



**INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.**

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**Interacciones ecológicas de *Yucca potosina* en
paisajes modificados del altiplano potosino**

Tesis que presenta

Claudia Lorena Rodríguez Salazar

Para obtener el grado de

Maestro(a) en Ciencias Ambientales

Codirectores:

Dr. Felipe Barragán Torres (IPICYT)

Dr. Alfredo Ramírez Hernández (CIIDZA)

San Luis Potosí, S.L.P., noviembre de 2020



Constancia de aprobación de la tesis

La tesis “**Interacciones ecológicas de *Yucca potosina* en paisajes modificados del altiplano potosino**” presentada para obtener el Grado de Maestro(a) en Ciencias Ambientales fue elaborada por **Claudia Lorena Rodríguez Salazar** y aprobada el **día de mes de 2020** por los suscritos, designados por el Colegio de Profesores de la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Dr. Felipe Barragán Torres

Codirector de la tesis

Dr. Alfredo Ramírez Hernández

Codirector de la tesis

Dr. Joel Flores Rivas

Miembro del Comité Tutorial

Dra. Cecilia Díaz Castelazo

Miembro del Comité Tutorial

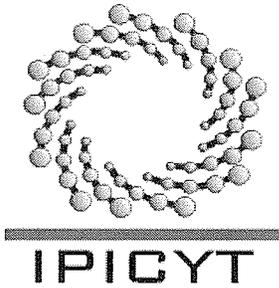


Créditos Institucionales

Esta tesis fue elaborada en el Laboratorio de Ecología Experimental de la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., bajo la codirección de los Doctores Felipe Barragán Torres y Alfredo Ramírez Hernández.

Durante la realización del trabajo el autor recibió una beca académica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, No. de registro: 931746 y del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C.

El trabajo de campo realizado durante la elaboración de esta tesis fue financiado gracias al apoyo económico del proyecto CONACYT (FORDECYT-CIIDZA: 296354).



Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Acta de Examen de Grado

El Secretario Académico del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., certifica que en el Acta 088 del Libro Primero de Actas de Exámenes de Grado del Programa de Maestría en Ciencias Ambientales está asentado lo siguiente:

En la ciudad de San Luis Potosí a los 4 días del mes de noviembre del año 2020, se reunió a las 11:00 horas en las instalaciones del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., el Jurado integrado por:

Dr. Joel David Flores Rivas	Presidente	IPICYT
Dr. Alfredo Ramírez Hernández	Secretario	IPICYT
Dr. Felipe Barragán Torres	Sinodal	IPICYT

a fin de efectuar el examen, que para obtener el Grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

sustentó la C.

Claudia Lorena Rodríguez Salazar

sobre la Tesis intitulada:

Interacciones ecológicas de Yucca potosina en paisajes modificados del altiplano potosino

que se desarrolló bajo la dirección de

Dr. Alfredo Ramírez Hernández
Dr. Felipe Barragán Torres

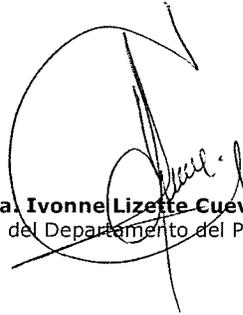
El Jurado, después de deliberar, determinó

APROBARLA

Dándose por terminado el acto a las 13:25 horas, procediendo a la firma del Acta los integrantes del Jurado. Dando fe el Secretario Académico del Instituto.

A petición de la interesada y para los fines que a la misma convengan, se extiende el presente documento en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México, a los 4 días del mes de noviembre de 2020.


Dr. Marcial Borjilla Marín
Secretario Académico


Mtra. Ivonne Lizette Cuevas Vélez
Jefa del Departamento del Posgrado



Dedicatorias

A Chucho y a Gus, quienes únicamente me vieron iniciar esta etapa, y aun así me inspiran cada día a seguir creciendo como profesionalista, pero sobre todo como persona y me demuestran que no existe barrera que pueda minimizar el amor de la familia.

A mis abuelos: Toño, Matiti y Yoya, quienes han estado cada día a mi lado para preguntar “¿Cómo vas? ¿Ya comiste? ¿Ya encontraste tiburones?” Ustedes me alegran la vida y el corazón.

A mis padres y hermano, quienes nunca dudan en apoyarme, alentarme y consolarme. Nunca tendré las palabras suficientes para decirles cuanto les agradezco lo que hacen por mí y lo mucho que los amo.

Agradecimientos

A mis directores de tesis, el Dr. Felipe Barragán y el Dr. Alfredo Ramírez, por sus ideas y aportaciones para realizar este proyecto, pero sobre todo por su paciencia, apoyoy por supuesto, por su valentía para trepar yucas en escalera. Gracias también por el apoyo económico con el que me permitieron dar a comer mi trabajo en un Congreso nacional.

Al Dr. Joel Flores, por involucrarse tanto en este proyecto y aceptarme y cuidarme como miembro de su grupo de trabajo.

A la Dra. Cecilia Díaz, gracias por sus observaciones y aportaciones que ayudaron a enriquecer este trabajo de tesis.

A mis compañeros de generación: Edith, Rose, Pao 1 (D), Pao 2 (A), Vickybo, Ere y Yes. Considero que fuimos un grupo muy bonito y que cada uno de ustedes me ayudó con las cosas académicas, pero además de eso me brindaron su amistad, su apoyo y las reuniones de pastel de guayaba durante estos dos años. ¡Los quiero!

A mis acompañantes en campo: Francisco, Angelito, Alexa, Vic y Jesús. Por aventurarse conmigo a pesar de la lluvia, el frío y el peso de la escalera y pese a todo hacer estas salidas divertidas. Estoy infinitamente agradecida con ustedes.

Al Biól. Francisco Emmanuel, por su invaluable ayuda con la identificación de artrópodos, gracias por tenerme paciencia y enseñarme sobre un tema que para mí resulta tan complejo.

A Edith: mi compañera de campo, de cubo, de desayuno, de botanas y de crisis en medio de la nada. Gracias por trepar yucas conmigo y por apoyarme tanto en lo académico como en lo personal. Sobre todo, gracias por tu amistad sincera desde el primer día.

A Luis, por ayudar a una desconocida a comprender los temas de ingeniería y terminar involucrándose en mi trabajo de campo sin importarle estar bajo la lluvia. Y por hacerme mapas para que no perdiera las cámaras trampa. Gracias por emocionarte con mis metas e impulsarme a seguirlas.

A mis amigas incondicionales: Andy y May, más bien a mis hermanas, con quienes puedo contar cualquier día a cualquier hora y nunca permiten que decaiga mi ánimo.

A mi Choco, mi amuleto de la suerte y el más hermoso y fiel acompañante, tu compañía y cariño me inspiran a ser mejor persona.

Contenido

Constancia de aprobación de la tesis	ii
Créditos institucionales	iv
Acta de examen	vi
Dedicatorias	vii
Agradecimientos	viii
Resumen	
Abstract	
Introducción	1
Objetivo	10
Objetivos específicos	10
Hipótesis	10
Material y métodos	11
Zona de Estudio	11
Colecta de datos	13
Análisis estadísticos	16
Resultados	20
Discusión	34
Conclusiones	41
Perspectivas	43
Referencias	44

Resumen

Aproximadamente el 50% del territorio mexicano está cubierto por zonas áridas y semiáridas, que son hábitat natural del género *Yucca*. Estas especies son de importancia debido a su uso como alimento (flores y frutos) y materia prima en la industria; además, son importante fuente de alimento y refugio para diversos organismos silvestres. *Yucca potosina* es una especie endémica de los municipios de Armadillo de los Infante y Guadalcázar, en San Luis Potosí. Sin embargo, las actividades antrópicas están reduciendo y alterando su distribución. A pesar de su importancia, la información ecológica de esta especie es muy limitada. El objetivo de esta tesis es identificar las interacciones ecológicas de *Y. potosina* con la fauna silvestre y determinar la diversidad de especies visitantes de flores, consumidoras de frutos y dispersoras de semillas en sitios con un gradiente de usos y manejo: conservado, intermedio y perturbado. Se colocaron *in situ*: 1) sacos de malla blanca para cubrir los racimos de flores hasta la madurez de frutos; 2) cámaras trampa frente a los racimos con flores hasta la maduración de frutos y 3) estaciones de muestreo para evaluar la remoción de frutos y semillas depositadas a nivel del suelo que fueron monitoreadas usando foto-trampas. Se recolectaron 791 individuos de artrópodos de 39 morfoespecies que pertenecen a los órdenes Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera, Diptera, Araneae y Mantodea. La diversidad (0D , 1D , 2D) de artrópodos fue mayor para el sitio conservado, en contraste con los otros sitios. Se registraron 15 vertebrados de seis especies interactuando con flores y frutos en el dosel de la yuca. Se registró la presencia de 11 especies de vertebrados consumiendo frutos y semillas al nivel del suelo (7 en sitio conservado, 6 en perturbado y 4 en intermedio). La tasa de remoción de frutos y semillas fue mayor para el sitio perturbado, seguido por el intermedio y el conservado. Los datos obtenidos demuestran que la fauna silvestre reacciona negativamente a la perturbación humana en los sitios estudiados. Se concluye que *Y. potosina* es una especie de suma importancia ya que sostiene interacciones con diversas especies de fauna nativa, interacciones que son afectadas por la perturbación.

Palabras clave: Dispersión, diversidad, fauna, endémica, insectos

Abstract

Approximately 50% of the Mexican territory is covered by arid and semi-arid zones, which are the natural habitat of the genus *Yucca*. These species are important due to their use as food (flowers and fruits) and as material in the industry; they are also an important source of food and refuge for a variety of wild organisms. *Yucca potosina* is an endemic species of the municipalities of Armadillo de los Infante and Guadalcázar, in San Luis Potosí. Nonetheless, anthropic activities are reducing and altering its distribution. Despite its importance, ecological information of this species is very limited. The main goal of this thesis is to identify the ecological interactions of *Y. potosina* with wild fauna and to determine the diversity of floral visitor species, consuming fruits and seed dispersers through a gradient of uses and management: conserved, intermediate and disturbed. They were placed *in situ*: 1) white mesh bags to cover flower clusters until fruit maturity; 2) camera traps in front of flower clusters until fruit matureness and 3) sampling stations to evaluate the removal of fruits and seeds deposited at ground level that were monitored using photo-traps. Overall, 791 arthropod individuals and 39 morphospecies belonging to the orders Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera, Diptera, Araneae and Mantodea were collected. The diversity (0D , 1D , 2D) of arthropods was higher for the conserved site, in contrast to the other sites. Fifteen vertebrates belonging to six species were recorded interacting with flowers and fruits in the canopy of the yuca. The presence of 11 species of vertebrates was recorded consuming fruits and seeds at ground level (7 in a conserved site, 6 in disturbed and 4 in intermediate). The removal rate of both fruits and seeds was higher for the disturbed site, followed by the intermediate and the conserved. These results demonstrate that wildlife is negatively affected by human disturbance at the sites studied. In summary, *Y. potosina* is an important endemic species in maintaining diverse interactions with species of native fauna, which are affected by the disturbance.

Keywords: Dispersion, diversity, fauna, endemic, insects

Introducción

México es uno de los países con mayor riqueza y diversidad de flora debido a su variedad de climas, topografía y suelos; estos factores han favorecido una gran variedad de ecosistemas en nuestro país que van desde regiones altas y frías, hasta áreas desérticas (Martínez-Meyer et al., 2014). Su situación geográfica y la riqueza de ecosistemas han propiciado que México sea considerado como centro de diversificación de distintas especies vegetales (Boege, 2009; Huerta-Martínez & García-Moya, 2004; Matuda & Piña, 1998). Entre ellas se encuentra el género *Yucca* (L. 1753), que cuenta con 49 especies descritas a nivel mundial, de las cuales 29 se encuentran dentro del territorio mexicano, la mayoría en hábitats xerófilos (García Salas, 1999; Irish & Irish, 2000; Magallán-Hernández et al., 2014; Matuda & Piña, 1998).

Las zonas áridas y semiáridas se caracterizan por tener una baja precipitación. En el caso de las zonas áridas el máximo es de 250 mm anuales, mientras que en las zonas semiáridas se encuentra dentro un rango de 250 a 500 mm anuales (González Medrano, 2012); por lo cual, estas zonas presentan un déficit de humedad la mayor parte del año y a su vez un nivel importante de aridez (Cervantes, 2005; INEGI, 2012; SEMARNAT, 2014b, 2014a). En México estas zonas abarcan alrededor de la mitad del territorio y albergan el 44% de endemismos a nivel de género de la flora nacional, mientras que su contribución a la flora fanerogámica de México se estima alrededor de 6000 especies (Challenger & Soberón, 2008). Aunado a esto, se conoce que por su gran extensión en el país, son hogar de más de 33.6 millones de personas (INEGI, 2011)

San Luis Potosí es un estado predominado por zonas áridas y semiáridas (Figura 1) cuya vegetación esta constituida por matorral crasicaule, matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo (CONABIO, 2019; INEGI, 2012; Rzedowski,

2006; SEMARNAT, 2014b). Estos tipos de vegetación están formados principalmente por especies arbustivas, las cuales presentan adaptaciones morfológicas que les permiten desarrollarse en condiciones adversas (González Medrano, 2012; Rzedowski, 2006). Las especies arborescentes presentes en estas zonas cubren únicamente algunos manchones aislados, entre estas especies, se encuentran las agrupadas en el género *Yucca*, las cuales llegan a dominar o co-dominar la vegetación en zonas áridas y semiáridas (Matuda & Piña, 1998; Rzedowski, 2006).

