bosque seco presentes en el municipio de Zacapa, con aplicación de ácido giberélico (AG) y sin aplicación (control), en dos condiciones de fotoperíodo (12h luz/12h oscuridad y 20 h luz/4 hora luz).	25
Figura 3. Diagrama de cajas comparando el porcentaje de germinación de semillas de cactáceas nativas del bosque seco presentes en el municipio de Zacapa, sometidas a diferentes métodos de escarificación, en dos condiciones de fotoperíodo (12h luz/12h oscuridad y 20h luz/4h oscuridad).	26
Figura 4. Cantidad de plántulas vivas en el momento de la siembra (semana 0) y en la semana 4, por cada sustrato evaluado, consistente de una mezcla de tierra negra, arena, grava, tierra de hojas y turba en las siguientes proporciones: Tratamiento A: 2:1:1:0:0, Tratamiento B: 1:1:1:1:1, Tratamiento C: 1:1:1:1:0, y Tratamiento D: 2:2:1:2:2.	27
Figura 5. Medidas en cm del ancho de plántulas de 10 especies de cactáceas nativas del bosque seco presentes en el municipio de Zacapa, en el momento de la siembra (Tiempo I) y 45 días después de la siembra (Tiempo II) por cada sustrato evaluado, consistente de una mezcla de tierra negra, arena, grava, tierra de hojas y turba en las siguientes proporciones: Tratamiento A: 2:1:1:0:0, Tratamiento B: 1:1:1:1:1, Tratamiento C: 1:1:1:1:0, y Tratamiento D: 2:2:1:2:2.	28
Figura 6. Medidas en cm del largo de plántulas de 10 especies de cactáceas nativas del bosque seco presentes en el municipio de Zacapa, en el momento de la siembra (Tiempo I) y 45 días después de la siembra (Tiempo II) por cada sustrato evaluado, consistente de una mezcla de tierra negra, arena, grava, tierra de hojas y turba en las siguientes proporciones: Tratamiento A: 2:1:1:0:0, Tratamiento B: 1:1:1:1:1, Tratamiento C: 1:1:1:1:0, y Tratamiento D: 2:2:1:2:2.	29
Figura 7. Información general sobre las personas que respondieron la encuesta para evaluar la percepción de la población sobre la conservación de especies de cactus nativo el bosque seco de Zacapa.	30
Figura 8. Disponibilidad de espacios adecuados para adopción.	30
Figura 9. Interés en participar en programas de adopción de plantas nativas.	31
Figura 10. Interés en participar en otros proyectos de conservación de la biodiversidad.	31

El Jardín botánico de oriente: Vinculando ciencia con sociedad

1. Resumen

Los ecosistemas de bosque seco cuentan con una alta diversidad de especies endémicas, incluidas la cactáceas. En el oriente de Guatemala estos bosques están amenazados, principalmente por el avance de la frontera agrícola, siendo necesario desarrollar estrategias alternativas de conservación *ex situ* para protegerlo. Este trabajo planteó tres objetivos: 1) evaluar distintos métodos de escarificación, manejo de luz y aplicación de ácido giberélico en la germinación de semillas, 2) evaluar distintas mezclas de sustrato en el pegue de plántulas, y 3) explorar la percepción de la población para desarrollar una iniciativa de adopción de cactus para promover la conservación *ex situ* de cactáceas nativas. Los ensayos de germinación y pegue se realizaron con 10 especies nativas de cactáceas del municipio de Zacapa. Los resultados muestran que existe diferencia en la germinación entre especies. El ácido giberélico en la concentración utilizada no afectó la germinación de las especies, incluso algunas muestran una menor germinación en el tratamiento con fitohormona. La cantidad de luz si afecta la germinación, observándose una mayor germinación en especies expuestas a un menor fotoperíodo (12h luz vs. 20h luz). Los métodos de escarificación que combinan métodos químico y mecánico tienen un efecto positivo leve en la germinación. Los resultados de los ensayos de pegue son muy preliminares, se necesita un mayor seguimiento para inferir sobre el efecto de los sustratos. Las personas se muestran receptivas para participar en un proyecto de adopción de cactus para colaborar en la conservación de especies nativas del bosque seco de Zacapa.

2. Palabras clave

Cactaceae, conservación *ex situ*, bosque seco caducifolio, reproducción *in vitro*, centro de adopción

3. Abstract and keyword

Dry forest ecosystems have a high diversity of endemic species, including cacti. In eastern Guatemala these forests are threatened, mainly by the advance of the agricultural frontier, making it necessary to develop alternative *ex situ* conservation strategies to protect it. This work had three objectives: 1) to evaluate different methods of scarification, light management and application of gibberellic acid in seed germination, 2) to evaluate different substrate mixtures in the sticking of seedlings, and 3) to explore the perception of the population to develop a cactus adoption initiative to promote *ex situ* conservation of native cacti. The germination and sticking tests were carried out with 10 native species of cacti from the municipality of Zacapa. The results show that there is a difference in germination between species. Gibberellic acid in the concentration used did not affect the germination of the species, even some show less germination in the treatment with phytohormone. The amount of light does affect germination, observing greater germination in species exposed to a shorter photoperiod (12h light vs. 20h light). Scarification methods that combine chemical and mechanical methods have a slight positive effect on germination. The results of the bonding tests are very preliminary, a longer monitoring is needed to infer the effect of the substrates. People are receptive to participate in a cacti adoption project to collaborate in the conservation of native species of the Zacapa dry forest.

Keywords: Cactaceae, *ex situ* conservation, dry deciduous forest, *in vitro* reproduction, adoption center.

4. Introducción

En la actualidad los bosques de las regiones secas se encuentran catalogados en el ámbito científico como Bosques Tropicales Estacionalmente Secos (Pennington, Lavin, Prado, Pendry, & Butterworth, 2004) debido a la baja precipitación, menos de 100 mm de lluvia al mes durante al menos 5 meses al año (Véliz, Ramírez, Cobar, & García, 2003). En Guatemala, estos bosques han sido poco estudiados. El escaso conocimiento sobre su origen y su valor biológico los hacen

un sistema único dentro del ámbito guatemalteco y centroamericano (Consejo Nacional de Áreas Protegidas-CONAP-, Asociación Zootropic, Centro de Datos para la Conservación –CDC-CECON-, 2009).

Los bosques secos, en general, albergan una gran cantidad de especies únicas, las cuales están expuestas a diversas amenazas como su explotación debido al alto valor económico, daños al hábitat y la falta de medidas para su protección. Es por ello que es necesario desarrollar estrategias para evitar su destrucción, sin dejar de aprovechar sus características especiales, iniciando procesos de rescate de especies nativas de flora y fauna de la zona, e incentivando su protección por medio de la implementación de medidas de mitigación a los daños ocasionados en el ecosistema. El establecimiento de iniciativas de conservación *ex situ* constituye una estrategia efectiva para proteger a las especies de cactus, e incluye la implementación de estudios auxiliares sobre técnicas de reproducción *in vivo* e *in vitro*, así como estrategias de educación ambiental (Nobrega-Gomes et al. 2020).

Las técnicas de reproducción *in vitro* aplican diversas metodologías, como el uso de hormonas de crecimiento, escarificación de semillas y control del fotoperíodo para promover la germinación de semillas (Benitez-Rodríguez et al, 2004, Rojas-Aréchiga et al., 2011).

En este proyecto se realizaron ensayos en condiciones artificiales de germinación y pegue de 10 especies de cactáceas nativas del municipio de Zacapa (Véliz et al. 2003) (*Acanthocereus tetragonus* (L.) Hummelinck, *Mammillaria karwinskiana* subsp. *collinsii* (Britton & Rose) D.R. Hunt, *Melocactus curvispinus* Pfeiff., *Nopalea guatemalensis* Rose, *Pilosocereus leucocephalus* (Poslg.) Byles & Rowley, *Pachycereus lepidanthus* (Eichlam) Britton & Rose, *Peniocereus hirschtianus* (K. Schum.) D.R. Hunt, *Opuntia decumbens* Salm. –Dyck., *Stenocereus eichlamii* (Britton & Rose) Buxb. ex Bravo, *Stenocereus pruinosus* (Otto ex Pfeiff.) Buxb.), con el objetivo de establecer técnicas de reproducción que complementen la conservación *in situ* de estas especies. Se evaluaron el efecto de la aplicación de hormona de crecimiento, de distintos métodos de escarificación y diferentes períodos de luz en la germinación de semillas. Adicionalmente, se estudió el efecto del uso de diferentes tipos de sustratos para el pegue de las semillas germinadas.

5. Planteamiento del problema

El presente proyecto de investigación busca fortalecer las estrategias de conservación del bosque seco promoviendo la conservación *ex situ* de especies vegetales amenazadas, nativas de los bosques secos de la región de Zacapa a través de la creación del Jardín Botánico de Oriente, en el cual se desarrollarán protocolos de reproducción *in vitro* y un centro de adopción de plantas de especies amenazadas.

Los ecosistemas de Bosque Seco Tropical Caducifolio son de los más amenazados en Guatemala debido al rápido avance de la frontera agrícola (Ch'ortí' & The Nature Conservancy, 2009). Dentro de estos bosques habita una alta diversidad de especies vegetales endémicas características de estos ecosistemas, especialmente cactáceas, agaves, orquídeas y bromelias; entre otras (Vargas Ulate, 1997). Estas especies vegetales a su vez se encuentran asociadas con especies animales que dependen de ellas, principalmente especies como abejas, polillas, mamíferos y aves (Ch'ortí' & The Nature Conservancy, 2009).

Las medidas de mitigación de la urbanización pueden ser favorecidas por la implementación de espacios naturales (ej. Parques, Jardines Botánicos y arriates) que tengan como propósito el desarrollo humano en espacios amigables con el desarrollo ambiental (Alegría, 2001) y que permitan el establecimiento de estrategias que favorezcan la conservación *ex situ* de la biodiversidad como la reproducción artificial de especies vegetales. Un ejemplo lo constituye el Jardín Botánico de la Universidad Nacional Autónoma de México el cual contribuye a amortiguar los efectos del desarrollo urbano de estas megaciudades. Además, proporcionan servicios ambientales creando espacios para el mantenimiento de especies animales, en especial de polinizadores. Adicionalmente, es un área que contribuye con la conservación *ex situ* de especies vegetales que se encuentran amenazadas o en peligro de extinción (Vovides, Linares, & Bye, 2010).

6. Preguntas de investigación

Las preguntas que originaron el desarrollo de este proyecto son:

¿Cuáles son las mejores estrategias *ex situ* para la reproducción, propagación y pegue de las especies de cactáceas del municipio de Zacapa?

¿Cuáles son los mejores métodos de reproducción y propagación de las especies focales del presente estudio?

¿Cuáles son los mejores sustratos para el pegue de las especies focales del presente estudio?

7. Delimitación en tiempo y espacio

El presente proyecto se realizó en el período comprendido entre febrero y diciembre de 2020, en el municipio de Zacapa. El centro de reproducción y adopción se implementó en el Campus del Centro Universitario de Zacapa.

