



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad
Morelia

**El papel funcional de los frugívoros en la
conservación del zapote prieto (*Diospyros
xolocotzii*) en el occidente de México**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

GUTIÉRREZ ESTRADA JOCELYN

DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSÉ SANTIAGO ARIZAGA PÉREZ

CO-DIRECTOR DE TESIS: DR. EDUARDO MENDOZA RAMÍREZ

MORELIA, MICHOACÁN

Febrero, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA
SECRETARÍA GENERAL
SERVICIOS ESCOLARES

MTRA. IVONNE RAMÍREZ WENCE
DIRECTORA
DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
PRESENTE

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **sesión ordinaria 09** del **Comité Académico de la Licenciatura en Ciencias Ambientales** de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad Morelia celebrada el día **27 de agosto del 2018**, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para la presentación del Trabajo Profesional del alumno (a) **Jocelyn Gutiérrez Estrada** de la Licenciatura en **Ciencias Ambientales**, con número de cuenta **310235585**, con el trabajo profesional titulado: "El papel funcional de los frugívoros en la conservación del zapote prieto (*Diospyros xolocotzil*) en el occidente de México", bajo la dirección como **tutor** del Dr. José Santiago Arizaga Pérez y como **co-tutor** el Dr. Eduardo Mendoza Ramírez.

El jurado queda integrado de la siguiente manera:

Presidente: Mtro. Luis Fernando Alvarado Ramos
Vocal: Dra. Yvonne Herrerías Diego
Secretario: Dr. Eduardo Mendoza Ramírez
Suplente 1: Dr. Ignacio Torres García
Suplente 2: Dr. José Arnulfo Blanco García

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Morelia, Michoacán a, 22 de enero del 2019.


DR. VÍCTOR HUGO ANAYA MUÑOZ
SECRETARIO GENERAL

Agradecimientos

Reconocimientos a la Licenciatura en Ciencias Ambientales y a la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, por brindarme las herramientas para mi desarrollo académico y personal.

A los profesores de la licenciatura, por las enseñanzas y experiencias brindadas.

A los apoyos financieros durante la carrera, “*Programa de Fortalecimiento Académico de los Estudios de Licenciatura (PFEL)*” y el Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME) en el proyecto “Estudio de la Vegetación como Base para el Manejo de Recursos Naturales (Clave PE200316)”, dentro del cual se circunscribió la presente tesis.

A mi tutor Santiago Arizaga, por darme la oportunidad de realizar la presente investigación, por su ayuda incondicional en campo, por todos los conocimientos compartidos y por brindarme esta gran experiencia.

A mi co-tutor Eduardo Mendoza, por su tiempo, paciencia y los consejos para guiar la tesis.

A Daniel Beltrán e Ignacio Torres, por su gran ayuda en el trabajo de campo y conocimientos compartidos.

A Luis Fernando Alvarado Ramos por su ayuda en la identificación de las aves.

A la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, por las facilidades brindadas para realizar los experimentos en el laboratorio y por el prestamos de la germinadora.

A los miembros del Jurado, Eduardo Mendoza Ramírez, Yvonne Herrerías Diego, Ignacio Torres García, Arnulfo Blanco García y Luis Fernando Alvarado Ramos, por su apoyo en la revisión de la presente investigación, así como por los conocimientos y paciencia brindada.

Dedicatoria

A mis padres, por su apoyo incondicional en mi desarrollo personal y académico, por respaldarme completamente en mi aventura por Morelia y porque siempre me han alentado a conseguir lo quiero a pesar de las circunstancias, por todo el esfuerzo que hicieron para que pudiera seguir estudiando, por toda la preocupación de dejar ir a su hija, porque de ustedes aprendí el amor a ayudar.

Y sobre todo, infinitas gracias por darme el carácter de ambos, luchadores, personas fuertes con el corazón gigantesco, gracias.

A mi familia, por ser parte de mi crecimiento, a mi hermano Erick, quien ha sido una inspiración para seguir estudiando, a mi hermano Alejandro, quien forjó gran parte de mi carácter y que me ha dado la dicha de ser tía de las niñas más guapas, a mis abuelos, (Rafael y Susana), tíos y primos que siempre se han preocupado por mí.

A Liz, porque nuestra amistad es más fuerte que cualquier distancia, por las experiencias que hemos compartido y las que nos faltan por vivir, porque no pude tener mejor compañera de vida.

A Germán, gracias por ayudarme incondicionalmente en esta aventura, por enseñarme a dar el instante, por compartirme de tu ser tan noble, porque siempre has hecho de mi una mejor persona. ¿Cuáles eran las probabilidades de encontrarte?.

Índice

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Resumen | 6 |
| Abstract..... | 8 |
| 1. Introducción..... | 10 |
| 1.1 El papel de la frugivoría..... | 11 |
| 1.2 Dispersión de semillas por mamíferos frugívoros..... | 12 |
| 2. Antecedentes..... | 15 |
| 2.1 <i>Diospyros xolocotzii</i> , especie endémica y en peligro de extinción..... | 15 |
| 2.2 Descripción de <i>Diospyros xolocotzii</i> | 16 |
| 2.2.1 Características del fruto | 17 |
| 2.3 Distribución de <i>Diospyros xolocotzii</i> | 18 |
| 3. Justificación..... | 20 |
| 4. Objetivos..... | 22 |
| 4.1. Objetivo general..... | 22 |
| 4.2. Objetivos particulares..... | 22 |
| 5. Métodos..... | 23 |
| 5.1. Descripción del área de estudio..... | 23 |
| 5.1.1. San José de la Pilas, Acámbaro, Guanajuato | 23 |
| 5.1.2 El Añil, Sahuayo de Morelos, Michoacán de Ocampo..... | 24 |
| 5.2. Estructura poblacional de <i>D. xolocotzii</i> en El Añil, Sahuayo, Mich..... | 26 |
| 5.3. Frugivoría de frutos de <i>Diospyros xolocotzii</i> | 27 |
| 5.3.1. Estaciones de alimentación en ambas poblaciones de estudio..... | 27 |
| 5.3.2. Análisis de excretas: importancia del fruto de <i>D. xolocotzii</i> en la dieta de los frugívoros y dispersión de semillas..... | 31 |
| 5.3.3 Germinación de las semilla de <i>Diospyros xolocotzii</i> | 32 |
| 5.4. Conocimiento de <i>D. xolocotzii</i> en las comunidades humanas cercanas a la especie..... | 34 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.4.1. Conocimiento de <i>D. xolocotzii</i> en San José de las Pilas, Acámbaro..... | 34 |
| 5.4.2. Conocimiento de <i>D. xolocotzii</i> en El Güirio, Sahuayo. | 34 |
| 6. Resultados. | 35 |
| 6.1. Estructura poblacional de <i>D. xolocotzii</i> en El Añil, Sahuayo, Mich. | 35 |
| 6.2. Frugivoría del <i>Diospyros xolocotzii</i> | 39 |
| 6.2.1. Estaciones de alimentación en San José de las Pilas, Acámbaro, Gto. | 39 |
| 6.2.2. Estaciones de alimentación en El Añil, Sahuayo Mich. | 42 |
| 6.2.3. Análisis de excretas: importancia del fruto de <i>D. xolocotzii</i> en la dieta de los frugívoros y dispersión de semillas. | 44 |
| 6.3. Germinación de las semilla de <i>Diospyros xolocotzii</i> | 50 |
| 6.4. Conocimiento de <i>D. xolocotzii</i> en las comunidades cercanas a la especie | 54 |
| 7. Discusión. | 55 |
| 7.1. Nueva población de <i>Diospyros xolocotzii</i> en El Añil, Sahuayo, Mich. | 55 |
| 7.2. Frugivoría y dispersión de semillas de <i>Diospyros xolocotzii</i> | 57 |
| 7.3. Conocimiento del <i>Diospyros xolocotzii</i> por las comunidades locales | 62 |
| 7.4. Implicaciones para la conservación de <i>Diospyros xolocotzii</i> | 64 |
| 8. Conclusiones. | 65 |
| 9. Literatura consultada | 69 |
| 10. Apéndice. | 75 |

Índice de Figuras

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Flores de <i>Diospyros xolocotzii</i> Madrigal & Rzedowski. a) flor femenina; b) flor masculina. Tomado de Carranza, (2000)..... | 16 |
| Figura 2. Frutos de <i>Diospyros xolocotzii</i> Madrigal & Rzedowski. Tomado de Carranza, (2000). | 17 |
| Figura 3. Sitios de estudio: a) Población de <i>D. xolocotzii</i> ubicada en la barranca de San José de las Pilas, Acámbaro, Gto.; b) Población de <i>D. xolocotzii</i> ubicada en la barranca El Añil, Sahuayo de Morelos, Mich..... | 25 |
| Figura 4. Ubicación de las estaciones de alimentación en las subpoblaciones de <i>D. xolocotzii</i> ubicadas en Acámbaro, Guanajuato..... | 30 |
| Figura 5. Ubicación de las estaciones de alimentación en la población de <i>D. xolocotzii</i> ubicada en Sahuayo, Mich..... | 30 |

Índice de graficas

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfica 1. Altura de los individuos de la población de <i>D. xolocotzii</i> ubicada en El Añil, donde se muestra que la población esta moderadamente sesgada hacia el lado izquierdo, indicando que los individuos en su mayoría cuentan con altura menor a la media poblacional. La línea negra representa la función de densidad, la cual representa como están distribuidos los datos. | 36 |
| Gráfica 2. Diámetro del follaje de los individuos de la población de <i>D. xolocotzii</i> ubicada en El Añil, donde se muestra que la población esta moderadamente sesgada hacia el lado izquierdo, indicando que los individuos en su mayoría cuentan con diámetros menores a la media. | 37 |
| Gráfica 3. Diámetro a la altura del pecho de los individuos de la población de <i>D. xolocotzii</i> ubicada en El Añil, donde se muestra que la población está altamente sesgada hacia el lado izquierdo, indicando que la mayoría de los individuos poseen diámetros reducidos..... | 38 |
| Gráfica 4. Diámetro basal de los individuos de la población de <i>D. xolocotzii</i> ubicada en El Añil, donde se muestra que la población está sesgada hacia el lado izquierdo, indicando que la mayoría de los individuos poseen diámetros reducidos. | 38 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfica 5. Frecuencia de visita de las estaciones de alimentación de la población de San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato. | 40 |
| Gráfica 6. Frecuencia relativa (%) de las categorías de comportamiento de las especies registradas en las estaciones de alimentación de San José de las Pilas, Acámbaro, Gto., así como el tipo de participación en cada categoría conducta por cada especie. | 41 |
| Gráfica 7. Frecuencia de captura de las estaciones de alimentación de la población El Añil, Sahuayo, Michoacán. | 43 |
| Gráfica 8. Frecuencia relativa (%) de las categorías de comportamiento de las especies registradas en las estaciones de alimentación de El Añil, Sahuayo, Michoacán, así como el tipo de participación en cada conducta por cada especie. | 44 |
| Gráfica 9. Porcentaje de ocurrencia y frecuencia relativa de las semillas presentes en las excretas colectadas en la población de <i>D. xolocotzii</i> ubicada en San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato. | 46 |
| Gráfica 10. Frecuencia relativa de las apariciones de excretas de cada especie en la población del <i>D. xolocotzii</i> ubicada en San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato. | 47 |
| Gráfica 11. Porcentaje de ocurrencia y frecuencia relativa de las semillas presentes en las excretas colectadas en la población de <i>D. xolocotzii</i> ubicada en El Añil, Sahuayo, Michoacán. | 48 |
| Gráfica 12. Frecuencia relativa de las apariciones de excretas de cada especie en la población del <i>D. xolocotzii</i> ubicada en El Añil, Sahuayo, Michoacán. | 49 |
| Gráfica 13. Porcentaje acumulado de germinación de las semillas testigo y las semillas provenientes de excretas de la población de San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato. | 51 |
| Gráfica 14. Porcentaje acumulado de germinación de las semillas testigo y las semillas provenientes de excretas de la población de El Añil, Sahuayo, Michoacán. | 52 |
| Gráfica 15. Porcentaje acumulado de germinación de las semillas testigo y las semillas provenientes de excretas de las poblaciones de San José de las Pilas, Acámbaro, Gto., y de El Añil, Sahuayo, Michoacán. | 53 |

Índice de tablas

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Resultados comparativos del análisis bromatológico en <i>D. xolocotzii</i> y <i>D. digyna</i> . Tomado de Sánchez-Atanacio (2009). | 18 |
| Tabla 2. Descripción del hábitat de las localidades de <i>D. xolocotzii</i> y localidad tipo. Tomado de Torres y Arizaga, (2014). | 19 |
| Tabla 3. Estadísticos descriptivos de los atributos de la población de <i>D. xolocotzii</i> ubicada en El Añil, Sahuayo, Michoacán. | 35 |
| Tabla 4. Vertebrados registrados como consumidores del fruto de <i>D. xolocotzii</i> en la población de San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato..... | 39 |
| Tabla 5. Fauna de vertebrados registrados como consumidores del fruto de <i>D. xolocotzii</i> en la población de El Añil, Sahuayo, Mich. | 42 |
| Tabla 6. Frecuencia de apariciones, porcentaje de ocurrencia y frecuencia relativa de las semillas en excretas colectadas en la población de <i>D. xolocotzii</i> ubicada en San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato. | 45 |
| Tabla 7. Frecuencia de apariciones, porcentaje de ocurrencia y frecuencia relativa de semillas en las excretas colectadas en El Añil, Sahuayo, Michoacán. | 48 |
| Tabla 8. Resultados de la germinación de las semillas de <i>D. xolocotzii</i> de la población de San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato., bajo dos tratamientos: a) Testigo (semillas extraídas directamente del fruto); y b) Semillas provenientes de excretas..... | 50 |
| Tabla 9. Resultados de la germinación de las semillas del <i>D. xolocotzii</i> de la población de El Añil, Sahuayo, Michoacán, bajo dos tratamientos: a) Testigo (semillas extraídas directamente del fruto); y b) Semillas provenientes de excretas. | 52 |

Resumen

Diospyros xolocotzii Madrigal & Rzed., comúnmente llamado zapote prieto, fue descubierto en 1985 por lo que es la última especie del género *Diospyros* descubierta en México. Se catalogó como especie endémica y en peligro de extinción debido a que no se conocía otra localidad y a la baja densidad poblacional. Actualmente se ha incrementado el conocimiento poblacional pasando de una a seis poblaciones concentradas en la Cuenca de Cuitzeo y en el Occidente del país, compartiéndose entre Michoacán y Guanajuato. Estas poblaciones se encuentran amenazadas principalmente por las actividades antropogénicas que inhiben los procesos naturales de regeneración.

El objetivo principal de este estudio fue profundizar en el conocimiento del papel que desempeñan los frugívoros en la conservación del zapote prieto, en las poblaciones de San José de las Pilas, Acámbaro Gto., y El Añil, Sahuayo, Michoacán; así como aproximarse a conocer el estado de conservación del zapote prieto en esta última población.

Se realizó un censo poblacional y desométrico de los individuos de zapote prieto en la población de El Añil. Por medio de cámaras trampa se documentó a la fauna consumidora del zapote prieto en ambas poblaciones y por medio de análisis de excretas, se determinó la importancia del fruto en la dieta de la fauna silvestre.

Se encontró que la población de *D. xolocotzii* de El Añil es relativamente joven y cuenta con un total de 544 individuos, posicionando a esta población como la segunda más abundante de la especie.

En la población de San José de las Pilas se identificaron un total de 6 vertebrados que consumen el fruto del zapote prieto siendo todos mamíferos: cacomixtle (*Bassariscus astutus*), mapache (*Procyon lotor*), coatí (*Nasua narica*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), tlacuache (*Didelphis virginiana*) y roedores (Rodentia). Para la población ubicada en El Añil se identificaron un total de 7 especies de vertebrados: 3 mamíferos, cacomixtle (*Bassariscus astutus*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), roedores (Rodentia) y 4 de aves, mulato (*Melanotis caerulescens*), zorzal pico naranja (*Catharus aurantiirostris*), rascador nuca canela (*Melozone kieneri*) y un ave que no se pudo identificar (ave no/ID).

Para el caso de San José de las Pilas la especie con mayor registro de visita fue el cacomixtle, mientras que para El Añil fueron los roedores seguidos del ave conocida como mulato.

En la población de San José de las Pilas, se determinó que la conducta principal observada en los frugívoros fue el consumo y dispersión de las semillas, mientras que para la población de El Añil, la conducta que más se registro fue consumo únicamente de la pulpa del fruto. Este resultado permite inferir que los mamíferos medianos pueden ser los principales dispersores de las semillas, mientras que las aves y los roedores pueden estar actuando únicamente como consumidores de la pulpa del fruto del zapote prieto.

De acuerdo con el análisis de excretas, se documentó que el fruto de este árbol silvestre es incluido frecuentemente en los hábitos alimenticios de los frugívoros en ambos sitios de estudio. Se observó que estos frugívoros no generan daños mecánicos a las semillas que consumen al pasar por su tracto digestivo, sin embargo estos depositan las semillas en lugares inadecuados para su establecimiento. Se registró que las semillas provenientes de las excretas de los frugívoros, tienen mayor capacidad germinativa que las semillas extraídas directamente de los frutos, sin embargo, en el caso de la población de El Añil, las diferencias no fueron significativas. De igual manera, se registró que el tiempo promedio de germinación de las semillas de las excretas es menor en comparación a las semillas extraídas directamente de los frutos.

Las comunidades humanas aledañas no tienen conocimiento de la existencia del zapote prieto, por lo que no le dan algún tipo de uso ni valor.

Palabras clave: *Diospyros xolocotzii*, zapote prieto, conservación, frugívoros, germinación, dispersión de semillas.

Abstract

Diospyros xolocotzii Madrigal & Rzed, commonly called zapote prieto, was discovered in 1985 therefore is the most recent discovered specie of the genus *Diospyros* in Mexico. It was classified as an endemic species and critically endangered because that was the only known location and for its low population density. Actually, the population knowledge has increased from 1 to 6 wild population concentrated mainly around the Cuitzeo basin and in the west of the country, territory shared by Michoacán and Guanajuato. The zapote prieto is threatened mainly by anthropogenic activities which inhibit natural processes of regeneration.

The main objective of this study was to give deeper understanding of the role played by frugivores in the conservation of the zapote prieto, in the population located in San José de las Pilas, Acámbaro Gto., and in the population located at El Añil, Sahuayo, Michoacán; as well as clarify the state of conservation of the population of the zapote prieto in this last population.

It has been made a population and desometric census of the individuals of zapote prieto in the population of El Añil. The consuming fauna of zapote prieto was documented in both populations by means of trap cameras and the importance of the fruit in the diet of the wild fauna was determined by means of analysis of excreta.

It was found that the population of *D. xolocotzii* at El Añil is relatively juvenile and has a total of 544 individuals, positioning this population as the second most abundant of this specie.

In the population of San José de las Pilas a total of 6 vertebrates were identified that consume the fruit of the zapote prieto being all of them mammals: cacomixtle (*Bassariscus astutus*), raccoon (*Procyon lotor*), coati (*Nasua narica*), gray fox (*Urocyon cinereoargenteus*), tlacuache (*Didelphis virginiana*) and rodents (Rodentia). In the population located at El Añil were identified a total of 7 vertebrate species: 3 mammals, cacomixtle (*Bassariscus astutus*), gray fox (*Urocyon cinereoargenteus*), rodents (Rodentia) and 4 birds, mulato (*Melanotis caerulescens*), Orange-billed nightingale-thrush (*Catharus aurantiirostris*), Rusty-crowned ground sparrow (*Melospiza kieneri*) and a bird that could not be identified (ave no/ID).

In San José de las Pilas, the specie with highest record of visits was the cacomixtle and at El Añil the specie with more records was the rodents, followed by the bird known as mulato.

In the population of San José de las Pilas, the main behavior observed in the frugivores was the consumption and dispersion of the seeds, while for the population of El Añil, the behavior that was most recorded was only pulp consumption of the fruit. This result allows us to infer that medium mammals are the main dispersers of seeds, while birds and rodents act only as pulp consumers of the fruit of the zapote prieto.

According to the analysis of droppings, it was documented that the fruit of this wild tree is of great importance in the eating habits of the frugivores in both study sites, It was observed that even though the frugivores do not generate mechanical damage to the seeds that they consume, they deposit the seeds in places unsuitable for their establishment. It was recorded that the seeds from the droppings of the frugivores, have greater germination capacity than the seeds extracted directly from the fruits, however, in the case of the population of El Añil, the differences were not significant. Likewise, it was recorded that the average germination time of the excreta seeds is lower compared to the seeds extracted directly from the fruits.

In general, the surrounding human communities have not knowledge of the existence of zapote prieto in their communities, so they don't give it any kind of use or value.

Key words: *Diospyros xolocotzii*, zapote prieto, conservation, frugivorous, germination, seed dispersal

1. Introducción.

El territorio mexicano es reconocido mundialmente por albergar diversos ecosistemas resultantes de la complejidad del espacio geográfico en el que se ubica. Estos ecosistemas son reservorio de una gran riqueza de flora y fauna (Challenger y Soberón, 2008; Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008; Sarukhán *et al.*, 2009). Sin embargo, México no está exento de la tendencia actual de pérdida de biodiversidad (Naranjo *et al.*, 2009; Martínez-Meyer *et al.*, 2014).

Las actividades antropogénicas como la destrucción y fragmentación del hábitat, sobreexplotación de especies y la contaminación del medio natural, están causando una severa crisis ambiental que trae consigo una serie de efectos adversos sobre los ecosistemas y en la diversidad biológica (Challenger *et al.*, 2009; Naranjo *et al.*, 2009; Ceballos y Ortega, 2011), siendo la pérdida de especies, una de las consecuencias más importantes (Dirzo y Raven, 2003; Ceballos *et al.*, 2009), ya que se considera que la extinción es la única problemática ambiental prácticamente irreversible (Dirzo y Raven, 2003; Ceballos y Ortega, 2011).

Estos cambios en los ecosistemas, aun siendo relativamente pequeños, pueden tener impactos importantes en las especies (Martínez-Meyer *et al.*, 2014), principalmente en aquellas que son consideradas como especialistas a determinados tipos de ambientes y que conocemos como especies endémicas (Sarukhán *et al.*, 2009). México alberga una alta proporción de estas especies (Ceballos y Ortega, 2011; Naranjo *et al.*, 2009), lo cual resalta la importancia del país en cuanto a la diversidad biológica que posee y son un factor relevante en las políticas de conservación (Sarukhán *et al.*, 2009).