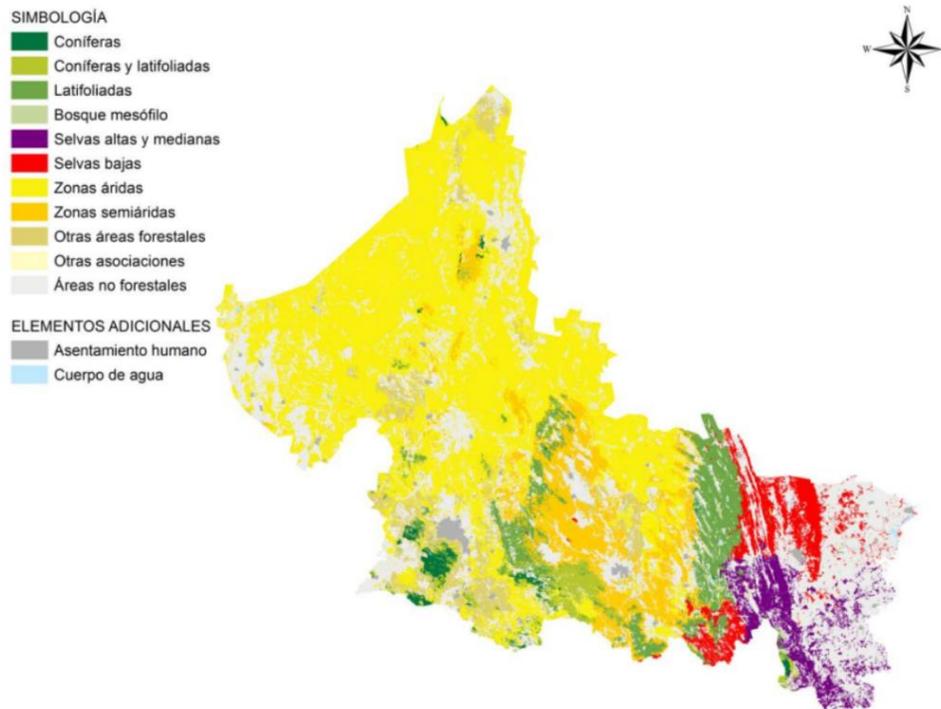


Figura 1. Distribución de los diferentes tipos de vegetación presentes en el Estado de San Luis Potosí, México, en donde se aprecia la gran extensión de las zonas áridas y semiáridas en el Estado. Modificada de: Inventario Estatal Forestal de Suelos – San Luis Potosí, 2014. SEMARNAT

El género *Yucca* (Asparagaceae) fue descrito por Linneo en el año de 1753 como plantas perennes y suculentas, esto último debido a su abundante desarrollo de parénquima y al hecho de que sus vacuolas tienen un tamaño mayor al promedio; además, tienen una gran densidad de estomas y de sistema vascular. Estas características les permite almacenar grandes cantidades del recurso limitante, que es el agua, durante la corta época de lluvia característica de las zonas áridas. También se reconocen por ser plantas arbustivas o arborescentes que pueden llegar a medir hasta 10 metros de altura, formando parte del estrato arbóreo y siendo uno de los géneros con plantas más altas en las zonas áridas y semiáridas. Sus hojas son ascendentes, rígidas con márgenes lisos, dentados o fibrosos y ápices agudos. Su inflorescencia es un racimo de flores unidas, de color blanco-cremoso, que en algunos casos tienen tintes rosáceos o morados. Los frutos pueden ser indehiscentes, tanto carnosos como secos, o bien pueden ser dehiscentes. Sus semillas son planas, negras y pueden ser tanto lisas como rugosas y carecen de alas (Granados-Sánchez & López-Ríos, 1998; Matuda & Piña, 1998).

La reproducción de estas plantas puede ser tanto sexual como vegetativa; sin embargo, a pesar de generar una enorme cantidad de semillas, las cuales a su vez tienen un porcentaje importante de germinación, pocas son las plantas que llegan a desarrollarse y alcanzar su estado adulto (Granados-Sánchez & López-Ríos, 1998). Uno de los principales factores que ocasiona esta baja tasa de supervivencia es la enorme cantidad de frutos y semillas y plántulas que son consumidos por animales como roedores y ganado, así como al hecho de que el agua representa un recurso limitante para que las semillas germinen y las plántulas se establezcan (Granados-Sánchez & López-Ríos, 1998; Webber, 1953).

La distribución natural de este género se da desde el sur de Canadá hasta Guatemala, aunque se piensa que esta distribución llegó a ser aún más amplia en épocas anteriores (Matuda & Piña, 1998). Actualmente, se encuentra en otros países debido a su introducción por parte del humano (Matuda & Piña, 1998). En

México, las poblaciones de este género se localizan en la región árida y semiárida del territorio nacional, principalmente en los estados de Baja California, Michoacán, Querétaro, Guanajuato, Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Puebla, Nuevo León y Tamaulipas (SEMARNAT, 2017).

La importancia cultural del género *Yucca* en México, se debe al abundante uso que tiene por parte del humano con diversos fines. Este género ha sido utilizado para el consumo de sus flores y frutos, considerados un alimento supernutritivo debido a la importante cantidad de proteínas que proporciona (Alanís Flores & Foroughbakhch, 2008; Mora-Olivo et al., 2009; Sotelo et al., 2007). Asimismo, tiene importancia económica debido al aprovechamiento de las distintas partes de las plantas en el sector industrial, considerado una importante fuente de materia prima; principalmente, en la industria farmacéutica, en la que extraen sarsapogeninas de las semillas de las yucas, de las cuales se sintetizan hormonas sexuales, corticoides, agentes anabólicos y anticonceptivos, entre otros productos (Granados-Sánchez & López-Ríos, 1998; Mora-Olivo et al., 2009; Romo de Vivar, 1977).

Las especies del género *Yucca* se destacan por la diversidad de interacciones bióticas que mantienen a lo largo de su ontogenia, lo cual ha favorecido que sean un modelo de estudio en investigaciones ecológicas y biológicas. Desde la perspectiva ecológica, estas especies de plantas se encuentran inmersas en interacciones interespecíficas con diversos organismos de manera constante, pues representan una fuente importante de alimento, sombra y refugio para la fauna silvestre, en zonas donde los recursos suelen ser limitados (Matuda & Piña, 1998).

Las interacciones interespecíficas son definidas como los vínculos o relaciones que existen entre dos o más especies (del Val & Boege, 2012; Rico-Gray, 2001). Dependiendo del contexto en que ocurran, las interacciones bióticas o interespecíficas históricamente se han catalogado por el efecto que tienen sobre las

especies interactuantes (del Val & Boege, 2012). Estas interacciones pueden ser positivas, negativas o neutras para los participantes, y pueden ser clasificadas por los efectos que tienen en los mismos (Tabla 1). Sin embargo, a pesar de que estas categorías nos permiten estudiar de manera discreta las relaciones entre las especies, en la naturaleza en realidad existe un continuo de interacciones que varían con la ontogenia de los individuos y que pueden ir del antagonismo al mutualismo dependiendo del contexto en el que ocurren y de los costos y beneficios que representan (del Val & Boege, 2012; Rico-Gray, 2001).

Tabla 1. Clasificación de las interacciones interespecíficas. Si la interacción causa un incremento en la adecuación o beneficio a las especies, es representado por un signo positivo (+), si causa un decremento en la adecuación es representado por un signo negativo (-) y el caso de un efecto neutro es representado por un número cero (0). Modificada de Rico-Gray (2001).

Tipo de interacción	Efecto en la especie 1	Efecto en la especie 2
Antagonismo	+	-
Competencia	-	-
Mutualismo	+	+
Comensalismo	+	0
Neutralismo	0	0
Amensalismo	0	-

Para las especies del género *Yucca* se han registrado diversas interacciones bióticas. La interacción más estudiada para el género ha sido el mutualismo obligado con las polillas o moscas de la yuca del género *Tegeticula* Zeller, 1873 (Insecta: Lepidoptera, Prodoxidae), conocido por ser un claro ejemplo de coevolución (Pellmyr & Leebens-Mack, 1999). En esta estrecha relación, ambas especies interactuantes se ven beneficiadas (Pellmyr & Leebens-Mack, 1999;

Rentería-Arrieta & Ayala, 2003; Rico-Gray, 2001) debido a que las hembras de *Tegeticula* sp. después de la reproducción, son atraídas durante la noche por el néctar de las flores recién abiertas de las yucas, de las cuales recogen el polen (polinizan) y a su vez ovipositan en el interior de los pistilos (Villavicencio & Pérez-Escandón, 2017). Al interior de los frutos, las larvas se alimentan de una cantidad mínima de semillas en desarrollo por lo que no representan un antagonismo para la planta. Finalmente, los imagos emergen de los frutos antes de que estos alcancen su madurez. Se estima que esta interacción ha ocurrido durante 40 millones de años, y que gracias a ella se ha logrado la supervivencia tanto de la planta como del insecto (Mora-Olivo et al., 2009; Pellmyr & Huth, 1994; Villavicencio & Pérez-Escandón, 2017). Además de ser vital para el mantenimiento de las comunidades de yuca, los individuos de género *Tegeticula* sp. en su estado larval, forman parte de la dieta de algunas especies de aves insectívoras y lagartijas (Treviño et al., 2006).

Estudios previos han documentado la presencia de otros artrópodos que se asocian a la yuca, siendo los órdenes más representativos Coleoptera, Hymenoptera, Hemiptera, Araneae y Diptera, entre los que destacan por su abundancia, los coleópteros, dípteros e himenópteros que frecuentemente visitan las flores y los frutos de *Yucca filifera* Chabaud, 1876, *Yucca filamentosa* Linneo y *Yucca brevifolia* Chabaud, 1876, en busca de néctar, semillas o un sitio de descanso (Allred & Beck, 1964; Guerrero-Rodríguez et al., 1985; Rau, 1985; Rentería-Arrieta, 2000). Otra asociación mutualista que se ha descrito entre las yucas y los artrópodos, son las especies *Formica obscuriventralis* Mayr, 1870 y *Formica ravidia* Creighton, 1940 (Hymenoptera, Formicidae) conocidas como hormigas de la madera, quienes proporcionan defensa a la especie *Yucca glauca* Nuttall, 1813; por lo tanto, disminuyen la oviposición de polillas no polinizadoras en los frutos (Perry et al., 2004).

No obstante, el grupo de los artrópodos no es el único que se ve involucrado en esta enmarañada red de interacciones, también existen especies de vertebrados, como aves y mamíferos, asociados a este grupo taxonómico de plantas. En este

sentido, la avifauna mexicana se suma a la lista de especies que interactúan con el género *Yucca*, pues una importante cantidad de especies de aves las destinan como sitio de alimentación, reproducción, área de descanso y percha, donde pueden vigilar y asechar a sus presas o identificar amenazas desde las alturas. De hecho, se tienen registros que enlistan algunas especies de aves interactuando con la especie *Yucca treculeana* Carrière, 1858 (García Salas, 1999). Se han reportado incluso, interacciones entre las yucas y especies en peligro de extinción, como el gorrión de Worthen (*Spizella wortheni* Ridgway, 1884), en cuyo caso se considera que los bosques de yuca, también conocidos como izotales, pueden ser sitios clave para la protección de esta especie (Canales-Delgadillo et al., 2015).

Además, se han encontrado restos de semillas de la especie *Y. filifera* en heces de cacomixtle (*Bassariscus astutus* Lichtenstein, 1830) y zorro gris (*Urocyon cinereoargenteus* Schreber, 1775) por lo que se considera que forma parte de la dieta de estos animales (Nava et al., 1999; Villarreal Méndez, 2012). Otros animales que se alimentan de semillas de yuca son los roedores y el ganado que pastorea libremente. Con respecto a los roedores, se han documentado algunas especies como las ratas canguro (*Dipodomys* sp. Gray, 1841), y ardillas antílope de cola blanca (*Ammospermophilus leucurus* Merriam, 1889), que colectan tanto frutos como semillas de *Y. brevifolia*, y se considera que también aprovechan los frutos y semillas de otras especies del género presentes en territorio estadounidense (Borchert & DeFalco, 2016; VanderWall et al., 2006). Como consecuencia del aprovechamiento de frutos y semillas como alimento, los roedores son considerados los principales dispersores del género *Yucca*. Esto se debe a que los roedores además de realizar la colecta de frutos y semillas, en muchas ocasiones las entierran en sus madrigueras, incluso aumentando sus probabilidades de germinación (Granados-Sánchez & López-Ríos, 1998; Lenz, 2001; VanderWall et al., 2006).

En esta tesis se aborda el estudio de *Yucca potosina* Rzedowski, 1955, una especie endémica del estado de San Luis Potosí, que se distribuye específicamente en los municipios de Armadillo de los Infante y Guadalcázar. Es comúnmente conocida

como “palma” o “palma barreta”. Es una planta arborescente, con una altura de hasta 7 metros, usualmente tiene un solo tronco con un máximo de 25 cm de diámetro, que en algunas ocasiones llega a ramificar, las hojas se agrupan en la parte superior del tronco y son planas y rígidas, tienen un largo de 30 a 100 cm, y son delgadas, de los 3 a los 6 cm de ancho. La inflorescencia es larga, péndula y densa. El fruto es indehiscente, carnoso con una longitud de 4 a 8 cm y un diámetro que va de los 2.5 a los 3.5 cm. Las semillas son negras, sin alas, con un largo de 6 a 8 mm, por 5 a 6 mm de ancho y 3 a 4 mm de grueso (Rzedowski, 1955). A pesar de que esta especie endémica para el estado de San Luis Potosí fue registrada hace ya más de 60 años, la información acerca de ella es muy limitada. Por lo tanto, resulta imprescindible desarrollar estudios que permitan conocer las interacciones entre *Yucca potosina* con distintas especies de animales, en los distintos periodos de su ciclo anual, lo que encaminaría el conocimiento a generar estrategias de conservación para esta especie.