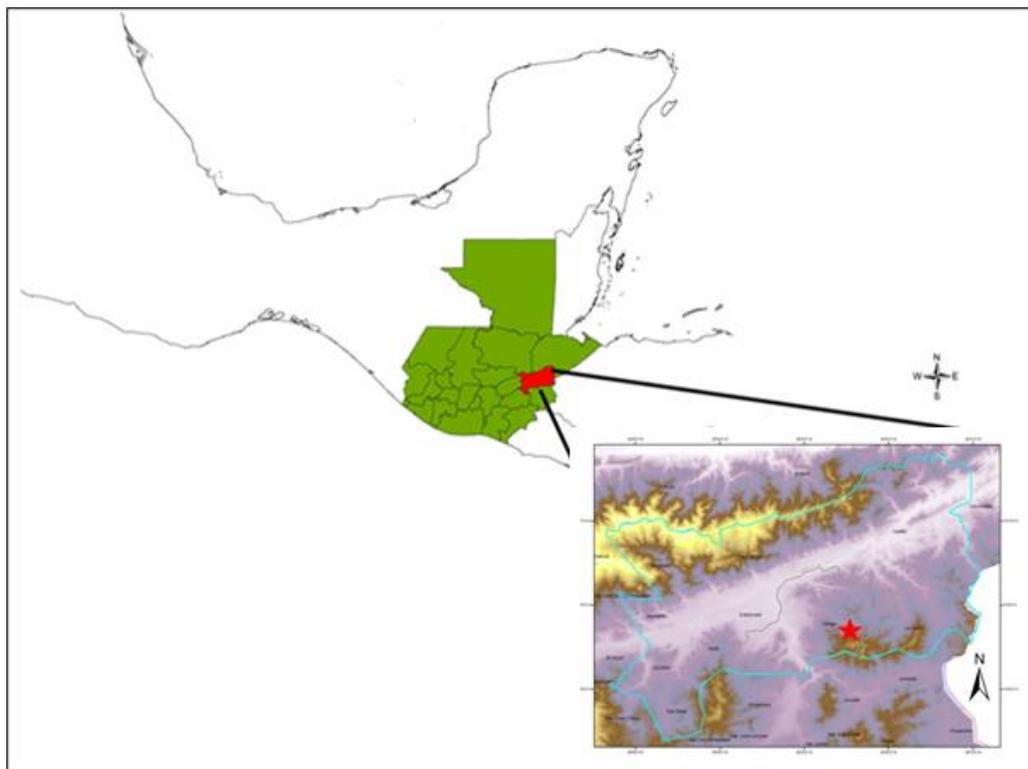


Figura 1: Área de estudio de la investigación: ubicación del municipio de Zacapa (estrella roja en el mapa inserto).

8. Marco teórico

Actualmente la mayor parte de la población humana en el mundo se concentra en áreas urbanas (Grimm, Grove, Pickett, & Redman, 2008). El fenómeno urbano se considera una amenaza latente para la biodiversidad en países en vías de desarrollo, en donde se espera que las áreas urbanizadas aumenten en los siguientes años (Sevilla et al., 2018). Esto representa un desafío ya que estos países se localizan generalmente en regiones donde se concentran fuertes niveles de biodiversidad (Myers, Mittermeyer, Mittermeyer, Da Fonseca, & Kent, 2000).

La ecología urbana es una ciencia nueva e interdisciplinaria que busca analizar y comprender las relaciones entre los procesos humanos y naturales y como estos pueden coexistir en sistemas dominados por el hombre. El objetivo de esta rama de la ecología es busca lograr que las sociedades se tornen sustentables (Marzluff et al., 2008).

Según Sevilla et al. (2018) desde la década de los noventa (1990) la ecología urbana ha mostrado ser esencial no solo para entendimiento de los sistemas urbanos desde una perspectiva ecológica, sino también para la generación de información útil en la toma de decisiones y la aplicación de políticas de manejo y planeación urbana. De acuerdo a Alberti (2008) las ciudades muestran peculiaridades que difieren de los sistemas naturales en cuanto a las variables climáticas, tipos y usos del suelo, hidrología, composición y dinámica de especies de flora y fauna, entre otros, los cuales son promovidos por las actividades humanas que crean patrones ecológicos distintos y perturbaciones y deben ser tomados en cuenta para planificar ciudades ecológicamente resilientes. Según (Zuria & Castellanos, 2008) también son ecosistemas que se distinguen por su historia, estructura y función en los cuales se incluyen componentes bióticos y abióticos, así como los diferentes ciclos de energía y materiales.

La implementación de ciudades más “verdes” cuyo diseño y función sean análogos a los sistemas naturales, que tengan un menor impacto negativo sobre los sistemas naturales que se encuentran a su alrededor y sobre las áreas verdes incluidas dentro de la ciudad, y que tiendan a la

autosuficiencia y faciliten estilos de vida más saludables y sustentables para las sociedades humanas (Beatley, 2012).

Según Kaplan & Kaplan (2008) contar con espacios naturales promueve la actividad física, lo cual otorga efectos positivos para la salud ya que incrementa la longevidad y disminuye la prevalencia de obesidad y diabetes y fomenta la socialización. Adicionado a ello la presencia de áreas naturales permite que disminuyan los índices de criminalidad, agresión y violencia.

Según Priego González de Canales, Breuste, & Rojas Hernández (2010) la presencia de árboles y plantas es un elemento de importancia que identifica a los habitantes de una localidad con sus espacios públicos, lo cual contribuye a la construcción de valores comunes y a la creación de vínculos sociales más estrechos entre los ciudadanos.

El Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Autónoma de México es considerado líder a nivel latinoamericano y evaluado por especialistas de Estados Unidos Y Europa como uno de los más importantes a nivel mundial (Caballero & Balcázar Sol, n.d.). Desde su fundación el objetivo del Jardín Botánico ha sido salvaguardar una colección de plantas vivas que representan la diversidad vegetal de México, para que funcione como base para la investigación y la educación en aspectos de Botánica. Desde las primeras colectas de plantas se enfatizó en la obtención de especies raras o endémicas de las zonas tropicales y áridas de México, que incluyen especies de las familias Agavaceae, Cactaceae y Orquideaceae. La elección favoreció que el jardín sirva de resguardo para las especies amenazadas por los cambios en su ecosistema y las que se encuentran en peligro de extinción (IB-UNAM, n.d.-a). El jardín botánico abriga aproximadamente el 35% de las especies que se encuentran en algún nivel de riesgo. Sin embargo, esto no es suficiente para lograr conservar las especies de plantas en peligro de extinción por lo que se han implementado programas de rescate, cultivo y propagación de las mismas. Una de las estrategias exitosas ha sido la implementación de un Centro de Adopción de especies de plantas amenazadas. La temática consiste en que las personas que desean adoptar eligen una de las especies amenazadas que han sido reproducidas en el jardín, obtienen sus diplomas de padres y madres adoptivos, mediante dicha adopción adquieren la responsabilidad de

dar seguimiento a los cuidados de la planta según como lo señalen en la tienda (IB-UNAM, n.d.-b).

El término de resiliencia ecológica fue mencionado por primera vez por Holling (2003), para identificar la habilidad de un sistema natural para volver a un estado de equilibrio luego de un proceso de perturbaciones, así como su capacidad para absorber los cambios por acontecimientos aleatorios, logrando mantener las relaciones entre las poblaciones y las variables presentes. Actualmente, su definición ha sido ampliada y en el campo ambiental se entiende como resiliencia a la capacidad que tienen los sistemas socio-ecológicos para enfrentar procesos de cambio en los que mantienen la identidad y funcionamiento (Carpenter, Walker, Anderies, & Abel, 2001).

9. Estado del arte

El bosque tropical seco se distingue a nivel mundial por la biodiversidad de especies endémicas que en él se encuentran (Janzen, 2006), además se caracteriza por su importante acción de proveer productos y servicios entre los que se destacan: frutos, medicina, leña, combustibles, entre otros que son indispensables especialmente en las áreas en vías de desarrollo. (Salafsky & Wollenberg, 2000; Balvanera, Castillo, & Martínez-Harms, 2011; Hickey, Pouliot, Smith-Hall, Wunder, & Nielsen, 2016). El bosque seco cuenta con una amplia distribución en América, África y Asia. (Miles et al., 2006) Aproximadamente el 97% de la superficie de este tipo de bosque se encuentra amenazada debido a las malas acciones de la población humana. (Murphy & Lugo, 2010; Miles et al., 2006) de tal forma que se considera un ecosistema altamente amenazado (Janzen, 2006) (Quesada et al., 2009).

En su publicación, Véliz, Ramírez, Cobar, & García (2003) mencionan que los bosques secos de Guatemala constituyen el 4.49% de la superficie nacional, pero qué, a pesar de su valor biológico y de su origen, son poco estudiados. En Guatemala, el bosque seco se localiza en los departamentos de: Huehuetenango (Occidente del país, siendo una continuidad de la depresión de Chiapas), Quiché, Baja Verapaz, Guatemala, El Progreso, Zacapa, Chiquimula, Jalapa y Jutiapa (Centro a oriente-sur oriente) y a lo largo del litoral del Pacífico. En toda su extensión estos

bosques han sido altamente dañados y continúan siendo amenazados por las actividades de ganadería, extracción de leña y otras.

Según el sistema de clasificación de Zonas de Vida de Holdridge, los bosques secos de Guatemala incluyen el Bosque Seco Subtropical (BsS) y el Monte espinoso Subtropical (MEs). En ambos tipos de bosque se desarrollan comunidades vegetales denominadas caducifolias, las cuales se identifican por perder las hojas al iniciar la estación seca y recuperarlas en la estación lluviosa.

Los departamentos de Zacapa y Chiquimula cuentan con las dos zonas de vida (BsS y MEs) y se caracterizan por presentar una alta diversidad biológica en donde el 50% de la masa vegetal corresponde a especies con espinas como cactáceas, acacias, y arbustos leguminosos (Ch'orti' & The Nature Conservancy, 2009).

Según Véliz et al., (2003) el monte espinoso del valle del Motagua, que se extiende en los departamentos de Chiquimula, Zacapa y El Progreso, cuenta con una riqueza florística de 107 familias y 598 especies de plantas, de las cuales 89 son arbustos, 140 árboles, 74 lianas, 273 hierbas, 12 epífitas, 4 parásitas y 3 especies de plantas acuáticas. Entre las familias más diversas de estos bosques en dicha región se encuentran Asteraceae y Euphorbiaceae con 46 especies cada una, Fabaceae con 41, Poaceae con 39, Mimosaceae con 28, Caesalpiniaceae con 20, Convolvulaceae con 18 y Boraginaceae, Cactaceae y Solanaceae con 15 especies cada una.

