

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA
PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN CIENCIAS
AMBIENTALES

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

LA FAUNA Y SUS INTERACCIONES ECOLÓGICAS CON LAS SEMILLAS DE UNA
ESPECIE CULTIVADA (*Mangifera indica*) Y UNA SILVESTRE (*Dioon edule*) EN UN
SITIO ANTRÓPICO DE LA HUASTECA POTOSINA

PRESENTA:

IARF. ALEJANDRA BERENICE IBARRA HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. LAURA YÁÑEZ ESPINOSA

ASESORES:

DR. ROGELIO FLORES RAMÍREZ

DR. FELIPE BARRAGÁN TORRES

OCTUBRE 2023

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

PROYECTO REALIZADO EN:

**EJIDO LAGUNA DEL MANTE, CIUDAD VALLES, SAN LUIS POTOSÍ Y EL INSTITUTO
DE INVESTIGACIÓN DE ZONAS DESÉRTICAS**

CON FINANCIAMIENTO DE:

BECA CONACyT No. 1079157

AGRADEZCO A CONACyT EL OTORGAMIENTO DE LA BECA-TESIS

Becario No. 1079157

**LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO ATRAVÉS
DEL SISTEMA NACIONAL DE POSGRADOS (SNP)**



LA FAUNA Y SUS INTERACCIONES ECOLÓGICAS CON LAS SEMILLAS DE UNA ESPECIE CULTIVADA (*Mangifera indica*) Y UNA SILVESTRE (*Dioon edule*) EN UN SITIO ANTRÓPICO DE LA HUASTECA POTOSINA by ALEJANDRA BERENICE IBARRA HERNÁNDEZ is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Dedicatoria

A mis padres, mi motor de vida

Que a lo largo de estos años entendí el verdadero significado de que la mejor herencia que podían dejarme es el estudio. Pues hoy agradezco infinitamente que me dieran todas las oportunidades, facilidades y libertades que me guiaron para tomar el camino donde encontraría mi verdadero amor y pasión por la naturaleza.

Soy lo que soy por ustedes, las personas de valores inquebrantables que este mundo necesita.

AGRADECIMIENTOS

A mi comité tutelar, en especial al Dr. Felipe por sus revisiones y sugerencias tan acertadas, además del préstamo de cámaras trampa, material que hizo posible este trabajo. Y a la Dra. Laura por la facilitación de algunas semillas de chamal.

Al ex comisariado ejidal de Laguna del Mante el Sr. Adalberto Márquez, por las facilidades de acceso a la RBSAT y el uso del CCC, pero sobre todo por permitirme acceder a su propiedad para la exploración y realización del experimento.

A la CONANP, al M.C Alejandro Duran, las ingenieras Sandra y Dulce por la facilitación de vehículo, pagos de guías y por brindarme entusiasmo a la realización de mi trabajo en la región Huasteca, tan bonita y llena de vida en cualquier sentido de la palabra.

Al IIZD y su director el Dr. Arturo de Nova por la facilitación de vehículo en diversas ocasiones.

A los guías Agustín Quinto y Don Hermelindo Guzmán, por transmitirnos mucho conocimiento, amor y admiración por la naturaleza. Agradezco también a sus familias, en especial a Don Herme y su esposa Cecilia, maravillosas personas que siempre nos abrieron las puertas de su casa.

A la comunidad de los Sabinos Número Dos y Laguna del Mante por su hospitalidad y accesibilidad de compartir información valiosa. Así mismo, por su preocupación y cuidados cuando veían a dos estudiantes solas en campo.

Al M.C Jaime Morales, por ser mi completo apoyo tanto en lo académico y en lo personal, nunca soltaste mi mano, ni un momento. Agradezco que aceptaras ser mi compañero de aventuras desde esa salida a Tamasopo, pues no imaginaba que conocería a la persona que más me inspira y motiva en este viaje llamado vida.