Durante las últimas décadas, la población humana ha incrementado su número de forma acelerada (Liu et al., 2006), y como consecuencia de las necesidades humanas, se han desencadenado problemas como el cambio de uso de suelo, término que se define como la modificación del medio ambiente natural y la cubierta terrestre para darle otros usos (FAO, 1995). Dicha perturbación tiene un afecto en las poblaciones, ecosistemas y paisajes, así como la estructura y funcionamiento de los mismos (Dajoz, 2000). Este tema ha sido foco de atención en ecología, en un intento de identificar dichas consecuencias. Con este fin, algunas especies de animales han sido utilizados como bioindicadores para evaluar los efectos de la perturbación antrópica en la biodiversidad. En este sentido, se han estudiado desde artrópodos hasta grandes mamíferos, evaluando tanto a individuos como a poblaciones, comunidades y ecosistemas completos (Blanc et al., 2006; Pardini et al., 2009; Sauvajot et al., 1998).

En general, la perturbación por parte de las actividades humanas tiene repercusiones en la abundancia, riqueza y distribución de especies de todos los grupos taxonómicos estudiados; sin embargo, cada uno responde de manera distinta, siendo algunos perjudicados y algunos otros beneficiados, dependiendo de la magnitud del cambio (Blanc et al., 2006; Markl et al., 2012; Pardini et al., 2009). En muchas ocasiones, la tendencia parece indicar que la riqueza y diversidad de animales de diferentes grupos taxonómicos disminuye a medida que la perturbación ambiental aumenta (Barragán et al., 2018; Blanc et al., 2006; Brattstrom & Bondello, 1983; Carney & Sydeman, 1999; Farwig et al., 2006). No obstante, se han reportado numerables casos en que ocurre lo contrario, por lo cual, se considera que la respuesta depende de la capacidad de adaptación de cada organismo, siendo las especies más especializadas y con un rango geográfico pequeño las más propensas a sufrir efectos negativos, mientras que las especies generalistas con un nicho ecológico amplio, parecen ser favorecidas o responder de manera neutral a la perturbación antrópica (Blanc et al., 2006; Brattstrom & Bondello, 1983; Prist et al., 2012).

Por ejemplo, el incremento en las actividades productivas, como la agricultura y ganadería, son algunas de las razones comunes por las que los ecosistemas y a su vez la vida silvestre, se ven alterados. Sin embargo, se ha observado que las actividades de ocio al aire libre como el ecoturismo, senderismo y observación de la naturaleza, también representan una importante fuente de perturbación que puede incluso estimular el abandono de la zona por parte de la vida silvestre, sobre todo si las personas que realizan estas actividades son acompañadas por sus mascotas (Blanc et al., 2006; Brattstrom & Bondello, 1983; Carney & Sydeman, 1999). En este sentido, en los municipios de Guadalcázar y Armadillo de los Infante, los pobladores viven del manejo y uso de sus tierras, así como del ecoturismo; por lo tanto, la zona de distribución de la *Y. potosina* está sometida a distintos grados de perturbación, dependiendo del manejo.

Objetivo

Identificar las interacciones ecológicas de *Yucca potosina* (visitantes de flor y visitantes de fruto) con animales, en sitios con distinto grado de uso y manejo del paisaje.

Objetivos específicos

- Comparar la diversidad de grupos taxonómicos de los visitantes florales y visitantes de frutos de *Y. potosina* entre zonas con distinto grado de uso y manejo del paisaje.
- Evaluar cómo cambia la riqueza de vertebrados asociados a la especie *Y. potosina*, en tres condiciones de uso y manejo del paisaje.
- Analizar y comparar la remoción de frutos y semillas de *Y. potosina*, en tres zonas con diferente uso y manejo del paisaje.

Hipótesis

Al asumir que la intensidad de manejo y uso de los ecosistemas conlleva la pérdida de la diversidad biológica, esperamos encontrar que la especie *Yucca potosina* mantenga interacciones con más especies animales en paisajes con menor grado de uso y manejo. Mientras que, en los paisajes con mayor grado de modificación por actividades humanas, se presentará una mayor tasa de remoción de frutos y semillas, ya que el recurso alimenticio para los animales es más escaso.

Materiales y Métodos

Zona de estudio

El trabajo de campo se realizó en el municipio de Armadillo de los Infante (100°39' de longitud oeste y 22°15' de latitud norte), localizado en la parte oriente de la capital del estado de San Luis Potosí (Figura 2), con una altura de 1,640 metros sobre el nivel del mar. El área total del municipio es de 623.23 Km², y se encuentra rodeado de sierras pequeñas con elevaciones de hasta 250 metros.

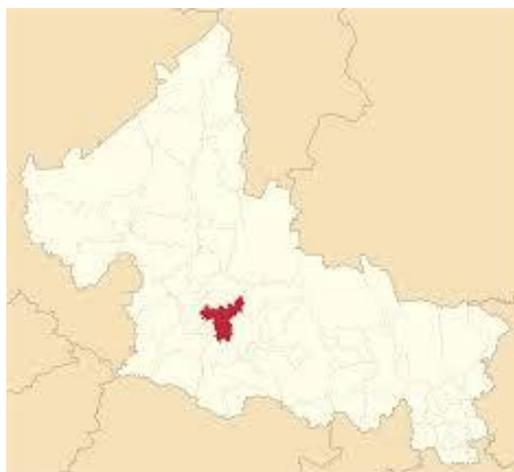


Figura 2. Municipio de Armadillo de los Infante en el estado de San Luis Potosí, México.

El clima del municipio se clasifica como semiseco/semiseco-templado (CEFIM, 2018; CONABIO, 2019). La temperatura varía de los 14 a los 20°C con una media anual de 18°C, y la precipitación pluvial se encuentra entre los 300 y los 700 mm anuales con un promedio de 304.7 mm al año. La temporada de lluvias es durante el verano (SEMARNAT, 2014a). La mayoría de las actividades económicas que se llevan a cabo por los pobladores de esta región requieren el uso y manejo de las tierras, las principales son agricultura, ganadería, comercio y recientemente se ha promovido el ecoturismo (CEFIM, 2018).

Se seleccionaron tres paisajes con poblaciones de *Y. potosina*, los cuales se diferencian por la intensidad de uso y manejo que se lleva a cabo específicamente en las áreas en donde se realizaron los experimentos.

- Sitio 1, intensidad baja

Este sitio se encuentra dominado por una cubierta boscosa principalmente por encinos, con aproximadamente 6-7 m de altura y tallos de diámetros anchos. También, se encuentra una población densa de *Yucca potosina*. Este sitio es utilizado de manera ocasional por pocas cabezas de ganado y para extracción menor de madera para leña, manteniendo una estructura densa de la vegetación. Debido a la intensidad baja de manejo que recibe el sitio y a la composición que presenta, en este trabajo será llamado “Conservado”.

- Sitio 2, intensidad moderada

La vegetación dominante está conformada por encinos de estatura media-baja, que no llega a formar una estructura boscosa, estos árboles llegan a medir entre 1.5 a 2 m de altura aproximadamente, con tallos de diámetros delgados. Los individuos de *Y. potosina* no forman izotales, presentando una distancia considerable entre individuos. Este sitio es utilizado con mayor frecuencia para el pastero del ganado vacuno y para extraer leña de mezquite. Considerando el grado de uso y manejo del paisaje, este sitio será nombrado “Intermedio” en este estudio.

- Sitio Perturbado, intensidad alta

Este sitio se encuentra dominado por encinos de estatura media-baja (1.5 a 2 m) y tallos delgados, así como por plantas de *Dodonaea viscosa* L. Jacq. Los individuos de *Y. potosina* se encuentran visiblemente aislados. Esta zona es utilizada como ecoparque turístico, cuya misión es generar conciencia ambiental a través de

actividades recreativas como senderismo, cabalgatas, ciclismo de montaña y programas de reforestación. Para llevar a cabo este tipo de actividades, este sitio, incluyendo las áreas donde se encuentran los ejemplares de *Y. potosina* recibe manejo constante por parte de los encargados, con el fin de abrir senderos y claros artificiales. Teniendo en cuenta la intensidad alta de uso y manejo del paisaje que recibe este lugar, durante este estudio será nombrado sitio “Perturbado”.

Colecta de datos

Visitantes florales (artrópodos)

El experimento se llevó a cabo durante los meses de junio a octubre del 2019. En cada sitio se seleccionaron tres individuos adultos de *Y. potosina* que presentaran inflorescencias, los individuos fueron seleccionados al azar, con una distancia mínima entre ellos de 50 m para garantizar la máxima independencia entre muestras y evitar el solapamiento de los datos. Se buscó que las inflorescencias tuvieran un aspecto y tamaño similar y fueron cubiertas por un saco de malla blanca (Figura 3), la cual asegura que los insectos queden atrapados en el interior. La malla se mantuvo colocada durante un mes. Posteriormente, una vez que los frutos habían madurado, se cortó por completo la infrutescencia sin retirar el saco de malla. Los frutos aún cubiertos por la malla fueron depositados dentro de una bolsa de plástico para poder ser trasladados al laboratorio donde se hizo la separación y preservación de la entomofauna recolectada. Los especímenes fueron determinados a nivel de morfoespecie, con ayuda de claves taxonómicas (Barrientos, 2004; Borror & White, 1970) y el Biól. Francisco Emmanuel Ortiz Villanueva (CIIDZA), teniendo en cuenta el orden al que pertenecen. Los especímenes fueron preservados en alcohol etílico al 70% y se depositaron en la colección entomológica húmeda del IPICYT. Se investigó en la literatura los hábitos alimenticios de los órdenes de artrópodos encontrados.



Figura 3. Experimento de visitantes florales. A) Saco de malla cubriendo floración de *Y. potosina*. B) Insectos atrapados dentro del saco de la malla.

Visitantes de flores y frutos (aves y mamíferos)

En cada sitio se seleccionaron otros tres individuos de *Y. potosina* (con las mismas consideraciones que para el diseño de colecta de visitantes florales) con presencia de flores. Frente a cada racimo en flor se colocó una cámara trampa modelo Cuddeback E3 Black Flash. Las cámaras estuvieron en funcionamiento desde junio hasta octubre del año 2019, durante este periodo se cambiaron baterías y memorias cada mes para asegurar que cada cámara funcionara adecuadamente. Con este experimento, se capturaron fotografías de los vertebrados que visitan las flores y, cuando estas flores se convirtieron en frutos, se siguió con el experimento para registrar los visitantes en esta etapa.

Remoción de frutos y semillas en suelo

En los tres sitios de estudio se colocaron cinco estaciones de muestreo cada una bajo un ejemplar de *Y. potosina*. En cada estación se depositaron 5 frutos y 50

semillas de *Y. potosina* a ras del suelo y se colocaron dos cámaras trampa para registrar a todos los organismos que llegaron a remover los frutos y semillas (Figura 4). Este diseño, permitió simular la caída de los frutos al suelo y la posterior liberación de las semillas. Cada una de estas estaciones se situó bajo un individuo adulto de *Y. potosina*.

Las estaciones se mantuvieron en funcionamiento durante cinco días consecutivos en el mes de octubre. Los frutos y semillas fueron renovadas cada 12 horas (n=10 registros de remoción), para asegurar que exista la misma cantidad de recursos para los animales diurnos y nocturnos y de igual manera asegurar que estos recursos se encuentren frescos. En cada renovación se contó el número de semillas y frutos y se inspeccionaron para determinar la existencia de algún grado de daño, provocado por animales. Con este experimento se identificaron, mediante las imágenes capturadas, a los animales que aprovechan los frutos y semillas una vez que estos se encuentran a nivel de suelo, y a su vez se podrá inferir si estos animales son potenciales dispersores o depredadores de los frutos y semillas. Con los datos del recuento de frutos y semillas se evaluó la tasa de remoción en cada sitio de muestreo.



Figura 4. Frutos y semillas de *Y. potosina* a nivel de suelo siendo monitoreados por cámara trampa

Análisis estadísticos

Diversidad de artrópodos. Se estimó la cobertura de la muestra (\hat{C}_n), cuyo valor indica la proporción de la población total representada por el inventario de artrópodos colectados (Chao & Jost, 2015). Se realizó un análisis de diversidad siguiendo el método propuesto por Chao y Jost (Chao & Jost, 2015). Se obtuvieron los perfiles de diversidad de especies en términos de “números efectivos de

especies" (qD), equivalente a los números de Hill (Hill, 1973). En esta tesis se trabajó con el exponente q en los órdenes 0, 1, y 2, donde 0D , mide la riqueza de especies. 1D , toma en cuenta tanto la riqueza como la abundancia de las especies (exponencial del índice de Shannon) y 2D se enfoca en medir a las especies dominantes (inverso del índice de Simpson). A su vez, se obtuvieron intervalos de confianza del 95%, mediante un remuestreo Bootstrap de 1000 repeticiones, con los cuales se puede determinar si existen diferencias significativas (Cumming et al., 2007). Esta información permitió hacer comparaciones para estimar los cambios en la diversidad entre los sitios de estudio: Conservado, Intermedio y Perturbado. Estos análisis se realizaron en Spade: Species Prediction And Diversity Estimation (Chao et al., 2016).

El patrón de la abundancia de las especies de artrópodos que está presente en cada uno de los sitios fue representado gráficamente en curvas de rango-abundancia (Whittaker, 1965). Este método permite identificar a las especies dominantes de cada sitio y la proporción de especies que fueron representadas por pocos individuos. Las abundancias fueron transformadas a escala logarítmica Log+10. Los individuos fueron graficados desde el más abundante hasta el que presentaba menor número de especímenes (Magurran, 2004).