Según (Véliz et al., 2003) el estrato arbóreo de los bosques secos muestra una característica peculiar en cuanto a la floración y fructificación: los meses de mayor floración son de febrero a mayo (40 a 47 especies), posteriormente en agosto el número de especies en floración desciende a 20 y en el mes de septiembre se eleva a 36. Este patrón garantiza que la mayoría de especies sean beneficiadas por la temporada de lluvia (mayo a septiembre) para la producción de frutos y se garantice el establecimiento de las semillas y las plántulas. El estrato arbustivo difiere del arbóreo presentando una mayor homogeneidad en relación a la floración, ya que en el primer semestre florecen 27 especies y 31 en el segundo semestre (Véliz et al., 2003).

Las epifitas son un estrato bastante pequeño dentro del Monte Espinoso, solo cuenta con 8 especies del género *Tillandsia* de la familia Bromeliaceae y 4 especies de la familia Orchidaceae. El mayor número de epifitas muestra su floración de mayo a julio en las primeras lluvias. La fructificación se encuentra más reducida, en las orquídeas esto se puede deber a que el tiempo de maduración de las cápsulas (Véliz et al., 2003).

Debido a que las especies del bosque seco se encuentran bajo alguna amenaza se han implementado medidas de protección de los ecosistemas como prohibición de corte y tala en áreas con especies amenazadas. Sin embargo, es necesario proponer alternativas como el desarrollo de estrategias de reproducción y propagación artificial para poder aumentar el número de individuos. También es importante utilizar métodos de conservación *ex situ* para las especies altamente amenazadas, mecanismos que ayudan a conservar germoplasma a largo plazo de las diferentes poblaciones (Alegría, 2001).

Las cactáceas son plantas que suelen estar bien acondicionadas a las características de su hábitat por lo que es difícil lograr su adaptación como cultivo en los hogares, a pesar de que existen diversas técnicas de reproducción (Gómez, 2002). La propagación artificial de estas plantas se puede llevar a cabo por algunas técnicas como: a) Injertos: técnica recomendada para especies que se encuentran amenazadas ya que se utiliza la combinación de porciones de dos plantas, b) brotes o vástagos: técnica de multiplicación bastante fácil ya que solo se desprenden los brotes y se dejan secar durante 10 a 15 días para luego sembrarlos, aunque es bastante fácil la obtención de nuevos materiales es difícil obtener recombinación genética, y c) esquejes, cultivo de tejidos vegetales, semillas: método tradicional de propagación.

10. Objetivo general.

- Determinar las mejores estrategias *ex situ* para la reproducción, propagación, pegue y comercialización de las especies de cactáceas del municipio de Zacapa que contribuyan al desarrollo humano y ecológico.

11. Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia de diferentes métodos de reproducción y propagación de las especies focales del presente estudio.
- Identificar los mejores sustratos para el pegue de las especies focales del presente estudio.
- Analizar la percepción de la población para la transferencia de las plantas reproducidas ex situ en el municipio de Zacapa como un medio para el establecimiento de ciudades verdes que contribuyan al desarrollo humano.

12. Hipótesis

- La implementación de diferentes estrategias de reproducción, propagación y pegue, afectarán la germinación, desarrollo y supervivencia de las plántulas que serán objeto de experimentación.

13. Materiales y métodos

13.1 Enfoque y tipo de investigación:

La presente investigación es cuantitativa ya que se estimaron las tasas de reproducción y propagación de plantas del bosque seco bajo diferentes técnicas de manejo; así mismo, se evaluó el pegue y desarrollo de las plántulas en diferentes sustratos.

13.2 Recolección de información:

Para realizar el presente estudio se seleccionaron 10 especies de cactus nativos del bosque seco presentes en el municipio de Zacapa (Tabla 1.).

Tabla 1. Especies estudiadas de la familia Cactaceae, nativas del bosque seco del municipio Zacapa, y su estado de conservación

Espece	UICN	CITES
<i>Acanthocereus tetragonus</i> (L.) Hummelinck	LC	II
<i>Mammillaria karwinskiana</i> subsp. <i>collinsii</i> (Britton & Rose) D.R. Hunt	LC	II
<i>Melocactus curvispinus</i> Pfeiff.	LC	II
<i>Nopalea guatemalensis</i> Rose	DD	II
<i>Pilosocereus leucocephalus</i> (Poslg.) Byles & Rowley	DD	II
<i>Pachycereus lepidanthus</i> (Eichlam) Britton & Rose	NT	II
<i>Peniocereus hirschtianus</i> (K. Schum.) D.R. Hunt	LC	II
<i>Opuntia decumbens</i> Salm.-Dyck.	--	II
<i>Stenocereus eichlamii</i> (Britton & Rose) Buxb. ex Bravo	DD	II
<i>Stenocereus pruinosus</i> (Otto ex Pfeiff.) Buxb.	LC	II

Categorías UICN: DD: datos insuficientes, LC: Preocupación Menor, NT: casi amenazada

Categorías CITES: II: incluye especies amenazadas con poblaciones muy reducidas, no en peligro de extinción pero con comercialización controlada.

A continuación, se describen cada una de las especies estudiadas, con base en Veliz et al. (2011):

Acanthocereus tetragonus; Es una planta trepadora que se encuentra desde los 0 hasta los 1200 msnm. Posee una longitud de 2-3 m, con tallos arqueados o decumbentes. Las espinas son de color gris, aciculares, las flores cuentan con 14-20 cm de largo con segmentos interiores blancos, acuminados. El fruto es oblongo de color rojo y semillas negras. La floración es nocturna de mayo a septiembre. El fruto es comestible.

Mammillaria karwinskiana subsp. *Collinsii*; Es una planta cespitosa, que forma conglomerados. Tallo globoso de 4 cm de diámetro. Axilas con lana blanca, las espinas con radiales de 5-7 mm de longitud. Flores de 12-15 mm de largo, con la base de color verde pálido, borde amarillo y la franja media, atenuada de color rojizo; segmentos interiores del perianto lanceolados, acuminados, con margen generalmente entero, de color rosado-amarillento y línea media rosada;

filamentos blancos, estilo blanco, lóbulos del estigma 4, amarillos verdosos. Fruto claviforme, rojo, de 15 mm de longitud. La floración es diurna de mayo a septiembre.

Melocactus curvispinus; Son plantas pequeñas globosas de 10-25 cm de alto con espinas radiales, gruesas y arqueadas hacia abajo en su mayoría; las flores varían desde rojo a rosadas. Los frutos son claviformes de color rojo a rosado, de 2-2.5 cm de largo.

Nopalea guatemalensis; Es un cactus arborescente de 3-6 m de altura, ramificada en ocasiones desde la base. Aréolas numerosas con lana. Espinas desiguales de color blanco pequeñas. Las flores son de color rojo al igual que el fruto. Se encuentra desde los 50 hasta los 1100 msnm, se utiliza como cerco vivo y su floración se da entre julio a abril.

Pilosocereus leucocephalus; También denominado tuno cabeza de viejo, es una planta arborescente con una altura de 2 a 5 metros. Se ramifica desde abajo. Las flores son campanuladas de color rosado marrón claro. Fruto globoso, carnoso de color púrpura cuando se seca la pulpa es de color rosado.

Pachycereus lepidanthus; También denominado tuno de punta, cuenta con ramificación desde la base, las ramas van desde color verde oscuro hasta amarillento. Fruto ovoide con pulpa pastosa, rojiza. Floración nocturna de marzo- julio. Se utiliza como cerco vivo.

Peniocereus hirschtianus; También denominado cola de zorro o de gato; posee ramas erectas, subscandentes, recurvadas y arqueadas. Flores nocturnas desde marzo a junio. Fruto globoso, carnoso rojo y con areolas y espinas flexibles.

Opuntia decumbens; lengua de vaca, son plantas bajas que no poseen tronco, en su mayoría son rastreras y forman grandes matorrales. Las flores poseen 5 cm de diámetro con el perianto amarillo tinte rojizo. El fruto es pequeño con 3 cm de largo, globoso y de color púrpura oscuro. La floración es diurna de noviembre a mayo.

Stenocereus eichlamii; Comúnmente conocido como tuno de viga, son columnares y con una altura de 5-8 m; posee pocas ramas. Fruto ovoide, seco de 5-7 cm de largo, al llegar a la maduración es dehiscente como una estrella y la pulpa es de color blanco. La floración es nocturna de abril a septiembre.

Stenocereus pruinosus: Se conoce como tuno o guanajo. Posee un tronco bien definido, ramificado de color verde oscuro. Las flores cuentan con 9 cm de longitud, con tubo receptacular largo; escamas con segmentos exteriores del perianto de color moreno verdoso; segmentos interiores del perianto de color blanco, rosado claro. Los frutos son ovoides de colores variables (rojo púrpura, anaranjado verdoso) la pulpa es de color rojo y semillas negras. Se distribuye desde los 50 hasta los 1200 msnm. La floración es nocturna desde septiembre a mayo. Se utiliza como cerco vivo y el fruto es comestible.

13.3 Para investigación cuantitativa:

La cantidad de individuos de cada especie fue definida por intención, con el objetivo de causar un menor daño a las especies, ya que todas están incluidas en la categoría II de CITES (especies amenazadas con poblaciones muy reducidas, no en peligro de extinción, pero con comercialización controlada).

Previo a la obtención del material vegetal se realizaron pre-muestreos para reconocimiento de las posibles áreas de muestreo. Para cada especie fueron colectados 50 frutos maduros provenientes de 10 individuos (5 de cada individuo), los cuales se localizaron en el municipio de Zacapa, Zacapa. En total se extrajeron, de forma aleatoria, 500 semillas por especie. Las muestras fueron identificadas con códigos que incluyeron las iniciales del nombre científico de la especie y el número de colecta y luego fueron trasladadas al laboratorio donde se dejaron secar. Para preparar las semillas se siguieron los métodos descritos por Rojas-Aréchiga, Aguilar, Golubov, & Mandujano (2011) y Mihalte, Sestras, & Feszt (2011). Las semillas se extrajeron con una espátula, se lavaron con agua hasta retirar toda la pulpa y se dejaron secar sobre papel absorbente por 72 horas a temperatura ambiente. Luego se excluyeron del estudio las semillas con un tamaño conspicuamente menor a las otras semillas, pálidas o mal formadas. Las semillas se sumergieron en agua para asegurar que no hubiera semillas huecas.