A la IARF Mayra Puente y ahora una gran amiga, que sin conocernos no dudó en ser mi acompañante para las salidas de campo, resultando ser una pieza fundamental en la ejecución de la metodología.

A mi familia núcleo, Arturo Hernández y Ana Ma. Ibarra, por creer siempre en mí, por brindarme el amor y el cuidado que todo hijo necesita para no rendirse. Así mismo, a los demás integrantes de mi familia, con especial admiración a Guadalupe Hernández y Claudia Hernández, mujeres inspiradoras y tenaces que con su ejemplo me motivaron a adentrarme al mundo académico y de investigación.

A mis amigos IARF Felipe Carranco, Claudia Cortina, Esmeralda Villaseñor y a la M.C Brenda Calzada, por formar parte de mi red de apoyo. Principalmente Felipe, que siempre me escuchó y aconsejó tanto personal y técnicamente en todas esas noches de desvelo.

A la Dra. Paola Flores por el seguimiento de mi situación durante su estancia como coordinadora del posgrado, así como a la Dra. Erika Chávez, coordinadora del ARNR, por su extrema disposición y amabilidad, así como al Dr. Javier Fortanelli por su disponibilidad para ser profesor observador durante todas las reuniones y evaluaciones colegiadas.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE CUADROS	9
RESUMEN	10
SUMMARY	11
INTRODUCCIÓN	12
ANTECEDENTES	14
La antropización	14
La antropización y las interacciones planta – animal	14
Interacciones semilla – animal	15
Dispersión de semillas	15
Depredación de semillas	16
Interacciones de semillas silvestres y cultivadas con fauna silvestre y domesticada en sitios con diferente conservación	17
<i>Mangifera indica</i>	17
Descripción botánica de <i>Mangifera indica</i>	18
Las semillas de <i>Mangifera indica</i>	18
Dispersión de semillas de <i>Mangifera indica</i>	19
<i>Dioon edule</i> Lindl.	19
Descripción botánica de <i>Dioon edule</i> Lindl.	20
Las semillas de <i>Dioon edule</i> Lindl.	20
Dispersión de semillas de <i>Dioon edule</i> Lindl.	21
HIPÓTESIS	22
OBJETIVOS	22
Objetivo general	22
Objetivos particulares	22
JUSTIFICACIÓN	22
MATERIALES Y MÉTODOS	23
Área de estudio	23
Selección del sitio y estaciones de muestreo	25
Identificación de fauna interactuante	26
Abundancia absoluta de la fauna interactuante	26
Remoción de semillas en suelo	27
Revisión de destino de semillas	28
Análisis estadísticos	29
RESULTADOS	30

Fauna asociada a semillas de <i>Mangifera indica</i> y <i>Dioon edule</i>	30
Interacciones semilla – fauna	34
Remoción de semillas en suelo	36
Remoción de semillas por periodo de actividad	39
Remoción de semillas por clase de fauna	41
Destino de semillas removidas	43
DISCUSIÓN	46
Fauna asociada a semillas de <i>Mangifera indica</i> y <i>Dioon edule</i>	47
Interacciones semilla – fauna	49
Remoción de semillas en suelo	51
Remoción de semillas por periodo de actividad	54
Remoción de semillas por clase de fauna	55
Destino de semillas removidas	56
CONCLUSIONES	58
PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES FINALES	59
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Macro – micro localización, uso de suelo y vegetación y distribución de estaciones de muestreo en el área de estudio "Rancho el 20", Cd. Valles, S.L.P.	24
Figura 2. a) Estación con cámaras-trampa instaladas, b) semillas de <i>Dioon edule</i> y <i>Mangifera indica</i> ordenadas en el suelo al centro de la estación.	28
Figura 3. Hábitos alimenticios generales de la de fauna interactuante con las semillas de <i>M. indica</i> y <i>D. edule</i> en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.	31
Figura 4. Abundancia absoluta por clase de fauna interactuante con las semillas de <i>M. indica</i> y <i>D. edule</i> en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.	31
Figura 5. Abundancia absoluta de las especies interactuantes con las semillas de <i>M. indica</i> y <i>D. edule</i> en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.	32
Figura 6. Mamíferos interactuantes con las semillas de <i>M. indica</i> y <i>D. edule</i> . a) <i>C. paca</i> removiendo y b) depredando semillas de <i>M. indica</i> , c) juvenil de <i>C. paca</i> depredando semillas de <i>D. edule</i> ; d) Rodentia: ratón (<i>Peromyscus</i> sp.) y e) rata removedores de semilla de <i>D. edule</i> ; f) <i>N. narica</i> con semilla de <i>M. indica</i> en el hocico, g) <i>P. lotor</i> removedor y depredador de semillas de <i>M. indica</i> ; h) <i>S. floridanus</i> e i) <i>S. aureogaster</i> depredando semillas de <i>D. edule</i> .	35
Figura 7. Remoción y depredación de semillas por especie (<i>M. indica</i> y <i>D. edule</i>) en las seis estaciones de muestreo en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P. N= 2880, $\alpha= 0.05$, $p= 0.00037$.	36