Se realizó un diagrama de Venn con el fin de representar gráficamente el número de morfoespecies específicas para cada sitio. De la misma forma, este diagrama permite conocer el número de morfoespecies que se comparten entre dos o los tres sitios (Venn, 1880).

Riqueza de vertebrados. A partir de la información capturada por las cámaras trampa, se obtuvieron los registros de las especies que visitaron semillas/frutos de yuca, colocadas en las estaciones en cada uno de los sitios. Con esta información se realizó una prueba de Monte Carlo (Metropolis & Ulam, 1949), para la cual se

aleatorizaron los datos 1000 veces y se pusieron a prueba las frecuencias de visita de cada una de las especies observadas, con el fin de evaluar si estas son mayores o menores de lo que se podría esperar por azar. La hipótesis nula de este método (H0) es que la distribución de las especies es debida meramente por el azar; indicando que la distribución de las especies no depende del grado de uso y manejo que reciben los sitios. En caso de que la H0 sea rechazada, la hipótesis alternativa (H1) menciona que la distribución que siguen las especies sigue razones deterministas, en este caso, el grado de perturbación que reciben las zonas de estudio. El obtener una frecuencia más alta de la esperada por el azar, indica que la especie está positivamente asociada al sitio en el que se encontró, de lo contrario, el obtener una frecuencia menor de la esperada por casualidad, indica que la especie está asociada negativamente a ese sitio. Estos análisis se llevaron a cabo con el programa Pop Tools, versión 3.2, empleando el módulo Monte Carlo (Hood, 2011).

Para evidenciar si existen similitudes o diferencias entre la riqueza de vertebrados que se encontraron en cada sitio, se realizó una prueba de análisis de similitudes (ANOSIM) (Warwick, Clarke & Suharsono, 1990). Este análisis se realizó usando PAST 2.07 (Harmer et al., 2001).

Tasa de remoción de frutos y semillas. Se llevó a cabo un análisis de tiempo de falla para comparar la remoción tanto de frutos como de semillas entre los tres sitios muestreados. Para este análisis, se consideró la remoción de un fruto o una semilla como una “falla” y el análisis se realizó mediante el método de Kaplan-Meier (Kaplan & Meier, 1958), el cual representa gráficamente una función escalonada, en la que se muestrea la probabilidad de que ocurra una falla en un tiempo específico, según los datos de remoción obtenidos en cada uno de los sitios. Finalmente, se realizó la prueba de Mantel-Cox (Bland & Altman, 2004), para realizar comparaciones estadísticas sobre la tasa de remoción entre sitios mediante pruebas pareadas. Los

estadísticos anteriores se realizaron en R, versión 1.2.5033 (R Core Team, 2018), utilizando los paquetes “survminer”, “survival” y “biostatUZH”.

Resultados

Diversidad de artrópodos. Se registró un total de 791 individuos de artrópodos, entre los cuales se identificaron 39 morfoespecies y seis órdenes: Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera, Diptera, Araneae y Mantodea (Figura 5). El estimador de la cobertura de la muestra revela que la completitud del inventario estuvo en un rango de 89 a 91% (Tabla 1).

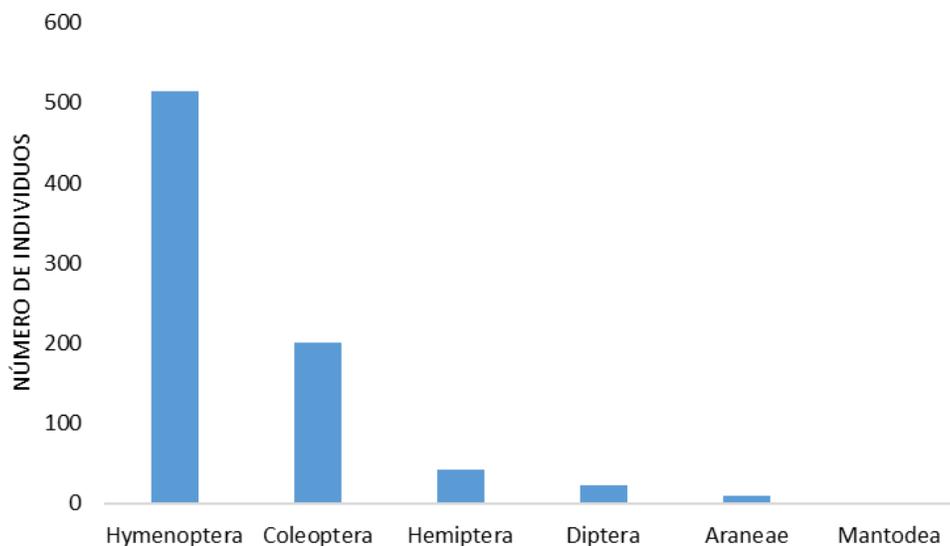


Figura 5. Abundancia en los órdenes de artrópodos asociados a flores y frutos de *Y. potosina*.

En cuanto a la distribución de las abundancias por especies de artrópodos asociados a flores y frutos de yuca, el sitio perturbado presentó una pendiente más pronunciada, lo que presenta una baja uniformidad en las abundancias. Los sitios intermedio y conservado presentaron una pendiente más suave en la distribución de sus abundancias, aunque el sitio conservado tuvo una influencia mayor por parte de las especies raras, es decir, las que fueron representadas por pocos individuos (Figura 6).

En el sitio conservado, el orden Hymenoptera fue el más abundante (n= 463), seguido por el orden Coleoptera (n= 36) y Diptera (n= 22). Para el sitio intermedio, el orden Coleoptera fue el más abundante (n= 59), posteriormente el orden Hemiptera (n= 13) e Hymenoptera (n= 9). Finalmente, en el sitio perturbado los órdenes con mayores abundancias fueron Coleoptera (n= 106), Hymenoptera (n= 42) y Hemiptera (n =14).

La morfoespecie con mayor abundancia para el sitio conservado fue perteneciente al orden Hymenoptera y presentó 309 individuos. En los sitios intermedio y perturbado, las morfoespecies más abundantes pertenecen al orden Coleoptera con 47 y 67 individuos, respectivamente para cada sitio (Figura 6).

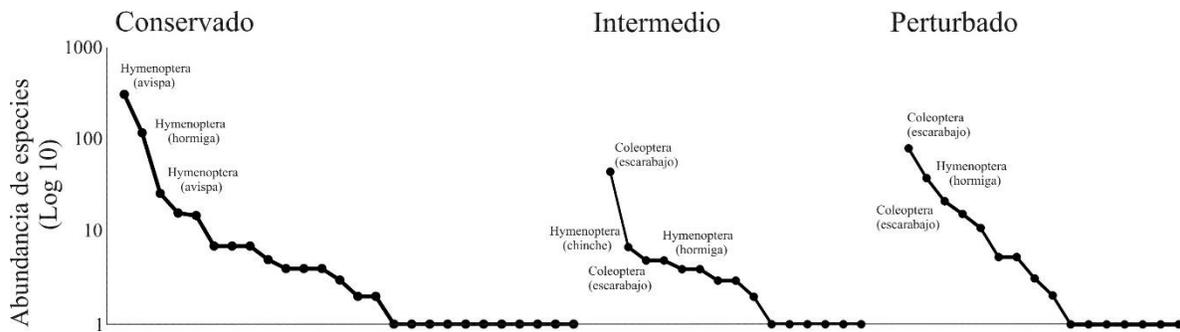


Figura 6. Curvas rango-abundancia de artrópodos asociados a flores y frutos para los tres sitios con un gradiente de manejo, en el municipio de Armadillo de los Infante, San Luis Potosí.

El sitio conservado presentó un mayor número de morfoespecies (n = 26), así como mayor abundancia (540 individuos), seguido por el sitio perturbado con 16 morfoespecies y 165 ejemplares, siendo el segundo lugar en cuanto a riqueza y abundancia. Por último, el sitio intermedio fue el más bajo en riqueza y abundancia con 15 morfoespecies y 86 individuos (Tabla 2).

Con el análisis de diversidad (0D), se encontró que el sitio conservado presentó los valores más altos; sin embargo, solo se presentaron diferencias marginalmente significativas con el sitio perturbado (los intervalos de confianza se traslapan ligeramente entre los dos sitios). En cambio, el sitio conservado fue significativamente diferente comparado con el sitio intermedio. Para las diversidades de orden 1D y 2D , el sitio conservado presentó los valores más altos, siendo significativamente distinta a los dos sitios restantes (Figura 8, Tabla 2).

Tabla 2. Perfil de diversidad 0D , 1D , y 2D de los artrópodos visitantes de flor y fruto de *Y. potosina*, en las tres condiciones de hábitat, en el municipio de Armadillo de los Infante. $\hat{C}n$ representa el estimador de la cobertura de muestra. En paréntesis se señala los valores del intervalo de confianza.

Condición	Especies	Abundancia	$\hat{C}n$	0D	1D	2D
Conservado	26	133	0.917	27 (± 5.83)	19.025(± 2.98)	16.243(± 2.23)
Intermedio	15	54	0.889	16(± 4.14)	12.533(± 3.03)	10.8(± 2.57)
Perturbado	16	69	0.899	17(± 4.59)	12.349(2.74)	10.464(± 2.11)

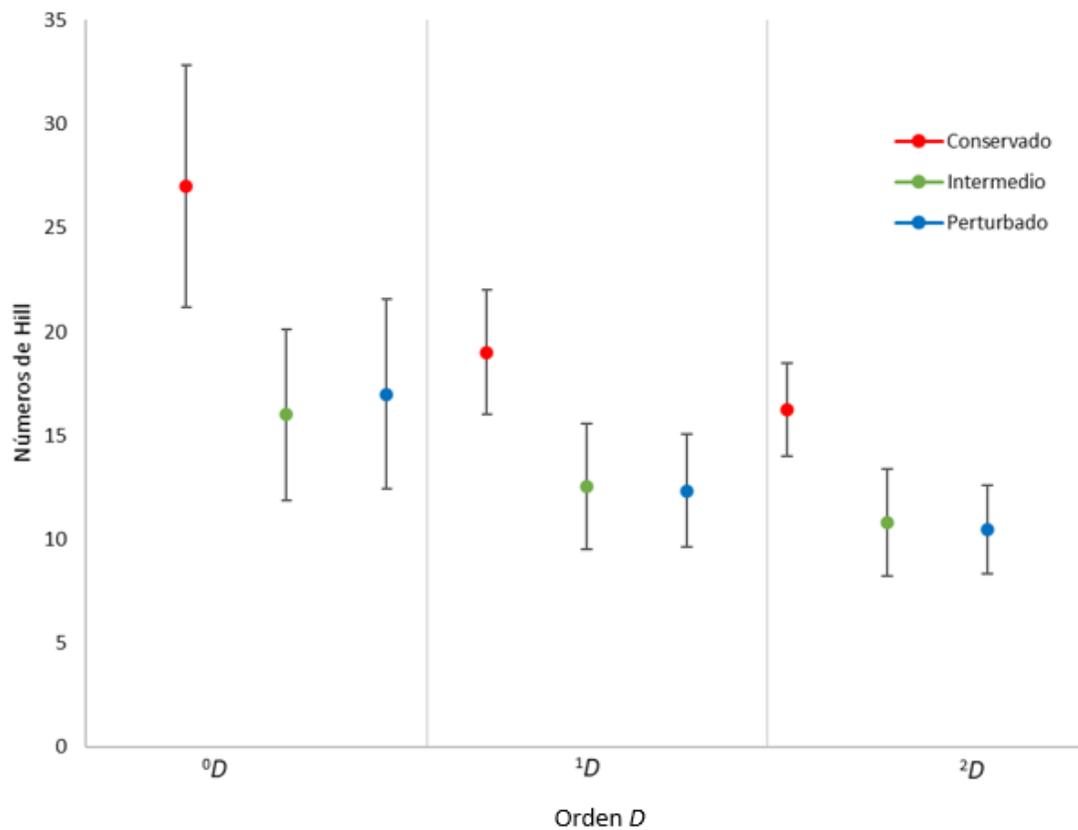


Figura 8. Perfiles de diversidad alfa de orden 0D , 1D , y 2D , de artrópodos encontrados en flores y frutos de *Y. potosina*, en Armadillo de los Infante, SLP, a lo largo de un gradiente de manejo. Las líneas representan intervalos de confianza del 95%.

En cuanto a las morfoespecies de artrópodos compartidas entre los sitios, solo cinco morfoespecies estuvieron presentes en las tres condiciones, dos de ellas pertenecientes al orden Coleoptera, dos al orden Hymenoptera y una de ellas al Hemiptera. El sitio conservado presentó 15 morfoespecies exclusivas: cinco de ellas del orden Coleoptera, tres de Hymenoptera, tres de Hemiptera, dos de Diptera, una de Mantodea y una de Araneae. El sitio perturbado presentó cinco morfoespecies exclusivas: dos del orden Hymenoptera, dos del orden Aranea y una de Coleoptera. Finalmente, cuatro morfoespecies fueron exclusivas del sitio intermedio, que pertenecen a los órdenes Hymenoptera, Hemiptera, Diptera y Araneae (Figura 7).