Ensayos de germinación:

El diseño experimental es factorial completamente al azar con cuatro factores: especies, escarificación, aplicación de ácido giberélico y manejo del fotoperíodo siguiendo los trabajos de González-Cortés, Reyes-Valdés, Robledo-Torres, Villarreal-Quintanilla, & Ramírez-Godina, (2018) y Rojas-Aréchiga et al., (2011). Inicialmente las semillas fueron sometidas a distintos tratamientos de escarificación: a) sin escarificación (control), b) escarificación con H₂O₂ (3%)/24 horas, c) escarificación con H₂O₂ (5%)/24 horas, d) escarificación mecánica, e) escarificación mecánica + H₂O₂ (3%)/24 horas y f) escarificación mecánica + H₂O₂ (5%)/24 horas. Posteriormente, las semillas fueron desinfectadas: se sumergieron en alcohol al 70% por 6 minutos, luego en hipoclorito de sodio al 5% de la concentración comercial + unas gotas de Tween 20 al 20%, por 10 minutos y se enjuagaron 5 veces con agua destilada estéril. Seguidamente, una parte de las semillas de cada tratamiento de escarificación se sembró en cajas de Petri con medio de agarosa al 6% más ácido giberélico (500 ppm) y otra parte en cajas de Petri con de agarosa al 6% sin ácido giberélico. Por último, las cajas fueron debidamente identificadas según la especie, tratamiento de escarificación, presencia/ausencia de ácido giberélico, se sellaron con papel Parafilm y una parte de las cajas se colocó en un salón oscuro con un fotoperíodo de 12h luz/12h oscuridad y otra con un fotoperíodo de 20h luz/04h oscuridad. Para cada combinación (especie - tratamiento de escarificación – aplicación de ácido giberélico - manejo de fotoperíodo) se realizaron 5 repeticiones de 10 semillas cada una. Se realizaron observaciones a los 7, 15 20 y 30 días después de la siembra para determinar el porcentaje de germinación de las semillas.

Ensayos de pegue:

Los ensayos para determinar el efecto del sustrato en el crecimiento de las plántulas se realizaron con semillas germinadas de los ensayos de germinación. Las semillas germinadas se trasplantaron a bandejas y macetas con una mezcla de tierra negra, arena, grava, tierra de hojas y turba en las siguientes proporciones: a) tratamiento A: 2:1:1:0:0, b) tratamiento B: 1:1:1:1:1, c) tratamiento C: 1:1:1:1:0, y d) tratamiento D: 2:2:1:2:2. Previo a la siembra, el sustrato se mantuvo bajo el sol por 5 horas para eliminar humedad/patógenos. Las plantas se trasladaron al vivero del Jardín Botánico de Oriente construido dentro del campus del Centro Universitario de Zacapa.

Se realizaron riegos cada 3 días por un periodo de 6 minutos para evitar encharcamiento y se evaluó el pegue y crecimiento de cada especie en los diferentes tratamientos.

13.4 Técnicas e instrumentos:

La siembra de semillas se realizó en una campana de flujo laminar para evitar contaminación. Todos los ensayos de germinación se llevaron a cabo bajo condiciones controladas en un salón desinfectado y con una temperatura ambiental constante de 25°C. Las ventanas se cubrieron con cortinas que no permiten la entrada de la luz y la cantidad diaria de luz se controló mediante lámparas de luz UV. Los fotoperíodos se programaron utilizando controladores automáticos para no depender de un operador. Los ensayos relacionados con el pegue se realizaron en un invernadero localizado en el campus central del Centro Universitario de Zacapa.

Los datos colectados de las plantas en germinación fueron: días a la germinación, % de germinación semanal por 4 semanas, % de plantas con presencia de hojas verdaderas en las semanas 4 y 8, y altura y ancho media de las plántulas en las semanas 4 y 8.

Los datos de las plantas se almacenaron en una bitácora y libreta de laboratorio, luego se trasladaron a una hoja electrónica y se analizaron en el software R (R Core Team, 2018).

13.5 Operacionalización de las variables o unidades de análisis:

Tabla 2. Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Objetivos	VARIABLES O UNIDADES DE ANÁLISIS	Forma de medición
Objetivo 1	Variables predictoras: especies, escarificación, aplicación de ácido giberélico, manejo del fotoperíodo y sustrato Variables de respuesta: días a la germinación, % de germinación semanal hasta la 6ta semana, % de plantas con presencia de hojas verdaderas en la semana 12 y altura media de las plántulas en la semana 12	Conteo del número de semillas germinadas. Medición de altura de plántula con regla
Objetivo 2	Variable predictora: sustrato	Conteo de plantas vivas. Medición del crecimiento utilizando una regla.

Variable de respuesta: % de pegue y crecimiento.

Objetivo	Las variables son una serie de preguntas con opciones de si/no	Análisis de frecuencias de los datos
3		

13.7 Procesamiento y análisis de la información:

Todos los valores de las variables predictoras son categóricos y los de las variables de respuesta son continuos, por lo tanto, se realizó un análisis de varianza para diseños factoriales completamente al azar con base en el porcentaje de germinación al día 30 después de la siembra. El valor de alfa utilizado es de 0.05, el cual es el que generalmente se utiliza en este tipo de estudios.

Para el análisis de mercado y percepción de la población en relación a las especies de cactus se realizó un análisis descriptivo de frecuencias de acuerdo al género, al nivel de escolaridad y al interés de la persona en participar en iniciativas de conservación de las especies nativas de cactus y otras formas de biodiversidad del bosque seco de Zacapa, utilizando la información obtenida a través de una encuesta virtual.

14. Vinculación, difusión y divulgación

La vinculación se realizó con instituciones que velan por la conservación y mantenimiento de la diversidad biológica a nivel internacional a través del Convenio de Diversidad Biológica de las Naciones Unidas. Igualmente, el proyecto se vincula a nivel nacional con el ministerio de Ambiente y Recursos Naturales a través de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, con el Consejo Nacional de Áreas Protegidas siendo este otro ente encargado de velar por la conservación y mantenimiento de la flora y fauna del país. El proyecto se socializó con representantes de las instituciones nacionales para mostrar la importancia del bosque espinoso seco y consensuar las medidas de protección que se deben de imponer e incentivar por las mismas.

De igual forma se realizó una vinculación directa con la academia en este caso con la Universidad de San Carlos de Guatemala a través del Centro Universitario de Zacapa quien brinda un espacio para poder desarrollar el jardín botánico y el centro de rescate. Otro ente rector en este proyecto es la sociedad civil a quienes se les compartió información sobre la importancia del bosque seco y de las especies que este alberga, así como las acciones que deben de tomar como población a través de un seminario virtual.

Además, se elaboró un manual preliminar sobre el manejo de semillas de cactáceas para su germinación en laboratorio. También, fue creado un invernadero, el cual está albergando una colección de plántulas de las 10 especies estudiadas en el presente proyecto, y que estarán disponibles para distribuir las al público en general que esté interesado en contribuir con la conservación de las plantas nativas del bosque seco.

15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados:

Ensayos de germinación:

Fueron realizados ensayos de germinación en 10 especies de cactus nativos presentes en el municipio de Zacapa. Para cada especie se evaluó el efecto de distintas técnicas de escarificación, la aplicación de ácido giberélico y del manejo del fotoperíodo.

De acuerdo a los datos obtenidos, la germinación varía entre las especies estudiadas. Al tomar en cuenta el porcentaje promedio de germinación de cada especie observamos que la mitad de las especies tuvo un porcentaje promedio de germinación inferior al 15%: *Nopalea guatemalensis* (0.2 ± 0.03), *Stenocereus eichlamii* (1.6 ± 0.2), *Mamillaria karwinskiana* (5.8 ± 0.4), *Pilosocereus leucocephalus* (7.3 ± 0.6) y *Opuntia decumbens* (10.8 ± 1.04). Mientras solo tres especies presentaron un porcentaje superior al 50%: *Stenocereus pruinosus* (50.6 ± 2.2), *Melocactus curviespinus* (52.9 ± 1.7) y *Peniocereus hirschtianus* (57 ± 1.1). Además, el análisis de varianza realizado muestra que existe diferencia significativa en el porcentaje de germinación entre las especies ($F= 26.413$; $p < 2e-16$). Por otro lado, se observó que la duración del fotoperíodo si afecta de manera significativa el porcentaje de germinación ($F=14.415$; $p= 0.000193$). De manera

general puede observarse en la Tabla 3. que el porcentaje de germinación es mayor cuando las semillas fueron expuestas a un período de luz más corto (12 h vs. 20 h) siendo más evidente en el tratamiento sin ácido giberélico.

Tabla 3. Porcentajes promedio de germinación de semillas de cactáceas nativas del bosque seco presentes en el municipio de Zacapa, con aplicación de ácido giberélico (AG) y sin aplicación (control) y en dos condiciones de fotoperíodo (12h luz/12h oscuridad y 20h luz/4h oscuridad).

Especies	AG		Control		Total
	12h luz/12h oscuridad	20h luz/04h oscuridad	12h luz/12h oscuridad	20h luz/04h oscuridad	
<i>Acanthocereus tetragonus</i>	35.7 (± 4.5)	6.3 (± 0.9)	32.7 (± 2.7)	7.3 (± 0.9)	20.5 (± 1.5)
<i>Mamillaria karwinskiana</i>	5.0 (± 0.9)	5.7 (± 1.1)	4.7 (± 0.7)	7.7 (± 1.1)	5.8 (± 0.4)
<i>Melocactus curviespinus</i>	51.7 (± 3.2)	44.3 (± 3.7)	69.7 (± 2.6)	46 (± 4)	52.9 (± 1.7)
<i>Nopalea guatemalensis</i>	0 (± 0)	0 (± 0)	0.7 (± 0)	0 (± 0)	0.2 (± 0.03)
<i>Pachycereus lepidanthus</i>	38.7 (± 3.6)	16 (± 1.9)	57.3 (± 4.4)	22.7 (± 2.8)	33.7 (± 1.8)
<i>Peniocereus hirschtianus</i>	57.3 (± 1.6)	46.7 (± 2.1)	74 (± 2.1)	50 (± 2)	57 (± 1.1)
<i>Pilosocereus leucocephalus</i>	10.3 (± 1.5)	2 (± 0.4)	14.3 (± 1.5)	2.3 (± 0.4)	7.3 (± 0.6)
<i>Stenocereus eichlamii</i>	1.3 (± 0.3)	0 (± 0)	4.7 (± 0.7)	0.3 (± 0.1)	1.6 (± 0.2)
<i>Stenocereus pruinosus</i>	47.7 (± 4.5)	47.7 (± 4.2)	55.3 (± 4.9)	51.7 (± 5.1)	50.6 (± 2.2)
<i>Opuntia decumbens</i>	5.0 (± 0.9)	13.77 (± 3)	18 (± 2.6)	6.3 (± 1.3)	10.8 (± 1.04)
Porcentaje total	25.3 (± 1.1)	18.2 (± 0.9)	33.1 (± 1.2)	19.4 (± 1)	24 (± 0.5)

Aunque en los resultados expuestos en la tabla 3 muestran que los porcentajes de germinación son levemente menores en las semillas expuestas a la fitohormona, el análisis de varianza realizado indica que no existe diferencia en los porcentajes de germinación entre los tratamientos con y sin aplicación de ácido giberélico ($F=2.515$, $p=0.114320$). Aun así, en la figura 2 observamos que existe una diferencia evidente, entre ambos tratamientos, en las semillas de la especie *Peniocereus hirschtianus* expuestas a un fotoperíodo de 12h luz/12h oscuridad, en donde se obtuvo una mejor germinación en el control que en el tratamiento con ácido giberélico. De manera similar, se observa diferencia, pero más leve, en *Melocactus curviespinus*, *Opuntia decumbens*, *Stenocereus eichlamii* y *Pachycereus lepidanthus*. Para todas las demás especies no se observa una diferencia evidente en la germinación.