Figura 8. Remoción y depredación de semillas de <i>D. edule</i> (rojo) y <i>M. indica</i> (azul) en las estaciones de El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P. a) estación 1, b) estación 2, c) estación 3, d) estación 4, e) estación 5, f) estación 6. Por cada análisis: N= 480, $\alpha= 0.05$.	37
Figura 9. Semillas de <i>D. edule</i> removidas y consumidas total y parcialmente mediante los registros del fototrampeo en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.	38
Figura 10. Remoción y depredación parcial de semillas de <i>D. edule</i> por las especies de fauna interactuantes en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.	39
Figura 11. Remoción y depredación de semillas por ambos periodos de actividad en las seis estaciones de muestreo en el Rancho el 20, Ciudad Valles. N= 2880, $\alpha= 0.05$.	39
Figura 12. Remoción y depredación de semillas de <i>D. edule</i> y <i>M. indica</i> por periodo de actividad en las estaciones de El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P. a) estación 1, b) estación 2, c) estación 3, d) estación 4, e) estación 5, f) estación 6. Por cada análisis: N= 480, $\alpha= 0.05$. <i>D. edule</i> – Día (rojo), <i>M. indica</i> – Día (verde), <i>D. edule</i> – Noche (azul), <i>M. indica</i> – Noche (morado).	40
Figura 13. Remoción y depredación de semillas de <i>D. edule</i> y <i>M. indica</i> por clase de fauna interactuante en las estaciones de muestreo en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P. N= 1096, $\alpha= 0.05$.	41
Figura 14. Gráfico de los residuales estandarizados de la prueba chi-cuadrada con respecto a la remoción y las características de las estaciones de muestreo.	43
Figura 15. Distancia destino de las semillas a) <i>M. indica</i> y b) <i>D. edule</i> desde el centro de las estaciones.	44
Figura 16. Patrones de deposición de semillas de <i>M. indica</i> y <i>D. edule</i> en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.	45
Figura 17. a) Comedero de <i>C. paca</i> con semillas de <i>M. indica</i> depredadas al fondo; b) Semillas de <i>M. indica</i> depredadas al centro de la estación; c) Semillas de <i>D. edule</i> depredadas al centro de la estación. d= endocarpio con marcas de incisivos de <i>C. paca</i> , e= abertura de endocarpio para extracción de la semilla; f= semilla sin sarcotesta (depredación parcial) con marcas de incisivos de <i>C. paca</i> en la testa, g= sarcotesta depredada, h= testa depredada, i= gametofito y embrión depredado.	46

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Especies de fauna interactuantes con las semillas de <i>M. indica</i> y <i>D. edule</i> en Rancho el 20", Cd. Valles, S.L.P. El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.	32
Cuadro 2. Interacciones con las semillas de <i>M. indica</i> y <i>D. edule</i> con la fauna presente en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.	34
Cuadro 3. Interacciones de remoción de las semillas de <i>M. indica</i> y <i>D. edule</i> por especie de fauna en cada periodo de actividad y estación en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.	42

RESUMEN

Palabras clave: Antropización, remoción, depredación, mango, chamal.