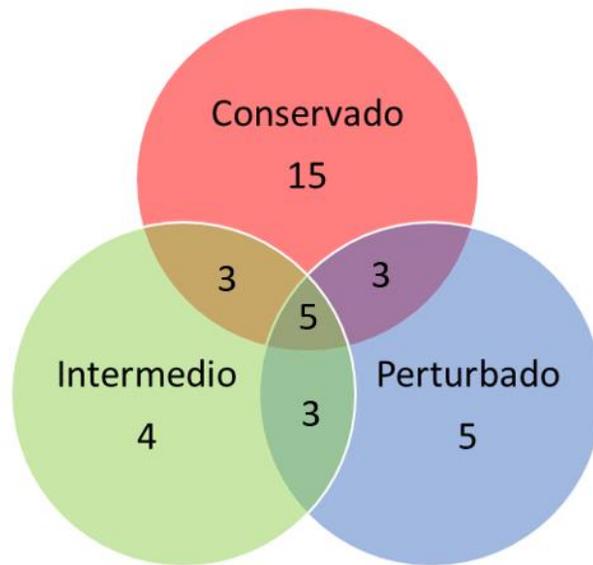


Figura 7. Número de morfoespecies de artrópodos encontrados flores de *Y. potosina* en cada sitio y morfoespecies compartidas entre ellos.

Los hábitos alimenticios reportados en la literatura para los órdenes de artrópodos encontrados en las flores de *Y. potosina* son variados (Tabla 3). Por ejemplo, el orden Hymenoptera, cuya abundancia fue la mayor en este trabajo, presenta tres hábitos alimenticios: fitófagos, zoófagos y omnívoros (Fernández-Gayubo & Pujade-Villar, 2015). Se conocen cinco hábitos alimenticios para el orden Coleóptera: fitófagos, zoófagos, omnívoros, saprófagos, micetófagos (Alonso-Zarazaga, 2015). Fitófagos, zoófagos, omnívoros, saprófagos, hematófagos, son los hábitos alimenticios conocidos para el orden Hemiptera (Goula & Mata, 2015), tercero en orden de abundancia para este trabajo.

Tabla 3. Hábitos alimenticios de los órdenes de artrópodos encontrados en *Y. potosina*

Orden	Hábitos alimenticios
Hymenoptera	Fitófagos, zoófagos, omnívoros
Coleoptera	Fitófagos, zoófagos, omnívoros, saprófagos, micetófagos
Hemiptera	Fitófagos, zoófagos, omnívoros, saprófagos, hematófagos
Diptera	Fitófagos, zoófagos, saprófagos, hematófagos, coprófagos, necrófagos
Araneae	Zoófagos, omnívoros
Mantodea	Zoófagos

Vertebrados asociados a los racimos de flores y frutos. Se registraron 15 individuos pertenecientes a seis especies (Figura 9). En la temporada de floración las especies capturadas por las cámaras trampa fueron únicamente aves: Calandria de Wagler (*Icterus wagleri* Scalter, 1857) y colibríes pertenecientes a la subfamilia Trochilinae Jardine, 1833. Una vez que los frutos estuvieron presentes, las especies registradas fueron representadas por aves: Carpintero mexicano (*Picoides scalaris* Wagler, 1829), colibrí; roedores: ardilla (*Sciurus oculatus* Peters, 1863), ratón de campo (*Reithrodontomys sp* Giglioli, 1874.) y carnívoros: cacomixtle (*Bassariscus astutus*).

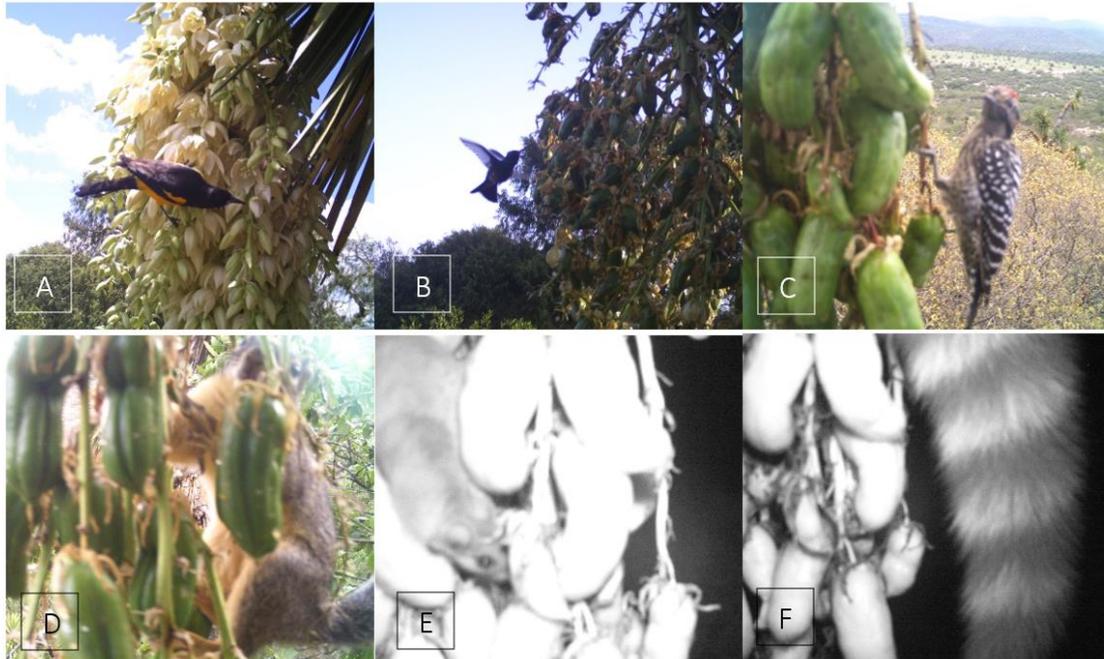


Figura 9. Vertebrados capturados por cámaras trampa en el dosel de *Yucca potosina*. A) *Icterus wagleri*, y B) colibrí de la subfamilia Trochilinae, C) *Picoides scalaris*, D) *Sciurus oculatus*, E) *Reithrodontomys* sp. y F) *Bassariscus astutus*.

Riqueza de vertebrados asociados a la remoción de frutos y semillas. Se registraron 11 especies de vertebrados en interacción con frutos y semillas de *Yucca potosina* (Figura 12). Los vertebrados registrados fueron: cacomixtles (*Bassariscus astutus*), zorros grises (*Urocyon cinereoargenteus*), zorrillos de dos especies (*Conepatus leuconotus* Lichtenstein, 1832 y *Spilogale grascillis* Merriam, 1890), ratones de campo (*Reithrodontomys* sp. y *Heteromys* sp. Desmarest, 1817), zarigüeyas (*Didelphis marsupialis* Linnaeus, 1758), cuitlacoques pico largo (*Toxostoma longirostre* Lafresnaye, 1838), picogrueros cabecinegros (*Pheucticus melanocephalus* Swainson, 1827), chochines criollos (*Troglodytes* sp. Vieillot, 1809), y una tórtola (*Zenaida* sp. Bonaparte, 1838). Las especies de aves solo se registraron durante el día (06:00 a 18:00), mientras que en la noche se registraron el resto de las especies, todos ellos mamíferos (18:00 a 06:00).



Figura 12. Vertebrados capturados por cámaras trampa en las estaciones de muestreo. Las imágenes a color fueron tomadas durante el día H) *Toxostoma longirostre*, I) *Pheucticus melanocephalus*, J) *Troglodytes sp.*, K) *Zenaida sp.*; mientras que las imágenes a blanco y negro fueron capturadas por la noche A) *Bassariscus astutus*, B) *Urocyon cinereoargenteus*, C) *Conepatus leuconotus*, D) *Spilogale gracilis*, E) *Reithrodontomys sp.*, F) *Heteromys sp.*, y G) *Didelphis marsupialis*.

De las 11 especies de vertebrados registrados por las cámaras trampa colocadas en las estaciones de muestreo, siete fueron encontradas en el sitio conservado, tres de ellas se encontraron únicamente en ese lugar, dos se encontraron también en el sitio intermedio y una de ellas en el sitio perturbado. En el sitio perturbado se encontraron seis especies de vertebrados, tres de ellas fueron únicas para el sitio y una más se encontró también en el sitio intermedio. En el sitio intermedio se encontraron cuatro especies de vertebrados, todas ellas fueron capturadas también por las cámaras trampa colocadas en los otros sitios. El ratón de campo (*Reithrodontomys sp*) fue encontrado en todos los sitios (Figura 13).



Figura 13. Riqueza de vertebrados capturados por fototrampeo en las estaciones de muestreo de cada uno de los sitios y entre ellos.

Las pruebas de Monte Carlo demostraron que la frecuencia de visitas de los zorros grises, zorrillos del género *Conepatus*, las zarigüeyas y los picogrueros cabecinegros, fue mayor a la esperada por casualidad en el sitio conservado (Tabla 3). El chochín criollo, fue la única especie que resultó estar asociada de manera positiva al sitio intermedio (Tabla 3), mientras que en el sitio perturbado resultó que los dos géneros de ratones, los cuitlacoques picolargo y la tórtola fueron las especies relacionadas positivamente al lugar (Tabla 5).

Tabla 5. Frecuencia de visitas de vertebrados (número de veces que fueron capturadas por las cámaras trampa) visitando las estaciones de muestreo en cada uno de los sitios (conservado, intermedio, perturbado). Los asteriscos * indican una frecuencia mayor a la esperada por casualidad, es decir, a las especies positivamente relacionadas a los gradientes de manejo.

ORDEN	ESPECIE	SITIO		
		Conservado	Intermedio	Perturbado
Carnivora	<i>Bassariscus astutus</i>	3	2	0
	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	8*	1	0
	<i>Conepatus leuconotus</i>	2*	1	0
	<i>Spilogale grascilis</i>	0	0	1*
Rodentia	<i>Reithrodontomys sp.</i>	1	5	28*
	<i>Heteromys sp.</i>	0	0	6*
Didelphimorphia	<i>Didelphis marsupialis</i>	3*	0	0
Passeriformes	<i>Toxostoma longirostre</i>	1	0	9*
	<i>Pheucticus melanocephalus</i>	1*	0	0
	<i>Troglodytes sp.</i>	0	2*	1
Columbiformes	<i>Zenaida sp.</i>	0	0	1*

Se encontraron diferencias significativas en la composición de la comunidad entre los sitios de estudio (ANOSIM $R = 0.4396$; $p < 0.05$). En la Tabla 6 se muestran las comparaciones pareadas por medio del método de ANOSIM, que demuestra que existe similitud entre el sitio conservado e intermedio, mientras que existen disimilitudes significativas entre el sitio perturbado con el sitio conservado e intermedio.

Tabla 6. Valores de p de las pruebas pareadas por el método ANOSIM, utilizando el índice de Jaccard, entre sitios con un gradiente de manejo en el altiplano potosino.

	Conservado	Intermedio	Perturbado
Conservado		0.0975	0.0078*
Intermedio	0.0975		0.0078*
Perturbado	0.0078*	0.0078*	

Tasa de remoción de frutos y semillas. En cuanto a frutos colocados en las estaciones de muestreo, solo se removió el 6.97% (52) del total colocado (750). En el sitio perturbado se presentó el porcentaje más alto de remoción (16.8%) en comparación a los sitios intermedio (2.4%) y conservado (1.6%; Figura 10A). Respecto a la remoción de semillas, la remoción fue del 6.97% (523 semillas) respecto al total (7,500). Al igual que con los frutos, las semillas fueron mayormente removidas en el sitio perturbado (14.4%), seguido por el sitio intermedio (5.76%), y conservado (0.76%; Figura 10B).

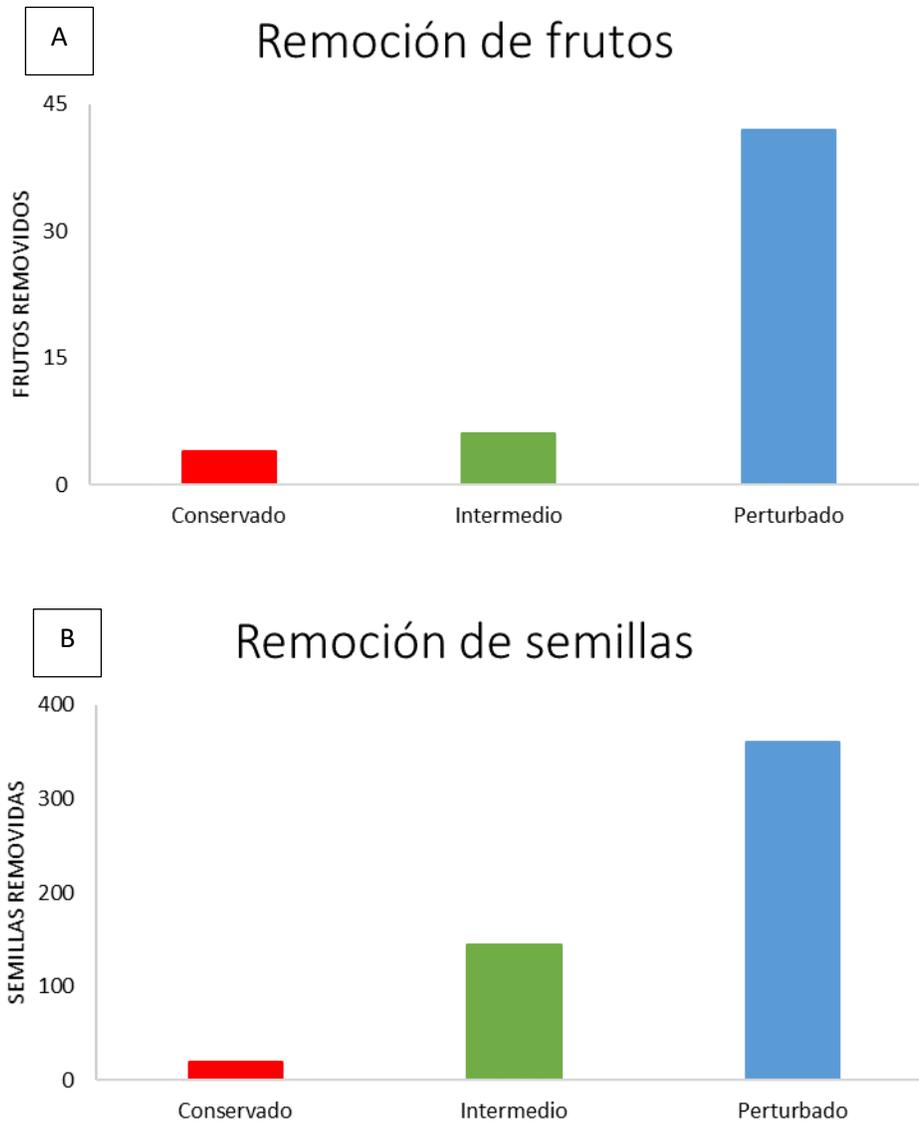


Figura 10. Proporción de remoción de A) frutos y B) semillas de *Y. potosina* en tres sitios con gradiente de manejo en el altiplano potosino.