La pérdida de especies trae consigo serios impactos en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Ceballos y Ortega, 2011). Tal es el caso de los árboles, elementos biológicos sobresalientes y de gran importancia en la composición de las comunidades vegetales y que además sirven como refugio de otros organismos (Niembro, 2001; Yanes *et al.*, 2001). Algunas especies de árboles proveen recursos bióticos como los frutos, que proporcionan nutrientes importantes para la supervivencia y reproducción de una amplia variedad de animales que los consumen. Pero también se debe de considerar

que los consumidores pueden llegar a tener efectos sobre los organismos de los que se alimentan, como un aumento en la depredación y alteraciones en la dispersión de semillas (Howe, 1986; Laffitte y Suárez-Esteban, 2015), siendo esta última, fundamental en el mantenimiento de las poblaciones vegetales y su diversidad genética (Jordano, 2010; Mendoza y Camargo-Sanabria, 2014; González-Varo, 2015).

1.1 El papel de la frugivoría.

La interacción entre los frutos, semillas y sus consumidores es de gran relevancia en la regeneración de la vegetación de los ecosistemas terrestres y para la conservación de las especies (Bascompte y Jordano, 2006; Jordano, 2010).

Esta interacción, también llamada frugivoría, representa una interacción biótica mutualista (Herrera, 1995; Galetti, 2002; Bascompte y Jordano, 2006), la cual se caracteriza por el consumo de frutos y semillas ofrecidos por las plantas, los cuales otorgan compuestos nutricionales a los consumidores (Vander-Wall y Beck, 2012; González-Varo, 2015) y que en ciertas temporadas del año, son clave en la alimentación de la fauna (Mendoza-Ramírez y Camargo-Sanabria, 2014), mientras que los consumidores brindan servicios de dispersión a las plantas que los alimentan (Jordano, 2010).

La dispersión de semillas por animales frugívoros, es un proceso fundamental en el ciclo de vida de las plantas que dependen de este medio para su reproducción (Nogales *et al.*, 2017), ya que tiene importantes consecuencias en la demografía, en la distribución espacial y en el flujo de genes (Vander-Wall y Beck, 2012), donde la participación de otros organismos, como los animales frugívoros, es fundamental en dicho proceso (Jordano, 2010). La efectividad de un frugívoro como dispersor, está determinada por la forma en que maneja los frutos y las semillas en su boca y en su tracto digestivo (Traveset *et al.*, 2007).

Por otra parte, los frutos representan un recurso alimenticio esencial en la dieta de sus consumidores (Howe, 1986; Herrera, 1989; Jordano 2010; Rodríguez, 2013), sin embargo, la preferencia de frutos no es igual para todas las especies disponibles en su hábitat, esta preferencia está condicionada por determinadas características del fruto que lo

hacen más atractivo para el consumidor (Jordano, 2010). El espectro de posibles dispersores depende de rasgos como el tamaño del fruto y de las semillas, el color y el olor que desprenden (Rodríguez, 2013), la cantidad de semillas y pulpa que producen (Herrera, 1989; Jordano, 2010), la accesibilidad al fruto (Herrera, 1989) el contenido de agua, la composición química y el contenido nutricional que poseen (Jordano, 2010).

Incrementar el conocimiento de las interacciones entre frutos, semillas y sus consumidores es fundamental para la comprensión de su ecología y a la vez permite diseñar medidas de conservación tanto para los frugívoros como para las plantas dispersadas (Jordano, 2010; Bascompte y Jordano, 2014).

1.2 Dispersión de semillas por mamíferos frugívoros.

En el caso de los mamíferos, el papel que juegan en la frugivoría es de gran importancia (Herrera, 1989; González-Varo, 2015), ya que poseen rasgos físicos que benefician a la dispersión de semillas. Características como su tamaño corporal y bucal, los convierten en consumidores que no están sujetos a restricciones morfológicas del fruto y de las semillas, en comparación con las aves por ejemplo, que están condicionadas a la ingesta de frutos de acuerdo con sus rasgos físicos, especialmente el tamaño de sus picos (Herrera, 1989; Jordano, 2010).

De igual manera, se ha demostrado que los mamíferos tienen un papel importante como dispersores de semillas (Jordano, 2010; Matías *et al.*, 2010; González-Varo, 2015; Mendoza y Camargo-Sanabria, 2014). Estos animales regurgitan, escupen o defecan las semillas lejos de las plantas parentales luego de ser consumidos los frutos (Jordano, 2010), debido a que tienen mayores requerimientos espaciales y de movilidad (Jordano *et al.*, 2007; González-Varo, 2015) y retienen las semillas en su tracto digestivo largo tiempo (Traveset, 1998; Jordano *et al.*, 2007).

Tales características, permiten a las semillas escapar de la mortalidad causada por la competencia, por el ataque de hongos y de depredadores que concentran su actividad cerca de los árboles semilleros (Janzen, 1970). De igual manera, durante el proceso de dispersión,

las semillas pueden obtener otros beneficios derivados del paso por el tracto digestivo de los mamíferos frugívoros, tales como la eliminación de la pulpa del fruto y la escarificación de la testa (Janzen *et al.*, 1985; Howe, 1990; Traveset, 1998; Fricke *et al.*, 2013; Medrano *et al.*, 2014), aumentando así la probabilidad y velocidad de germinación de las semillas (Traveset, 1998). Y por último, en algunas ocasiones el material fecal restante ofrece un microambiente enriquecido con nutrientes para la germinación de las semillas (Cosyns *et al.*, 2006)

Por otra parte, existen situaciones donde los frugívoros defecan semillas viables, pero presentan una germinación menor a las semillas tomadas directamente de los frutos (Nogales, *et al.*, 2005; Silva, *et al.*, 2005). En otros casos la cubierta que protegen a las semillas se debilita demasiado, lo que podría aumentar la probabilidad de mortalidad (Janzen *et al.*, 1985). Características como el tiempo de retención de las semillas en el tracto digestivo, así como el tamaño de la semilla y la dureza de la testa influyen en el efecto producido sobre la viabilidad y germinación de la semilla (Janzen *et al.*, 1985; Traveset, 1998).

Traveset (1998), realizó una revisión de los efectos que tienen las semillas por el paso del tracto digestivo de los frugívoros sobre la germinación de las mismas, en la cual se concluyó que la mejora en la germinación ocurrió aproximadamente el doble de frecuencia que la inhabilitación de las semillas. De igual manera Fedrani y Delibes (2009), documentaron que el tiempo de germinación generalmente se aceleró en las semillas que pasaron por el tracto digestivo de mamíferos. Lo anterior resulta muy favorable, ya que la germinación temprana normalmente mejora la aptitud en el desarrollo de la planta (De Luis *et al.*, 2008).

Una vez dispersada la semilla, el sitio donde es depositada también influye de manera significativa sobre la probabilidad de germinación, ya que muchas de las semillas que son dispersadas nunca llegan a germinar en los sitios donde fueron depositadas, por ser lugares carentes de nutrientes y en general de las condiciones necesarias para el establecimiento y crecimiento de las plántulas (Traveset, 1998; Jordano *et al.*, 2007). O bien, los mamíferos frugívoros podrían facilitar la germinación al depositar las semillas en microhábitats adecuados (Silva *et al.*, 2005; Rojas-Robles *et al.*, 2012).

Las funciones ecológicas que desempeñan los mamíferos frugívoros, como la dispersión de semillas son claves para las comunidades vegetales, ya que el alto intervalo de movimiento promueve la conectividad entre poblaciones vegetales, así como la colonización de nuevos espacios (Matías *et al.*, 2010; González-Varo, 2015) y la permanencia de la comunidad vegetal (Jordano, 2010).

Cabe destacar que problemáticas como la caza de estos agentes de dispersión, detiene la posibilidad de tener eventos de dispersión a mayor distancia, lo que condiciona a las semillas a establecerse en sitios restringidos (Corlett, 2017). Colateralmente se puede afectar o incluso eliminar el reclutamiento de nuevos individuos de determinadas especies o alterar seriamente el flujo genético entre poblaciones (Jordano *et al.*, 2007). Inversamente, la pérdida de especies arbóreas proveedoras de frutos carnosos que son clave en la alimentación de los frugívoros podría conducir a su eliminación local (Howe, 1990; David *et al.*, 2015).

En este sentido se han realizado diversos estudios que abordan las interacciones que existen entre los frugívoros y las especies vegetales proveedoras de frutos, por ejemplo, la investigación de Medrano *et al.*, (2014), en la cual por medio de recolección de excretas en campo, se determinó el espectro de mamíferos consumidores de frutos, además de proveer información sobre la dispersión y la germinación de las semillas; y la investigación realizada por Acevedo-Quintero y Zamora-Abrego (2015), en la cual por medio de la técnica de foto-trampeo, se logró documentar a las especies consumidoras del fruto de *Mauritia flexuosa* y además se pudo determinar el tipo de comportamiento de cada especie con respecto al manipuleo del fruto.

El foto trampeo, es cada vez más común para el ámbito de la investigación científica, ya que representa un método simple y de relativa facilidad que ha permitido conocer aspectos de la naturaleza que antes eran inaccesibles, debido a que son aparatos discretos que por ejemplo, permiten la visualización de los comportamientos de los individuos que de otra manera serían imposibles de conocer (Hance, 2012).

2. Antecedentes.

2.1 *Diospyros xolocotzii*, especie endémica y en peligro de extinción.

Diospyros xolocotzii Madrigal & Rzed., comúnmente llamada zapote prieto, es la especie del género *Diospyros* más recientemente en México. Su primer registro fue dentro de la localidad de La Mintzita, en el Municipio de Morelia, Michoacán de Ocampo en el año de 1985, en donde se estimó una densidad poblacional de solamente 20 individuos distribuidos en una área menor a 10 hectáreas, causas por las cuales fue considerada como una especie amenazada (Madrigal y Rzedowski, 1988).

En un estudio realizado en el año 2009, Sánchez-Atanacio documentó una población total de 56 individuos para La Mintzita, constituida principalmente por plantas juveniles en etapas no reproductivas. Para el año siguiente, la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en la NOM-059SEMARNAT-2010, catalogó a la especie *D. xolocotzii* como endémica del estado de Michoacán de Ocampo y en peligro de extinción (SEMARNAT, 2010).

En el año 2014, se realizó la última revisión oficial de la distribución de *D. xolocotzii* (Torres y Arizaga, 2014), la cual describe la localidad tipo perteneciente a la Mintzita y la presencia de otras tres poblaciones. De manera paralela a la descripción de nuevas localidades, se han desarrollado varios estudios en torno a esta especie, tales como su potencial de aprovechamiento agronómico (Sánchez-Atanacio, 2009), aspectos de su propagación vegetativa (Beltrán, 2012), importancia trófica de los frutos y demografía poblacional (Bacilio, 2013), así como los cambios bioquímicos en el proceso de maduración de los frutos (Guzmán, 2014).

Una revisión del género *Diospyros* en el Neotrópico por Wallnöfer (2009), propone que *D. xolocotzii* es una sinonimia de *D. johnstoniana*, la cual se reportó previamente con poblaciones en Guatemala y el Salvador. No obstante, aún no se han colectado las flores en estas poblaciones para confirmar la sinonimia de esta especie. Derivado de lo anterior, en 2015 se realizó una modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059SEMARNAT-2010, en la que *D. xolocotzii* aún conserva la categoría de endémica, en peligro de extinción y se reconoce como sinónimo de

Diospyros johnstoniana Standl & Steyerm (SEMARNAT, 2015). Para el presente trabajo, se utilizó el nombre de *Diospyros xolocotzii*, al igual que en investigaciones previas sobre este especie en el país.

2.2 Descripción de *Diospyros xolocotzii*.

El género *Diospyros*, perteneciente a la familia Ebenaceae, presenta alrededor de 20 especies en México (Pacheco, 1981; Carranza, 2000), de las cuales algunas tienen importancia por sus frutos comestibles (Sánchez-Atanacio, 2009). La descripción de *D. xolocotzii*, corresponde a la descripción de la localidad tipo elaborada por Madrigal y Rzedowski (1988):

“*Diospyros xolocotzii*, es un árbol dioico, que va de los 4 a los 7 metros de altura. El tronco mide de 15 a 30 cm de diámetro, el color de la corteza es castaño-grisáceo y con escamas en la parte inferior que se desprenden. Posee una madera semi-dura y moderadamente pesada, con color amarillo-castaño cuando está fresca y al secarse toma un color castaño-grisáceo oscuro con algunas vetas claras. Las hojas son cuneadas y ovaladas de 2-3.5 cm de longitud por 1 cm de ancho aproximadamente, son color verde oscuro y ligeramente brillantadas. Las flores de ambos sexos se ubican en las ramillas terminales y son color blanco-crema” (Figura 1).

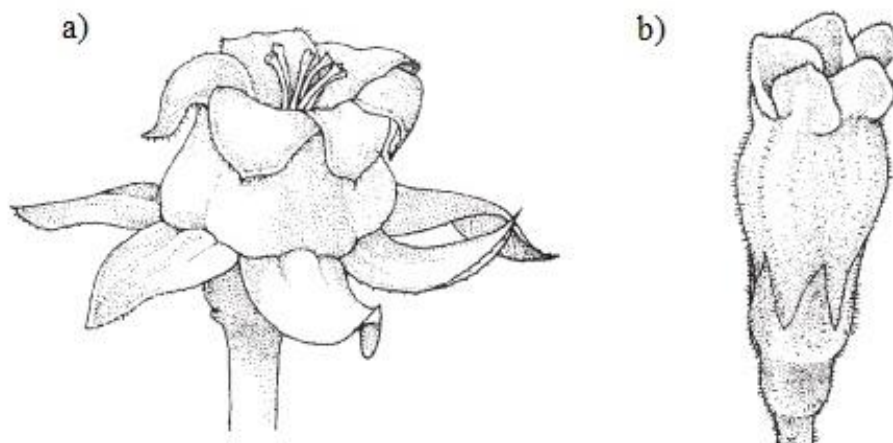


Figura 1. Flores de *Diospyros xolocotzii* Madrigal & Rzedowski. a) flor femenina; b) flor masculina. Tomado de Carranza, (2000).

Esta especie es una planta clonal, por lo tanto, presenta dos tipos de individuos: 1) genets, que son individuos formados a partir de una semilla, y 2) ramets, que son individuos clonados mediante propagación vegetativa de raíces (Madrigal y Rzedowski, 1988; Beltrán, 2012; Bacilio, 2013).

En la descripción tipo se catalogó a la especie como caducifolia, sin embargo, trabajos fenológicos posteriores demostraron que se trata de una planta perennifolia que puede ser defoliada intensamente por hormigas del género *Atta* dando la impresión de ser caducifolia (Sánchez-Atanacio, 2009).

2.2.1 Características del fruto.

Los frutos se ubican en las ramillas terminales, presentan el ápice aplanado, provistos de cáliz persistente, epicarpio delgado con superficie glabra, lisa y brillante; son subglubosos, y cuentan con un tamaño aproximado de 3-4.5 cm de largo por 2.5-3.5 de ancho (Madrigal y Rzedowski, 1988) (Figura 2).

De acuerdo con Guzmán (2014), el fruto presenta cambios morfológicos y fisiológicos a lo largo de su madurez. En etapas tempranas de su maduración, los frutos tienen una coloración verde claro, además son firmes y duros. En etapa intermedia de maduración, presentan coloración verde olivo, semiduro y semi-maduro y en la última etapa de maduración son de color café oscuro hasta negro; asimismo, el mesocarpio es de consistencia suave, abundante y de color negro con un sabor agradable y dulce.

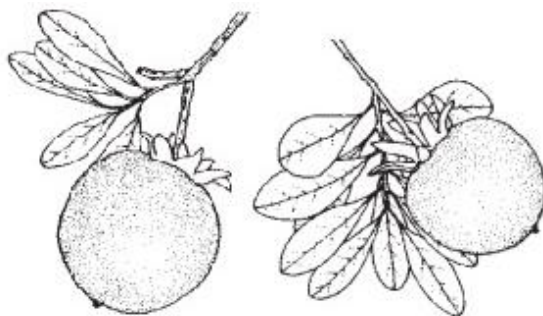


Figura 2. Frutos de *Diospyros xolocotzii* Madrigal & Rzedowski. Tomado de Carranza, (2000).

En el estudio realizado por Sánchez-Atanacio (2009), se determinó que el mesocarpio del zapote prieto tiene un gran valor nutricional en comparación con el del zapote negro (*Diospyros digyna*) especie domesticada y fuertemente comercializada, ya que contiene altos niveles de proteína, azúcares y otras propiedades (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados comparativos del análisis bromatológico en *D. xolocotzii* y *D. digyna*. Tomado de Sánchez-Atanacio (2009).

| Variables analizadas | <i>D. xolocotzii</i> (%) | <i>D. digyna</i> (%) |
|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Humedad | 75.74 ± 1.74 | 87.73 |
| Cenizas | 1.03 ± 0.11 | 0.66 |
| Grasas | 0.93 ± 0.03 | 0.78 |
| Proteínas | 1.02 ± 0.09 | 0.91 |
| Fibra cruda | 1.92 ± 0.53 | 1.24 |
| Carbohidratos totales | 19.29 ± 1.53 | 8.69 |

De acuerdo con la descripción tipo (Madrigal y Rzedowski, 1988), los frutos de *D. xolocotzii* en promedio contienen de 2 a 5 semillas, las cuales son oblongas y deprimidas que van de los 1.5-1.8 cm de largo por 1-1.1 de ancho en la parte media, son de color castaño claro y poseen una testa brillante, ligeramente rugosa y dura.

2.3 Distribución de *Diospyros xolocotzii*

De acuerdo a Torres y Arizaga (2014), existen tres poblaciones del zapote prieto y la localidad tipo perteneciente a la Mintzita (Tabla 2).

La unidad ambiental al que pertenecen es matorral subtropical y en algunos casos zonas rurales con vestigios de matorral subtropical. Tres localidades se encuentran dentro del Municipio de Morelia, Mich, 1) Santa María de Guido, que cuenta únicamente con un individuo; 2) Santiago Undameo, Mich., que cuenta con cinco individuos, posicionando a ambas localidades como relictos en estado crítico y potencialmente amenazadas; 3) la Zona

sujeta a preservación ecológica Manantial La Mintzita., que cuenta con 56 individuos colocando su conservación en estado crítico.

Se documentó la localidad de San José de las Pilas en Acámbaro, Gto., que hasta el momento se considera el sitio mejor conservado para la especie y con mayor número de individuos en todo el país, con alrededor de 1500 individuos, considerándose en buen estado de conservación (Torres y Arizaga, 2014).

Tabla 2. Descripción del hábitat de las localidades de *D. xolocotzii* y localidad tipo. Tomado de Torres y Arizaga, (2014).

| Localidad (Municipio, Estado) | Ubicación geográfica | Altitud (m.s.n.m.) | Unidad ambiental | Estado de conservación | No. de individuos |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| San José de las Pilas, Acámbaro, Gto. | 19°59'58'' N 100°53'32'' O | 2077 | Matorral subtropical | Bueno | 1500 |
| Santa María de Guido, Morelia, Mich. | 19°40'16.6'' N 101°11'28.2'' O | 2030 | Zona urbana con vestigios de matorral subtropical | Extremadamente crítico | 1 |
| Santiago Undameo, Morelia, Mich. | 19°35'44'' N 101°17'13'' O | 2025 | Zona rural agrícola con vestigios de matorral subtropical | Muy crítico | 5 |
| Manantial la Mintzita, Morelia, Mich. | 19°38'44.5'' N 100°16'28.4'' O | 1900 | Zona rural agrícola con vestigios de matorral subtropical | Crítico | 56 |

En los años 2015 y 2016 se descubrieron dos nuevas localidades. La primera fue en Queréndaro, Michoacán, documentando una población de tres individuos. Mientras que la segunda localidad que fue descubierta por el Dr. Ignacio Torres-García, se ubica en el Municipio de Sahuayo de Morelos, Michoacán; en este caso, la densidad poblacional aún

no había sido caracterizada antes de este estudio, aunque se habían registrado en un inicio menos de cinco individuos. Posteriormente a finales del 2017 se contabilizaron poco menos de 50 individuos con una adecuada producción de frutos (Torres y Arizaga, en preparación).

Por lo tanto, la distribución actual que exhibe *D. xolocotzii*, sugiere que se trata de especie endémica de México, concentrada principalmente en la Cuenca del Lago de Cuitzeo y en el Occidente del país, compartiéndose entre Michoacán y Guanajuato (Torres y Arizaga, 2014).

3. Justificación.

A pesar de que se ha incrementado el conocimiento poblacional pasando de 1 a 6 poblaciones silvestres de *Diospyros xolocotzii* en los últimos 15 años (Torres y Arizaga, 2014; Torres y Arizaga, en preparación), se encuentra potencialmente amenazada debido principalmente a las actividades antropogénicas en su hábitat natural, como el cambio de uso de suelo con fines agropecuarios y asentamientos humanos, los cuales afectan los procesos naturales de regeneración con la consecuente reducción de los individuos y poblaciones. Lo anterior pone en riesgo de extinción a la especie en la mayoría de las localidades conocidas del país (Torres y Arizaga, 2014).

Por otro lado, se ha avanzado en el conocimiento de algunos aspectos ecológicos y poblacionales de la especie (Sánchez-Atanacio, 2009; Beltrán, 2012; Bacilio, 2013; Guzmán, 2014; Torres y Arizaga, 2014). Sin embargo, aún existen algunos aspectos de su biología que no se han estudiado detalladamente.

Tal es el caso de la interacción que se presenta entre el zapote prieto con los frugívoros con quienes interactúa; proceso biológico que ya se ha alterado y/o perdido en aquellas localidades fragmentadas y con pocos individuos. En estos casos, las poblaciones del zapote ya se encuentran incluidas en la matriz de las parcelas agrícolas como en La Mintzita y Santiago Undameo, o en el interior de las propiedades de las casas, como sucede en Santa María de Guido, en donde solamente hay un árbol masculino totalmente aislado

(Torres y Arizaga, 2014). Bajo este contexto, sólo la población de San José de la Pilas, Gto., es donde aún persisten procesos funcionales del ecosistema en donde participa el zapote prieto (Bacilio, 2013).