Dentro de las actividades de antropización el cambio de vegetación para los cultivos de especies frutales destruye hábitats naturales en los que se encuentran especies vegetales silvestres con poblaciones vulnerables a su extinción, por lo que las interacciones planta – animal son alteradas. De forma que los agentes removedores de sus semillas llegan a ser desconocidos, presentan una reducción de sus poblaciones o de la disponibilidad del alimento con el que antes interactuaban, otras especies comienzan a modificar sus hábitos alimenticios por especies nuevas introducidas más palatables eliminando o disminuyendo las interacciones con la planta silvestre importantes para la dispersión de sus semillas y persistencia de la especie. Durante 15 días se realizó un fototrampeo en un sitio con remanentes de vegetación secundaria y alteraciones antrópicas por cultivo de caña en Ciudad Valles, S.L.P. En seis estaciones dobles con diferente composición de especies vegetales, cobertura vegetal e intensidad de actividad humana se colocaron un total de 1080 semillas de mango y 1800 semillas de chamal para identificar qué especies de fauna y en qué abundancia interactuaban con las semillas, además se determinó que tipo de interacciones realizaban (neutral, búsqueda, depredación, remoción) y sobre qué especie de semilla tenían mayor preferencia. Mediante análisis de supervivencia de Kaplan-Meier se determinaban diferencias estadísticas en las estaciones comparando la remoción de las dos especies de semillas ocurrida en dos periodos de actividad (nocturno: 6:00 p.m. – 6:00 a.m., diurno: 6:00 a.m. – 6:00 p.m.). Durante el inicio de cada periodo se realizaron revisiones del destino de semillas en un radio de 14 m a partir del centro de la estación, donde se llevaba un registro de número de semillas, condición (depredada, removida, intacta), distancia y orientación. Resultaron 26 especies interactuantes con las semillas, únicamente una especie es de origen exótico domesticada y asilvestrada. Solo nueve especies realizaron remoción o depredación de semillas. Se removió y depredó el 35% de las semillas de chamal y 42.8% de las semillas de mango y la mayor interacción fue la de depredación. Las interacciones se dieron con gran diferencia en el periodo nocturno, donde *Cuniculus paca* fue el mayor depredador de ambas especies de semillas y los roedores pequeños los principales removedores de *Dioon edule*, las pocas interacciones durante el periodo diurno se realizaron por fauna que tiene adaptabilidad a sitios antrópicos. Aunque dos estaciones estuvieran cercanas a un asentamiento humano y dos estaciones a una productora de cítricos las estaciones con menor interacción fueron aquellas que tenían un camino concurrido cercano y la cobertura de vegetación más abierta. En general, una mayor interacción de semillas es representativo de sitios antrópicos como ha resultado en otros estudios y la preferencia de semillas cultivadas parecen ser más apetecibles para ciertas especies de fauna, por diversas características de la propia semilla y disponibilidad de alimento.

SUMMARY

Keywords: Anthropization, removal, predation, mango, chamal.