Los resultados ponen de manifiesto que el sitio perturbado presentó la mayor tasa de remoción de frutos, seguido por el intermedio y, finalmente, el sitio conservado (Figura 11). Para el caso de las semillas de yuca, la tasa de remoción fue nuevamente mayor en el sitio perturbado y el sitio conservado fue el que presentó una menor tasa (Figura 11).

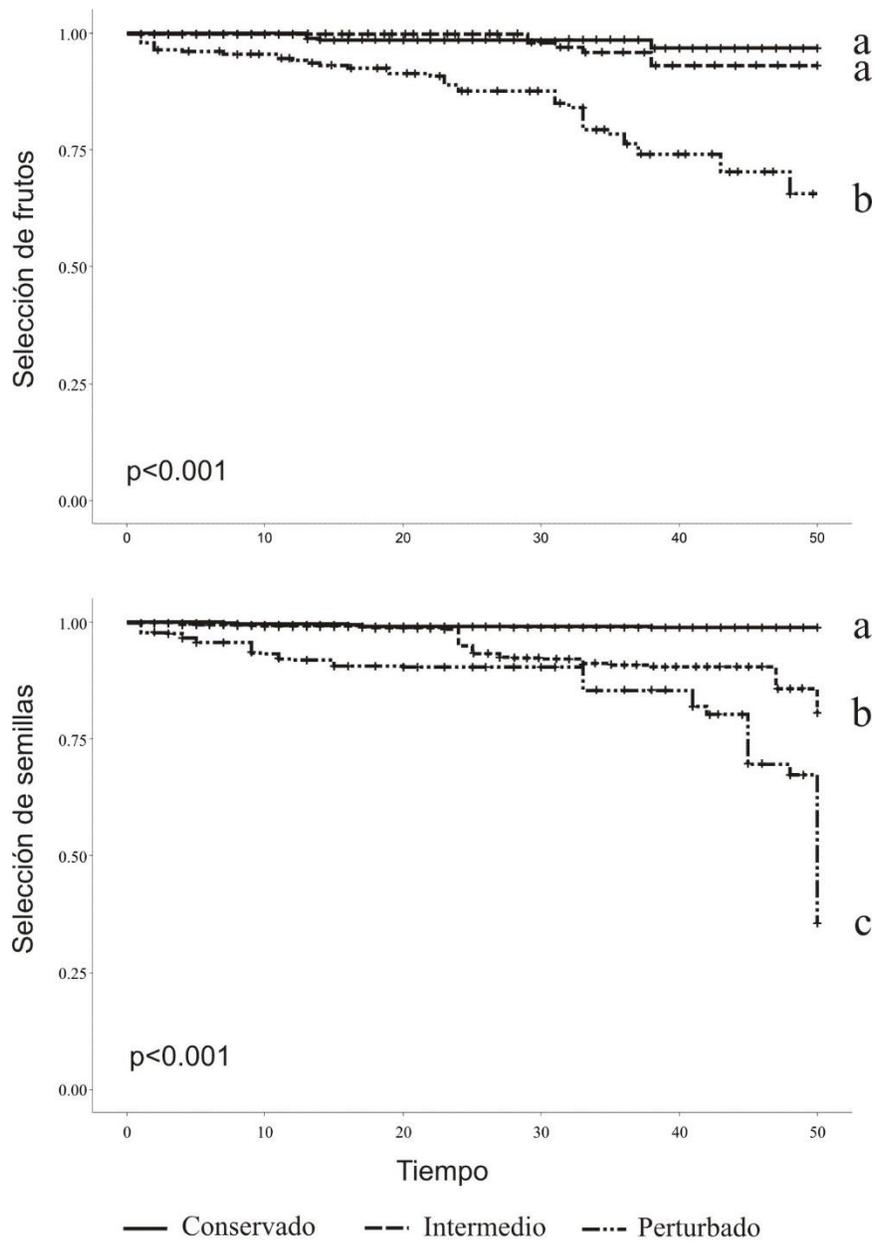


Figura 11. Tasas de selección en la remoción de frutos y semillas de *Y. potosina* estimadas con el método de Kaplan-Meier, en tres sitios con distinto grado de manejo, en el municipio de Armadillo de los Infante, SLP. Las diferencias significativas se representan mediante letras distintas.

Se encontraron diferencias significativas con respecto a la tasa de remoción de frutos siendo mayor en el sitio perturbado que el resto de los sitios. En la tasa de remoción de semillas de yuca, se encontraron diferencias significativas entre todos los sitios (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de las pruebas de Mantel-Cox para comparar la tasa de selección en la remoción de frutos y semillas de *Y. potosina* entre los sitios de muestreo. Los datos debajo de la diagonal corresponden a semillas y los de arriba de la diagonal corresponden a los frutos. Las diferencias significativas ($p < 0.05$).

	Frutos		
	Conservado	Intermedio	Perturbado
Conservado		$p=0.526$	$p<0.001$
Intermedio	$p<0.001$		$p<0.001$
Perturbado	$p<0.001$	$p<0.001$	
	Semilla		

Discusión

De acuerdo con el planteamiento inicial, en este trabajo pudimos corroborar la presencia de una mayor diversidad de especies asociadas a *Yuca potosina* en el sitio conservado. Es bien sabido que la perturbación de los ecosistemas naturales, ocasionada por los humanos, tiene efecto directo o indirecto en la composición y riqueza de la fauna silvestre, aunque también se ha visto que este efecto puede beneficiar a algunas especies resilientes a la perturbación, no causar efecto evidente o perjudicar drásticamente sus poblaciones (Blanc et al., 2006; Pardini et al., 2009).

En el caso de los artrópodos encontrados en este estudio, el sitio conservado mantuvo una mayor diversidad (0D , 1D , 2D), en contraste con los sitios intermedio y perturbado. Asimismo, este sitio presentó la mayor riqueza de artrópodos y más especies específicas para el sitio. Estos resultados concuerdan con los datos reportados por Uehara y colaboradores (2009), quienes encontraron una mayor diversidad de artrópodos en sitios con bajo grado de perturbación por actividades humanas. Se ha reportado, que los artrópodos responden de manera negativa a la perturbación, principalmente por el cambio que se ocasiona en el microclima y en la disponibilidad de los recursos; por lo cual, los sitios modificados albergan principalmente especies generalistas, mientras que en los sitios conservados se pueden encontrar tanto especies generalistas como especializadas (Escobar & Chacón de Ulloa, 2000; Estrada & Fernández, 1999).

Los órdenes Coleoptera, Hymenoptera, Hemiptera, Araneae, Diptera y Mantodea, fueron los que registramos asociados a las flores y frutos de *Y. potosina*, casi todos estos órdenes de artrópodos (con excepción de Mantodea) han sido reportados en interacción con *Y. brevifolia* (Allred & Beck, 1964) e incluso existen dos estudios en donde reportan a estos órdenes interactuando con la especie *Y. filifera* en el estado de San Luis Potosí (Bastida, 1962; Guerrero-Rodríguez et al., 1985).

El orden Hymenoptera, fue dominante en el sitio conservado y el orden con mayor número de individuos encontrado en el presente estudio. Esto coincide con lo reportado por Rentería-Arrieta (2000), quien observa altas frecuencias de visita por parte de himenópteros en la especie *Y. filifera*. Debido a la alta variabilidad en los hábitos alimenticios entre las familias del orden Hymenoptera (Fernández-Gayubo & Pujade-Villar, 2015), se puede considerar que estos animales visitan las flores y los frutos de la yuca en busca de alimento que puede ser desde el néctar de las flores, los azúcares contenidos en los frutos, o incluso pueden depredar a otros artrópodos que se encuentran interactuando en las flores; por lo cual, es posible que esta diversidad de himenópteros estén realizando una cantidad importante de funciones ecosistémicas en su interacción con la flora del sitio. De hecho, el orden Hymenoptera ha sido descrito como un mutualista indirecto para las yucas, pues se ha visto que la presencia de especies de hormigas de la madera (*Formica obscuriventralis* y *Formica ravidia*) en estas plantas disminuye la ovoposición de polillas no polinizadoras (Perry et al., 2004).

Por otro lado, el orden Coleoptera, fue dominante para los sitios intermedio y perturbado, así como el orden que presentó la mayor diversidad de morfoespecies. Al igual que el orden Hymenoptera, se han reportado frecuencias altas en las visitas de coleópteros a la especie *Y. filifera* (Renteria & Cantú, 2003). A su vez, el orden Coleoptera, al igual que Diptera, han sido documentados como visitantes habituales del género *Yucca* principalmente en la temporada donde presentan flores y frutos; además, se ha argumentado que estos insectos visitan dichas plantas en busca de néctar (Rau, 1985). Asimismo, se conoce que estos ordenes tienen hábitos alimenticios fitófagos y zoófagos (Alonso-Zarazaga, 2015; Tolrá Hjorth-Andersen, 2015), lo cual respalda el argumento de que estos artrópodos visitaban las flores y frutos de *Y. potosina* en busca de alimento en el momento en que fueron capturados.

Por otro lado, cabe resaltar que en este estudio no se registraron especímenes del orden Lepidóptera, lo que lleva a pensar que aun hacen falta estudios más extensos que permitan documentar ampliamente las interacciones de *Yucca potosina* con

otras especies, sobre todo, porque en este estudio no se encontró evidencia del género *Tegeticula*, el cual ha sido ampliamente estudiado, y se ha mencionado que mantiene una interacción vital para la supervivencia tanto del género *Yucca*, como del género *Tegeticula* (Pellmyr & Huth, 1994; Renteria & Cantú, 2003; Villavicencio & Pérez-Escandón, 2017). Tomando esto en cuenta, se considera importante continuar la investigación sobre las interacciones entre los artrópodos y la especie *Y. potosina*, así como los efectos que de la perturbación antrópica en estas; pues se conoce, que el éxito reproductivo de las especies del género *Yucca*, depende de la estrecha interacción que mantiene con sus polinizadores (Harrover & Gilbert, 2018).

Los datos con los vertebrados también apoyan la hipótesis que a mayor grado de conservación el número de especies asociadas a *Y. potosina* es también mayor, en ese sentido los resultados coinciden con lo reportado por diversos autores, quienes señalan que el disturbio causado por actividades humanas, entre ellas actividades de turismo, recreación y tala (como las que se llevan a cabo en el municipio de Armadillo de los Infante), tienen efectos en las poblaciones, demografía y patrones de distribución de los vertebrados, en muchas ocasiones, mostrando una tendencia de disminución (Brattstrom & Bondello, 1983; Farwig et al., 2006; Prist et al., 2012). En los sitios donde el uso y manejo del paisaje es común, los claros artificiales de vegetación son mayores, como consecuencia de la apertura de senderos o por la tala selectiva, por lo cual la presencia de vertebrados puede verse disminuida, a pesar de contar con recursos alimenticios (Barragán et al., 2018).

Los animales que se relacionaron de manera positiva con el sitio conservado fueron, el zorro gris (*U. cinereoargenteus*), el zorrillo (*C. leuconotus*), la zarigüeya (*D. marsupialis*) y el picogrueso cabecinegro (*P. melanocephalus*). Estudios previos han reportado que la composición fecal del zorro gris, está compuesta principalmente por materia vegetal (hasta el 60%), siendo la yuca un componente destacado en la dieta de este animal (Nava et al., 1999; Villarreal Méndez, 2012). En este trabajo se fotografiaron zorrillos de la especie *C. leuconotus* interactuando directamente con los frutos en suelo de *Y. potosina*, se sabe que su dieta del zorrillo se basa

principalmente en insectos y larvas, además, se conoce que consume frutos y vertebrados de menor tamaño (Helgen, 2016), por lo cual se considera que puede estar aprovechando directamente de los frutos como fuente de alimento, e incluso en busca de las larvas de artrópodos que podrían encontrarse al interior de los mismos. Se conoce que las zarigüeyas del género *Didelphis*, son animales omnívoros que, a pesar de presentar una dieta basada principalmente en la carne, también consumen cantidades importantes de frutos y semillas, además de tener proporciones altas de semillas que pasan por su tracto digestivo sin perder la viabilidad (Cáceres, 2002), por lo cual, se considera una potencial dispersora de semillas de *Y. potosina*. Se sabe que el picogruero cabecinegro (*Pheucticus melanocephalus*), busca su alimento tanto en la copa de los árboles, como en el suelo y vegetación baja, el cual consta de insectos, arañas, y una alta diversidad de semillas (Clinton Eitniear & Aragon Tapia, 2000), en este caso se capturaron fotografías de individuos alimentándose de las semillas colocadas en el suelo.