Por último, los datos obtenidos no muestran diferencias significativas en la germinación de semillas sometidas a las siguientes combinaciones: ácido giberélico y escarificación ($F=0.464$;

p=0.802940), ácido giberélico y luz (F=1.682; p=0.196052), escarificación y luz (F=0.669; p=0.647484), escarificación, aplicación de ácido giberélico y luz (F=0.246; p=0.941647).

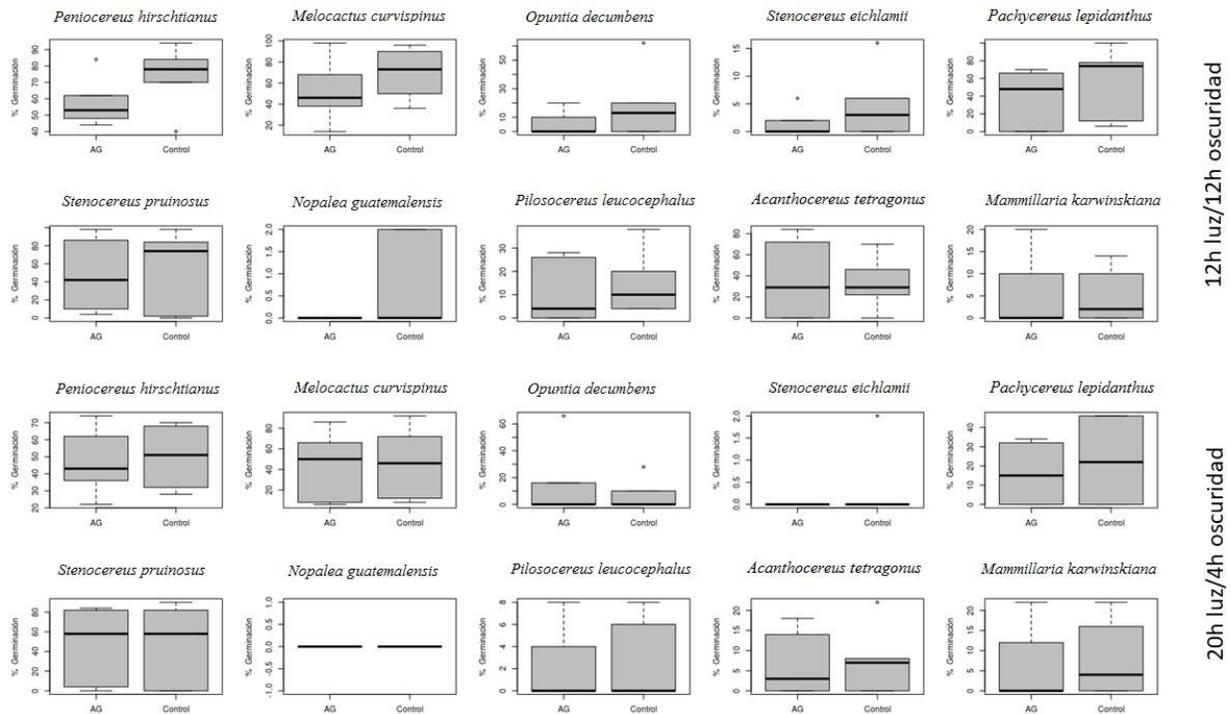


Figura 2. Diagrama de cajas comparando el porcentaje de germinación de semillas de cactáceas nativas del bosque seco presentes en el municipio de Zacapa, con aplicación de ácido giberélico (AG) y sin aplicación (control), en dos condiciones de fotoperíodo (12h luz/12h oscuridad y 20h luz/4h oscuridad).

El análisis de varianza realizado para evaluar el efecto de los diferentes métodos de escarificación muestra que existe una diferencia significativa en el porcentaje de germinación entre los tratamientos de escarificación (F=2.594; p= 0.026664). En la figura 3 podemos apreciar que para cada especie los porcentajes de germinación de semillas varían. Aunque no se observa un patrón evidente, en general los tratamientos con métodos combinados (peróxido-escarificación mecánica) promovieron una mayor germinación, principalmente en las semillas sometidas a un fotoperíodo más corto (12h luz/12h oscuridad).

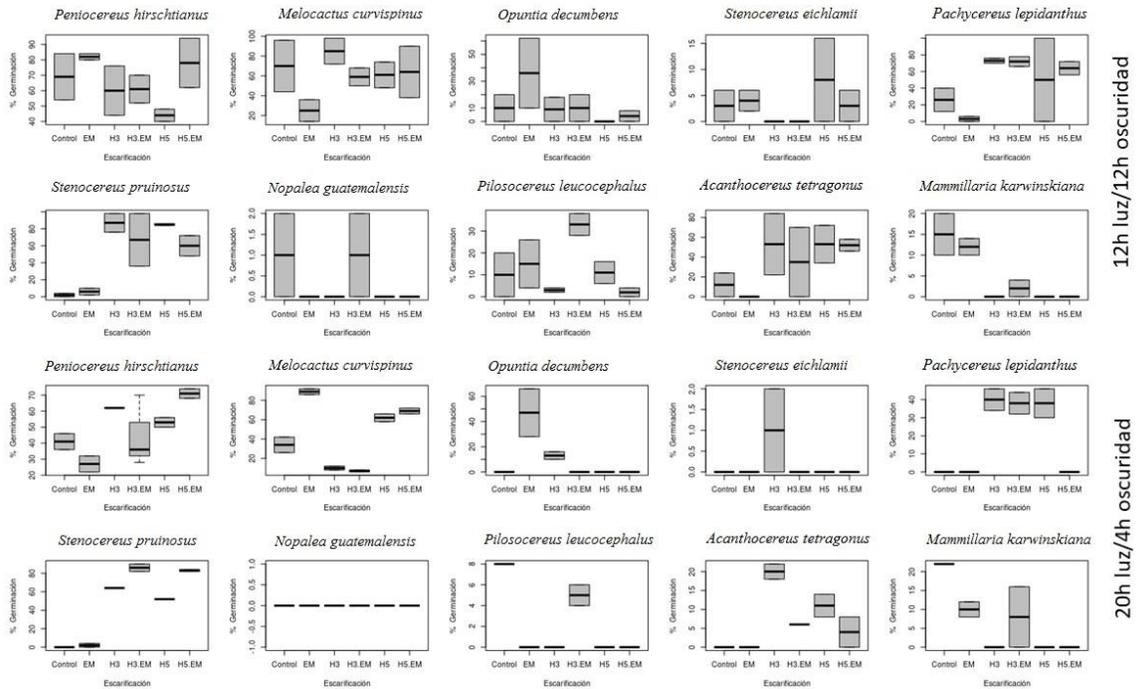


Figura 3. Diagrama de cajas comparando el porcentaje de germinación de semillas de cactáceas nativas del bosque seco presentes en el municipio de Zacapa, sometidas a diferentes métodos de escarificación (EM: escarificación mecánica, H3: peróxido de hidrógeno 3%, H3.EM: peróxido de hidrógeno 3% + escarificación mecánica, H5: peróxido de hidrógeno y H5.EM: peróxido de hidrógeno 5% + escarificación mecánica), en dos condiciones de fotoperíodo (12h luz/12h oscuridad y 20h luz/4h oscuridad).

Ensayos de pegue de plántulas:

Fueron realizados ensayos para evaluar el pegue de plántulas de 10 especies de cactus nativos presentes en el municipio de Zacapa, en sustratos consistentes de una mezcla de tierra negra, arena, grava, tierra de hojas y turba en distintas proporciones Tratamiento A: 2:1:1:0:0, Tratamiento B: 1:1:1:1:1, Tratamiento C: 1:1:1:1:0, y Tratamiento D: 2:2:1:2:2.

En la figura 4 observamos que en todos los tratamientos la cantidad de plántulas disminuyó entre en el momento de la siembra y 4 semana después. Además, vemos que la cantidad de plántulas vivas en el momento de la siembra y 4 semana después es homogénea entre tratamientos. Sin embargo, los datos obtenidos sugieren que el pegue de plántulas parece estar determinado por la

identidad de las especies, ya que vemos que cuatro de las especies (*Mamillaria karwinskiana* (Mk), *Nopalea guatemalensis* (Ng), *Stenocereus eichlamii* (Se) y *Pilosocereus leucocephalus* (Tcv) presentan un bajo establecimiento en los cuatros tratamientos. La cantidad de plántulas *Acanthocereus tetragonus* (At) y *Opuntia decumbens* (Od) es levemente superior pero también es bajo al compararlo con *Melocactus curviespinus* (Mc), *Peniocereus hirschtianus* (Ph), *Pachycereus lepidanthus* (Pl) y *Stenocereus pruinosus* (Sp).

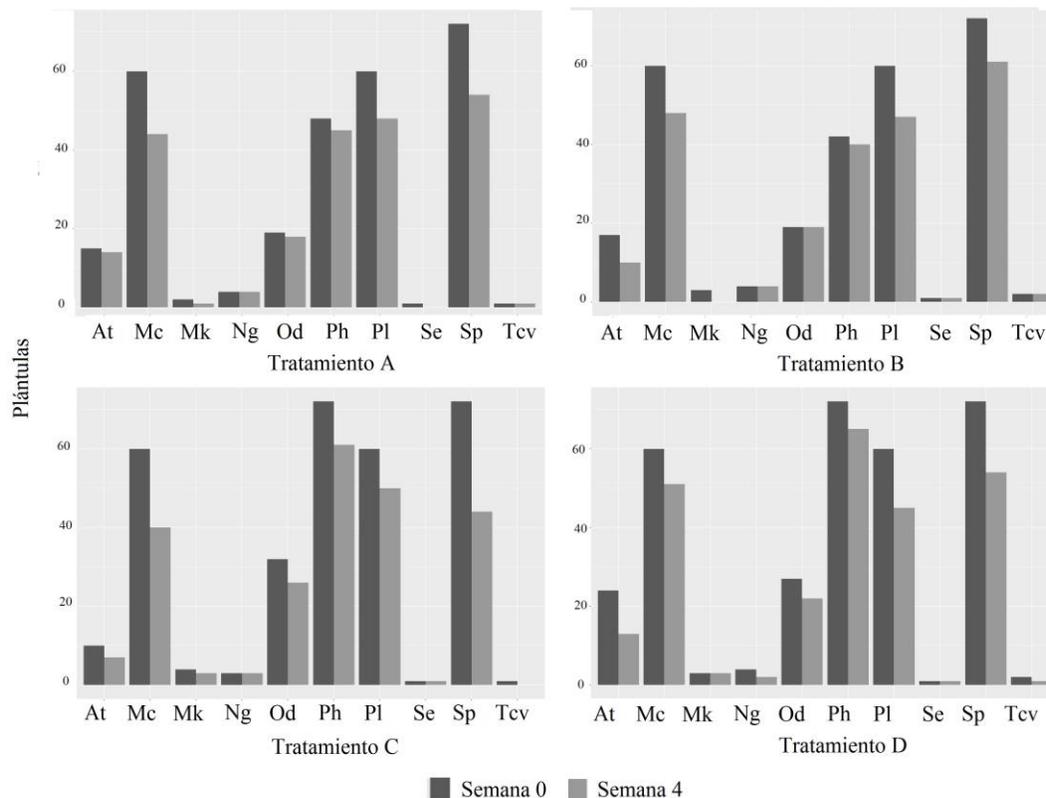


Figura 4. Cantidad de plántulas vivas de 10 especies de cactáceas nativas del bosque seco presentes en el municipio de Zacapa, en el momento de la siembra (semana 0) y en la semana 4, por cada sustrato evaluado, consistente de una mezcla de tierra negra, arena, grava, tierra de hojas y turba en las siguientes proporciones: Tratamiento A: 2:1:1:0:0, Tratamiento B: 1:1:1:1:1, Tratamiento C: 1:1:1:1:0, y Tratamiento D: 2:2:1:2:2. Las especies evaluadas son: *Acanthocereus tetragonus* (At), *Melocactus curviespinus* (Mc), *Mamillaria karwinskiana* (Mk), *Nopalea guatemalensis* (Ng), *Opuntia decumbens* (Od), *Peniocereus hirschtianus* (Ph), *Pachycereus*

lepidanthus (Pl), *Stenocereus eichlamii* (Se), *Stenocereus pruinosus* (Sp) y *Pilosocereus leucocephalus* (Tcv).