Within the activities of anthropization, the change of vegetation for the cultivation of fruit species destroys natural habitats in which wild plant species with populations vulnerable to extinction are found, so that plant-animal interactions are altered. So that the agents that remove their seeds become unknown, present a reduction in their populations or in the availability of the food with which they previously interacted, other species begin to modify their eating habits for new, more palatable introduced species, eliminating or reducing the interactions with the native plant important for the dispersal of its seeds and persistence of the species. During 15 days, camera traps was carried out in a site with remnants of secondary vegetation and anthropic alterations due to sugarcane cultivation in Ciudad Valles, S.L.P. In six double stations with different composition of plant species, plant cover and intensity of human activity, a total of 1080 mango seeds and 1800 chamal seeds were placed to identify which species of animals and in what abundance interacted with the seeds, in addition to determining what kind of interactions did they perform (neutral, search, predation, removal) and on which species of seed did they have the greatest preference. Using Kaplan-Meier survival analysis, statistical differences were determined in the seasons, comparing the removal of the two species of seeds that occurred in two periods of activity (night: 6:00 p.m. – 6:00 a.m., daytime: 6:00 a.m. – 6:00 pm.). During the beginning of each period, reviews of the destination of seeds were carried out in a radius of 14 m from the center of the station, where a record was kept of the number of seeds, condition (predated, removed, intact), distance and orientation. There were 26 species interacting with the seeds, only one species is of exotic domesticated and feral origin. Only nine species performed seed removal or predation. 35% of the chamal seeds and 42.8% of the mango seeds were removed and predated, and the greatest interaction was that of predation. The interactions occurred with great difference in the night period, where *Cuniculus paca* was the largest predator of both species of seeds and small rodents the main removers of *Dioon edule*, the few interactions during the day period were carried out by fauna that has adaptability to anthropic sites. Although two stations were close to a human settlement and two stations to a citrus farm, the stations with the least interaction were those with a nearby busy road and the most open vegetation cover. In general, a greater interaction of seeds is representative of anthropic sites, as has been found in other studies, and the preference of cultivated seeds seems to be more palatable for certain species of fauna, due to various characteristics of the seed itself and food availability.

INTRODUCCIÓN

A la transformación de los entornos naturales por obra del ser humano se le denomina antropización, se origina por la deforestación y fragmentación para las actividades ganaderas y agrícolas, la extracción de recursos, sobreexplotación o urbanización (Otavo & Echeverría, 2017). En la región Huasteca el 80% de su superficie se ha modificado por la actividad humana (Peralta *et al.*, 2014) con los desmontes para la ganadería y agricultura extensiva e intensiva (Reyes *et al.*, 2006). Convirtiéndose en potencial productora de caña de azúcar, algunas especies de cítricos, café y variedades de mango (Peralta *et al.*, 2016). El mango (*Mangifera indica*) es una especie cultivada de alto carácter económico, alimenticio y medicinal.

Partiendo de esto, se debe examinar que la antropización, con enfoque a la introducción de especies vegetales exóticas trae consigo problemáticas que involucran desde la explotación de recursos hídricos, la introducción de enfermedades, plagas y depredadores (Aguirre & Mendoza, 2009) para las especies silvestres (fauna y plantas), perturbación de poblaciones vegetales silvestres y alteraciones en las interacciones planta – animal. La domesticación en especies como el mango manifiesta una variación morfológica y fisiológica a comparación de sus individuos silvestres. Como ejemplo, la reducción de mecanismos de defensa físico – químicas o el aumento de tamaño en las frutas y semillas (gigantismo) (Chávez, 2017), con la finalidad de que el humano obtenga un mayor provecho del recurso alimenticio, que, de igual forma, se puede beneficiar la fauna silvestre y exótica introducida por la propia ganadería, agricultura o los asentamientos humanos.

Las interacciones planta – animal son cruciales para los servicios ecosistémicos (SE) de los que depende la humanidad, teniendo los SE de regulación que mantienen la calidad de aire y de agua, control biológico, polinización y remoción de semillas, etc.; los SE de aprovisionamiento, con los que se puede disponer de recursos materiales (carne silvestre, hongos, plantas, madera, medicinas, agua, etc.); los SE culturales, utilizados generalmente bajo una actividad de recreación, ornamento, religiosa, etc.; y los de soporte que son la base para el funcionamiento de los ecosistemas, fotosíntesis, ciclos de nutrientes, etc. (Saldaña *et al.*, 2019). Las interacciones son una red dinámica y compleja que marcan cambios a procesos de nivel demográfico, ecológico y evolutivo en las poblaciones vegetales.