En la investigación de Bacilio (2013), se incluyó un breve apartado acerca de los principales consumidores del zapote prieto San José de la Pilas, Gto., en la cual se documentó un total de seis especies de mamíferos que tienen interacciones directas con el fruto del zapote: cacomixtle (*Bassariscus astutus*), mapache (*Procyon lotor*), coatí o tejón (*Nasua narica*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), conejo (*Silvilagus* sp.) y roedores (Rodentia). Sin embargo, se concluyó que si bien esta información apoya a la hipótesis de que los mamíferos frugívoros actúan como consumidores del fruto del zapote prieto, es necesario realizar investigaciones más detalladas para afirmar que los mamíferos frugívoros que consumen los frutos del zapote prieto funcionan como dispersores de las semillas en su hábitat y por ende, son elementos bióticos que contribuyen de manera importante a la conservación de la especie.

Por otro lado, en la población de zapote prieto recientemente descubierta en la barranca El Añil ubicada en el municipio de Sahuayo de Morelos, Mich., no se ha realizado ningún tipo de estudio. Con base a lo anterior, es necesaria la evaluación de los atributos demográficos de la especie de esta nueva localidad y por otro lado, es factible que en esta población también puedan prevalecer interacciones entre frugívoros y el zapote prieto.

Cabe destacar que aún no se ha realizado ningún tipo de diagnóstico en que se incluya la relación que tiene el zapote prieto con los pobladores de las localidades en donde se encuentra esta especie silvestre, habitantes del poblado de San José de las Pilas y los habitantes de El Güiro, población humana más cercana a los individuos de zapote prieto en la barranca de El Añil.

Con base a lo descrito anteriormente, el presente trabajo busca profundizar en el conocimiento del papel que desempeñan los mamíferos frugívoros en la conservación del zapote prieto (*Diospyros xolocotzii*), así como esclarecer el estado de conservación de la población silvestre del zapote prieto en la barranca “El Añil” de Sahuayo, Michoacán.

Ampliando los conocimientos acerca de los medios reproductivos de la especie, así como darle seguimiento a las notificaciones de nuevas poblaciones del zapote prieto, es clave para robustecer propuestas de manejo y conservación, que promuevan la persistencia de la especie a través del tiempo y para incrementar el conocimiento de la biodiversidad en México.

4. Objetivos.

4.1. Objetivo general.

Profundizar en el conocimiento del papel que desempeñan los frugívoros en la conservación del zapote prieto (*Diospyros xolocotzii*) en las localidades de San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato y El Añil, Sahuayo de Morelos, Michoacán de Ocampo.

4.2. Objetivos particulares.

- Determinar la estructura poblacional de *D. xolocotzii* en El Añil, Sahuayo de Morelos, Mich.
- Identificar a los consumidores y dispersores potenciales del zapote prieto (*D. xolocotzii*) en las poblaciones de San José de las Pilas, Acámbaro, Gto., y El Añil, Sahuayo de Morelos, Mich.
- Determinar la importancia de los frutos del zapote prieto (*D. xolocotzii*) en la dieta de los mamíferos frugívoros.
- Determinar el papel de los frugívoros en la germinación de las semillas del zapote prieto (*D. xolocotzii*).
- Recopilar el conocimiento de los habitantes de San José de las Pilas, Acámbaro Gto., y El Güirio, Sahuayo de Morelos Mich., respecto al zapote prieto (*D. xolocotzii*).

5. Métodos.

5.1. Descripción del área de estudio.

El trabajo de campo de la presente investigación se desarrolló en las poblaciones silvestres de *D. xolocotzii* ubicadas en: 1) San José de la Pilas, Acámbaro, Guanajuato; y 2) El Añil, Sahuayo de Morelos, Michoacán de Ocampo. A continuación, se hace una descripción de estas localidades.

5.1.1. San José de la Pilas, Acámbaro, Guanajuato.

Este sitio de estudio se ubica en una barranca cercana a la comunidad de San José de las Pilas, dentro de municipio de Acámbaro, el cual tiene colindancias al sur con el estado de Michoacán de Ocampo (Figura 3). La temperatura anual promedio es de 18° C (INEGI, 2007), la precipitación anual es de 700 a 900 mm (INEGI, 2009) y de acuerdo con la clasificación de Koeppen modificada por Enriqueta García el clima corresponde a templado subhúmedo (INEGI, 2018).

La barranca presenta una topografía abrupta con altitudes que van desde los 1,900 a 2,570 msnm; la vegetación pertenece a un matorral subtropical, el cual se encuentra en buen estado de conservación. Algunas especies leñosas que destacan en el área de estudio son: *Acacia farnesiana*, *Casimiroa edulis*, *Cedrela dugesii*, *Celtis caudata*, *Condalia velutina*, *Ehretia latifolia*, *Erythrina* sp., *Euphorbia tanquahuete*, *Eysenhardtia polystachya*, *Ipomoea murucoides*, *Prosopis laevigata* y *Prunus brachybotrya* (Torres y Arizaga, 2014).

La población de zapote prieto en San José de las Pilas la conforma un total de 1500 individuos aproximadamente (Torres y Arizaga, 2014). De acuerdo con Bacilio (2013), presentan una distribución agregada conformada por cuatro subpoblaciones, las cuales guardan distancias que oscilan desde los 125 y los 425 metros.

La población humana más cercana a los individuos del *D. xolocotzii* es la comunidad rural de San José de las Pilas (Figura 3), ubicada dentro del municipio de Acámbaro, la cual cuenta con un total de 291 habitantes (INEGI, 2018).

5.1.2 El Añil, Sahuayo de Morelos, Michoacán de Ocampo.

Esta localidad se ubica en la barranca de El Añil, que pertenece a la comunidad de El Güirio, Municipio de Sahuayo en el estado de Michoacán de Ocampo (Figura 3).

La temperatura anual promedio es de 18° (INEGI, 2007), con una precipitación anual de 700 a 1000 mm (INEGI, 2009). El clima corresponde a templado subhúmedo de acuerdo con la clasificación Koeppen modificada por Enriqueta García (INEGI, 2008). La sección de la barranca donde se ubican los individuos del zapote prieto presenta altitudes que van de los 1,900 a los 2,060 msnm.

Previo a este estudio no hay documentación del tipo de vegetación ni de las especies que acompañan al *D. xolocotzii* en la cañada El Añil específicamente. Sin embargo, se documenta que para el municipio de Sahuayo la vegetación corresponde a un matorral subtropical y se pueden localizar especies como el tepeguaje (*Lysiloma acapulcensis*), ciuita (*Heliocarpus terebinthaceus*), palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), copal (*Bursera bipinnata*), pochote (*Ceiba aesculifolia*) y el acibucho (*Forestiera phyllyreoides*) (DOF, 2015).

La población humana más cercana a los individuos del *D. xolocotzii* es la comunidad rural El Güirio (Figura 3), perteneciente al municipio de Sahuayo, la cual cuenta con un total de 227 habitantes (INEGI, 2018).

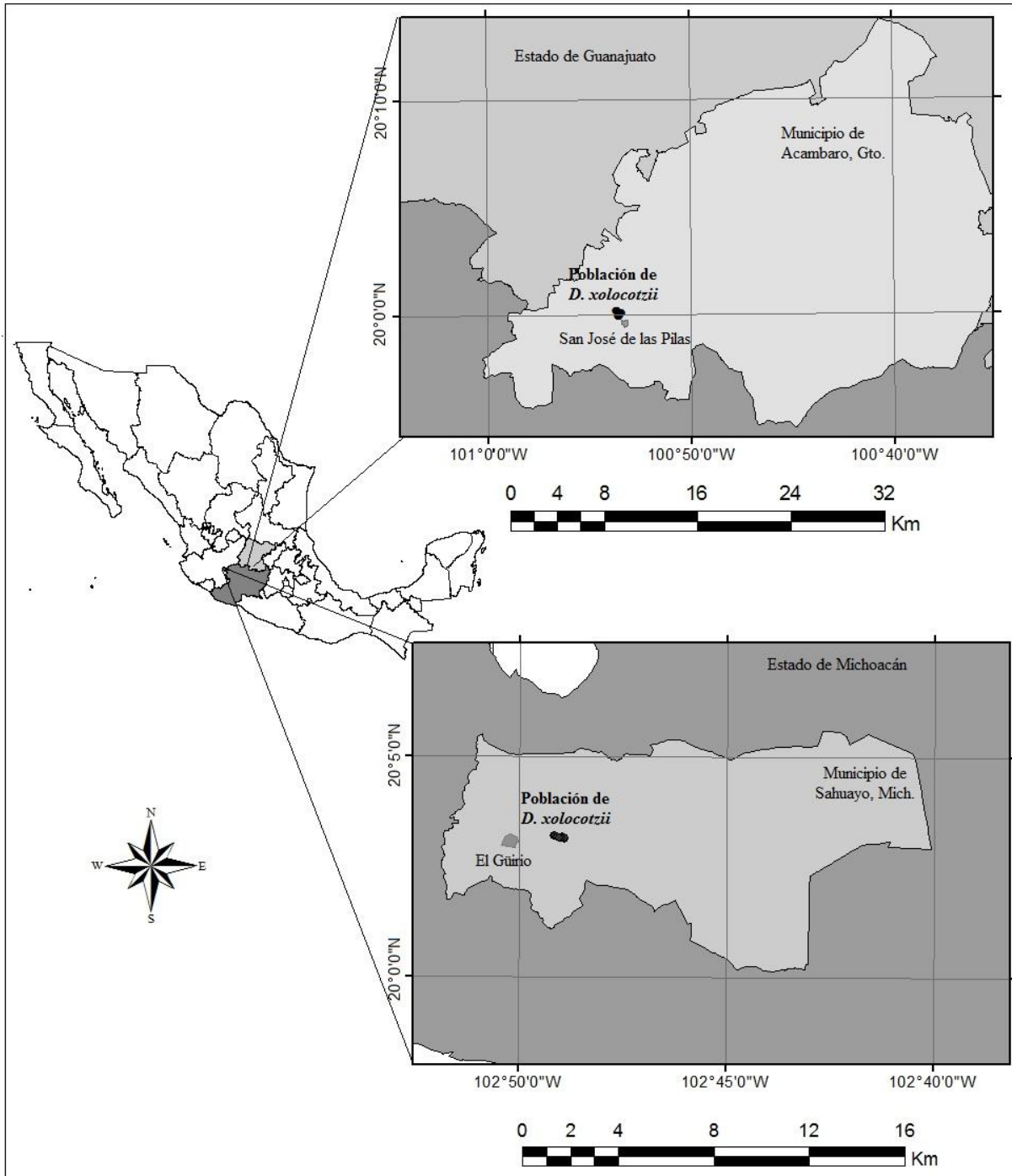


Figura 3. Sitios de estudio: a) Población de *D. xolocotzii* ubicada en la barranca de San José de las Pilas, Acámbaro, Gto.; b) Población de *D. xolocotzii* ubicada en la barranca El Añil, Sahuayo de Morelos, Mich.

5.2. Estructura poblacional de *D. xolocotzii* en El Añil, Sahuayo, Mich.

Se realizó una evaluación de atributos poblacionales y dasométricos (número de individuos, altura, diámetro del follaje y diámetro del tronco) entre los individuos de la población de *D. xolocotzii* ubicados en El Añil.

Para la evaluación de la estructura poblacional de *D. xolocotzii* ubicada en la barranca El Añil, se realizó un censo poblacional por medio de un conteo directo de todos los individuos presentes en la población. Debido a que es una especie clonal, que presenta dos tipos de individuos (genets y ramets), se consideró como un individuo genet, a aquellos que estuvieran a una distancia de 1.5 m respecto al individuo más cercano.

De cada individuo se registraron los siguientes datos: altura (m), diámetro del follaje (m) y diámetro a la altura del pecho (DAP) (cm). A los individuos que presentaron una altura menor a 130 cm se les registró el área basal (cm) en lugar del DAP.

Para el análisis de los datos se obtuvieron los estadísticos básicos: media, desviación estándar (SD) y el coeficiente de asimetría, este último permite representar con un valor numérico el sesgo de la distribución para cada uno de los atributos. Los datos fueron exportados desde excel a formato CSV para posteriormente realizar los análisis estadísticos en el lenguaje de programación R.

Por otra parte, se realizó una categorización por tamaños de cada uno de los atributos, en el caso de la altura se realizó por medio de la Regla de Sturges (Sturges, 1926) y para la diámetro de follaje, el diámetro a la altura del pecho (DAP) y diámetro basal, por medio la regla de referencia de Scott (Scott, 1979), para su mejor representación por medio de un histograma.

5.3. Frugivoría de frutos de *Diospyros xolocotzii*.

La frugivoría de *D. xolocotzii* se evaluó bajo las siguientes situaciones: a) en condiciones naturales mediante la oferta de frutos en estaciones de alimentación monitoreadas con cámaras trampa; y (b) presencia de semillas de *D. xolocotzii* en excretas colectadas en campo bajo condiciones naturales.

5.3.1. Estaciones de alimentación en ambas poblaciones de estudio

Con el fin de identificar a las especies animales consumidoras y posibles agentes de dispersores de semillas del zapote prieto en vida silvestre, se realizaron estaciones de alimentación en las poblaciones de esta especie, del día 20 al 26 de Abril del año 2017 en la población de San José de las Pilas y del día 17 al 22 de Abril del año 2018 en la población de El Añil, Sahuayo.

En cada estación de alimentación contuvo un total de diez frutos con similar estado de maduración y tamaño para no afectar su preferencia por parte de los consumidores potenciales. Los frutos fueron colocados debajo de los árboles del zapote prieto. Las estaciones de alimentación fueron georeferenciadas y estuvieron acompañadas de una cámara trampa marca Cuddeback la cual fue programada en formato de imágenes (ráfaga de tres imágenes consecutivas) seguidas de un video con duración de 30 segundos, con fin de captar el comportamiento de los individuos atraídos por los frutos. Las cámaras trampa se ataron al fuste del árbol contiguo a las estaciones de alimentación a la distancia de 30 a 50 cm del suelo, apuntando hacia los frutos.

Las estaciones de alimentación y las cámaras trampa, fueron monitoreadas cada 24 horas, con el fin de supervisar el consumo de frutos y el estado de las cámaras trampa. Una vez que todos los frutos fueron consumidos por lo menos un 60% de su volumen, la estación se cambió a un nuevo sitio. En caso contrario, se dejaba la estación hasta llegar a tal porcentaje o el consumo total de frutos; si no se registraba consumo dentro de un periodo de tres días, la estación se trasladaba a un nuevo punto a una distancia mínima de 30 metros para abarcar todo el territorio dentro de las subpoblaciones en el caso de San José de las Pilas y dentro de la población en El Añil.

En el caso de la población de San José de las Pilas, se establecieron un total de tres estaciones de alimentación por cada una de las cuatro subpoblaciones, haciendo un total de 12 estaciones (Figura 4). Para la población ubicada en El Añil, se establecieron 12 de estaciones de alimentación en distintos sitios dentro de la misma (Figura 5).

De cada video registrado, se tomaron los siguientes datos: nombre y número de la estación de alimentación, fecha, hora, nombre científico de la especie, nombre común de acuerdo a la literatura especializada, número de individuos y el comportamiento respecto al manejo que hacen a los frutos, el cual se clasificó de acuerdo con una modificación a las acciones propuestas por Acevedo-Quintero y Zamora-Abrego (2016): 1) *Consumo*, cuando se comprueba la ingesta únicamente de la pulpa de los frutos; 2) *Consumo y dispersión*, cuando se comprueba la ingesta del fruto sin discriminar semillas, asumiendo que consumo de las semillas implica su traslado a un nuevo punto; 3) *Remoción*, cuando el individuo sale del campo de grabación trasladando frutos en su boca; 4) *Aparición*, cuando no se registran interacciones directas con los frutos ofertados en las estaciones.

Por otro lado, se documentó el tipo de alimentación de cada especie registrada y su tamaño corporal de acuerdo a la literatura. Posteriormente, para no subestimar el registro de una determinada especie y obtener un sesgo de la información, se emplearon los criterios propuestos por Acevedo-Quintero y Zamora-Abrego (2016) y Carrera-Treviño *et al.* (2016), con los cuales se determinó la independencia de los registros.

Se consideraron como registros independientes los siguientes casos: 1) videos de diferentes especies; 2) videos consecutivos de la misma especie separados por 60 minutos. Este criterio se refiere a cuando no era claro si una serie de videos pertenecían al mismo individuo, por lo que los videos tomados durante ese periodo de tiempo se consideró como una sola visita.; y 3) en caso de presentarse dos o más individuos en el mismo video, el número de visita fue igual al número de individuos observados.

El esfuerzo de muestreo se calculó multiplicando el número total de cámaras por el total de días que estuvieron activas. Al tener el número de registros independientes totales y el número de registro por especie podemos obtener la proporción de apariciones de cada

una de las especies al dividirlos, posteriormente obtenemos la frecuencia de captura al multiplicarlo por cien, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$FC = \frac{\textit{Número de registros por especie}}{\textit{Número total de registros independientes}} \times 100$$

Para el análisis conductual de los frugívoros respecto al zapote prieto, se calculó la frecuencia de cada una de las categorías de los comportamientos (CC), para todas las especies en general, con el fin de determinar el tipo de participación que tiene cada especie en el proceso de remoción de semillas. Su evaluación se determinó con la siguiente ecuación:

$$CC = \frac{\textit{Número de eventos conductuales}}{\textit{Número de eventos registrados}} \times 100$$

Donde el número de eventos conductuales se refiere al número de registros de cada categoría de comportamiento; el número de eventos registrados se refiere al total de conductas que se obtuvieron. De igual manera, se determinó el grado de participación de cada especie por cada categoría de conducta.

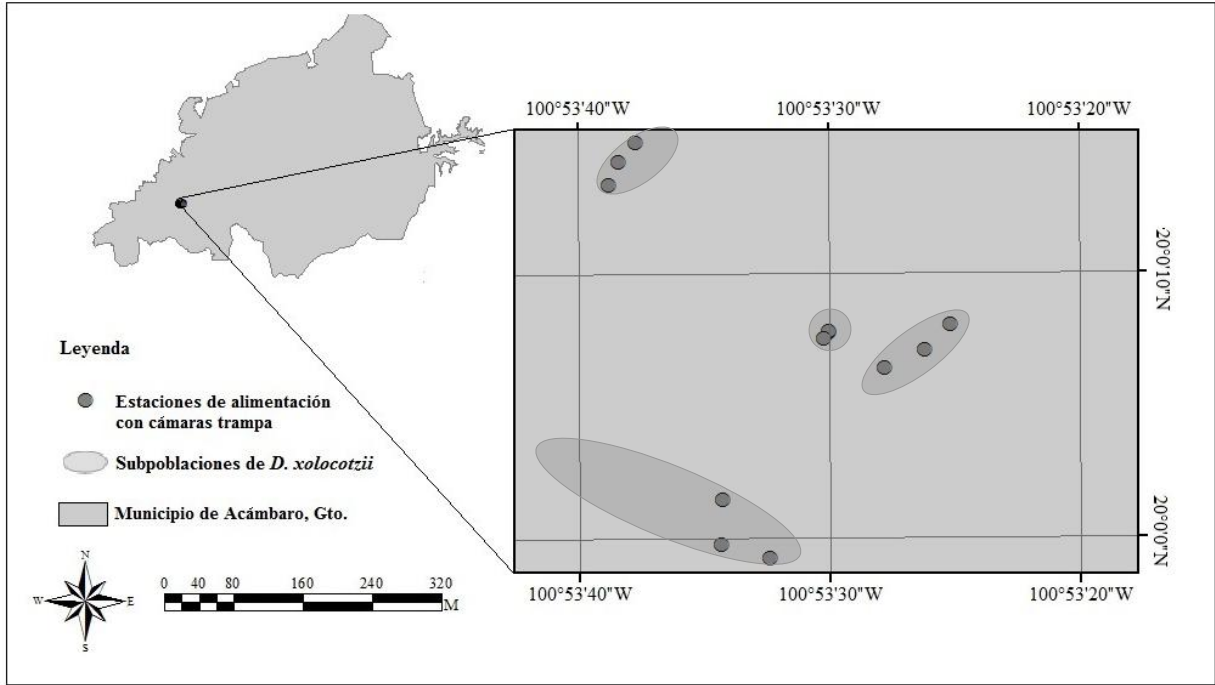


Figura 4. Ubicación de las estaciones de alimentación en las subpoblaciones de *D. xolocotzii* ubicadas en Acámbaro, Guanajuato.

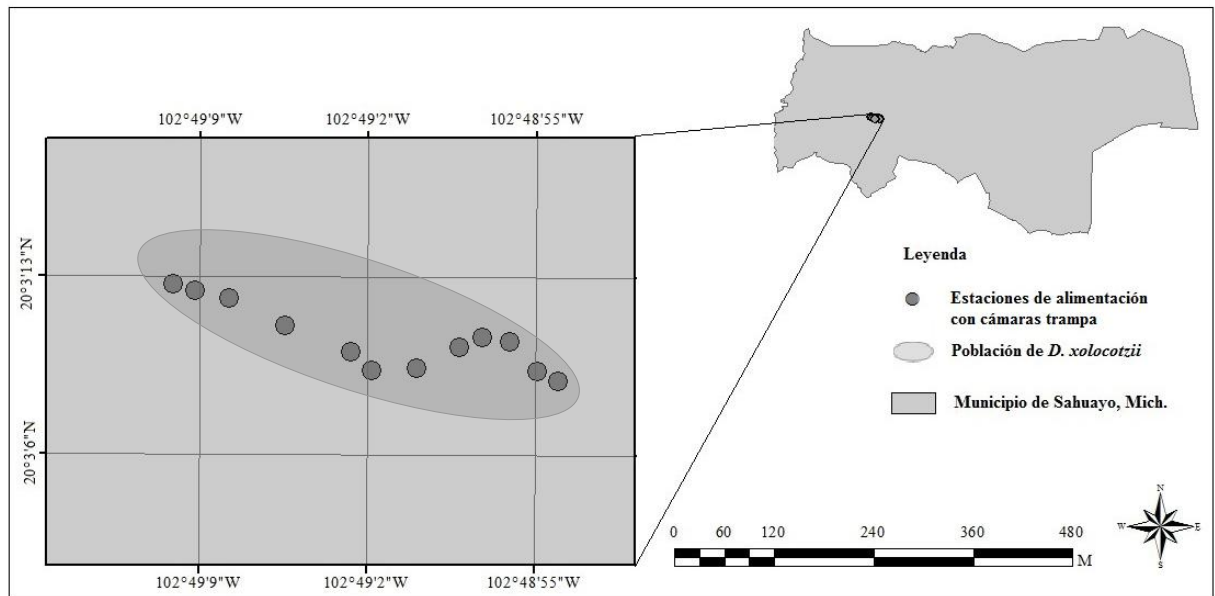


Figura 5. Ubicación de las estaciones de alimentación en la población de *D. xolocotzii* ubicada en Sahuayo, Michoacán.