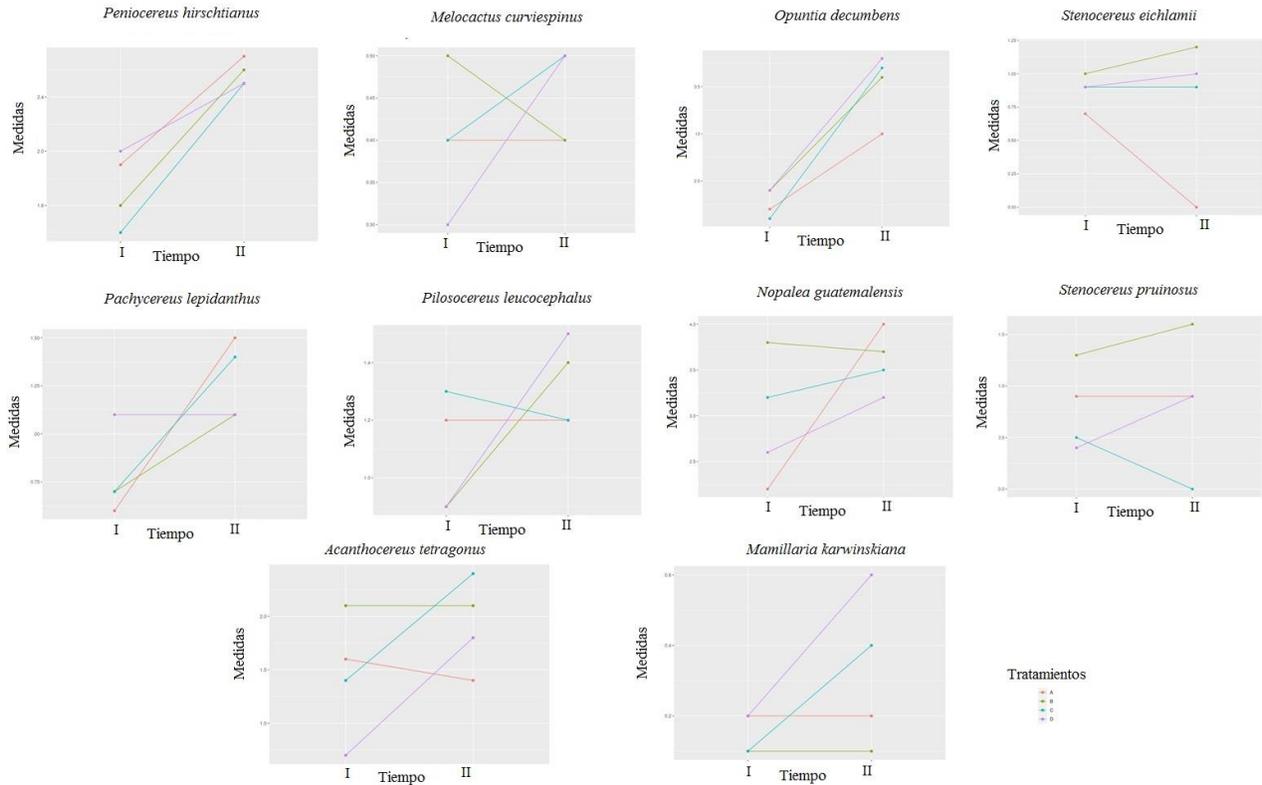


Figura 5. Medidas en cm del ancho de plántulas de 10 especies de cactáceas nativas del bosque seco presentes en el municipio de Zacapa, en el momento de la siembra (Tiempo I) y 45 días después de la siembra (Tiempo II) por cada sustrato evaluado, consistente de una mezcla de tierra negra, arena, grava, tierra de hojas y turba en las siguientes proporciones: Tratamiento A: 2:1:1:0:0, Tratamiento B: 1:1:1:1:1, Tratamiento C: 1:1:1:1:0, y Tratamiento D: 2:2:1:2:2.

En general el ancho de las hojas aumentó de tamaño en todos los tratamientos a lo largo el tiempo. Sin embargo, en la figura 5 vemos que el ancho de algunas especies no varió e incluso disminuyó, aunque muy levemente, en algunos tratamientos. Esta situación ocurrió principalmente en los tratamientos A y B para la especie *A. tetragonus*, *M. curviespinus*, *M. karwinskiana*, *S. eichlamii*, *S. pruinosus* y *P. leucocephalus* (Tcv). En relación al largo de las

hojas vemos en la figura 6 que también hubo un aumento y que este fue más consistente en especies y tratamientos.

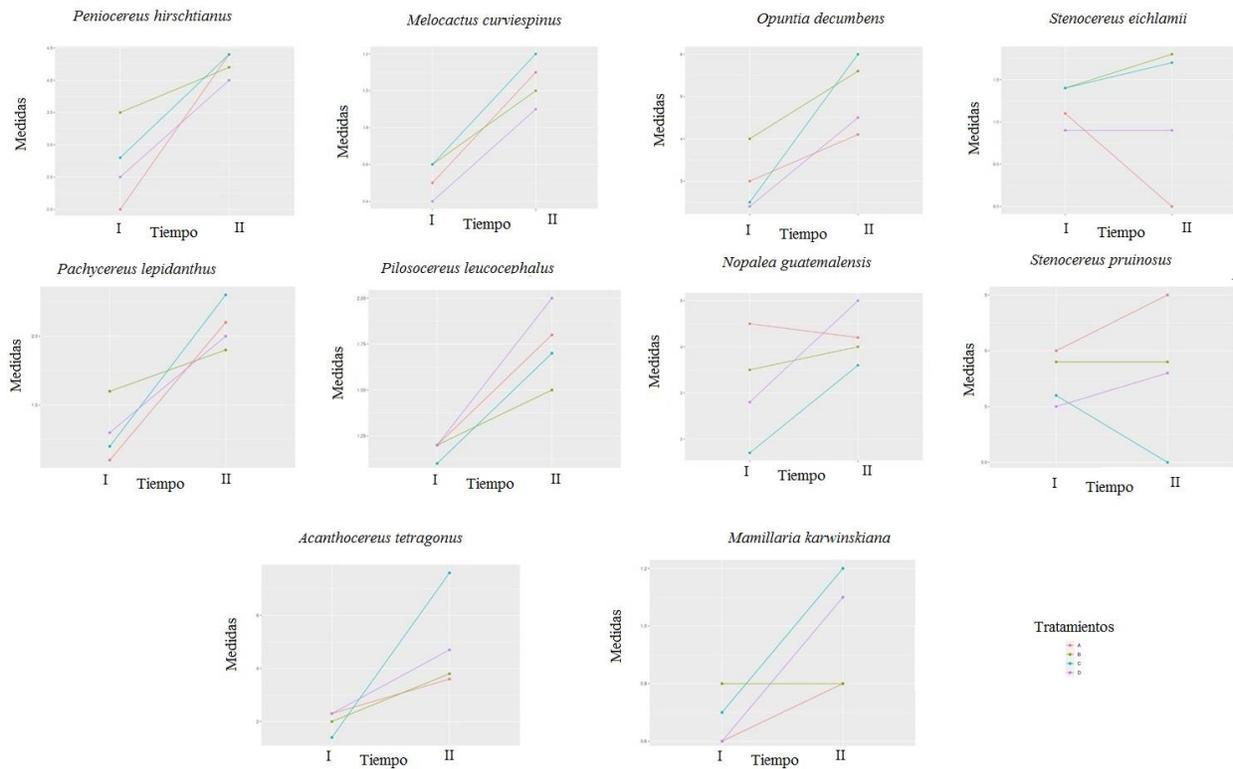


Figura 6. Medidas en cm del largo de plántulas de 10 especies de cactáceas nativas del bosque seco presentes en el municipio de Zacapa, en el momento de la siembra (Tiempo I) y 45 días después de la siembra (Tiempo II) por cada sustrato evaluado, consistente de una mezcla de tierra negra, arena, grava, tierra de hojas y turba en las siguientes proporciones: Tratamiento A: 2:1:1:0:0, Tratamiento B: 1:1:1:1:1, Tratamiento C: 1:1:1:1:0, y Tratamiento D: 2:2:1:2:2.

Conservación ex situ y transferencia de plantas

Fue desarrollada una encuesta en línea para evaluar la percepción de la población en relación a la factibilidad para transferir plantas reproducidas *ex situ* en el municipio de Zacapa como un medio para el establecimiento de ciudades verdes que contribuyan al desarrollo humano.

De acuerdo a los resultados de la encuesta, todas las personas que respondieron fueron adultas y la mayoría pertenece a un rango de edad entre 38 y 60 años. La mayor parte de personas interesadas pertenecen al género masculino (80%) (Figura 7-A). La mayoría son persona con un grado de escolaridad universitario (60%) (Figura 7-B).