En la Huasteca, el conjunto de selvas alberga importantes especies endémicas, como el *Dioon edule* Lindl. que, por la destrucción de sus hábitats, decapitación, quema y extracción ilegal de individuos mantiene las poblaciones reducidas y agregadas limitando su flujo génico (Aguilar *et al.*, 2008). Por su estado de conservación, se catalogó como una especie en peligro de extinción (P) según la NOM-O59-

SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2019), casi amenazada (NT) por la IUCN (Chemnick & Gregory, 2022) y posible amenazada de extinción (Apéndice II) (CITES, 2019). Situación que obstaculiza a las interacciones planta – animal de esta especie, ocasionando efectos como una menor capacidad de polinización, diacronía o disminución de conos masculinos (fuente de polen) y femeninos (fuente de semillas), menor calidad de semillas, capacidad germinativa, estado sanitario poco favorable en plántulas y menor reclutamiento de plantas en otros hábitats para su conectividad (Aguilar *et al.*, 2009).

En sitios conservados se conoce que la remoción de las semillas la realizan pequeños mamíferos y aves medianas (Balderas, 2021; González, 1990; Pavón, 1999; Yáñez *et al.*, 2021). Sin embargo, en ambientes antropizados con especies cultivadas, los animales removedores encuentran otras especies como el mango, que pudiesen ser más apetecibles por su sabor, color o tamaño debido a su domesticación en comparación a la especie silvestre. Sobre este camino, la remoción de semillas puede ser influenciada además por el contenido de nutrientes y taninos, dureza de la cubierta, disponibilidad, entre otras (Wang & Chen, 2011), de forma que los agentes removedores deberían inclinar su preferencia por semillas que les proporcionen mayor recompensa neta, según lo indica la teoría del forrajeo óptimo (Rojas *et al.*, 2011). Resultando desconocidas las interacciones y preferencias de semillas en estos escenarios.

La remoción conlleva a interacciones de depredación y dispersión de semillas, procesos que terminan abarcando cambios espaciales y temporales (Diekötter *et al.*, 2007). Interacciones que no sólo dependen de las características propias de las semillas, las características del agente interactuante también son determinantes, por ejemplo, la presencia o ausencia, el tamaño de individuo y de la población, hábitos alimenticios y patrones/hábitos de actividad. Este último se toma como la forma en que las especies regulan sus actividades, en este caso de dispersión o depredación de semillas en un periodo nocturno o diurno. Característica cambiante con la antropización al formar diferentes circunstancias en el hábitat en diferentes escalas y que podría marcar diferencias en la dinámica vegetal (Galicia *et al.*, 2007). En otras palabras, en los ecosistemas perturbados el aprovisionamiento de especies cultivadas junto con la diferente dinámica por la presencia y actividad tanto humana como de fauna doméstica podrían terciar en las interacciones y hábitos/patrones de actividad de la fauna silvestre respecto a una mayor o menor remoción y preferencia de semillas de origen silvestre o cultivado debido a las particularidades por las modificaciones.

Las pruebas de cafetería por fototrampeo permiten estudiar el forrajeo de los animales cuando se tiene disponibilidad simultánea de recursos alimenticios (Gallina & López, 2011) y así aportar al conocimiento de la remoción de semillas de especies silvestres

(*Dioon edule*) y cultivadas (*Mangifera indica*) en sitios con diferente alteración vegetal. Dando pauta a la conservación y manejo de las especies vegetales y animales en remanentes conservados de la Huasteca Potosina y la Sierra Madre Oriental (SMOr) (Reyes *et al.*, 2006).