A pesar de que el sitio intermedio recibió a múltiples visitantes que interactuaron con frutos y semillas a nivel de suelo, únicamente el chochín criollo (*Troglodytes* sp.) se relacionó de manera positiva con el lugar. Asimismo, no se encontraron especies únicas para el sitio. Estos resultados pueden estar indicando que, al ser un sitio con un grado de uso y manejo intermedio, los animales cuyos hábitos alimenticios son más específicos, así como las especies con hábitos generalistas, pueden habitar en este lugar. La interacción entre el género yuca y el género *Troglodytes*, fue reportada también por García-Salas (1999), quien observó que la especie *Y. treculeana* es un sitio de descanso y alimentación para los chochines criollos durante todas las temporadas del año. A su vez, se conoce que la dieta de los *Troglodytes* está constituida por insectos, frutos y semillas, en la que, dependiendo la temporada y accesibilidad de alimento, varía en cuanto a proporciones (Guinan & Sealy, 1986).

El sitio perturbado, presentó cinco especies relacionadas de forma positiva (de acuerdo con el método de Monte Carlo). Dos de estas especies fueron ratones de los géneros *Reithrodontomys* sp. y *Heteromys* sp., cuyos hábitos alimenticios

incluyen frutos y semillas de diversas plantas (VanderWall et al., 2006; Waitman et al., 2012). En cuanto a las aves, los cuitlacoques de pico largo (*T. longirostre*) y las tórtolas (*Zenaida sp.*), se encontraron interactuando con frutos y semillas de *Y. potosina*; en este sentido, García-Salas (1999) observó a individuos de ambos géneros interactuando con ejemplares de *Y. treculeana* e indica que, parte importante de su dieta consta de granos y semillas caídas. Sin embargo, al realizar el cambio de frutos y semillas en las estaciones donde se capturó evidencia de interacción con la especie *T. longirostre*, se notó que las semillas estaban destrozadas, posiblemente por la manera en que estas aves las consumen; por esta razón, esta especie se considera como depredador de la especie *Y. potosina*. Asimismo, el método de Monte Carlo indicó que el el zorrillo *S. grascillis* se asocia positivamente con el sitio perturbado. Esta especie omnívora se alimenta principalmente de insectos y mamíferos pequeños, sin embargo, frutos y bayas también forman parte de su dieta (Cuarón et al., 2016); en este caso, las fotografías capturadas muestran al individuo interactuando directamente con los frutos.

Algunos animales se observaron interactuando con las flores y los frutos, aun cuando estos se encontraban en forma de racimo colgando desde la copa de *Y. potosina*. Entre ellos se encontraron aves, de las cuales se sabe, utilizan a las yucas como sitio de alimentación y reproducción. Entre estas especies se encuentra la Calandria de Wagler (*I. wagleri*) durante la temporada de flores, y se registraron individuos de ambos sexos. El género *Icterus sp.* ya se había reportado interactuando con el género *Yucca* (García Salas, 1999), específicamente con la especie *Y. treculeana*. Otra especie de ave encontrada interactuando con los frutos en la parte superior de la yuca fue el Carpintero Mexicano (*P. scalaris*), se ha reportado a esta especie interactuando con *Y. treculeana* (García Salas, 1999). Al igual que estas especies, los colibríes (Subfamilia Trochilinae) fueron fotografiados mientras interactuaban con los frutos de *Y. potosina*. Por los hábitos alimenticios que tienen las tres especies de aves encontradas, se puede pensar que se encontraban en busca de néctar, frutos e insectos en el racimo.

Asimismo, los mamíferos se hicieron presentes en la copa de la *Yucca*, todos ellos en la temporada de frutos. Entre los mamíferos encontrados se registraron roedores tales como ardillas (*S. oculatus*) y ratones de campo (*Reithrodontomys sp.*), de igual forma, estos ratones fueron encontrados interactuando con los frutos y semillas a nivel de suelo, incluso se capturaron fotografías en las cuales se llevan frutos completos, por estas razones, se considera que los roedores encontrados en este estudio son potenciales dispersores de semillas de *Y. potosina*. Estos datos coinciden con estudios pasados que han reportado a los roedores como los principales potenciales dispersores de semillas del género *Yucca*, debido a que tienen la capacidad de llegar hasta la cima y coleccionar frutos y semillas y al enterrarlos con el propósito de almacenarlos aumentan sus probabilidades de germinación (Borchert & DeFalco, 2016; VanderWall et al., 2006). Otro mamífero encontrado interactuando con los frutos de *Y. potosina* fue el cacomixtle (*B. astutus*), esta especie fue encontrada tanto en la copa de la yuca como a nivel de suelo; este resultado concuerda con un estudio en el cual evalúan la dieta del animal a partir de heces y concluyen que una parte importante son semillas de yuca (Nava et al., 1999). La incertidumbre de como la perturbación causada por parte de los humanos puede afectar la tasa de dispersión de semillas por animales, ha sido un tema que ha llamado la atención de múltiples autores; sin embargo, parece ser que no existe un patrón universal, algunas se ven beneficiadas, mientras otras sufren efectos perjudiciales (Markl et al., 2012).

Por otro lado, este estudio respalda la hipótesis que, en paisajes con mayor grado de modificación por actividades humanas, se presenta una mayor tasa de remoción de semillas y frutos, ya que el recurso alimenticio para los animales es más escaso. En este estudio, la tasa de remoción tanto de frutos como de semillas fue significativamente mayor en el sitio perturbado, esta tendencia es similar a la descrita por Farwing y colaboradores (2006), quienes observaron que las semillas de *Prunus africana* fueron más dispersadas en sitios fragmentados y perturbados. Una cuestión que puede ayudar a comprender este patrón son las especies que visitaron las estaciones en cada uno de los sitios. En este sentido, el sitio perturbado tuvo una riqueza menor de vertebrados en comparación con el sitio conservado. Sin

embargo, sus visitantes fueron principalmente roedores y aves, de los cuales, los ratones, han sido considerados los principales dispersores de semillas de una importante variedad de especies del género *Yucca*, además de proporcionarles una ventaja en la probabilidad de germinación, pues las entierran en el intento de tener reservas alimenticias (Borchert & DeFalco, 2016; Lenz, 2001; VanderWall et al., 2006). En contraste, los sitios conservado e intermedio tuvieron como visitantes principales a mamíferos medianos, cuyos hábitos alimenticios como se mencionó anteriormente son carnívoros, y los frutos y semillas son solo una parte de su dieta. Estos resultados parecen mostrar que, la aparente desaparición de especies de mamíferos medianos no conlleva necesariamente a la disminución de la función ecosistémica, aunque no deja de ser un problema preocupante, pues puede convertirse en una amenaza en un futuro.

Otra cuestión que puede explicar la baja tasa de remoción en los sitios conservado e intermedio fue el tiempo establecido para el experimento, pues a pesar de que hay trabajos que hablan de una rápida dispersión de frutos y semillas de *Yucca*, esta fue llevada a cabo exclusivamente por roedores (Borchert & DeFalco, 2016), mientras que otros estudios mencionan que la remoción fue lenta y se necesitó de un tiempo prologado y se utilizaron “muchas semanas” para que se llevara a cabo (VanderWall et al., 2006). Al respecto se propone realizar estudios con plazos de tiempo mayores que permitan conocer si la remoción se lleva a cabo en su totalidad y, si es el caso, en cuánto tiempo se realiza.

Conclusiones

Este estudio demostró que *Yucca potosina* es una especie importante para la fauna nativa del municipio de Armadillo de los Infante, brindándoles desde recursos alimenticios, hasta refugio en zonas donde la intervención humana es constante.

Los resultados de este estudio demuestran que las flores, frutos y semillas de *Yucca potosina* son una fuente de alimentos para una importante variedad de animales. Por un lado, los artrópodos buscan los azúcares contenidos en el néctar y posteriormente en las semillas. Asimismo, aves y mamíferos, buscaron y aprovecharon estos recursos desde la etapa en la que el racimo pende de la copa hasta que los frutos caen al suelo y las semillas son liberadas.

La riqueza y abundancia de animales asociados a *Yucca potosina* se ve alterada por el grado de manejo y uso que reciben los sitios, siendo el sitio conservado el que albergó una mayor riqueza y diversidad tanto de artrópodos como de vertebrados.

Los mamíferos asociados positivamente al sitio conservado son de tamaño medio, mientras que los asociados positivamente al sitio perturbado son mamíferos pequeños con hábitos generalistas, capaces de adaptarse rápidamente a los cambios de vegetación y uso de suelo que se llevan a cabo en la zona. Entre ellos resaltó por su abundancia el ratón de campo (*Reithrodontomys* sp.).

La remoción de frutos y semillas es mayor en el sitio perturbado, lo que se atribuye a la menor cantidad de recursos alimenticios existentes debido al uso que se le da a esta zona, y como se mencionó anteriormente, a la abundancia de especies generalistas que aprovechan rápidamente estos recursos.

Este es el primer proyecto en que se ha trabajado con la especie *Yucca potosina*, lo cual ha resaltado la importancia de abundar en el estudio sobre las especies endémicas que se encuentran en las zonas áridas y semiáridas del estado de San Luis Potosí, de las cuales existe escasa información y que pueden representar una fuente importante de alimento y refugio para la fauna silvestre, así como materia prima para el desarrollo de nuevos proyectos y recursos.

Perspectivas

En este trabajo se encontró evidencia que en los sitios donde el manejo y uso del paisaje tiene mayor intensidad, la riqueza y diversidad de artrópodos es menor. Estos resultados podrían ser un indicativo de que las funciones ecosistémicas que se cumplen mediante a las interacciones entre artrópodos y *Y. potosina* se encuentren reducidas como resultado de la perturbación antrópica, lo cual a su vez se pueda ver reflejado en una disminución en la población de *Y. potosina* dentro del sitio perturbado. Por estas razones, se sugiere continuar con la investigación acerca de las interacciones planta-artrópodo y las consecuencias que la disminución en la diversidad de artrópodos pueda causar.

Los resultados de esta tesis demuestran que la riqueza y diversidad tanto de artrópodos como de vertebrados asociados a *Y. potosina*, fueron mayor en el sitio conservado a comparación del resto de los sitios. Derivado de estos datos, se sugiere evaluar las poblaciones de especies en cada uno de los sitios con el objetivo de conocer y evaluar las interacciones interespecíficas entre artrópodos y vertebrados, y a su vez determinar si la perturbación antrópica tiene efectos sobre ellas.

Durante la extracción de semillas realizada para poner los recursos en las estaciones de muestreo, se notó que existen frutos grandes (8 cm aproximadamente) cuyas semillas al interior se encontraban inviables (blancas, opacas, con cutícula delgada); mientras que frutos de menor tamaño (aproximadamente de 5 a 6 cm) contenían una gran cantidad de semillas viables. A partir de estas observaciones, se sugiere llevar a cabo investigaciones acerca del promedio de semillas viables que se producen anualmente por un individuo de *Y. potosina*, y comparar esta proporción entre sitios con un gradiente de perturbación.

Referencias

- Alanís Flores, G., & Foroughbakhch, R. (2008). Antiguos grupos étnicos del norte. *Ciencia UANL, XI(2)*, 140–144.
- Allred, D. M., & Beck, D. E. (1964). Arthropod associates of plants at the Nevada test site. *Brigham Young University, Science Bulletin, Biological Series, 5(2)*, 1–16.
- Alonso-Zarazaga, M. A. (2015). Orden Coleoptera. In *Revista IDE@-SEA* (Vol. 55, pp. 1–18). www.sea-entomologia.org/IDE@
- Barragán, F., Badano, E. I., Douterlungne, D., & Flores, J. (2018). Richness and abundance of granivorous vertebrates determine acorn removal patterns in a human modified oak forest. *IForest, 11(2)*, 329–337. <https://doi.org/10.3832/ifor2216-011>
- Barrientos, J. A. (2004). *Curso Práctico de Entomología*.
- Bastida, U. (1962). *Polinización de Yucca filifera por Tegeticula mexicana Bast. (Lep. Prodoxidae) de San Luis Potosí*. Universidad Autónoma de México.
- Blanc, R., Guillemain, M., Mouronval, Jean-baptiste Desmonts, D., & Fritz, H. (2006). EFFECTS OF NON-CONSUMPTIVE LEISURE DISTURBANCE TO WILDLIFE Current threats to global biodiversity have lead many scientists to study the consequences of human-induced disruption of wildlife . On the one hand , many wild animal species face habitat chang. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 61, 117–134.
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (2004). The logrank test. *Bmj, 328(7447)*, 1073. <https://doi.org/10.1136/bmj.328.7447.1073>
- Boege, E. (2009). Centros de origen, pueblos indígenas y diversificación del maíz. *Ciencias, 92–93*, 18–28.
- Borchert, M. I., & DeFalco, L. A. (2016). *Yucca brevifolia* fruit production, predispersal seed predation, and fruit removal by rodents during two years of contrasting reproduction. *American Journal of Botany, 103(5)*, 830–836. <https://doi.org/10.3732/ajb.1500516>
- Borror, D., & White, R. (1970). *A Field Guide to Insects*.
- Brattstrom, B. H., & Bondello, M. C. (1983). *Effects of Off-Road Vehicle Noise on Desert Vertebrates*. 167–206. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5454-6_9
- Cáceres, N. C. (2002). Food habits and seed dispersal by the white-eared opossum, *Didelphis albiventris*, in southern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment, 37(2)*, 97–104. <https://doi.org/10.1076/snfe.37.2.97.8582>
- Canales-Delgadillo, J., Chapa-Vargas, L., Carlos Gómez, J., & Arreola Aguirre, J. (2015). New distributional records for the endangered worthen's sparrow *Spizella*