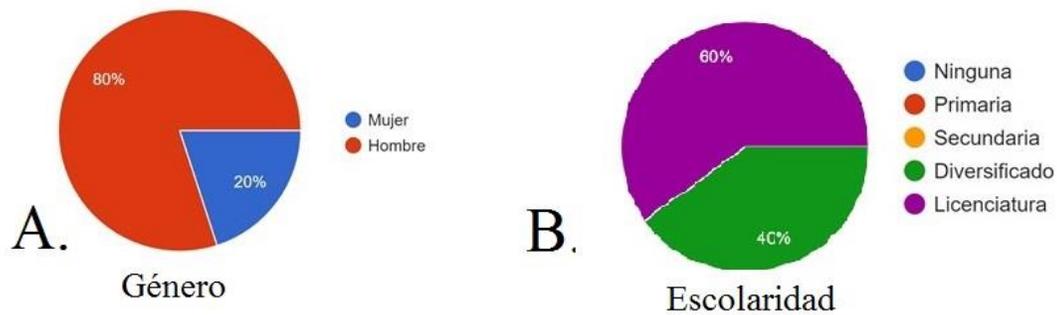


Figura 7. Información general sobre las personas que respondieron la encuesta para evaluar la percepción de la población sobre la conservación de especies de cactus nativos del bosque seco de Zacapa.

No todas las personas que participaron en la encuesta poseen espacios verdes para plantar especies de cactus (Figura 8-A). Sin embargo, el 60% de las personas que respondieron poseen espacios verdes con una extensión de dos metros cuadrados o más (Figura 8-B).

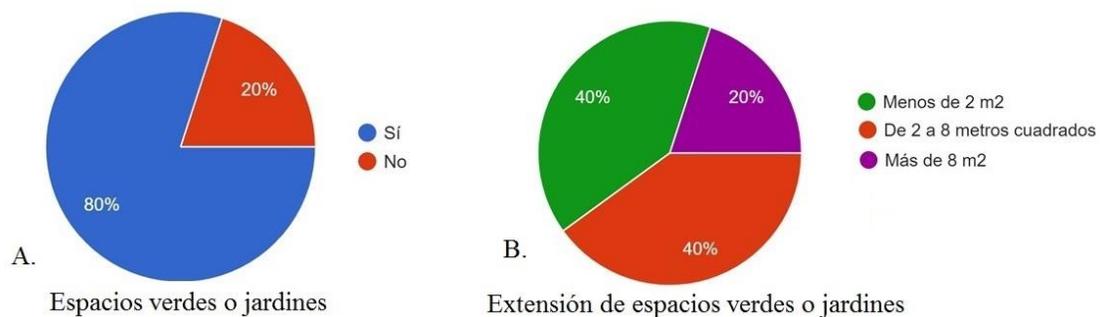


Figura 8. Disponibilidad de espacios adecuados para adopción

Las personas con espacios verdes disponibles respondieron que están interesadas en adoptar de uno a cinco cactus. Además, como vemos en la figura 9-A todas las personas están dispuestas a pagar para adoptar un cactus y la mayoría pagaría Q. 20 o hasta Q. 30. Incluso las personas que

no poseen espacio verde están dispuestas a adoptar y donarlo a alguna institución donde haya espacio para plantarlo (figura 9-B).

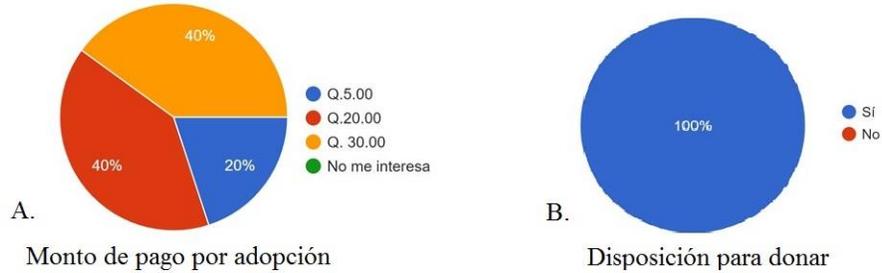


Figura 9. Interés en participar en programas de adopción de plantas nativas

Por último, todas las personas están interesada en participar en otros proyectos de conservación, incluidos proyectos de ciencia ciudadana para observación de polinizadores y proyectos de adopción de otras plantas nativas para polinizadores (Figura 10-A y 10-B).

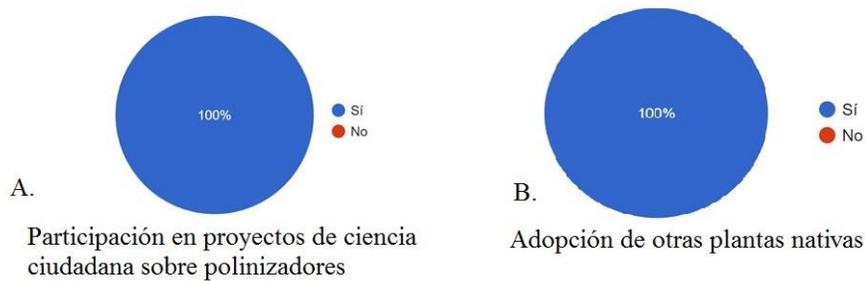


Figura 10. Interés en participar en otros proyectos de conservación de la biodiversidad

16. Análisis y discusión de resultados

Lo ecosistemas de bosque seco cuentan con una alta diversidad de especies vegetales endémicas características de estos ecosistemas, especialmente cactáceas, agaves, orquídeas y bromelias; entre otras (Vargas Ulate, 1997). En la zona oriental de Guatemala estos bosques se localizan en una zona altamente agrícola por lo que se encuentran muy amenazados tanto por el cambio en el uso de la tierra como por la explotación de sus recursos, entre otros aspectos (Ch'ortí' & The Nature Conservancy, 2009). (Ch'ortí' & The Nature Conservancy, 2009), por lo que es necesario

desarrollar estrategias de conservación *ex situ* para protegerlo. El presente trabajo planteó tres objetivos que incluyeron la evaluación de distintos métodos de escarificación, manejo de luz y aplicación de ácido giberélico en la germinación de semillas, la evaluación de distintas mezclas de sustrato para el pegue de plántulas y la exploración de la percepción de la población para desarrollar una iniciativa de adopción de cactus para promover la conservación de cactáceas nativas.

Los resultados de este estudio sugieren que la aplicación de ácido giberélico no causa un efecto en la germinación de las semillas de los cactus evaluados, lo que concuerda con otros estudios como el de Mandujano et al. (2007) en donde emplearon una sola concentración de ácido giberélico, o como el Rojas-Aréchiga et al. (2011), en donde fueron evaluadas tres concentraciones distintas. De hecho, de acuerdo con Rojas-Aréchiga et al. (2011) los efectos de la aplicación de ácido giberélico en la germinación de semillas de cactus es muy variable. En su trabajo ellos reportan que la concentración de la fitohormona parece actuar de manera especie-específica. Ellos encontraron que algunas especies eran beneficiadas por concentraciones bajas mientras otras por concentraciones altas. En nuestro estudio observamos que hubo mayor germinación en las semillas de cuatro especies (*P. hirschtianus*, *M. curvispinus*, *O. decumbens*, *S. eichlamii* y *P. lepidanthus*) en el control que en el tratamiento con ácido giberélico, el cual puede tener un efecto inhibitorio sobre estas especies, en esta concentración. Debido a la variación que ha sido reportada en cuanto al efecto especie-específico de la aplicación de diferentes concentraciones de ácido giberélico es necesario realizar más estudios principalmente en las especies con bajo porcentaje de germinación como *M. karwinskiana*, *N. guatemalaensis*, *S. eichlamii* y *O. decumbens*.

Una mayor cantidad de luz no promueve la germinación de semillas, excepto en *M. karwinskiana*. Las semillas de esta especie son de tamaño muy pequeño, por lo cual este resultado es consistente con el hecho de que se espera que las semillas pequeñas sean más sensibles a la luz debido a su baja capacidad de almacenar nutrientes (Benitez-Rodríguez et al. 2004, Meiado et al. 2015).

La escarificación causa un efecto positivo en la germinación a nivel general, observándose una mayor germinación en las semillas sometidas a tratamientos con métodos combinados (peróxido-escarificación mecánica). Los métodos de escarificación son eficaces por que pueden promover la germinación de semillas con testa dura o que tienen inhibidores en la testa o que necesitan un período de dormancia (Mandujano et al. 2007). Por lo tanto, es necesario tomar en cuenta la característica de cada especie ya que, como vimos antes, el porcentaje de germinación de las especies con mayor germinación no superó el 60% y cuatro especies presentaron un porcentaje inferior al 15%.

Los ensayos relativos a la evaluación de diferentes sustratos muestran resultados muy variables debido a que son muy preliminares. Es necesario hacer un monitoreo a más largo plazo y así poder evaluar con mayor certitud el efecto que los diferentes tipos de sustratos tienen sobre el pegue, y como afectan el crecimiento de las plántulas de las distintas especies.

Todas las especies evaluadas se encuentran en el apéndice: II CITES el cual incluye especies amenazadas con poblaciones muy reducidas, que no están en peligro de extinción, pero cuya comercialización es controlada. Aunque todas las especies son importantes es necesario desarrollar más estudios que permitan mejorar la germinación de semillas y el pegue de plántulas de *M. karwinskiana*, *N. guatemalaensis*, *S. eichlamii* y *O. decumbens* cuya germinación y pegue mostraron ser muy bajas.

El Centro de Adopción de especies de plantas amenazadas del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México ha sido una estrategia exitosa que contribuye a la conservación *ex situ* de especie amenazadas (IB-UNAM, n.d.-b). Los resultados de la encuesta muestran que puede ser factible implementar una estrategia de adopción de cactus nativos del bosque seco de Zacapa. Las personas tienen interés en la conservación de los cactus nativos, están dispuestas a pagar para obtener una planta y sembrarla en su casa o si carecen de un espacio adecuado, de donarla a alguna institución o escuela donde lo puedan mantener. Además, como parte el presente proyecto se cuenta ya con una colección de plántulas de cactus que pueden ser puesta en adopción, sin embargo, será necesario evaluar el tamaño adecuado para donarlas, que

garantice su sobrevivencia fuera el invernadero. Ya que algunas especies presentaron baja germinación y bajo pegue será necesario considerar no darlas en adopción.

17. Conclusiones

Existe diferencia en la germinación entre las especies evaluadas, la especie con mayor porcentaje de germinación no alcanzó más del 60% y 4 especies presentaron porcentajes de germinación inferiores al 15%.

En el trabajo se observó que existe un efecto en la germinación de semillas debido a la cantidad de luz que reciben las semillas, observándose un mayor crecimiento en semillas expuestas a un período más corto de luz (12h vs. 20h). De la misma manera, la aplicación de métodos de escarificación causa una diferencia estadísticamente significativa en la germinación de especie, observándose que la combinación de métodos mecánicos y químicos produce un efecto ligeramente positivo. Por el contrario, la concentración utilizada de ácido giberélico no promovió la germinación de semillas, incluso en algunos casos se observó una menor germinación en las semillas expuesta a la fitohormona.

El reporte del efecto especie-específico de la aplicación de ácido giberélico en la germinación de semillas de cactácea en otros estudios, y por otro lado la falta de un patrón evidente en relación al mejor método o combinación de métodos de escarificación para promover la germinación y la diferencia de germinación entre especies en el presente estudio sugieren la necesidad de desarrollar más estudios para evaluar diferentes concentraciones de ácido giberélico y métodos de escarificación por separado, principalmente en las especies con bajo porcentaje de germinación (*M. karwinskiana*, *N. guatemalaensis*, *S. eichlamii* y *O. decumbens*).