5.3.2. Análisis de excretas: importancia del fruto de *D. xolocotzii* en la dieta de los frugívoros y dispersión de semillas.

Para la población en San José de las Pilas se realizaron tres recorridos en febrero, marzo y abril del 2017 por los senderos que conectan a las subpoblaciones del zapote prieto para la identificación y recolección de excretas. Para el caso de la población El Añil, se realizaron igualmente 3 recorridos alrededor de la barranca y dentro de la misma en Abril de 2018.

Las excretas se recuperaron en bolsas de papel estraza, además se tomó su georreferencia y se identificó el sustrato donde estaban depositadas. Finalmente se tomaron fotografías y características para su identificación mediante el uso de los manuales de Aranda (2010) y Aranda (2012). Las excretas que se localizaron dentro de letrinas, se colocaron por separaron y contabilizaron como muestras independientes.

Las muestras colectadas fueron secadas al aire libre y posteriormente desintegradas manualmente dentro de una caja de plástico con tapa; se utilizaron guantes quirúrgicos y tapaboca, evitando la aspiración de algún componente de la excreta. Una vez desintegrada la muestra, se extrajeron todas las semillas de las diferentes especies y se conservaron en recipientes de plásticos. Se clasificaron como morfoespecies, exceptuando las semillas de zapote prieto debido a su fácil identificación. Finalmente el Dr. Santiago Arizaga, Técnico Académico de la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia apoyo en la identificación de las especies. Las excretas que no presentaban semillas únicamente fueron contabilizadas y clasificadas como presencia de otros elementos, tales como restos de insectos.

De cada excreta se registraron los siguientes datos: número de la excreta, coordenadas geográficas, nombre científico de la especie, nombre común, sustrato en el que se encontró, nombre de las semillas y número de semillas (únicamente las semillas de *D. xolocotzii*).

Para determinar la importancia que tiene el zapote prieto en la dieta de los frugívoros se realizó un porcentaje de ocurrencia (PO) y la frecuencia relativa (FR) (Maehr y Brady, 1986). El porcentaje de ocurrencia expresa la proporción de cada especie en relación al total de excretas y está definido como:

$$PO = f_i / N \times 100$$

Donde f_i es el número de apariciones de la semilla i en las excretas y N es el número total de excretas colectadas.

De igual manera se calculó la frecuencia relativa, la cual indica el porcentaje de aparición de una determinada especie en relación al total de apariciones de todas las especies y está definida como:

$$FR = f_i / \sum f_i \times 100$$

Donde f_i es el número de apariciones de la semilla i dentro de las excretas y $\sum f_i$ equivale al total de apariciones de todas las especies.

De igual manera, con base a la identificación de la especie de cada excreta, se calculó la frecuencia relativa, la cual nos indica el porcentaje de aparición de cada especie en relación con el número total de excretas registradas.

5.3.3 Germinación de las semillas de *Diospyros xolocotzii*.

Posterior al trabajo de campo se diseñó un protocolo de germinación para las semillas de *D. xolocotzii* en laboratorio, el cual se llevó a cabo bajo los siguientes tratamientos: a) semillas testigo, corresponde a las semillas extraídas directamente de los frutos de ambos sitios de estudio; y b) semillas provenientes de excretas colectadas en ambos sitios de estudio. La germinación se cuantificó mediante experimentos en laboratorio en donde se utilizó un total de 70 semillas por cada tratamiento.

Todas las semillas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 10% durante cinco minutos, enjuagadas con abundante agua y lavadas con agua destilada. Posteriormente fueron colocadas en cajas de petri con agar bacteriológico para métodos estándar (Bioxon) al 2% y se colocaron en una cámara germinadora con fotoperiodos de

12:12 y una temperatura de 23° C, metodología utilizada en las pruebas de germinación de Bacilio (2013) con las semillas de *D. xolocotzii*.

Las semillas de los dos tratamientos fueron revisadas diariamente durante 30 días, para determinar el porcentaje de semillas germinadas. El criterio que se utilizó para considerar que una semilla había germinado fue la emergencia de la radícula.

Se comparó la capacidad germinativa (% de germinación) y tiempo medio de germinación (González-Zertuche y Orozco-Segovia, 1996) para cada uno de los tratamientos de cada sitio de estudio.

La capacidad germinativa (CG) expresa el porcentaje final de semillas que germinan en relación con el número de semillas usadas y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$CG = \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{Total de semillas}} \times 100$$

Posteriormente, se utilizó un análisis de independencia de Ji-cuadrada (χ^2) para evaluar si había diferencias en la capacidad germinativa entre los diferentes tratamientos de cada población. De igual manera se aplicó este análisis para comparar entre los mismos tratamientos cada uno de los sitios de estudio. El nivel de confianza fue del 95%.

Para obtener el tiempo medio de germinación se utilizó la fórmula:

$$TMG = \frac{\sum_{i=1}^T (t_i \times S_i)}{TSG}$$

Donde TSG es el número total de semillas germinadas, T es el número de días que las semillas estuvieron bajo observación, S_i representa el número de semillas germinadas en el día i y t_i es el número de día. Este parámetro nos expresa el promedio de días que tardaron en germinar las semillas.

5.4. Conocimiento de *D. xolocotzii* en las comunidades humanas cercanas a la especie.

Con la finalidad de realizar un diagnóstico sobre el conocimiento sobre la especie que poseen las comunidades humanas que viven cerca a las poblaciones de *D. xolocotzii*, se convocó a los habitantes de cada uno de los sitios de estudio y se realizaron las siguientes actividades:

5.4.1. Conocimiento de *D. xolocotzii* en San José de las Pilas, Acámbaro.

El 23 de Abril del 2017 se llevó a cabo la reunión con la comunidad de San José de las Pilas, (Figura 1), para lo cual se convocó a la comunidad con la autorización y ayuda de los encargados del orden y el director de la escuela primaria rural No. 3 “Benito Juárez”. En esta escuela se facilitó un aula para la realización de la reunión, lo que permitió el uso de medios digitales.

El diálogo se realizó centrándose en cuatro temas en específico: a) presentación acerca del conocimiento básico de la especie *D. xolocotzii*, descubrimiento, otras poblaciones de la especie, estado de conservación, investigaciones realizadas; b) reconocimiento y uso del zapote prieto (mediante el uso de imágenes del árbol y de sus frutos); c) fauna silvestre que reconozcan como consumidores del zapote prieto; y d) presentación de la presente investigación.

5.4.2. Conocimiento de *D. xolocotzii* en El Güirio, Sahuayo.

En el caso de la comunidad El Güirio, población cercana a la barranca El Añil (Figura 1), se llevó a cabo la reunión el 21 de Abril de 2018; con ayuda del encargado del orden se convocó a la población en el atril de la iglesia de la comunidad, por lo cual no se tuvo acceso a medios digitales.

De igual manera, el diálogo se guio bajo cuatro temas en específico: a) presentación acerca de los antecedentes de *D. xolocotzii*; b) reconocimiento y uso del zapote prieto; c) fauna silvestre que vinculen a la barranca y al consumo del zapote prieto; y d) presentación de la presente investigación.

6. Resultados.

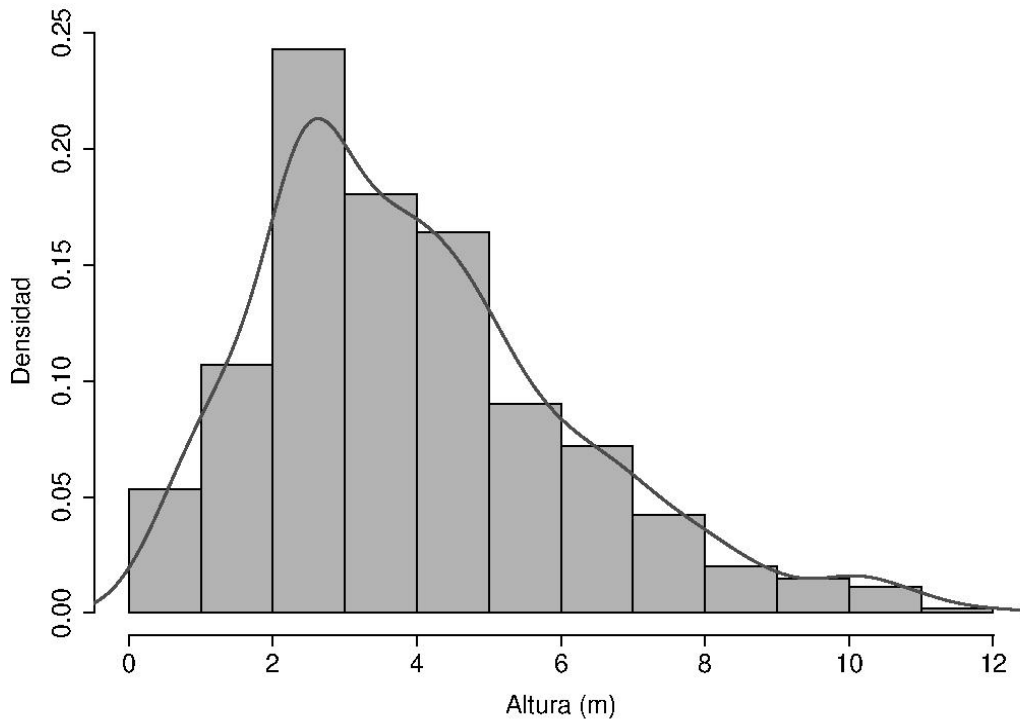
6.1. Estructura poblacional de *D. xolocotzii* en El Añil, Sahuayo, Mich.

En la barranca El Añil ubicada en Sahuayo, se contabilizó un total de 544 individuos de *D. xolocotzii*, distribuidos en aproximadamente 550 metros a lo largo de la barranca.

En la Tabla 3 se presentan los estadísticos descriptivos de cada uno de los atributos de los individuos de la población en cuestión (altura, diámetro del follaje y diámetro). Se observaron individuos con una altura mínima de 0.34 m y árboles maduros con una altura máxima de 12 m. La media poblacional fue de 4 m, la desviación estándar corresponde a $\sigma=2.2$ m y se obtuvo un coeficiente de asimetría de 0.873. Esto sugiere que la población está conformada en su mayoría por individuos con altura menor a la media poblacional (Gráfica 1).

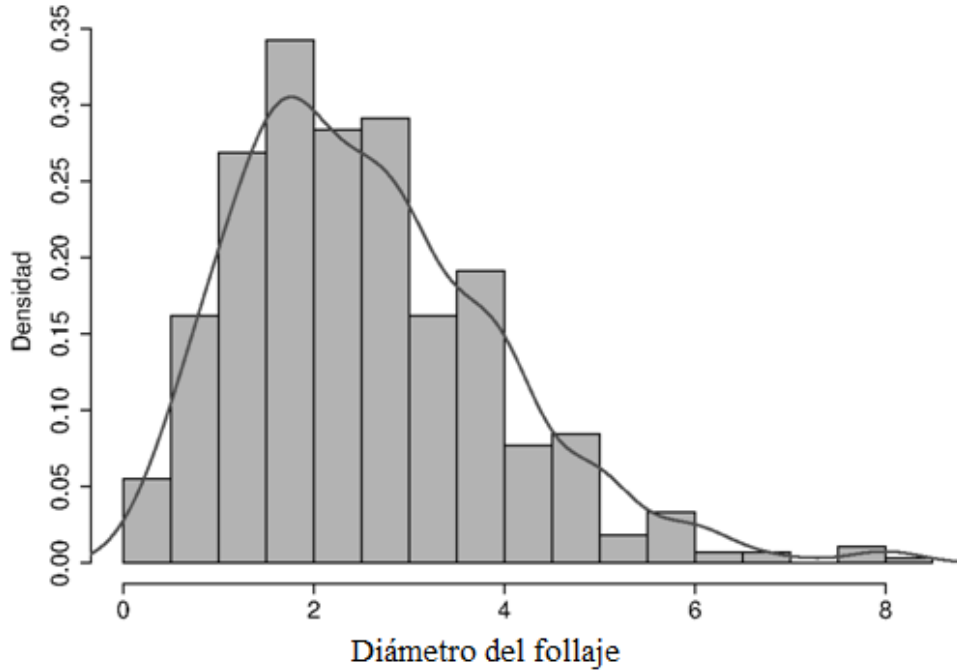
Tabla 3. Estadísticos descriptivos de los atributos de la población de *D. xolocotzii* ubicada en El Añil, Sahuayo, Michoacán.

| Atributos de los individuos | Media (μ) | Desviación estándar (σ) | Coefficiente de asimetría |
|-----------------------------|-----------------|----------------------------------|---------------------------|
| Altura | 4 m | 2.2 m | 0.873 |
| Diámetro del follaje | 2.58 m | 1.39 m | 0.892 |
| DAP | 5.49 cm | 3.64 cm | 2.668 |
| Diámetro basal | 1.74 cm | 0.99 cm | 1.443 |



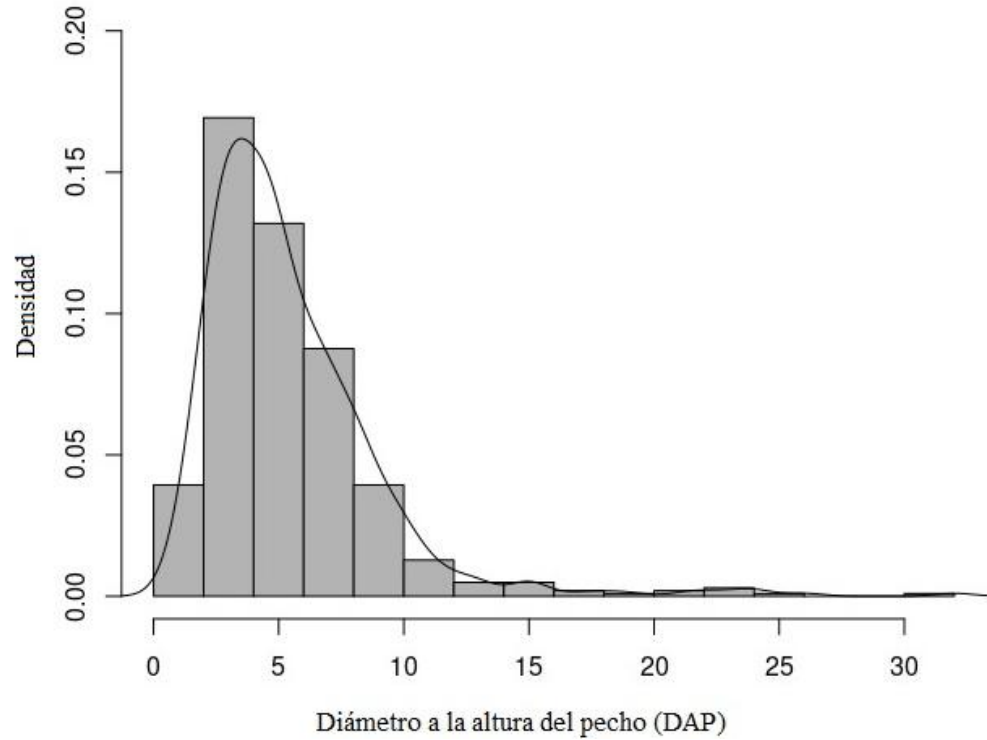
Gráfica 1. Altura de los individuos de la población de *D. xolocotzii* ubicada en El Añil, donde se muestra que la población esta moderadamente sesgada hacia el lado izquierdo, indicando que los individuos en su mayoría cuentan con altura menor a la media poblacional. La línea negra representa la función de densidad, la cual representa como están distribuidos los datos.

Para el caso de la diámetro del follaje, la media poblacional corresponde a 2.48 m, la desviación estándar fue de 1.39 m y se obtuvo un coeficiente de asimetría de 0.892, indicando que la población se conforma en su mayoría por individuos con diámetros del follaje menor a la media poblacional (Gráfica 2).

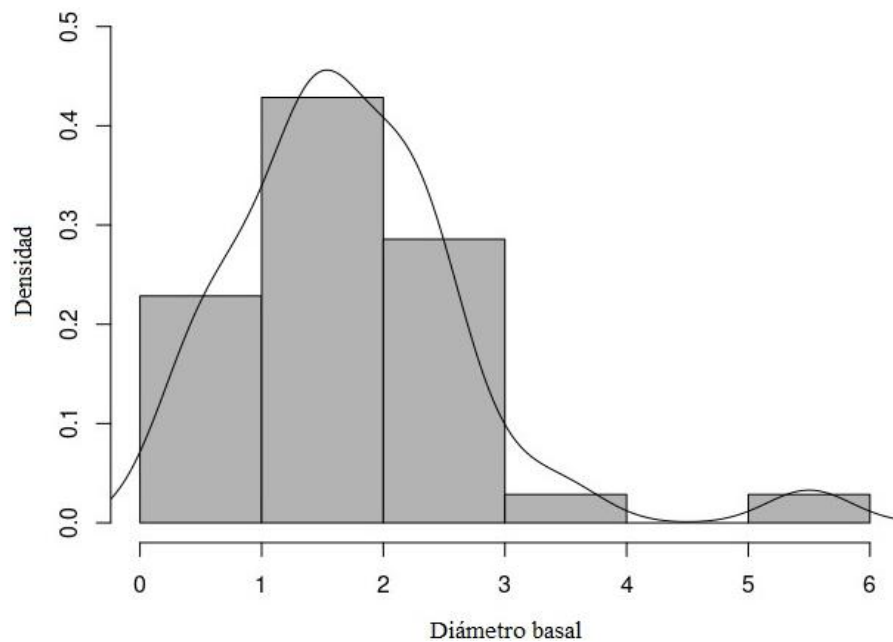


Gráfica 2. Diámetro del follaje de los individuos de la población de *D. xolocotzii* ubicada en El Añil, donde se muestra que la población esta moderadamente sesgada hacia el lado izquierdo, indicando que los individuos en su mayoría cuentan con diámetros menores a la media.

Para el caso del DAP, se registro una media poblacional de 5.49 cm, la desviación estándar de 3.64 cm y un coeficiente de asimetría de 2.668, indicando que la población cuenta con pocos individuos con diámetro menor a la media poblacional (Gráfica 3). Finalmente, el diámetro basal tuvo una media poblacional de 1.74 cm, la desviación estándar de 0.99 cm y el coeficiente de asimetría de 1.443 (Gráfica 4)



Gráfica 3. Diámetro a la altura del pecho de los individuos de la población de *D. xolocotzii* ubicada en El Añil, donde se muestra que la población está altamente sesgada hacia el lado izquierdo, indicando que la mayoría de los individuos poseen diámetros reducidos.



Gráfica 4. Diámetro basal de los individuos de la población de *D. xolocotzii* ubicada en El Añil, donde se muestra que la población está sesgada hacia el lado izquierdo, indicando que la mayoría de los individuos poseen diámetros reducidos.

6.2. Frugivoría de *Diospyros xolocotzii*.

6.2.1. Estaciones de alimentación en San José de las Pilas, Acámbaro.

En ambas poblaciones de estudio se obtuvo un total de 24 días/trampa de esfuerzo de muestreo; para el caso de la población de San José de las Pilas, se registró un total de 90 videos de nueve estaciones de alimentación, ya que en tres de ellas no se registró ningún tipo de actividad y de los cuales 49 se clasificaron como eventos independientes.

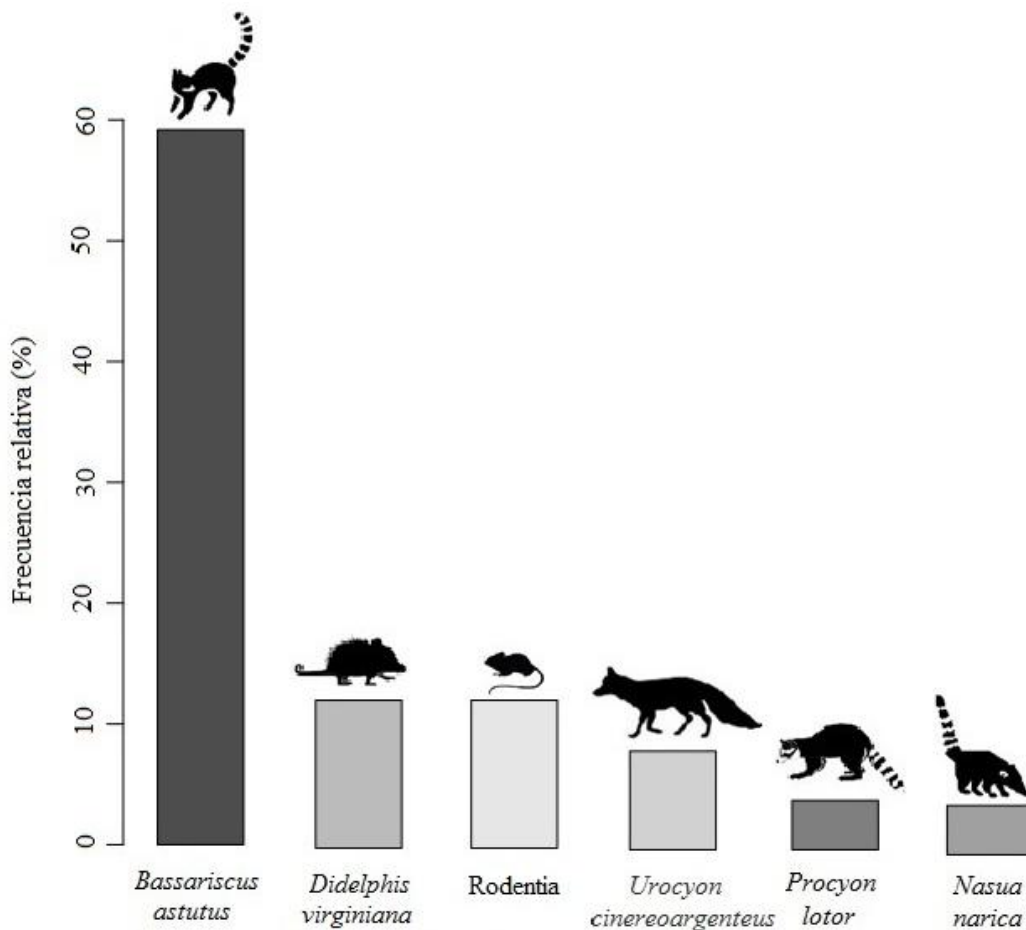
Se identificó un total de 6 especies de vertebrados que corresponden a cacomixtle (*Bassariscus astutus*), mapache (*Procyon lotor*), coatí (*Nasua narica*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), tlacuache (*Didelphis virginiana*) y roedores (Rodentia) (Tabla 6).