- wortheni in San Luis Potosí, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana*, 31(2), 313–317.
- Carney, K., & Sydeman, W. (1999). A review of human disturbance effects on nesting colonial waterbirds. *The International Journal of Waterbird Biology*, 22, 68–79.
- CEFIM. (2018). *Plan Municipal de Desarrollo Armadillo de los Infante, 2018-2021*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cervantes, M. (2005). Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. X *Encuentro de Geógrafos de América Latina*, 3388–3407. <http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Usoderecursos/08.pdf>
- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. In CONABIO (Ed.), *Capital natural de México* (Vol. 1: Co, pp. 87–108). CONABIO.
- Chao, A., & Jost, L. (2015). Estimating diversity and entropy profiles via discovery rates of new species. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(8), 873–882. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12349>
- Chao, A., Ma, K. . H., Hsieh, T., & Chiu, C. (2016). *Online Program Anne Chao, package Spade (Species-richness Prediction and Diversity Estimation)*.
- Clinton Eitniear, J., & Aragon Tapia, A. (2000). Notes on the Diet of the Crimson-Collared Grosbeak (*Rhodothraupis Celaeno*) in Northeastern. *Ornitología Neotropical*, 11, 363–364.
- CONABIO. (2019). La biodiversidad en San Luis Potosí. In CONABIO (Ed.), *Farmacopea argentina* (1st ed.).
- Cuarón, A. D., Helgen, K., & Reid, F. (2016). *Spilogale gracilis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T136797A45221721.en>.
- Cumming, G., F, F., & Vaux, D. L. (2007). Error bars in experimental biology. *Cell Biology*, 177, 7–11.
- Dajoz, R. (2000). *Précis d'écologie*.
- del Val, E., & Boege, K. (2012). *Ecología y evolución de las interacciones bióticas* (F. de C. Económica, CIECO, & UNAM (eds.); Primera ed).
- Escobar, F., & Chacón de Ulloa, P. (2000). Distribución espacial y temporal en un gradiente de sucesión de la fauna de coleópteros coprófagos (Scarabaeinae, Aphodiinae) en un bosque tropical montano, Nariño - Colombia. *Biología Tropical*, 48(4), 961–975.
- Estrada, C., & Fernández, F. (1999). No Diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en un gradiente sucesional del bosque nublado (Nariño, Colombia). *Biología Tropical*, 47(1–2), 189–201.

- FAO. (1995). *Planning for sustainable use of land resources*. FAO.
- Farwig, N., Böhning-Gaese, K., & Bleher, B. (2006). Enhanced seed dispersal of *Prunus africana* in fragmented and disturbed forests? *Oecologia*, *147*(2), 238–252. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0288-9>
- Fernández-Gayubo, S., & Pujade-Villar, J. (2015). Orden Hymenoptera. In *Revista IDE@-SEA*, n° (Vol. 48, pp. 1–13). www.sea-entomologia.org/IDE@
- García Salas, J. A. (1999). *Uso de recursos, traslape de nicho y competencia de la avifauna asociada a Yucca treculeana en un Matorral Mediano Subinermes en General Escobedo, N. L., México* [Tesis de doctorado]. Universidad Autónoma de Nuevo Leon.
- González Medrano, F. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. In SEMARNAT (Ed.), *Journal of Visual Languages & Computing* (1ra edición, Vol. 11, Issue 3). https://www.m-culture.go.th/mculture_th/download/king9/Glossary_about_HM_King_Bhumibol_Adulyadej's_Funeral.pdf
- Goula, M., & Mata, L. (2015). Clase Insecta - Orden Hemiptera: Suborden Heteroptera. In *Revista IDE@-SEA* (Vol. 53, pp. 1–30). www.sea-entomologia.org/IDE@
- Granados-Sánchez, D., & López-Ríos, G. F. (1998). Yucca “izote” del desierto. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente.*, *4*(1), 179–192.
- Guerrero Rodríguez, E., Juárez Rodríguez, J. M., & Fernández, G. A. (2011). Determinación de artrópodos asociados a flor y fruto de *Yucca filifera*, y su daño en las áreas de Caopas, Zac, y Matehuala, SLP. *Agraria*, *1*, 35–45.
- Guinan, D. M., & Sealy, S. G. (1986). Diet of house wrens (*Troglodytes aedon*) and the abundance of the invertebrate prey in the dune-ridge forest, Delta Marsh, Manitoba. *Canadian Journal of Zoology*, *65*, 1587–1596.
- Harmer, O., Harper, D., & Ryan, P. (2001). *PAST - PAleontological STatistics software package for education and data analysis* (pp. 1–9).
- Harrower, J., & Gilbert, G. S. (2018). Context-dependent mutualisms in the Joshua tree–yucca moth system shift along a climate gradient. *Ecosphere*, *9*(9). <https://doi.org/10.1002/ecs2.2439>
- Helgen, K. (2016). *Conepatus leuconotus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T41632A45210809.en>
- Hill, M. O. (1973). Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, *54*(2), 427–432. <https://doi.org/10.2307/1934352>
- Hood, G. M. (2011). *PopTools* (p. 73). <http://www.poptools.org>
- Huerta-Martínez, F. M., & García-Moya, E. (2004). Diversidad de especies perennes y su relación con el ambiente en un área semiárida del centro de México:

- Implicaciones para la conservación. *Interciencia*, 29(8), 435–411.
- INEGI. (2011). *Censo de Población y vivienda 2010*.
- INEGI. (2012). *Guía para la interpretación de cartografía: Uso del suelo y vegetación*.
- Irish, M., & Irish, G. (2000). *Agaves, yuccas and related plants. A gardener's guide*.
- Kaplan, E., & Meier, P. (1958). Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. *Journal of the American Statistical Association*, 53, 457–581.
- Lenz, L. (2001). Seed Dispersal in *Yucca Brevifolia* (Agavaceae)-Present and Past, With Consideration of the Future of the Species. *Aliso*, 20(2), 61–74. <https://doi.org/10.5642/aliso.20012002.03>
- Liu, H., Prugnolle, F., Manica, A., & Balloux, F. (2006). A geographically explicit genetic model of worldwide human-settlement history. *American Journal of Human Genetics*, 79(2), 230–237. <https://doi.org/10.1086/505436>
- Magallán-Hernández, F., Maruri-Aguilar, B., Sánchez-Martínez, E., Hernández-Sandoval, L., Luna-Zuñiga, J., & Robledo-Mejía, M. (2014). CONSIDERACIONES TAXONÓMICAS DE YUCCA QUERETAROENSIS PIÑA (AGAVACEAE), UNA ESPECIE ENDÉMICA DEL SEMIDESIERTO QUERETANO-HIDALGUENSE. *Acta Botanica Mexicana*, 108, 51–66.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity* (Blackwell).
- Markl, J. S., Schleuning, M., Forget, P. M., Jordano, P., Lambert, J. E., Traveset, A., Wright, S. J., & Böhning-Gaese, K. (2012). Meta-Analysis of the Effects of Human Disturbance on Seed Dispersal by Animals. *Conservation Biology*, 26(6), 1072–1081. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01927.x>
- Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J. E., & Álvarez, F. (2014). The study of the biodiversity in Mexico: A route with a course? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 1–9. <https://doi.org/10.7550/rmb.43248>
- Matuda, E., & Piña, I. (1998). *Las plantas Mexicanas del Género Yucca*. Miscelanea.
- Mora-Olivo, A., Hurtado, M., & Gaona-González, G. (2009). CHOCHAS: Las flores comestibles del desierto. *Ciencia Uat*, 10–13.
- Nava, V., Tejero, J. D., & Chávez, C. B. (1999). HABITOS ALIMENTICIOS DE BASSARYSCUS ATUTUS, EN MEXICO. *Anuales Del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México*, 70, 51–63.
- Pardini, R., Faria, D., Accacio, G. M., Laps, R. R., Mariano-Neto, E., Paciencia, M. L. B., Dixo, M., & Baumgarten, J. (2009). The challenge of maintaining Atlantic forest biodiversity: A multi-taxa conservation assessment of specialist and generalist species in an agro-forestry mosaic in southern Bahia. *Biological Conservation*, 142(6), 1178–1190. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.010>
- Pellmyr, O., & Huth, C. J. (1994). Evolutionary stability of mutualism between yuccas

- and yucca moths. *Nature*, 372, 257–260. <https://doi.org/10.1038/255242a0>
- Pellmyr, O., & Leebens-Mack, J. (1999). Forty million years of mutualism: Evidence for eocene origin of the yucca-yucca moth association. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(16), 9178–9183. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.16.9178>
- Perry, J. C., Mondor, E. B., & Addicott, J. F. (2004). An indirect mutualism: Ants deter seed predators from ovipositing in yucca fruit. *Canadian Journal of Zoology*, 82(5), 823–827. <https://doi.org/10.1139/Z04-039>
- Prist, P. R., Michalski, F., & Metzger, J. P. (2012). How deforestation pattern in the Amazon influences vertebrate richness and community composition. *Landscape Ecology*, 27(6), 799–812. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9729-0>
- R Core Team, R. (2018). *R: A language and environment for Statistical Computing*.
- Rau, P. (1985). The Yucca Plant, *Yucca filamentosa*, and the Yucca Moth, *Tegeticula (Pronuba) yuccasella* Riley: An Ecologico-Behavior Study. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 32(4), 373–394. <https://doi.org/10.2307/1221588>
- Rentería-Arrieta, L. (2000). *Dinámica del crecimiento de hojas, flores y frutos de Yucca filifera Chabaud y el efecto de Tegeticula yuccasella Riley sobre la producción de semillas en Linares, N.L., México*.
- Rentería-Arrieta, L. I., & Ayala, C. (2003). El efecto de *Tegeticula yuccasella* Riley (Lepidoptera: Prodoxidae) sobre la fenología reproductiva de *Yucca filifera* Chabaud (Agavaceae) en Linares, N. L., México. *Acta Zoológica Mexicana*, 89.
- Renteria, L., & Cantú, C. (2003). El efecto de *Tegeticula yuccasella* Riley (Lepidoptera: Prodoxidae) sobre la fenología reproductiva de *Yucca filifera* Chabaud (Agavaceae) en Linares, N. L. México. *Acta Zoologica Mexicana*, 92(89), 85–92. <https://doi.org/10.21829/azm.2003.89891776>
- Rico-Gray, V. (2001). Interspecific Interaction. *Enciclopedia of Life Sciences*, 265–283. <https://doi.org/10.1201/9781420027891.ch13>
- Romo de Vivar, A. (1977). Esteroides, aceite comestible y productos farmacéuticos obtenidos de palma china o yucca filifera. *Sociedad Química Mexicana*, 21, 329–331.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (CONABIO (ed.); 1ra. Edici).
- Rzedowski, J. (1955). Notas sobre la flora y vegetación del estado de San Luis Potosí. *Ciencia*, 15, 89–96.
- Sauvajot, R., Buechner, M., Kamradt, D., & Schonewald, C. (1998). Patterns of human disturbance and response by small mammals and birds in chaparral near urban development. *Urban Ecosystems*, 2(4), 279–297. <https://doi.org/10.1023/A:1009588723665>

- SEMARNAT. (2014a). *Anuario Estadístico de la Producción Forestal*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- SEMARNAT. (2014b). *Inventario Estatal Forestal y de Suelos*.
- SEMARNAT. (2017). La degradación de suelos en México. *Informe de La Situación Del Medio Ambiente En México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental.*, 23, 119–154. <https://doi.org/978-607-8246-61-8>
- Sotelo, A., López-García, S., & Basurto-Peña, F. (2007). Content of nutrient and antinutrient in edible flowers of wild plants in Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(3), 133–138. <https://doi.org/10.1007/s11130-007-0053-9>
- Tolrá Hjorth-Andersen, M. C. (2015). Orden Diptera. In *Revista IDE@-SEA* (Vol. 63, pp. 1–22). www.sea-entomologia.org/IDE@
- Treviño, J., Herrera, R., Flores, K., & Niño, S. (2006). El papel de la palomilla nocturna (*Tegeticula* sp.) en el bosque rosetófilo de Miquihuana, Tamaulipas, México. *Resúmenes Del Simposium Conservación de Los Polinizadores En México*, 16.
- VanderWall, S., Esque, T., Haines, D., Garnett, M., & Waitman, B. A. (2006). Joshua tree (*Yucca brevifolia*) seeds are dispersed by seed-caching rodents. *Écoscience*, 13, 539–543.
- Venn, J. (1880). On the diagrammatic and mechanical representation of propositions and reasonings. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 9, 1–18.
- Villarreal Méndez, J. (2012). *Variación estacional en la dieta y traslape en el nicho alimenticio entre coyote (*Canis latrans* Say, 1823) y la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus* Schreber, 1775) en una zona rural de la porción sur del altiplano mexicano* [Tesis de licenciatura]. Universidad de Guadalajara. http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5594/Ventura_Castro_Lucia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Villavicencio, M. Á., & Pérez-Escandón, B. E. (2017). Tipos de fruto de *Yucca filifera* y formas asociadas de *Tegeticula yuccasella* (Lepidoptera). *Botanical Sciences*, 123(57), 121. <https://doi.org/10.17129/botsci.1481>
- Waitman, B. A., Vander Wall, S. B., & Esque, T. C. (2012). Seed dispersal and seed fate in Joshua tree (*Yucca brevifolia*). *Journal of Arid Environments*, 81, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.12.012>
- Webber, J. M. (1953). *Yuccas of the Southwest* (17th ed.).
- Whittaker. (1965). Dominance and Diversity in land plant communities. *Science*, 147.