Los resultados de los ensayos de pegue son muy preliminares, se necesita un mayor tiempo de seguimiento para poder inferir sobre el efecto de las distintas mezclas de sustrato en las plántulas.

Las personas tienen interés en la conservación de los cactus nativos y están dispuestas a pagar para obtener una planta y sembrarla en su casa o si carecen de un espacio adecuado, de donarla a

alguna institución o escuela donde lo puedan mantener. Ya que la experiencia de centros de adopción de planta ha sido exitosa en otros lugares como el jardín botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, puede ser factible la implementación de un centro de adopción de cactus nativos en el municipio e Zacapa.

18. Impacto esperado

Se cuenta con una colección de plántulas de 10 especies de cactus nativos del bosque seco de Zacapa. Las especies presentan diferentes formas de crecimiento (columnares, globosos) y al menos las plántulas de las 6 especies más abundante pueden estar disponibles para ser puestas en adopción a través del programa de adopción del jardín botánico el cual tiene la finalidad de concientizar sobre la importancia del cuidado de dichas especies y el rol que cumplen en el equilibrio ecosistémico del área.

Se ha creado un vivero para la reproducción ex situ de plantas nativas amenazadas del valle del motagua, el cual permitirá fomentar el uso de las plantas nativas en los hogares y espacios urbanos.

Se ha establecido un jardín botánico con especies de cactus nativos presentes en Zacapa como un medio de recreación, educación y mejoramiento del medio ambiente y con la finalidad que en periodo corto de tiempo se puedan contar con un mayor número de plantas de cactus y de otras especies endémicas del área lo cual permitirá que aumente la población faunística.

El Instituto de Investigaciones de CUNZAC está fortalecido a través de la implementación de técnicas de cultivo *in vitro*, para la generación y fortalecimiento del conocimiento científico el desarrollo del laboratorio de ecología y otras técnicas que serán de utilidad para ser realizadas en el área y proyectos futuros.

19. Referencias

- Alberti, M. (2008). Advances in Urban Ecology. In *Advances in Urban Ecology*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-75510-6>
- Alegría, J. M. I. (2001). Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas (Revisión). *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.*, 16(1), 10–11.
- Balvanera, P., Castillo, A., & Martínez-Harms, M. J. (2011). Ecosystem Services in Seasonally Dry Tropical Forests. In *Seasonally Dry Tropical Forests*. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-021-7_15
- Beatley, T. (2012). Green cities of Europe: Global lessons on green urbanism. In *Green Cities of Europe: Global Lessons on Green Urbanism*. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-175-7>
- Benítez-Rodríguez J. L., Orozco-Segovia A. & Rojas-Aréchiga M. (2004) Light effect on seed germination of four Mammillaria species from the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico. *The Southwest Naturalist* 49: 11–17.
- Caballero, J., & Balcázar Sol, T. (n.d.). *Jardín Botánico de la UNAM*. 71–75. Retrieved from <https://medigraphic.com/pdfs/aapaunam/pa-2010/pa102b.pdf>
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>
- Ch'ortí', A. R. C., & The Nature Conservancy. (2009). *La Protección de los Bosques Secos de Zacapa y Chiquimula*. Retrieved from https://www.asorech.org.gt/images/pdfs/estudios/2014/bosque/Bosque_seco.pdf
- Gómez, A. A. (2002). *Propagación y Mantenimiento de Cactaceas*. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1250/97.pdf>
- Gonzalez-Cortés, A., Reyes-Valdés, H. M., Robledo-Torres, V., Villarreal-Quintanilla, J. A., & Ramírez-Godina, F. (2018). Pre-germination treatments in four prickly pear cactus (*Opuntia* sp.) species from Northeastern Mexico. *Australian Journal of Crop Science*, 12(10), 1676–1684. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.10.pne1430>
- Grimm, N. B., Grove, J. M., Pickett, S. T. A., & Redman, C. L. (2008). Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems. In *Urban Ecology: An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature*. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_8
- Hickey, G. M., Pouliot, M., Smith-Hall, C., Wunder, S., & Nielsen, M. R. (2016). Quantifying the economic contribution of wild food harvests to rural livelihoods: A global-comparative analysis. *Food Policy*, 62, 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.06.001>
- Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability. *Annual Review Ecological System*.
- Holling, C. S. (2003). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 1–23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- IB-UNAM. (n.d.-a). Instituto de Biología UNAM. Retrieved from <http://www.ib.unam.mx/jardin/>
- IB-UNAM. (n.d.-b). Instituto de Biología UNAM. Retrieved from <http://www.ib.unam.mx/jardin/adopcion/>
- Janzen, D. H. (2006). Management of Habitat Fragments in a Tropical Dry Forest: Growth. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75(1), 105. <https://doi.org/10.2307/2399468>
- Kaplan, S., & Kaplan, R. (2008). Health, supportive environments, and the reasonable person model. In *Urban Ecology: An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature*. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_36
- Mandujano, M. C., J. Golubov, J., & Roja-Aréchiga, M. (2007). Efecto del ácido giberélico en la germinación de tres especies de *Opuntia* (Cactaceae) del Desierto Chihuahuense. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 52:46–52.

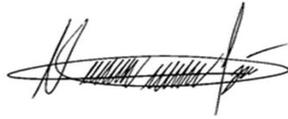
- Marzluff, J. M., Endlicher, W., Bradley, G., Simon, U., Shulenberger, E., Alberti, M., ... Zumbrunnen, C. (2008). Urban ecology: An international perspective on the interaction between humans and nature. In *Urban Ecology: An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5>
- Meiado M. V., Rojas-Aréchiga M., Siqueira Filho J. A. & Leal I. R. (2015) Effects of light and temperature on seed germination of cacti of Brazilian ecosystems. *Plant Species Biology* (in press) DOI: 10.1111/1442-1984.12087.
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., ... Gordon, J. E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>
- Mihalte, L., Sestras, R. E., & Feszt, G. (2011). Methods to improve seed germination of Cactaceae species. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(3), 288–295.
- Murphy, P. G., & Lugo, A. E. (2010). Dry forests of Central America and the Caribbean. In *Seasonally Dry Tropical Forests*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511753398.002>
- Myers, N., Mittermeyer, R. A., Mittermeyer, C. G., Da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Pickens, K. A., Affolter, J. M., Wetzstein, H. Y., & Wolf, J. H. D. (2003). Enhanced seed germination and seedling growth of *Tillandsia Eizi* in vitro. *HortScience*.
- Priego González de Canales, C., Breuste, J. H., & Rojas Hernández, J. (2010). Espacios naturales en zonas urbanas. Análisis comparado de la ciudad alemana de Halle y las chilenas de San Pedro de la Paz y Talcahuano. *Revista Internacional de Sociología*. <https://doi.org/10.3989/ris.2008.05.14>
- Quesada, M., Sanchez-Azofeifa, G. A., Alvarez-Añorve, M., Stoner, K. E., Avila-Cabadilla, L., Calvo-Alvarado, J., ... Sanchez-Montoya, G. (2009). Succession and management of tropical dry forests in the Americas: Review and new perspectives. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.023>
- R Core Team. (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*.
- Rojas-Aréchiga, M., Aguilar, K. M., Golubov, J., & Mandujano, M. C. (2011). Effect of Gibberellic Acid on Germination of Seeds of Five Species of Cacti: From the Chihuahuan Desert, Northern Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 56(3), 393–400. <https://doi.org/10.1894/n01-dw-126.1>
- Salafsky, N., & Wollenberg, E. (2000). Linking livelihoods and conservation: A conceptual framework and scale for assessing the integration of human needs and biodiversity. *World Development*. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(00\)00031-0](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(00)00031-0)
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (SCBD). (n.d.). Convention On Biological Diversity. Retrieved from <https://www.cbd.int/intro/default.shtml>
- Sevilla, A., Macgregor, Ian, Araujo, F., Junior, S., César, P., Irragory, Á., ... Marilyn. (2018). *Ecología urbana experiencias en america latina*.
- Vargas Ulate, G. (1997). América Central como puente biológico. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 23, No.1-2, 7–34.
- Véliz, M., Ramírez, F., Cobar, A. J., & García, M. (2003). *La diversidad Florística del Monte Espinoso de Guatemala*. Retrieved from <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2003-029.pdf>
- Vovides, A. P., Linares, E., & Bye, R. (2010). *Jardines botánicos de México: historia y perspectivas*. Retrieved from https://www.sev.gob.mx/servicios/publicaciones/serie_hcyt/jardines_botanicos.pdf

Zuria, I., & Castellanos, I. (2008). Ecología urbana y ciudades verdes. *Herreriana*, 4, 5–7. Retrieved from
https://www.researchgate.net/publication/313893797_Ecologia_urbana_y_ciudades_verdes

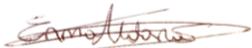
1. Apéndice

Listado de los integrantes del equipo de investigación (en una sola hoja)

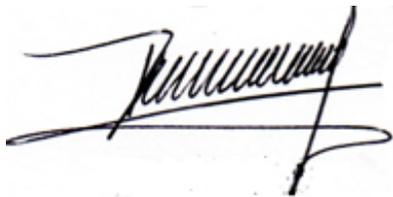
Contratados por contraparte y colaboradores

Nombre	Firma
Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás (Colaborador)	
Dra. Carmen Lucía Yurrita Obiols (Colaboradora)	

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago		Firma
			SI	NO	
Christian Eduardo Domínguez Morales				X	
Enma Yamileth Aldana Salguero		20200430	X		

Guatemala 14 de febrero 2021



Ing. Christian Eduardo Domínguez Morales
Coordinador
Proyecto de Investigación



Dra. Sandra Herrera Ruiz
Programa Universitario de Investigación
en Asentamientos Humanos



Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez
Coordinador General de Programas
Digi-USAC

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

Guatemala 26 de febrero, 2021

Señor Director
Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

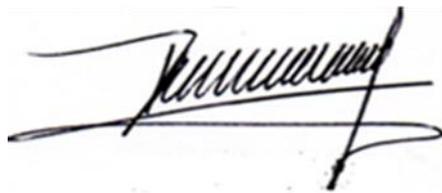
Adjunto a la presente el informe final “**El Jardín botánico de oriente: Vinculando ciencia con sociedad**” con partida presupuestal AP2CU-2020, coordinado por el Ing. Christian Eduardo Domínguez Morales y avalado por el Instituto de Investigaciones del Centro Universitario de Zacapa de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente.

Así mismo, el coordinador del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por Digi del **informe final y del manuscrito científico**. El manuscrito científico debe enviarse, por el coordinador del proyecto, para publicación al menos en una revista de acceso abierto (*Open Access*) indexada y arbitrada por expertos en el tema investigado.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”



Ing. Christian Eduardo Domínguez Morales
Coordinador del proyecto de investigación



Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás
Director del Instituto de Investigaciones
Centro Universitario de Zacapa