Tabla 4. Vertebrados registrados como consumidores del fruto de *D. xolocotzii* en la población de San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato.

| Nombre científico | Nombre común | Alimentación ^b | Tamaño (peso) ^b | Estatus de conservación ^a |
|---------------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| <i>Bassariscus astutus</i> | Cacomixtle | Omnívoro | Pequeño a mediano | - |
| <i>Urocyon cinereoargenteus</i> | Zorra gris | Omnívoro | Mediano | - |
| <i>Procyon lotor</i> | Mapache | Omnívoro | Mediano | - |
| <i>Nasua narica</i> | Coatí | Omnívoro | Mediano | - |
| <i>Didelphis virginiana</i> | Tlacuache | Omnívoro | Pequeño a mediano | - |
| Rodentia | Roedores | - | - | - |

a) Estatus en la NOM-059SEMARNAT-2015, donde “-” significa sin categoría, “P” en peligro de extinción, “A” amenazada y “Pr” sujeta a protección especial (SEMARNAT, 2010). b) Para el caso de los mamíferos el tipo de alimentación, tamaño y peso es de acuerdo con Aranda (2012).

De las seis especies identificadas en las estaciones de alimentación, *Bassariscus astutus* (cacomixtle), fue la especie con más frecuencia de visita en este sitio de estudio, con el 59.18% del total de registros. Posteriormente el tlacuache (*Didelphis virginiana*) y roedores (Rodentia) obtuvieron el 12.24% cada uno. La zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) obtuvo el 8.16%, mientras que el mapache (*Procyon lotor*) y el coatí (*Nasua narica*) mostraron las frecuencias de registro más baja con el 4.08% del total de registros (Gráfica 5).



Gráfica 5. Frecuencia de visita de las estaciones de alimentación de la población de San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato.

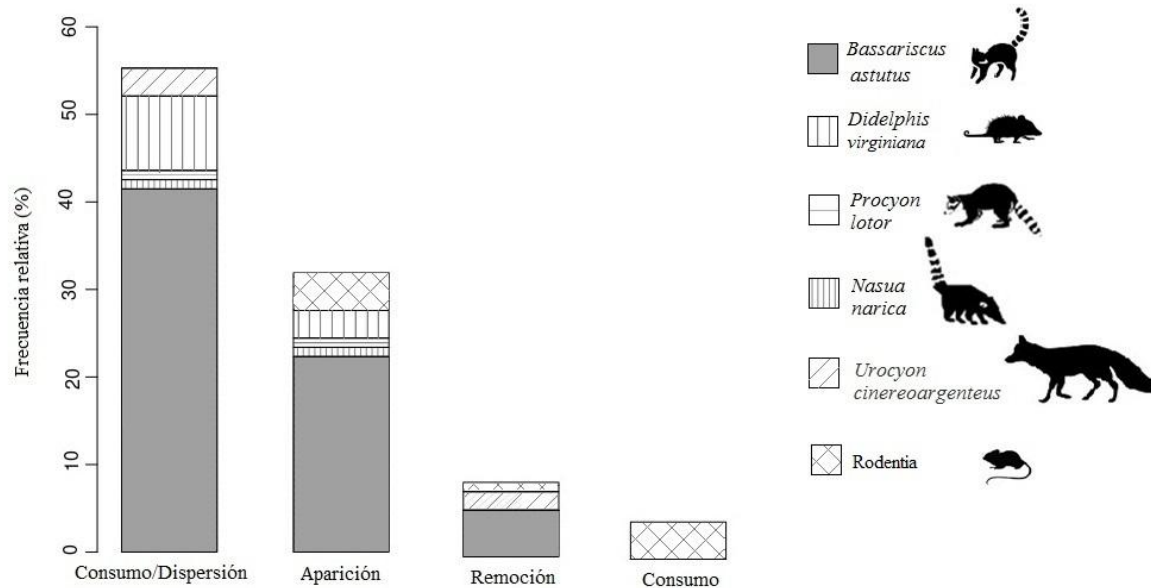
En cuando a la conducta de los individuos en torno a los frutos ofrecidos en las estaciones de alimentación, se registró que la categoría de consumo y dispersión de las semillas fue la principal conducta que presentaron los individuos con un 55.33% del total de eventos. *Bassariscus astutus* (cacomixtle) fue la especie que tuvo más frecuencia de esta

conducta (75% de los eventos de esta categoría), seguido de *Didelphis virginiana* (tlacuache; 15.38%) y de *Urocyon cinereoargenteus* (zorra gris; 5.76%). Finalmente *Procyon lotor* y *Nasua narica* conformaron el 3.89% restante.

La categoría de aparición tuvo un total del 31.91% de los eventos conductuales, donde *Bassariscus astutus* (cacomixtle) tuvo el mayor registro con 70% de los eventos de esta categoría, seguido de los roedores y *Didelphis virginiana* (tlacuache) con el 10% cada uno. Mientras que *Procyon lotor* y *Nasua narica* conformaron el 5% cada uno.

La categoría de remoción de los frutos fuera del espectro de la cámara tuvo una participación del 8.51% del total, donde *Bassariscus astutus* (cacomixtle) tuvo la mayor frecuencia con el 62.5% de participación en esta categoría, seguido de *Urocyon cinereoargenteus* (zorra gris) y roedores con 25% y 12.5% respectivamente.

Finalmente, la categoría de consumo de pulpa tuvo un 4.25% de los eventos conductuales totales, donde únicamente los roedores (Rodentia) tuvieron participación (Gráfica 6).



Gráfica 6. Frecuencia relativa (%) de las categorías de comportamiento de las especies registradas en las estaciones de alimentación de San José de las Pilas, Acámbaro, Gto., así como el tipo de participación en cada categoría conducta por cada especie.

6.2.2. Estaciones de alimentación en El Añil, Sahuayo, Michoacán.

Para la población de El Añil, se registró un total de 144 videos en ocho estaciones de alimentación, ya que en cuatro de ellas no se registró ningún tipo de actividad y de los cuales 57 se clasificaron como registros independientes.

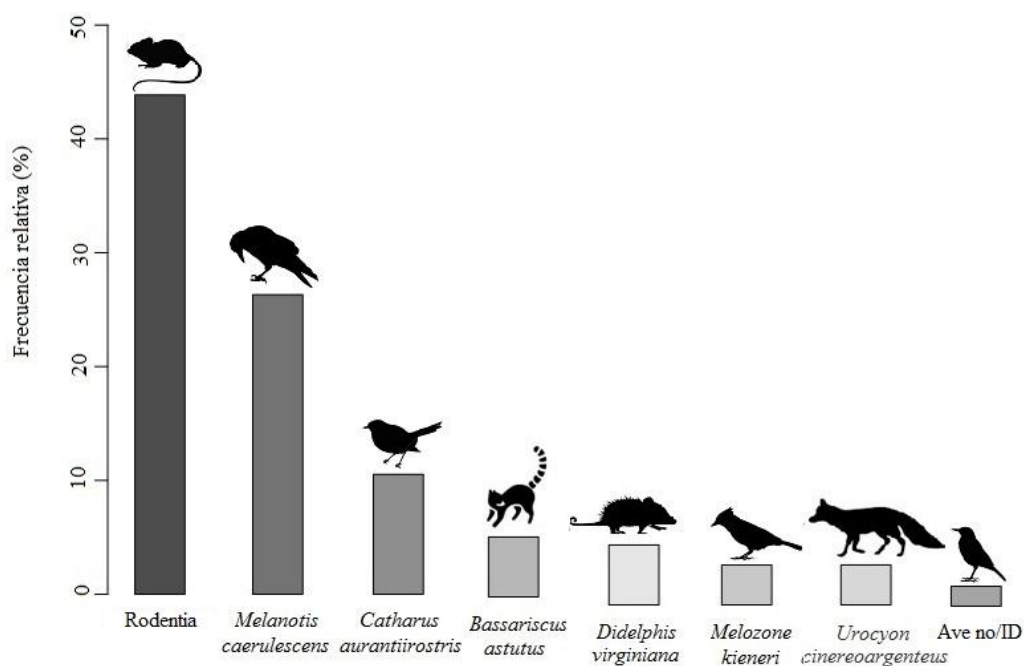
Se identificó un total de siete especies de vertebrados: tres mamíferos (cacomixtle (*Bassariscus astutus*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), roedores (Rodentia) y cuatro aves (mulato (*Melanotis caerulescens*), zorzal pico naranja (*Catharus aurantiirostris*), rascador nuca canela (*Melozone kieneri*) y una especie que no se pudo identificar (ave no/ID) (Tabla 7).

Tabla 5. Fauna de vertebrados registrados como consumidores del fruto de *D. xolocotzii* en la población de El Añil, Sahuayo, Mich.

| Nombre científico | Nombre común | Alimentación ^b | Tamaño (peso) ^b | Estado de conservación ^a |
|---------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| <i>Bassariscus astutus</i> | Cacomixtle | Omnívoro | Pequeño a mediano | - |
| <i>Urocyon cinereoargenteus</i> | Zorra gris | Omnívoro | Mediano | - |
| Rodentia | Roedores | - | - | - |
| <i>Melanotis caerulescens</i> | Mulato Azul | - | - | - |
| <i>Catharus aurantiirostris</i> | Zorzal pico naranja | - | - | - |
| <i>Melozone kieneri</i> | Rascador nuca canela | - | - | - |
| Ave no/ID | Ave | - | - | - |

a) Estatus en la NOM-059SEMARNAT-2010, donde “-” significa sin categoría, “P” en peligro de extinción, “A” amenazada y “Pr” sujeta a protección especial (SEMARNAT, 2010). b) Para el caso de los mamíferos el tipo de alimentación, tamaño y peso es de acuerdo con Aranda (2012).

De las siete especies registradas, los roedores fueron los que obtuvieron mayor frecuencia de captura con el 43.85% del total de los eventos independientes. *Melanotis caerulescens* (mulato) registro un total del 26.31% de los eventos y *Catharus aurantirostris* (zorzal pico naranja) el 10.52. Posteriormente, *Didelphis virginiana*, (tlacuache) y *Bassariscus astutus* (cacomixtle) obtuvieron el 5.26% cada uno, *Urocyon cinereoargenteus* (zorra gris) obtuvo el 3.5% de los registros al igual que *Melozone kieneri* (rascador nuca canela). Finalmente, la especie no identificada solo tuvo un registro lo que se refleja en el 1.7% del total de eventos independientes (Gráfica 7).

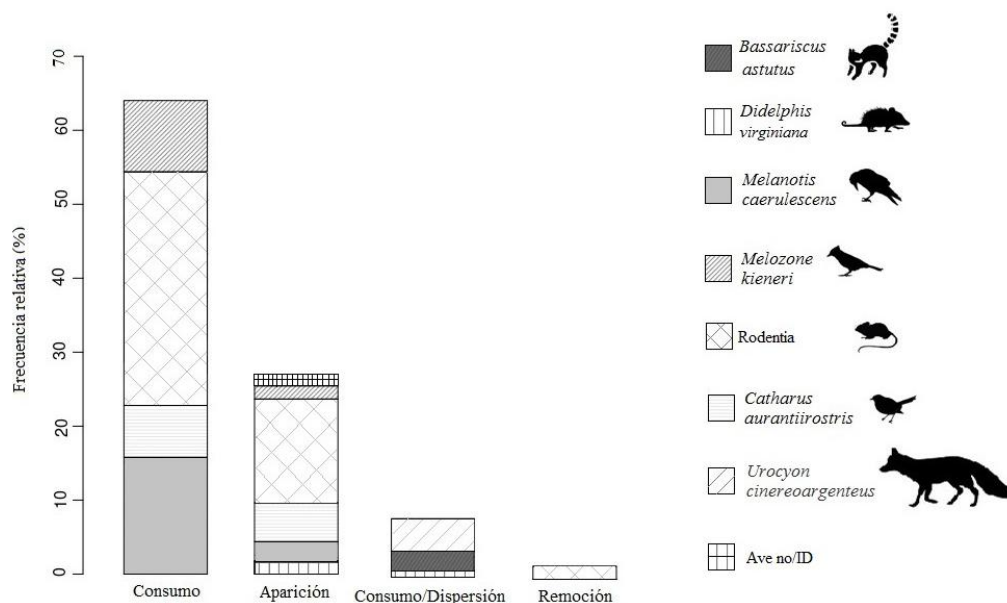


Gráfica 7. Frecuencia de captura de las estaciones de alimentación de la población El Añil, Sahuayo, Michoacán.

De acuerdo con la conducta de los individuos respecto a los frutos ofertados en las estaciones de alimentación, la categoría de consumo (únicamente de pulpa), fue la conducta con mayor incidencia para este sitio de estudio con el 64.91% del total de las conductas registradas, siendo los roedores, los que presentaron mayor incidencia de esta conducta (48.64%). De igual manera, las aves participaron en esta categoría donde *Melanotis caerulescens* registró el 24.32%, *Melozone kieneri* el 14.86% y *Catharus aurantirostris* con el 10.81% del total de eventos registrados con la conducta de consumo.

La conducta de aparición obtuvo el 25.42% del total de las conductas registradas, donde nuevamente los roedores tuvieron la mayor participación con el 55.17% del total de esta conducta; *Catharus aurantirostris* participó con el 20.68% y *Melanotis caerulescens* con el 10.34%. Mientras que *Didelphis virginiana* y *Melozone kieneri*, tuvieron la misma participación 6.89%.

La conducta de consumo y dispersión, tuvo un 7.89% del total de registro de conductas. *Urocyon cinereoargenteus* tuvo la mayor participación con el 55.55%, *Bassariscus astutus* 33.33% y *Didelphis virginiana* 11.11% del total de registros de esta conducta. En la categoría de remoción donde sólo participaron los roedores, registrando el 1.75% del total de conductas (Gráfica 8).



Gráfica 8. Frecuencia relativa (%) de las categorías de comportamiento de las especies registradas en las estaciones de alimentación de El Añil, Sahuayo, Michoacán, así como el tipo de participación en cada conducta por cada especie.

6.2.3. Análisis de excretas: importancia del fruto de *D. xolocotzii* en la dieta de los frugívoros y dispersión de semillas.

Se colectaron un total de 88 excretas en los tres recorridos realizados en San José de las Pilas, de las cuales 14 contenían otros elementos bióticos (pelo o rastros de insectos) pero carecían de semillas. Se identificaron 114 apariciones de semillas, ya que algunas excretas

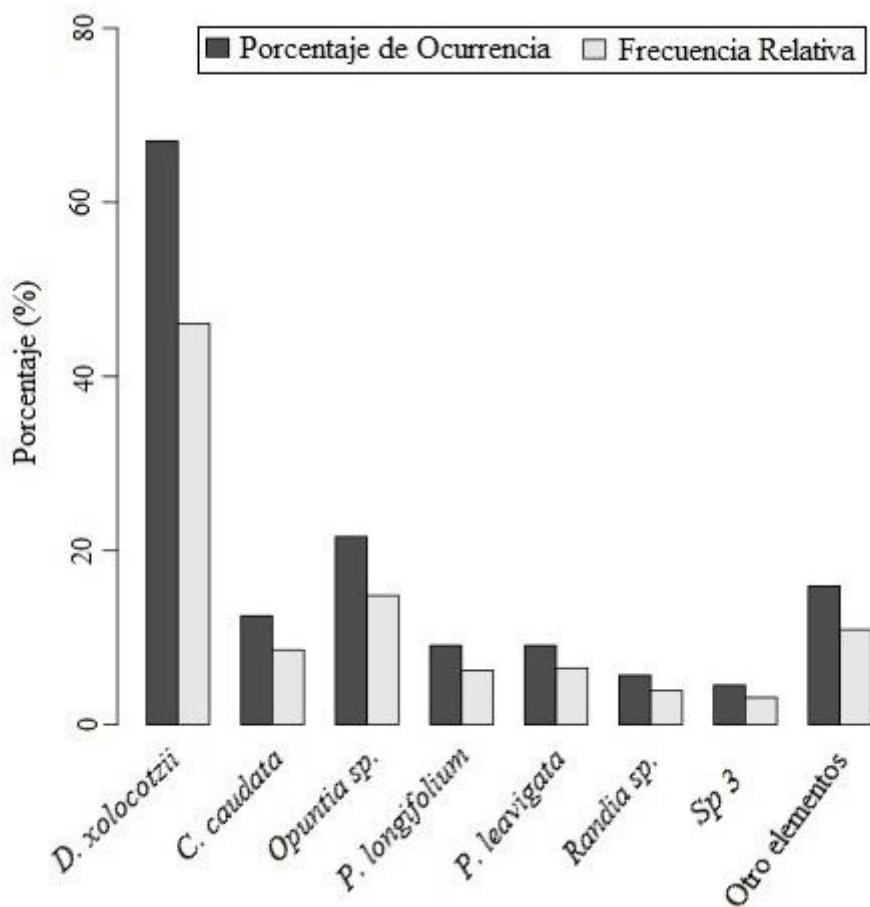
presentaban más de una especie. En cuanto al sustrato en donde se localizaron las excretas, el 25% se concentraron en el suelo, mientras que el 75% se localizaron en la superficie de rocas.

En total se registraron siete especies de semillas: *Diospyros xolocotzii*, *Celtis caudata*, *Phoradendron longifolium*, *Opuntia* sp, *Prosopis leavigata*, *Randia* sp y una especie más que no se pudo identificar, Sp. 3.

Diospyros xolocotzii fue la especie con mayor aparición en las excretas colectadas con 59 apariciones, obteniendo un porcentaje de ocurrencia del 67.04% y una frecuencia relativa del 46.09%, seguida de *Opuntia* sp con 19 apariciones, obteniendo un porcentaje de 21.59% y 14.84% de frecuencia relativa. Los elementos bióticos estuvieron presentes en 14 apariciones, lo que define una ocurrencia del 15.90% y una frecuencia relativa del 10.93% (Tabla 8, Gráfica 9).

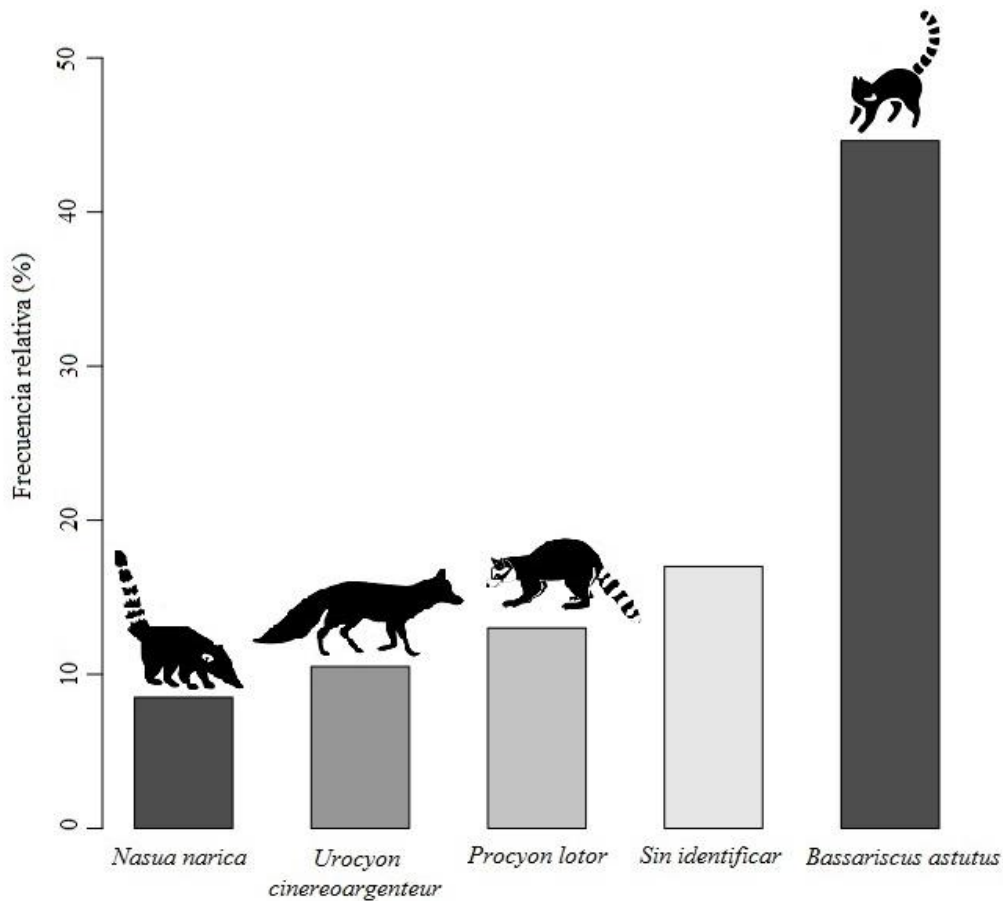
Tabla 6. Frecuencia de apariciones, porcentaje de ocurrencia y frecuencia relativa de las semillas en excretas colectadas en la población de *D. xolocotzii* ubicada en San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato.

| Especie | Frecuencia de apariciones | Porcentaje de ocurrencia (%) | Frecuencia relativa (%) |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| <i>D. xolocotzii</i> | 59 | 67.04 | 46.09 |
| <i>Celtis caudata</i> | 11 | 12.5 | 8.59 |
| <i>Opuntia</i> sp. | 19 | 21.59 | 14.84 |
| <i>Phoradendron longifolium</i> | 8 | 9.09 | 6.25 |
| <i>Prosopis leavigata</i> | 8 | 9.09 | 6.25 |
| <i>Randia</i> sp. | 5 | 5.68 | 3.9 |
| Sp 3 | 4 | 4.54 | 3.12 |
| Otros elementos | 14 | 15.9 | 10.93 |



Gráfica 9. Porcentaje de ocurrencia y frecuencia relativa de las semillas presentes en las excretas colectadas en la población de *D. xolocotzii* ubicada en San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato.