ANTECEDENTES

La antropización

La antropización es la transformación realizada por el ser humano a los paisajes, las principales actividades antrópicas son la expansión ganadera, agrícola y de infraestructura, la extracción forestal y de combustible (Galicia *et al.*, 2007). Las causas de la antropización se deben a la demanda creciente del ser humano para satisfacer sus necesidades ante un crecimiento poblacional, tan sólo en México la población aumentó 14 millones de habitantes en diez años (INEGI, 2021). Según la SEMARNAT (2018), en el año 2014 la vegetación silvestre potencial de las selvas perdió un 43% de las hectáreas que había para el año de 1976, mientras que la agricultura, actividad de mayor influencia en la transformación de las selvas aumentó 20% de sus hectáreas destinadas.

La agricultura transforma los ecosistemas naturales a ecosistemas agrícolas con la introducción de especies ajenas al ecosistema original y que son de interés para su producción (Martínez, 2017). Se debe tomar en cuenta que el elemento antrópico está vinculado con el natural o silvestre y que en ambos elementos ocurren interacciones entre las comunidades vegetales y animales para su funcionalidad. No obstante, la intensificación insostenible de las tierras con enfoque productivo se ha relacionado de forma negativa con las interacciones planta – animal cuando especies vegetales introducidas comienzan a frenar las interacciones con los elementos vegetales de los ecosistemas silvestres (Saldaña *et al.*, 2019).

La antropización y las interacciones planta – animal

La lista de consecuencias biológicas de la antropización es extensa, partiendo desde la pérdida de diversidad, reducciones o extinciones de las poblaciones silvestres (Galicia *et al.*, 2007) por la endogamia y la erosión génica (Aguilar *et al.*, 2009). Dichos cambios modifican e interrumpen las interacciones ecológicas a diferentes escalas y tiempos (Diekötter *et al.*, 2007).

Los eventos se manifiestan de forma desencadenada, iniciando desde la limitada polinización, la consecuente reducción en la producción de semillas (Medel *et al.*, 2009) y con ello un comportamiento diferente en los patrones de remoción, debido a la disponibilidad de alimento y a los cambios de la diversidad y abundancia de los enlaces móviles (fauna con roles de dispersores y depredadores) (Dirzo *et al.*, 2007).

En este sentido, los removedores más efectivos para las plantas silvestres se ven impactados por la defaunación, encabezados por mamíferos grandes que pueden remover las semillas a distancias más largas (Escobar *et al.*, 2020). Ante los cambios a la fauna grande, aves y mamíferos de menor tamaño o inclusive especies de animales domesticados e introducidos siguen con las interacciones, pero en diferentes condiciones como la remoción a distancias más cortas (Andresen, 2012) o la preferencia de semillas de plantas cultivadas estableciendo nuevas interacciones (Pacheco & Chávez, 2020). Para entender estas interacciones, primero se definirán y ejemplificarán.

Interacciones semilla – animal

Las interacciones se resumen en la obtención de recursos para sobrevivir, existen interacciones positivas (mutualismo), negativas (competencia, depredación), neutrales (neutralismo) por el simple hecho de coexistir en el mismo hábitat y en ocasiones las interacciones son una combinación de estas (comensalismo, amensalismo). Parte de la importancia de estudiar las interacciones ecológicas, particularmente las establecidas entre semillas y animales es el entendimiento a los patrones de la diversidad florística de los ecosistemas (Franco & Rojas, 2015), la demografía, estructura espacial y genética (flujo de genes o dinámica de acervos genéticos) y el funcionamiento general de los ecosistemas (flujos de materia y energía en las cadenas tróficas) (Andresen, 2012).

Las interacciones semilla – animal se condicionan partiendo con las características del recurso como el tamaño de la semilla, contenido energético, nutrimental o tóxico y las del agente removedor con sus características de tamaño, hábitos alimenticios y periodos/patrones de actividad (Mendoza & Dirzo, 2007). Con el impacto antrópico los patrones/hábitos de actividad y hábitos alimenticios pueden modificarse debido a la vulnerabilidad por presencia humana, competencia y depredación por animales silvestres o animales domésticos, así como por la disponibilidad de alimento y aprovisionamiento, es decir, el recurso que es ofrecido por acción humana en un sitio determinado.