De las 88 excretas registradas en esta población, el 80.68% se pudo identificar el origen de la especie que lo defecó, mientras que el resto (19.33%) no se pudo reconocer. El 45.45% del total de las excretas pertenecieron al cacomixtle (*Bassariscus astutus*), seguido del mapache (*Procyon lotor*) con el 14.77%, zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) con el 11.36 % y el coatí (*Nasua narica*) con el 9.09% de las excretas (Gráfica 10).



Gráfica 10. Frecuencia relativa de las apariciones de excretas de cada especie en la población del *D. xolocotzii* ubicada en San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato.

En el caso de la población El Añil, en los 3 recorridos se colectaron un total de 75 excretas, de las cuales 12 contenían distintos elementos bióticos (pelo o rastros de insectos) y ninguna semilla. En este caso, el 100% de ellas fueron localizadas sobre la superficie de rocas.

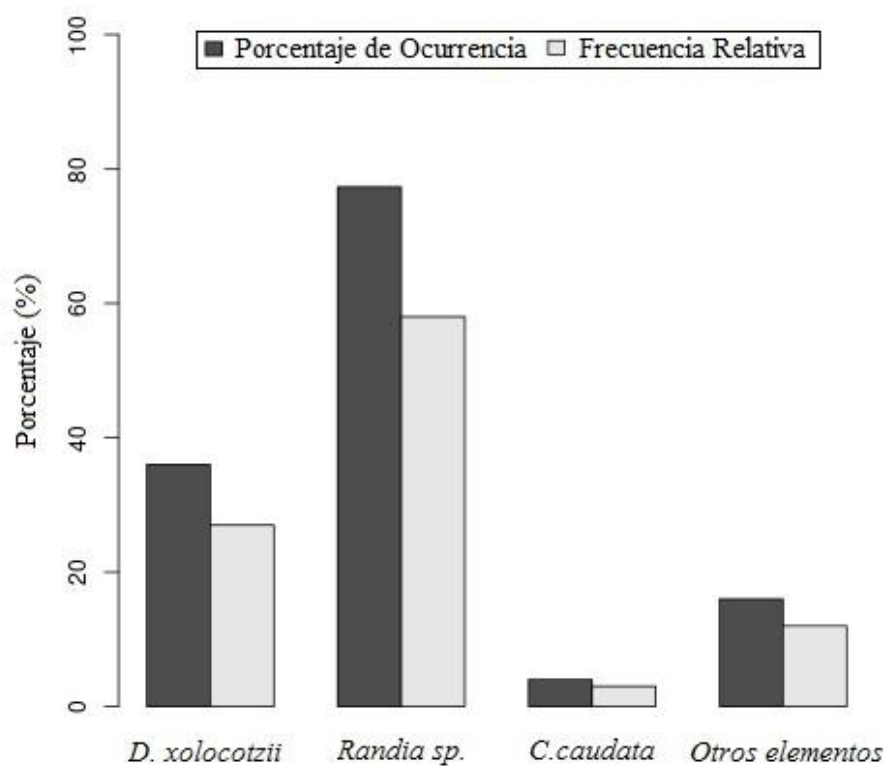
Se registró un total de 88 apariciones de semillas pertenecientes a tres especies: *Diospyros xolocotzii*, *Randia* sp, y *Celtis caudata*.

Las semillas de *Diospyros xolocotzii* tuvieron un total de 27 apariciones en las excretas, obteniendo un porcentaje de ocurrencia del 36% y una frecuencia relativa de un 27%. Para el caso de *Randia* sp, tuvo un total de 58 apariciones en las excretas, obteniendo un porcentaje de ocurrencia del 77.33% y una frecuencia relativa de un 58%. La frecuencia de apariciones de otros elementos bióticos fue de 12 apariciones, obteniendo un porcentaje

de ocurrencia del 16% y una frecuencia relativa de un 12% y por último *Celtis caudata* tuvo un total de 3 apariciones, obteniendo un porcentaje de ocurrencia del 4% y una frecuencia relativa de un 3% (Tabla 9; Gráfica 11).

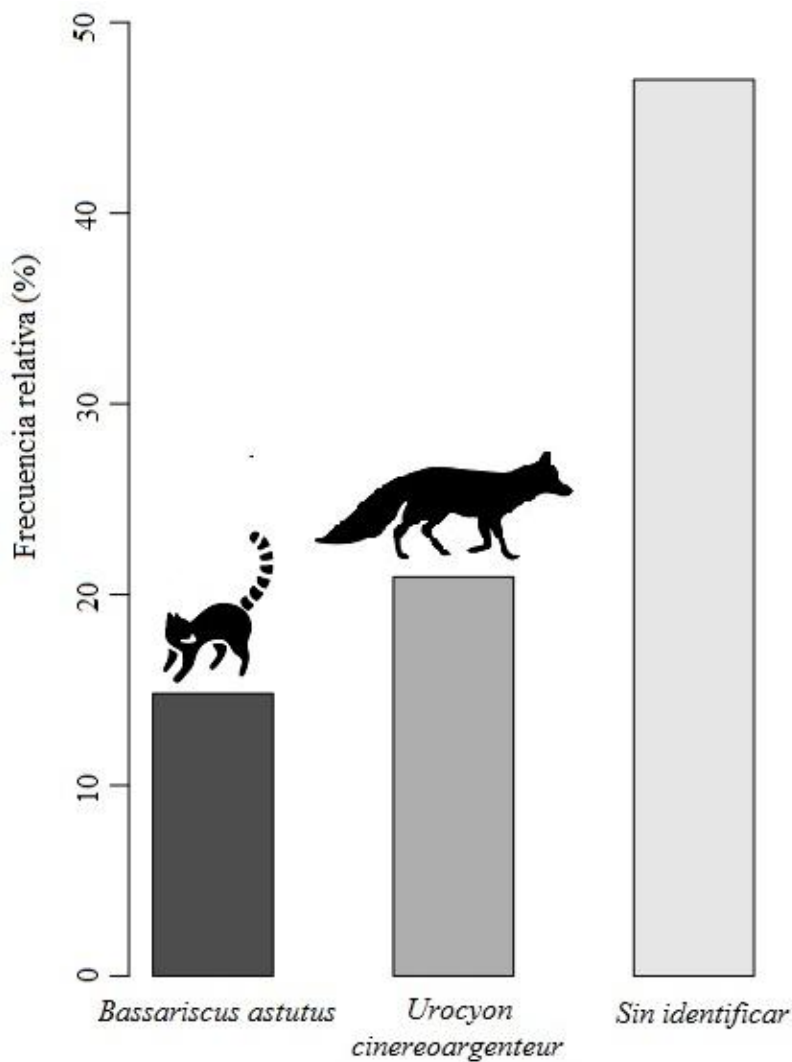
Tabla 7. Frecuencia de apariciones, porcentaje de ocurrencia y frecuencia relativa de semillas en las excretas colectadas en El Añil, Sahuayo, Michoacán.

| Especie | Frecuencia de apariciones | Porcentaje de Ocurrencia (%) | Frecuencia relativa (%) |
|-----------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------|
| <i>D. xolocotzii</i> | 27 | 36 | 27 |
| <i>Randia sp</i> | 58 | 77.33 | 58 |
| <i>Celtis caudata</i> | 3 | 4 | 3 |
| Otros elementos | 12 | 16 | 12 |



Gráfica 11. Porcentaje de ocurrencia y frecuencia relativa de las semillas presentes en las excretas colectadas en la población de *D. xolocotzii* ubicada en El Añil, Sahuayo, Michoacán.

Por otro lado, de las 75 excretas colectadas únicamente el 37.33% del total no se pudo identificar la especie de origen que lo defeco, debido a que en su mayoría presentaban una alta proporción de semillas de la especie *Randia* sp., la cual imposibilitó la identificación de la muestra puesto que provocaba un estado de agregación débil y amorfa (Ilustración A2). De las excretas identificadas el 21.33% correspondieron a *Urocyon cinereoargenteus* (zorra gris) y el 16% a *Bassariscus astutus* (cacomixtle) (Gráfica 12).



Gráfica 12. Frecuencia relativa de las apariciones de excretas de cada especie en la población del *D. xolocotzii* ubicada en El Añil, Sahuayo, Michoacán.

6.3. Germinación de las semillas de *Diospyros xolocotzii*.

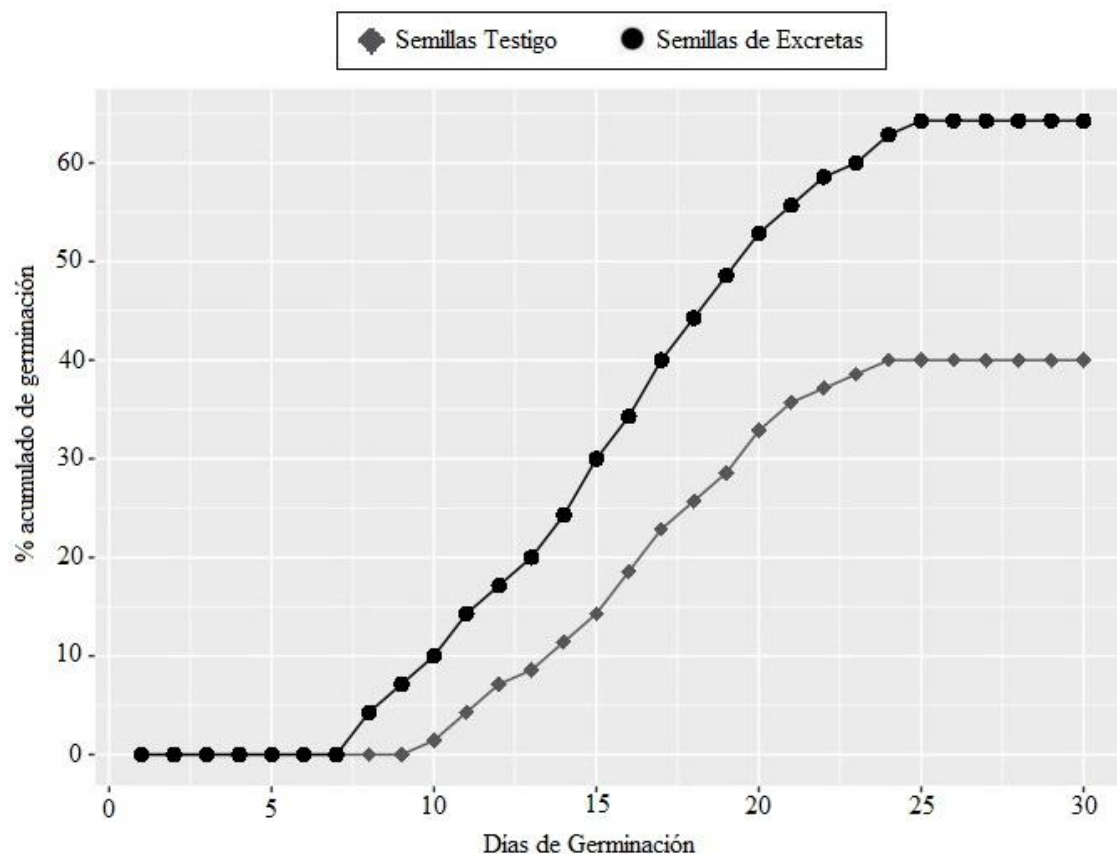
Los resultados muestran que para el caso de la población de San José de las Pilas, las semillas testigo (extraídas directamente de los frutos), únicamente germinaron 28 de las 70 semillas obteniendo una capacidad germinativa del 40%, mientras que las semillas provenientes de excretas germinaron 45 de ellas, alcanzando una capacidad germinativa del 64.28% (Gráfica 13).

Al realizarse la prueba Ji-cuadrada, se obtuvo que existen diferencias altamente significativas entre ambos tratamientos, con las semillas provenientes de excretas presentando una mayor capacidad germinativa ($X^2 = 0.104$, $P = 0.004$).

Tabla 8. Resultados de la germinación de las semillas de *D. xolocotzii* de la población de San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato., bajo dos tratamientos: a) Testigo (semillas extraídas directamente del fruto); y b) Semillas provenientes de excretas.

Población de San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato.

| Parámetros de germinación | Tratamiento | | | |
|------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------|-------|
| | Testigo | Extraídas de excretas | X^2 | P |
| Capacidad germinativa (% de germinación) | 40 | 64.28 | 0.104 | 0.004 |
| Tiempo Promedio de Germinación (días) | 16.82 | 15.91 | - | - |

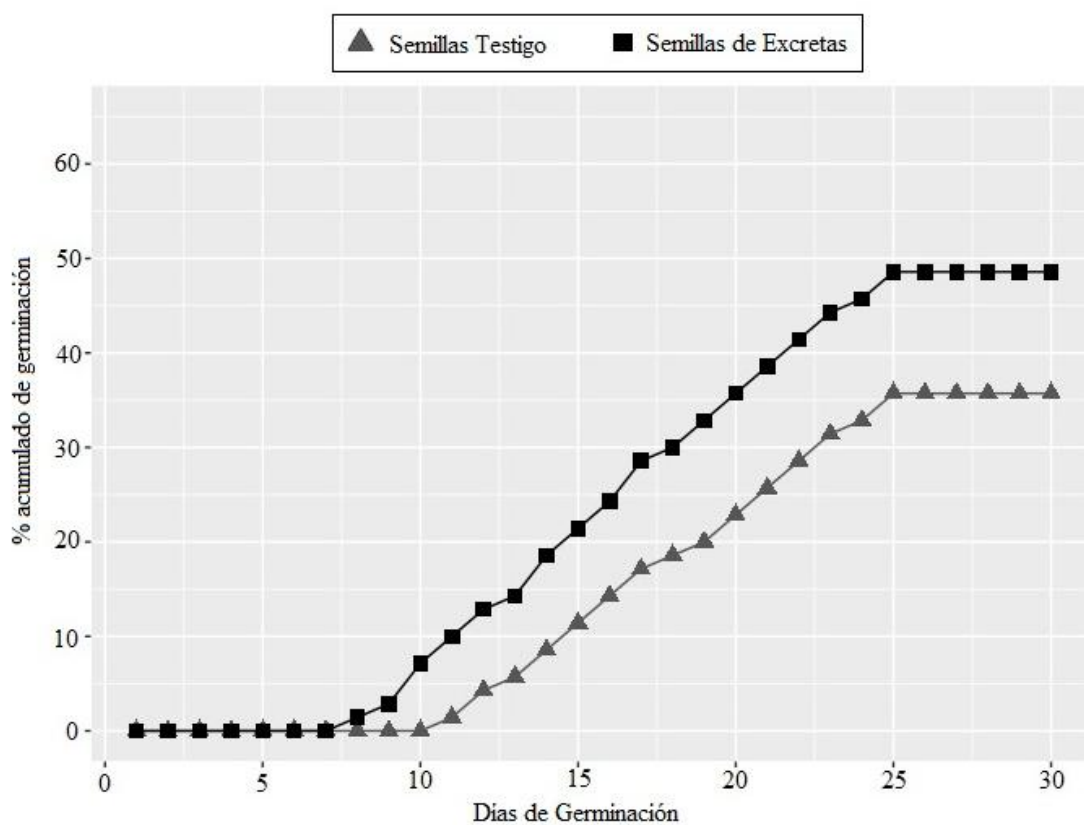


Gráfica 13. Porcentaje acumulado de germinación de las semillas testigo y las semillas provenientes de excretas de la población de San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato.

Para el caso de la población de El Añil, 25 de las 70 semillas testigo germinaron para una capacidad germinativa del 35.71%. Mientras que 34 de los 70 semillas provenientes de excretas obtuvieron una capacidad germinativa del 48.57%. La prueba de Chi-cuadrada indicó que para esta población no existen diferencias significativas entre los dos tratamientos ($\chi^2 = 2.373$, $P = 0.123$) (Tabla 11, Gráfica 14).

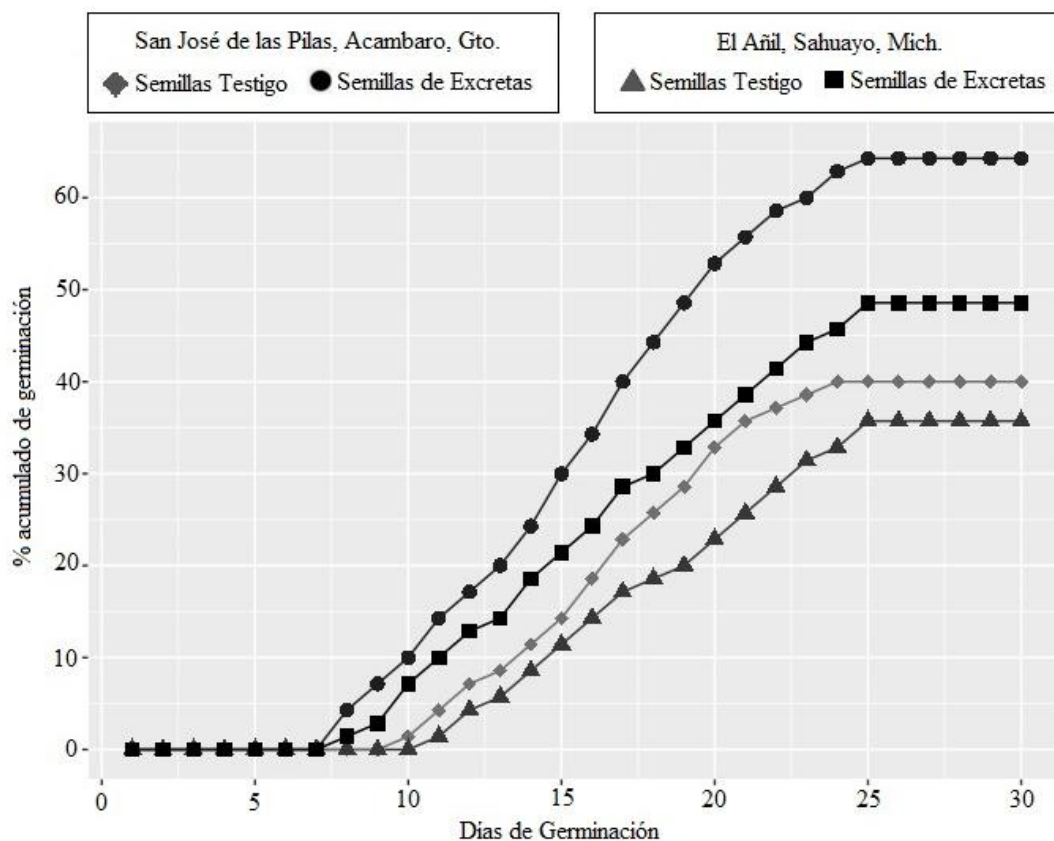
Tabla 9. Resultados de la germinación de las semillas del *D. xolocotzii* de la población de El Añil, Sahuayo, Michoacán, bajo dos tratamientos: a) Testigo (semillas extraídas directamente del fruto); y b) Semillas provenientes de excretas.

| Población del El Añil, Sahuayo, Michoacán. | | | | |
|----------------------------------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------------|----------|
| Parámetros de germinación | Tratamiento | | | |
| | Testigo | Extraídas de excretas | χ^2 | P |
| Capacidad germinativa (% de germinación) | 35.71 | 48.57 | 2.373 | 0.123 |
| Tiempo Promedio de Germinación (días) | 18.2 | 16.55 | - | - |



Gráfica 14. Porcentaje acumulado de germinación de las semillas testigo y las semillas provenientes de excretas de la población de El Añil, Sahuayo, Michoacán.

Cuando se contrastan los tratamientos entre ambas poblaciones, los resultados muestran que no existen diferencias significativas ($X^2 = 0.273$, $p = 0.601$) entre las semillas testigos de San José de las Pilas (capacidad germinativa del 40%) y las semillas testigo de El Añil (capacidad germinativa del 35%) (Gráfica 10). Por su parte, tampoco se presentaron diferencias significativas entre las semillas que pasaron el tracto digestivo de los mamíferos entre ambos sitios de estudio ($X^2 = 3.515$, $p = 0.061$) (Gráfica 15).



Gráfica 15. Porcentaje acumulado de germinación de las semillas testigo y las semillas provenientes de excretas de las poblaciones de San José de las Pilas, Acámbaro, Gto., y de El Añil, Sahuayo, Michoacán.

En cuanto al tiempo promedio de germinación, las semillas testigo provenientes de la población de San José de las Pilas fue de 16.82 días, mientras que las semillas extraídas de las excretas fue de 15.92 días, aproximadamente un día de diferencia. Para las semillas testigo de la población de El Añil, el tiempo promedio de germinación fue de 18.2 días, mientras que para las semillas provenientes de las excretas fue de 16.55 días, aproximadamente dos días de antes que las semillas testigo.

6.4. Conocimiento de *D. xolocotzii* en las comunidades cercanas a la especie

La reunión con la comunidad de San José de las Pilas, tuvo una participación muy reducida pues sólo asistieron cuatro personas, las cuales dos de ellas eran el encargado del orden y el director de la escuela. Las otras personas fueron una persona mayor y su hija de edad adulta.

Respecto al conocimiento en relación a *Diospyros xolocotzii*, solo el encargado del orden mencionó reconocer al zapote prieto pero nunca lo consumió o le dio algún uso, de igual manera mencionó que comúnmente lo reconocen con el nombre de aguacatillo o zapotillo, mientras que los demás asistentes no tenían conocimiento acerca de la existencia de la especie.

En cuanto a la fauna vinculada al monte y al consumo del zapote prieto, se mencionó tres especies: coyote, mapache y tejón, los últimos dos reconocidos como consumidores del zapote prieto, de igual manera se mencionó que las aves tenían un papel importante en el consumo del fruto.

La reunión en El Güirio, tuvo una asistencia de nueve personas, seis de ellas personas mayores y tres personas de edad adulta. Respecto al conocimiento que tienen sobre *Diospyros xolocotzii*, ninguno de los asistentes reconoció a la especie y por ende la existencia en su poblado. En torno a la fauna vinculada al monte se mencionaron dos especies, tejón y el candingo, este último no se reconoció en las guías presentadas, sin embargo, en algunas localidades de estado de Michoacán así se le conoce al cacomixtle (*Bassariscus astutus*).

7. Discusión.

7.1. Nueva población de *Diospyros xolocotzii* en El Añil, Sahuayo, Michoacán.

Con base a los resultados obtenidos de esta investigación, se puede concluir que la población de *D. xolocotzii* recientemente descrita en la barranca El Añil, ubicada en Sahuayo Mich., se posiciona como la segunda población de mayor tamaño, con un total de 544 individuos, dejando a la población de San José de las Pilas, Gto., como la mejor conservada hasta momento con 1,500 individuos aproximadamente (Torres y Arizaga, 2014).

Anteriormente el estado de Michoacán, contribuía con el 9% del total de individuos en todo el país (Bacilio, 2013), los cuales se encuentran en constante presión antropogénica, (Torres y Arizaga, 2014). Sin embargo, con los resultados de esta investigación, la nueva población tiene un aporte importante en la conservación del *D. xolocotzii* en el estado, aportando el 39.1% del total de individuos.

Por otro lado, la estructura poblacional sugiere que se trata de una población joven de acuerdo con los resultados de la altura, del diámetro del follaje y del diámetro, ya que indican que los individuos en su mayoría cuentan con medidas menores a la media poblacional y se registran pocos individuos mayores a los 10 metros.

De igual manera, se determinó que la población de San José de las Pilas, se trata de una población juvenil donde la altura ($\mu = 5.45 \pm 2.18$ m) presenta una distribución relativamente normal, mientras que el DAP mostro una distribución que sugiere que en su mayoría son individuos juveniles ($\mu = 11.10 \pm 10.30$ cm) (Sanchez-Atanacio, 2009).

Si bien el descubrimiento de la población de El Añil incrementa el número de individuos del zapote prieto resultaría importante establecer estimaciones como el tamaño mínimo viable, el cual se define como el número de individuos que debe tener una población para su persistencia durante un período de tiempo determinado (Shaffer, 1981).

Sin embargo, las estimaciones de este tipo de parámetros pueden ser inciertas y caen en la generalización de la especie (Brook *et al.*, 2006), principalmente a que no se toman en cuenta factores relevantes como la estocasticidad ambiental y demográfica, la

perdida de variabilidad genética, catástrofes naturales y más actualmente las perturbaciones antropogénicas y el cambio climático (Reed y McCoy, 2014).

De igual manera es importante resaltar que todas las poblaciones actualmente conocidas del *D. xolocotzii*, están ubicadas dentro de un matorral subtropical o en zonas urbanas con vestigios de él (Torres y Arizaga, 2014). Esta unidad ambiental ha sido considerada como una fase sucesional de lo que anteriormente fuera el bosque tropical caducifolio, el cual fue sometido a perturbaciones constantes como por la agricultura y la ganadería y actualmente no llega a representar el 10% del territorio que tenía en el estado de Michoacán (Rzedowski *et al.*, 2014).

En este sentido sería importante resaltar una serie de cuestionamientos respecto al tiempo que el zapote prieto lleva en estos sitios y si es posible documentar nuevas poblaciones del *D. xolocotzii* en sitios donde se encuentre el matorral subtropical.

Por otra parte, un atributo que caracterizó a la población en El Añil, fue la ausencia de rastros de uso de fuego o cortes en los individuos de *D. xolocotzii*, aunado a pocos vestigios de aprovechamiento no forestal o de desechos inorgánicos provenientes de actividades antropogénicas, indicando la poca interacción con la barranca por parte de los pobladores de El Güirio, Sahuayo, Mich. Situación que no ocurre en la población de San José de las Pilas, donde Torres y Arizaga (2014) documentaron que hay numerosos indicios de daños por fuego y por machetazos en los individuos de esta población. Asimismo, durante el trabajo de campo de la presente investigación, se observó la presencia frecuente de desechos inorgánicos, lo que indica mayor uso y/o tránsito dentro de la barranca por parte de los pobladores.

7.2. Frugivoría y dispersión de semillas de *Diospyros xolocotzii*.

En la población de *D. xolocotzii* ubicada en San José de las Pilas, se registraron 6 vertebrados silvestres, los cuales también fueron reportados como consumidores del frutos del zapote prieto en una investigación previa (Bacilio, 2013), con excepción del tlacuache. Estos resultados muestran la persistencia temporal del gremio de frugívoros en el zapote prieto para esta localidad, a la vez de ratificar la importancia ecológica de las interacciones bióticas entre el zapote prieto y la fauna silvestre de vertebrados locales.

Bacilio (2013), encontró que *Bassariscus astutus* (cacomixtle) y *Nasua narica* (coatí) son las dos especies que interactuaron más con los frutos del zapote prieto. En la presente investigación se confirmó que el cacomixtle es la especie que interactúa en mayor medida con los frutos del zapote prieto, seguido de *Didelphis virginiana* y de los roedores. Sin embargo, el coatí registró una de las frecuencias más bajas, con únicamente una aparición, cuando antes era muy importante en el proceso de dispersión de semillas según Bacilio (2013).

Para el caso de la población de *D. xolocotzii* ubicada en El Añil, las especies que registraron las mayores frecuencias de interacción con los frutos fueron los roedores y las aves, *Melanotis caerulescens* (mulato) y *Catharus aurantiirostris* (zorzal pico naranja), mientras que los mamíferos medianos no tuvieron gran participación.

Por lo tanto, se apreció un gremio diferencial entre las dos poblaciones silvestres del zapote prieto. Lo anterior tiene como resultado un patrón diferencial entre las categorías de la conducta de los individuos frente a los frutos del *D. xolocotzii*, ya que, en el caso de San José de las Pilas, la conducta principal registrada fue consumo y dispersión, donde los mamíferos tuvieron una gran participación. Mientras que, en la población de El Añil, la conducta principal fue el consumo únicamente de la pulpa, siendo las aves y los roedores quienes tuvieron mayores frecuencias de visita.

En este sentido se podría asumir que los mamíferos de talla mediana son los principales dispersores de las semillas, mientras que las aves y los roedores actúan como despulpadores del fruto del zapote prieto. Esta situación comprometería a la población del *D. xolocotzii* ubicada en El Añil, ya que únicamente se registraron dos mamíferos de

tamaño mediano (cacomixtle y zorra gris), los cuales obtuvieron una frecuencia de visita muy baja, lo que limitaría la dispersión de las semillas y su posible escarificación.

Es importante resaltar que algunas especies reportadas en esta investigación, han sido reconocidas como especies tolerantes que pueden vivir muy cerca o dentro de zonas urbanas y son resistentes a los disturbios. Tal es el caso del cacomixtle, la zorra gris (Morales *et al.*, 2009; Aranda, 2012) y el coatí (Espinoza-García *et al.*, 2014), lo cual es benéfico para *D. xolocotzii*, ya que sus poblaciones se encuentran cerca de las comunidades humanas en ambos sitios de estudio.

Por otro lado, de acuerdo con la identificación de las excretas, en la población de San José de las Pilas la especie que predominó fue el cacomixtle, siendo la especie que de igual manera obtuvo la mayoría de los registros en las estaciones de alimentación. Estos resultados concuerdan con lo registrado por Bacilio (2013). Sin embargo, en cuanto a la identificación de las excretas en la población de El Añil, la mayoría de las excretas colectadas no se lograron identificar, principalmente por la alta presencia de la semillas de *Randia* sp., que provocaban un estado de agregación débil y amorfa.

Con base en los elementos encontrados en las excretas colectadas se pudo determinar el papel que tiene el fruto de *D. xolocotzii* en la dieta de los frugívoros en ambas poblaciones de estudio. En el caso de la población de San José de las Pilas, las semillas de *D. xolocotzii* obtuvieron la mayor aparición en las excretas colectadas (porcentaje de ocurrencia 67.04 % y frecuencia relativa 46.09%), indicando que el fruto de este árbol silvestre es de gran importancia en los hábitos alimenticios de los frugívoros en este sitio de estudio.

Para el caso de la población El Añil, se reportó que las semillas de *D. xolocotzii* ocuparon el segundo lugar en las apariciones registradas en las excretas (porcentaje de ocurrencia 36% y frecuencia relativa 27%), mientras que las semillas de *Randia* sp, fueron el principal componente de las excretas en este sitio de estudio (porcentaje de ocurrencia 77.33% y frecuencia relativa 58%). Aunque las semillas *D. xolocotzii* no fueron el componente principal en esta población, de igual manera juega un papel importante en la alimentación de los frugívoros.

De acuerdo con Herrera (1989), los frutos que son grandes y aromáticos, de color marrón, con alto contenido de semillas, con pulpa abundante rica en nutrientes y que comúnmente maduros caen al suelo, tienden a ser preferidos por los mamíferos en mayor medida que otros frutos con rasgos diferentes. Características que cumple en su totalidad el *D. xolocotzii* (Madrigal y Rzedowski, 1988; Guzmán, 2014), lo que podría explicar su preferencia en ambos sitios de estudio.

Cabe destacar que el presente estudio se llevó a cabo en la misma temporada del año para ambos sitios de estudio, es probable que en distintas temporadas del año la preferencia e importancia del fruto de *D. xolocotzii* en la dieta de los frugívoros sea diferente, ya que el consumo de frutos depende en gran medida de la disponibilidad de otros recursos determinados por factores temporales (Escribano-Ávila, *et al.*, 2015).

Por ejemplo, en un estudio enfocado en la dieta de cuatro mamíferos (coyote (*Canis latrans*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), mapache (*Procyon lotor*) y jaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*), documentó que la frecuencia de aparición en las excretas de elementos bióticos como los insectos, aves, crustáceos y frutos, cambian conforme a la estación seca y húmeda, donde por ejemplo, la zorra gris, especie también registrada en esta investigación, consume frutos e insectos más frecuentemente en la temporada húmeda, cuando estos son abundantes, mientras que en la temporada seca, los mamíferos pequeños predominan en su dieta, con lo cual concluyen que esta especie responde al cambio que ocurre en los recursos alimenticios debido a la estacionalidad (Guerrero *et al.*, 2002). De igual manera, Villalobos *et al.* (2014) documentaron que la zorra gris adapta su alimentación con base a la disponibilidad de los recursos de su hábitat y la estacionalidad del año.

Un aspecto importante a resaltar es que el número de semillas dañadas por el consumo o el paso a través del tracto digestivo fue nulo, ya que todas las semillas del zapote prieto encontradas en las excretas se hallaron en buen estado y sin presencia de daños mecánicos, por lo que se puede interpretar que los consumidores del fruto no funcionan como depredadores de las semillas.

Tal situación se puede explicar a que las excretas de los mamíferos reportados en esta investigación como consumidores del *D. xolocotzii* son igualmente carnívoros, los cuales tienen un manejo mínimo de los frutos que consumen, ya que tanto su boca y como sus patas no están diseñadas para un manejo preciso de sus alimentos (González-Varo *et al.*, 2015), lo que implica que consuman una gran cantidad de semillas sin causarles daños físicos por la masticación (Herrera, 1989). Sin embargo, lo anterior solo aplica para las semillas provenientes de las excretas colectadas, ya que no se podría decir que los roedores, también consumidores del zapote prieto, no sean depredadores de las semillas.

En cuanto al sitio en el que fueron depositadas las excretas y por ende las semillas del zapote prieto, se registró que ya sea en su mayoría o en su totalidad, las excretas fueron encontradas en superficies rocosas (San José de las Pilas con el 75% de las excretas y El Añil con el 100% de las excretas).

Se ha documentado que los microhábitats donde los frugívoros depositan las semillas por medio de excretas, son fundamentales para determinar la efectividad de la dispersión (Silva *et al.*, 2005; Rojas-Robles *et al.*, 2012). El éxito de la germinación y el reclutamiento de nuevas plántulas dependen de las condiciones de los microhábitats, tales como las condiciones hídricas y nutricionales para que con el tiempo suficiente se produzcan los diversos procesos metabólicos necesarios para la germinación (Johnson y Fryer, 1992). Por ejemplo, Silva, *et al.*, (2005), clasificaron lugares como las barrancas o sitios húmedos, como microhábitats favorables para la germinación, mientras que los microhábitats hostiles o desfavorables corresponden a sitios abiertos y secos.

De igual manera, Rojas-Robles, *et al.*, (2012), establecieron que el sitio de deposición de las semillas puede ser muy variable dependiendo del comportamiento del dispersor. Por ejemplo, se ha documentado que la mayoría de los mamíferos frugívoros reportados en esta investigación, generalmente defecan en rocas (zorra gris y cacomixtle, (Aranda, 2012), mapache (LoGiudice y Ostfeld, 2002)).

Bajo este contexto se podría decir que los frugívoros del zapote prieto depositan las semillas en un microhábitat hostil, en rocas en su mayoría expuestas y carentes de humedad y nutrientes necesarios para el reclutamiento de nuevos individuos. Sin embargo, hay que

tener en cuenta que ambas poblaciones se encuentran dentro de cañadas relativamente pronunciadas y que la estructura poblacional sugiere que hay reclutamiento de nuevos individuos, por lo cual, el sitio de deposición de las semillas no es el único factor que establece el destino final de las semillas, ya que factores abióticos como el viento (Johnson y Fryer, 1992) o la lluvia (Hampe, 2004), podrían modificar el sitio final de deposición de las semillas ya dispersadas por frugívoros y que no se estudiaron en la presente investigación.

Los resultados de la germinación muestran que las semillas provenientes de las excretas de mamíferos poseen una mayor capacidad germinativa y menor tiempo promedio de germinación. En el caso de San José de las Pilas existe una diferencia significativa entre los tratamientos, mientras que para la población de El Añil no se reportaron diferencias significativas.

Las semillas provenientes de excretas de la población de El Añil tuvieron una capacidad germinativa baja en relación a las semillas de San José de las Pilas, lo cual podría ser resultado de varias situaciones. Se ha reportado que los efectos en las semillas pueden variar dependiendo de la especie dispersada y el dispersor, ya que las diferencias en la morfología y fisiología de su intestino y el tiempo de retención de las semillas influirán en el porcentaje de germinación así como la velocidad de la misma (Traveset, *et al.*, 2007; Fedriani y Delibes, 2009). En la presente investigación se germinaron las semillas de las excreta sin diferenciar la especie, es probable que existan diferencias en el éxito y velocidad de germinación de las semillas defecadas por cada una de las especies identificadas como consumidoras del zapote prieto y que alguna de ellas provea a la semilla las mejores condiciones para su próxima germinación.

De igual manera, en el estudio realizado por Bacilio (2013) en la población de San José de las Pilas, se reportó que las semillas del *D. xolocotzii* extraídas directamente de los frutos exhiben menor capacidad germinativa (79%) en relación a las semillas provenientes de excretas de mamíferos (89%) sin diferencias significativas. Sin embargo, tales cifras están por arriba de lo reportado en la presente investigación (40% semillas testigo y 64.28% semillas de excretas), a pesar de que la metodología de germinación fue la misma.

En cuanto al tiempo promedio de germinación, la misma investigación reportó que las semillas provenientes de San José de las Pilas demandaron de 16 días (Bacilio, 2013), análogo a lo reportado en la presente investigación, el cual fue de 16.82 días. Esta característica puede redundar en beneficios importantes en el proceso de reclutamiento. Así por ejemplo, si se presenta una temporada muy lluviosa, una plántula que se originó más temprano que una tardía, tendrá una mayor capacidad para lograr la biomasa mínima necesaria para almacenar los nutrientes que la habiliten para afrontar la primera estación seca.

7.3. Conocimiento del *Diospyros xolocotzii* por las comunidades locales

Tanto en la comunidad de San José de las Pilas, Acámbaro, Gto., como en El Güirio, Sahuayo, Mich., existe desconocimiento acerca de la presencia del *D. xolocotzii* en sus localidades. Únicamente se obtuvo un registro de reconocimiento de la especie en San José de las Pilas, conociéndolo también como zapotillo o aguacatillo. Sin embargo, en conversaciones realizadas con personas adultas de la comunidad en investigaciones previas en esta localidad, señalaron que conocían a la especie en cuestión y la ubicación de las subpoblaciones (Arizaga, comunicación personal).

De igual manera y como se señaló anteriormente, en el caso de la barranca de San José de las Pilas existen más vestigios provenientes de actividades humanas, lo que indica que hay mayor contacto con la cañada por parte de los pobladores. Es probable que ampliando el número de asistentes a las reuniones ayudaría a ubicar a los actores que usan con mayor frecuencia la barranca y los cuales puedan ser los poseedores del conocimiento de la existencia del zapote prieto e incluso que hagan uso de sus frutos.

Pláticas previas con personas de la tercera edad de la localidad de San José de las Pilas, señalaron conocer al zapote prieto, incluso que de jóvenes lo consumían cuando el fruto alcanza su madurez. Sin embargo, al paso de los años reconocieron que se ha perdido este conocimiento y el contacto con el campo de parte de los jóvenes (Arizaga, comunicación personal).

Camacho (2011), señala que los cambios socioeconómicos provocan saltos generacionales que evitan la transmisión de los conocimientos etnobotánicos. En este contexto, en ambas poblaciones de estudios se puso énfasis en citar a las personas de mayor edad bajo el supuesto que tendrían mayor conocimiento de la especie. Sin embargo, en el caso de la población de El Gürío, Sahuayo, que tuvo la mayor asistencia de personas y que en su mayoría fueron personas mayores, no se obtuvieron resultados en este sentido.

De acuerdo con lo observado en el trabajo de campo, las principales actividades económicas de los habitantes de ambas poblaciones de estudios son la ganadería y la agricultura, probablemente tal situación propicia la poca interacción con la zona en la que habita el zapote prieto resultando en el desconocimiento de la especie. Factores como las actividades económicas que desarrollan en las localidades pueden influir de manera significativa en el tipo de interacciones que tienen con su medio (Carvajal, 2006).

Si bien los resultados acerca de los conocimientos de los habitantes acerca del *D. xolocotzii* en ambas poblaciones de estudio no fueron muy abundantes, representan un primer acercamiento a las comunidades que conviven o podrían convivir con el zapote prieto. La vinculación de los grupos sociales a los procesos de investigación deberían ser parte esencial de los proyectos para buscar mejorar las relaciones entre los grupos humanos y la vida silvestre (Castillo y Peña-Mondragón, 2015).

7.4. Implicaciones para la conservación de *Diospyros xolocotzii*

A pesar de ser una especie protegida, las poblaciones del *D. xolocotzii* aún se encuentran severamente amenazadas debido a las actividades antropogénicas que se desarrollan a su alrededor (Torres y Arizaga, 2014). Por ejemplo, en el caso de la población ubicada en La Mintzita en Morelia, Mich., se ha documentado que cerca del 70% de la vegetación original ha sido transformada a favor de la agricultura (Sanchez-Atanacio, 2009), dato que tiene nueve años de antigüedad. Posiblemente en la actualidad el estado de conservación del zapote prieto en esta localidad sea aún más grave.

Situación similar ocurre en la población de Santiago Undameo y Santa María de Guido, Morelia, Mich., donde la mayoría de los individuos del *D. xolocotzii* se encuentran dentro de parcelas agrícolas o en traspatios de las viviendas (Bacilio, 2013; Torres y Arizaga, 2014), lo que los vuelve susceptibles a la posible erradicación.

Lo anterior refleja la importancia del descubrimiento de la población del El Añil, Sahuayo, Mich., la cual representa a la mayoría de los individuos del zapote prieto que posee el estado de Michoacán y la segunda población mejor conservada del país, además como se mencionó anteriormente, esta población no presenta gran presión por parte de los pobladores de El Güirio, posiblemente a que la especie se encuentra en una zona rocosa.

Por otro lado, la identificación de los consumidores y dispersores de las semillas del zapote prieto, es fundamental para el entendimiento de los medios de reproducción de esta especie, la cual servirá para encaminar las acciones de conservación donde se incorporen estas interacciones mutualistas, ya que la reintroducción de las plantas posiblemente no funcionara a menos que también se conserve a la fauna asociada (Traveset, 1999).

Las interacciones registradas en esta investigación, resaltan la importancia de este mutualismo en la conservación del zapote prieto, como la dispersión y escarificación de semillas por mamíferos en ambos sitios de estudio, los cuales tendrían un papel importante en la regeneración natural de esta especie. Se hace evidente la necesidad de encaminar la conservación no solo de este árbol silvestre, sino también de los consumidores y dispersores de sus semillas.

Por otro lado, el desconocimiento de la existencia de la especie por parte de los pobladores de ambas poblaciones de estudio resulta preocupante, principalmente si el objetivo es el mantenimiento de la especie, ya que el conocimiento, uso y valoración de la biodiversidad son considerados mecanismos para la conservación (Martínez-Meyer, *et al.*, 2014).

Es fundamental reforzar la divulgación acerca de la biología y estado de conservación de la especie en las comunidades humanas, lo cual contribuirá a reforzar las acciones que se puedan encaminar hacia su conservación y potencial aprovechamiento sustentable (Torres y Arizaga, 2014). Haciendo énfasis no solo en el conocimiento de la especie, sino también en las interacciones bióticas donde el *D. xolocotzii* está involucrado, y por ende la importancia de su conservación.

De igual manera y de acuerdo con lo reportado con Bacilio (2013), existe la posibilidad que en poblaciones como la de San José de las Pilas, los pobladores puedan hacer consumo de los frutos del zapote prieto, ya que acorde con lo reportado con Guzmán (2014), el consumo del fruto no es dañino para los humanos, siempre y cuando se ingiera en la etapa de maduración adecuada.

El aprovechamiento racional del zapote prieto por parte de los pobladores de las comunidades aledañas sería relevante, ya que el uso de determinadas especies por las poblaciones humanas, se convierte en punto crítico en las acciones de conservación puesto que generan un mayor interés, aumentando las posibilidades de éxito en las labores de conservación (Camacho, 2011).

Hay que hacer énfasis en que aún existen huecos de información acerca del zapote prieto que servirían para llevar a cabo programas de conservación bien sustentados, tales como la polinización de la especie, el efecto del cambio climático en las poblaciones y estudios más profundos acerca de las percepciones de las comunidades humanas acerca de la conservación de la especie en cuestión y de su entorno natural, ya que como se mencionó anteriormente, todas las poblaciones que se conocen hasta el momento del *D. xolocotzii*, están dentro o muy cerca de las comunidades humanas. Derivado a lo anterior, resultaría

importante buscar una estrategia de manejo que reconozca a la presencia humana como un factor central en los programas de conservación.

Hay que tener en cuenta que en el país, el zapote prieto pertenece a una categoría de riesgo y se le considera como una especie endémica, características relevantes en las políticas de conservación (Sarukhán *et al.*, 2009), por lo que no sería imposible establecer estrategias de conservación para la especie que estén respaldadas y financiadas por sectores como el gubernamental y/o organizaciones internacionales.

De igual manera, es importante reconocer que aún faltan aspectos relevantes en el camino hacia la conservación del zapote prieto, tales como: 1) el impulso a la investigación científica, para los vacíos de información que aún existen sobre ecología de la especie; 2) la determinación de áreas o poblaciones prioritarias a la conservación, es decir, el establecimiento de áreas potenciales para la introducción de la especie y la reintroducción de individuos en las poblaciones del zapote prieto ya existentes; 3) programas de educación ambiental, donde se pueda lograr una apropiación de los planes de conservación por parte de los habitantes de las comunidades aledañas; 4) monitoreo biológico, en el cual se establezca un seguimiento a las poblaciones del zapote prieto que este enlazado con la participación de las comunidades humanas aledañas que conviven con la especie y 5) la difusión, para dar a conocer a la sociedad en general y principalmente a los habitantes de las comunidades aledañas sobre la importancia de la conservación del zapote prieto.

Bajo este contexto, hace falta promover la comunicación entre los grupos de investigación científica, el sector gubernamental y las comunidades aledañas, en donde se permita un intercambio de intereses y percepciones que favorezcan la gestión de los posibles programas orientados a la conservación de la especie.

8. Conclusiones.

Los resultados de la presente investigación, así como la discusión de los mismos proporcionan las siguientes conclusiones:

- La población recién descubierta del *D. xolocotzii*, ubicada en El Añil, Sahuayo, Mich., es la segunda población más abundante del país con 544 individuos y su estructura poblacional sugiere que se trata de una población juvenil.
- El descubrimiento de esta nueva población es favorable para la conservación del *D. xolocotzii*, debido a los siguientes aspectos:
 - a. En Michoacán, el estado de conservación del *D. xolocotzii* es alarmante entre las diferentes poblaciones. Con el descubrimiento de esta población, existen más probabilidades para conservar de manera efectiva a la especie en el estado.
 - b. A diferencia de las demás poblaciones de *D. xolocotzii*, tanto en Michoacán como Guanajuato, la población de El Añil no presenta gran presión por parte de los pobladores de El Güirio, lo cual representa una ventaja para la conservación de la especie en esta localidad.
- Los principales consumidores del zapote prieto en la población de San José de las Pilas, son *Bassariscus astutus* (cacomixtle) y *Didelphis virginiana* (tlacuache). Mientras que para la población de El Añil, Sahuayo, Mich., los roedores y *Melanotis caerulescens* (mulato).
- Las especies de menor tamaño como los roedores y las aves actúan como despulpadores de los frutos. Por el contrario, los mamíferos de mayor tamaño actúan como consumidores y potenciales dispersores al consumir los frutos sin discriminar a las semillas.
- Los dispersores potenciales del zapote prieto (*D. xolocotzii*) en ambas poblaciones de estudio son los mamíferos de talla mediana, lo que compromete a la población de El Añil, debido a las pocas apariciones de estas especies.

- El fruto del *D. xolocotzii* es un alimento importante en la dieta de los mamíferos frugívoros silvestres en ambos sitios de estudio, mientras que los consumidores de los frutos no dañan a las semillas por la masticación, sin embargo, las depositan en microhábitats inadecuados para el establecimiento de plántula.
- Las semillas del *D. xolocotzii* provenientes de las excretas de mamíferos frugívoros poseen una mayor capacidad germinativa y menor tiempo de germinación en ambas poblaciones de estudio. Sin embargo, en el caso de San José de las Pilas si existe una diferencia significativa entre los tratamientos, mientras que para la población de El Añil no se reportaron diferencias significativas.
- Los habitantes de la comunidad de San José de las Pilas, Acambaro, Gto., tienen poco conocimiento acerca del *D. xolocotzii*, mientras que los pobladores de El Güirio, Sahuayo, Mich., tenía nulo conocimiento de la existencia de la especie en su localidad.
- Es de vital importancia impulsar proyectos de divulgación para dar a conocer a la especie, las interacciones bióticas que tiene con su medio y la importancia de su conservación en las localidades en las que se encuentra.

9. Literatura consultada

- Acevedo-Quintero, J. F., Zamora-Abrego, J. G. (2016). Papel de los mamíferos en los procesos de dispersión y depredación de semillas de *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) en la Amazonia colombiana. *Revista de Biología Tropical*, 64(1), 5-15.
- Aranda, M. (2000). Huellas y otros rastros de los mamíferos grandes y medianos de México. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 212 pp.
- Aranda, M. (2012). Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F., 255 pp.
- Bacilio, R. (2013). Avances en el conocimiento de la ecología del zapote prieto (*Diospyros xolocotzii*) en la cuenca de Cuitzeo. Tesis de Ingeniería Forestal. Instituto del Valle de Morelia. Morelia, Michoacán, México 82 pp.
- Bascompte, J. y Jordano, P. (2006). The structure of plant-animal mutualistic networks. *Ecological networks: linking structure to dynamics in food webs*. Oxford University Press, Oxford, UK, 143-159.
- Beltrán, D. (2012) Evaluación del potencial de propagación vegetativa en zapote prieto (*Diospyros xolocotzii*). Tesis de Ingeniería Forestal. Instituto del Valle de Morelia. Morelia, Michoacán, México. 82 pp.
- Brook, B. W., Traill, L. W., & Bradshaw, C. J. (2006). Minimum viable population sizes and global extinction risk are unrelated. *Ecology letters*, 9(4), 375-382.
- Camacho, L. I. C. (2011). Conocimiento etnobotánico, patrones de uso y manejo de plantas útiles en la cuenca del río Cane-Iguaque (Boyacá-Colombia): una aproximación desde los sistemas de uso de la biodiversidad. *Ambiente & Sociedade*, 14(1), 45-75.
- Carrera-Treviño, R., Lira-Torres, I., Martínez-García, L., López-Hernández, M. (2016). The jaguar *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) in “El Cielo” Biosphere Reserve, Tamaulipas, Mexico. *Revista de biología tropical*, 64(4), 1451-1468.

- Carvajal, C. (2006). Relaciones Medio Ambiente-Economía. La necesidad de una nueva mirada. *Contribuciones a la Economía*, 1.
- Carranza, E. (2000). Flora del bajío y de regiones adyacentes. México. Fascículo 83: 1-9.
- Ceballos, G., Ortega-Baés, P. (2011). La sexta extinción: la pérdida de especies y poblaciones en el Neotrópico. *Conservación biológica: perspectivas de Latinoamérica*, J. Simonetti y R. Dirzo (eds.). Editorial Universitaria. Chile, 95-108.
- Ceballos, G., Díaz-Pardo, E., Espinosa, H., Flores-Villela, O., García, A., Martínez, L., & Santos Barrera, G. (2009). Zonas críticas y de alto riesgo para la conservación de la biodiversidad de México. *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 575-600.
- Challenger, A., R. Dirzo. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 37-73.
- Challenger, A., J. Soberón. (2008). Los ecosistemas terrestres, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 87-108.
- Corlett, R. T. (2017). Frugivory and seed dispersal by vertebrates in tropical and subtropical Asia: an update. *Global Ecology and Conservation*, 11, 1-22.
- Cosyns, E., Bossuyt, B., Hoffmann, M., Vervaeke, H., & Lens, L. (2006). Seedling establishment after endozoochory in disturbed and undisturbed grasslands. *Basic and Applied Ecology*, 7(4), 360-369.
- David, J. P., Manakadan, R., & Ganesh, T. (2015). Frugivory and seed dispersal by birds and mammals in the coastal tropical dry evergreen forests of southern India: A review. *Tropical Ecology*, 56(1), 41-55.
- De Luis, M. D., Verdú, M., & Raventós, J. (2008). Early to rise makes a plant healthy, wealthy, and wise. *Ecology*, 89(11), 3061-3071

- Dirzo, R., Raven, P. H. (2003). Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 137-167.
- Escribano-Ávila, G., Couso, B. P., Alcántara, A. E., & Cantalapiedra, E. V. (2015). Importancia ecológica de los mamíferos frugívoros en la dinámica de regeneración de tierras abandonadas en ambientes mediterráneos. *Revista Ecosistemas*, 24(3), 35-42.
- Espinoza-García, C. R., Martínez-Calderas, J. M., Palacio-Núñez, J., Hernández-SaintMartín, A. D. (2014). Distribución potencial del coatí (*Nasua narica*) en el noreste de México: implicaciones para su conservación. *Therya*, 5(1), 331-345.
- Fedriani, J. M., & Delibes, M. (2009). Functional diversity in fruit- frugivore interactions: a field experiment with Mediterranean mammals. *Ecography*, 32(6), 983-992.
- Fedriani, J. M., Suárez-Esteban, A. (2015). Frutos, semillas, y mamíferos frugívoros: diversidad funcional de interacciones poco estudiadas. *Ecosistemas*, 24 (3): 1-4.
- Fenner, M. (1992). Environmental influences on seed size and composition. *Horticultural reviews*, 13, 183-213.
- Fricke, E. C., Simon, M. J., Reagan, K. M., Levey, D. J., Riffell, J. A., Carlo, T. A., Tewksbury, J. J. (2013). When condition trumps location: seed consumption by fruit eating birds removes pathogens and predator attractants. *Ecology letters*, 16(8), 1031-1036.
- Galetti, M. (2002). 12 Seed Dispersal of Mimetic Fruits: Parasitism, Mutualism, Aposematism or Exaptation?. *Seed dispersal and frugivory: Ecology, evolution, and conservation*, 177.
- González-Varo, J. P., Laffitte, J. M. F., Guitián, J., López-Bao, J. V., Suárez-Esteban, A. (2015). Frugivoría y dispersión de semillas por mamíferos carnívoros: rasgos funcionales. *Revista Ecosistemas*, 24(3), 43-50.

- González-Varo, J. P., López- Bao, J. V., Guitián, J. (2013). Functional diversity among seed dispersal kernels generated by carnivorous mammals. *Journal of Animal Ecology*, 82(3), 562-571.
- González-Zertuche, L., & Orozco-Segovia, A. (1996). Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 58, 15-30.
- Guzmán, M. (2014). Cambios bioquímicos durante el proceso de maduración en el fruto del zapote prieto (*Diospyros xolocotzii*). Tesis Ingeniería en Biotecnología. Universidad Tecnológica de Morelia, Michoacán, México. 85 pp.
- Hampe, A. (2004). Extensive hydrochory uncouples spatiotemporal patterns of seedfall and seedling recruitment in a 'bird dispersed' riparian tree. *Journal of Ecology*, 92(5), 797-807.
- Hance, J. (2012). The camera trap revolution; how a simple device is shaping research and conservation worldwide. *Life is Good: Conservation in an Age of Mass Extinction*, 59-75.
- Herrera, C. M. (1989). Frugivory and seed dispersal by carnivorous mammals, and associated fruit characteristics, in undisturbed Mediterranean habitats. *Oikos*, 55(2), 250-262.
- Herrera, C. M. (1995). Dispersal systems in the Mediterranean: ecological, evolutionary, and historical determinants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 26(1), 705-727.
- Herrera, C. M. (2002). Seed dispersal by vertebrates. *Plant–Animal Interactions: An Evolutionary Approach*. Blackwell, Oxford, UK, pp. 185–208
- Howe, H. F. (1984). Constraints on the evolution of mutualisms. *American Naturalist* 123, 764-777.
- Howe, H. F. (1986). Seed dispersal by fruit-eating birds and mammals. *Seed dispersal*. Academic Press, New York. 123-189.

- Howe, H. F. (1990). Seed dispersal by birds and mammals: implications for seedling demography. *Reproductive ecology of tropical forest plants. Man and the Biosphere*, UNESCO, Paris and Parthenon Publishing, Carnforth, 7, 191-218.
- INEGI. (2007). Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Temperatura media anual.
- INEGI. (2008). Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas.
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. *Clave geoestadística 11002*.
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. *Clave geoestadística 16076*.
- INEGI. (2018). Espacio y Datos de México. Consultado el 2 de Junio del 2018. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/>.
- Janzen, D. H. (1970). Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *The American Naturalist*, 104(940), 501-528.
- Janzen, D. H., Demment, M. W., Robertson, J. B. (1985). How fast and why do germinating guanacaste seeds (*Enterolobium cyclocarpum*) die inside cows and horses?. *Biotropica*, 17, 322-325.
- Johnson, E. A., Fryer, G. I. (1992). Physical characterization of seed microsites--movement on the ground. *Journal of Ecology*, 80, 823-836.
- Jordano, P. (2000). Fruits and frugivory. *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*, 2, 125-166.
- Jordano, P., Garcia, C., Godoy, J. A., & García-Castaño, J. L. (2007). Differential contribution of frugivores to complex seed dispersal patterns. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(9), 3278-3282.

- Laffitte, J. M. F., Suárez-Esteban, A. (2015). Frutos, semillas, y mamíferos frugívoros: diversidad funcional de interacciones poco estudiadas. *Revista Ecosistemas*, 24(3), 1-4.
- Levene, H. (1960). Robust testes for equality of variances. In *Contributions to Probability and Statistics* (I. Olkin, ed.) 278–292. Stanford Univ. Press, Palo Alto, CA.
- Levey, D. J., Silva, W. R., Galetti, M. (Eds.). (2002). *Seed dispersal and frugivory: ecology, evolution, and conservation*. CABI.
- Llorente-Bousquets, J., Ocegueda, S. (2008). Estado del conocimiento de la biota. *Capital natural de México*, vol. I, CONABIO, México, pp. 283-322.
- LoGiudice, K., Ostfeld, R. (2002). Interactions between mammals and trees: predation on mammal-dispersed seeds and the effect of ambient food. *Oecologia*, 130(3), 420-425.
- López-Bao, J. V., González-Varo, J. P. (2011). Frugivory and spatial patterns of seed deposition by carnivorous mammals in anthropogenic landscapes: a multi-scale approach. *PloS one*, 6(1), e14569.
- Maehr, D. S., & Brady, J. R. (1986). Food habits of bobcats in Florida. *Journal of Mammalogy*, 67(1), 133-138.
- Madrigal, S., X, J. Rzedowski. (1988). Una especie nueva de *Diospyros* (Ebenaceae) del municipio de Morelia, Estado de Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana*. 1: 3-6.
- Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J. E., Álvarez, F. (2014). El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección?. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 1-9.
- Matías, L., Zamora, R., Mendoza, I., Hódar, J. A. (2010). Seed dispersal patterns by large frugivorous mammals in a degraded mosaic landscape. *Restoration Ecology*, 18(5), 619-627.

- Medrano Nájera, R., Ramírez Pinero, M., Guevara Sada, S. (2014). Una mirada a la dispersión de semillas en las excretas de mamíferos. Cuadernos de Biodiversidad 46: 19-28
- Mendoza, E., Dirzo, R. (2007). Seed size variation determines interspecific differential predation by mammals in a neotropical rain forest. *Oikos*, 116(11), 1841-1852.
- Mendoza-Ramírez, E., Camargo-Sanabria, A. (2014). Interacciones entre plantas y mamíferos: un elemento clave para conservar la diversidad de las selvas. *Biodiversitas*, 115(1), 1-6.
- Milberg, P., Andersson, L., Elverson, C., Regné, S. (1996). Germination characteristics of seeds differing in mass. *Seed Science Research*, 6: 191-197.
- Morales, G. C., Peña, N. G., List, R. (2009). Ecología del cacomixtle (*Bassariscus astutus*) y la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel, pp. 371-381
- Naranjo, E. J., Dirzo, R., López-Acosta, J. C., Rendón-von Osten, J., Reuter, A., Sosa-Nishizaki, O. (2009). Impacto de los factores antropogénicos de afectación directa a las poblaciones silvestres de flora y fauna. *Capital natural de México*, 2, 247-276.
- Niembro, A. (2001). Las diásporas de los árboles y arbustos nativos de México: posibilidades y limitaciones de uso. *Madera y Bosques*, 7(2).
- Nogales, M., González- Castro, A., Rumeu, B., Traveset, A., Vargas, P., Jaramillo, P., Heleno, R. H. (2017). Contribution by vertebrates to seed dispersal effectiveness in the Galápagos Islands: a community wide approach. *Ecology*, 98(8), 2049-2058.
- Reed, D. H. (2005). Relationship between population size and fitness. *Conservation biology*, 19(2), 563-568.
- Reed, J. M., & McCoy, E. D. (2014). Relation of minimum viable population size to biology, time frame, and objective. *Conservation Biology*, 28(3), 867-870.

- Rodríguez, A., Alquézar, B., Pena, L. (2013). Fruit aromas in mature fleshy fruits as signals of readiness for predation and seed dispersal. *New Phytologist*, 197(1), 36-48.
- Rojas-Robles, R., Stiles, F. G., Muñoz-Saba, Y. (2012). Frugivoría y dispersión de semillas de la palma *Oenocarpus bataua* (Arecaceae) en un bosque de los Andes colombianos. *Revista de Biología Tropical*, 60(4), 1445-1461.
- Rzedowski, J., Zamudio, S., & Paizanni, A. (2014). El bosque tropical caducifolio en la cuenca lacustre de Pátzcuaro (Michoacán, México). Instituto de Ecología AC, Centro Regional del Bajío.
- Sánchez, F. (2009). Bases biológicas y agronómicas del zapote prieto (*Diospyros xolocotzii*) una especie amenazada de Michoacán. Tesis de Licenciatura en Agronomía. Instituto del Valle de Morelia. Morelia, Michoacán, México. 86 pp.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Anta, S. (2009). Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 100.
- Schupp, E. W., Jordano, P., Gómez, J. M. (2010). Seed dispersal effectiveness revisited: a conceptual review. *New Phytologist*, 188(2), 333-353.
- Scott, D. W. (1979). On optimal and data-based histograms. *Biometrika*, 66, 605--610. 10.2307/2335182.
- SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicanas-059. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestre-categoría de riesgo. Diario Oficial de la Federación. México.
- SEMARNAT. (2015). Norma Oficial Mexicanas-059. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestre-categoría de riesgo. Diario Oficial de la Federación. México.

- Shapiro, S., Wilk, M. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591-611. doi:10.2307/2333709.
- Shaffer, M.L. (1981). Minimum population sizes for species conservation. *BioScience*, 31(2), 131-134.
- Silva, S. I., Bozinovic, F., Jaksic, F. M. (2005). Frugivory and seed dispersal by foxes in relation to mammalian prey abundance in a semiarid thornscrub. *Austral Ecology*, 30(7), 739-746.
- Sturges, H. A. (1926). The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association*, 21, 65--66. 10.1080/01621459.1926.10502161
- Torres, I., Arizaga, S. (2014). Nota sobre nuevas localidades de poblaciones silvestres del zapote prieto (*Diospyros xolocotzii*, Ebenaceae), especie amenazada del occidente de México. *Acta Botánica Mexicana*, (107), 19-26.
- Traveset, A. (1998). Effect of seed passage through vertebrate frugivores' guts on germination: a review. *Perspectives in Plant ecology, evolution and systematics*, 1(2), 151-190.
- Traveset, A. (1999). La importancia de los mutualismos para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas insulares. *Revista Chilena de Historia Natural*, 72, 527-538.
- Traveset, A., Rodríguez-Pérez, J., Pías, B. (2007). Seed trait changes in dispersers' guts and consequences for germination and seedling growth. *Ecology*, 89(1), 95-106.
- Vander Wall, S. B., Beck, M. J. (2012). A comparison of frugivory and scatter-hoarding seed-dispersal syndromes. *The Botanical Review*, 78(1), 10-31.
- Vargas, E. M., Castro, E., Macaya, G., J Rocha, O. (2003). Variación del tamaño de frutos y semillas en 38 poblaciones silvestres de *Phaseolus lunatus* (Fabaceae) del Valle Central de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 51(3-4), 707-724.

- Villalobos Escalante, A., Buenrostro-Silva, A., Sánchez-de la Vega, G. (2014). Dieta de la zorra gris *Urocyon cinereoargenteus* y su contribución a la dispersión de semillas en la costa de Oaxaca, México. *Therya*, 5(1), 355-363.
- Welch, B. (1947). The Generalization of 'Student's' Problem when Several Different Population Variances are Involved. *Biometrika*, 34(1/2), 28-35.
- Wilcoxon, F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), 80-83. doi:10.2307/3001968
- Wolfe, L. M. (1995). The genetics and ecology of seed size variation in a biennial plant, *Hydrophyllum appendiculatum* (Hydrophyllaceae). *Oecologia*, 101(3), 343-352.
- Yanes, C. V., Muñoz, A. I. B., Alcocer, M. I., Silva, M. G. D. Y. C., & Dirzo, S. (2001). Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación.
- Zúñiga, A., Muñoz-Pedreiros, A., Fierro, A. (2008). Dieta de *Lycalopex griseus* (Gray, 1837) (Mammalia: Canidae) en la depresión intermedia del sur de Chile. *Gayana* (Concepción), 72(1), 113-116.

10. Apéndice



Ilustración A1: *Bassariscus astutus* (cacomixtle) consumiendo frutos del *D. xolocotzii* en una estación de alimentación de San José de las Pilas, Acámbaro, Guanajuato.



Ilustración A2: Excreta con alta presencia de la semilla de *Randia* sp en El Añil, Sahuayo, Michoacán.



Ilustración A3: *Bassariscus astutus* consumiendo el fruto del *D. xolocotzii* en una las de estaciones de alimentación en San José de la Pilas, Acámbaro, Guanajuato.



Ilustración A4: *Urocyon cinereoargenteus* oliendo los frutos del *D. xolocotzii* en uno de las estaciones de alimentación en San José de la Pilas, Acámbaro, Guanajuato.



Ilustración A5: *Melospiza kieneri* consumiendo la pulpa del fruto del *D. xolocotzii* en una de las estaciones de alimentación en El añil, Sahuayo, Michoacán.



Ilustración A6: *Catharus aurantirostris* junto a los frutos del *D. xolocotzii* en una de las estaciones de alimentación en El Añil, Sahuayo, Michoacán.