Dispersión de semillas

La dispersión de las semillas es el alejamiento de estas unidades reproductivas desde la planta madre a diferentes distancias y lugares (Ojeda, 2016). La dispersión tiene como objetivo la reducción de exposición a la depredación y competencia, logrando la germinación, establecimiento y la colonización de plántulas en otros hábitats favorables y conexión de poblaciones (Greg *et al.*, 2014;). La dispersión se efectúa de forma primaria cuando factores abióticos o bióticos remueven las semillas de la planta madre, posteriormente, el o los movimientos producidos por otro u otros agentes se consideran como dispersión secundaria (Andresen, 2012).

Los métodos de dispersión también conocidos como mecanismos o síndromes de dispersión son las características morfológicas desarrolladas por las plantas que emplean dichos factores abióticos o bióticos, en ocasiones el conjunto de estos. Al mecanismo por factores abióticos se le denomina autocoria y se divide en anemocoria (viento), barocoria (gravedad), hidrocoria (agua) y ballocoria (explosión) (Lázaro, 2017). En tanto a la zoocoria, mecanismo por factores bióticos, se divide en ectozoocoria (estructuras o sustancias adheribles al pelo o plumas), endozoocoria (regurgitación o excreción) y diszoocoria (almacenamiento). Este último mecanismo también se le puede encontrar como acaparamiento disperso, al almacenamiento de semillas en pequeños cúmulos dispersos en el suelo y como acaparamiento de despensa referenciando al almacenamiento dentro de los nidos o madrigueras (Campos & Velez, 2015, Lázaro, 2017).

Es preciso referir que la aplicación de los términos de remoción y dispersión de semillas varían según cada autoría y en la extensión de los estudios. Regularmente, los estudios de remoción constan de registros de revisión y conteo del número de semillas que son extraídas por los agentes, así como sus condiciones en periodos cortos casi inmediatos (Vélez & Pérez, 2010). Mientras que ciertos estudios de dispersión abarcan desde el destino de las semillas (dirección y distancia de deposición) hasta procesos de sobrevivencia (germinación y establecimiento) por periodos cortos a extensos que se puedan apegar a los tiempos de fructificación (Franco & Rojas, 2015; Mendieta *et al.*, 2015).

Depredación de semillas

La depredación de semillas sucede cuando el agente removedor al alimentarse destruye la estructura de la unidad reproductiva por completo o daña una parte importante que imposibilite la germinación de esta, interacción que termina influyendo sobre el crecimiento poblacional de las especies vegetales (Lázaro, 2017). La depredación de las semillas se enfoca en dos partes, la frugivoría, donde los individuos consumen las estructuras carnosas que sirven como protección de la semilla y la granivoría, que contempla a la semilla como objeto de forrajeo (Andresen, 2012).

Hay que mencionar que la depredación surge de forma pre – dispersiva y post – dispersiva. La depredación antes de la dispersión ocurre al consumir las semillas inmaduras o maduras directo de la planta madre o en el suelo cercano a ella, este evento reduce la producción de semillas, las visitas de los posibles dispersores, número de semillas dispersadas y destino o distancia de deposición para su germinación. La depredación post dispersión, ocurre en el sitio donde fue depositada la semilla por otro agente removedor previo, de igual forma, este evento conlleva a cambios en los patrones de reclutamiento (Nahuel & de Viana, 2009). La condición final de las semillas removidas influye en su supervivencia, cuando las semillas son

perforadas o abiertas promueven la desecación y ataque de patógenos, reduciendo la probabilidad de germinación (Mendoza & Dirzo, 2007).

Interacciones de semillas silvestres y cultivadas con fauna silvestre y domesticada en sitios con diferente conservación

Las plantas han coevolucionado por millones de años con diversos agentes removedores de semillas (Pacheco & Chávez, 2020). Se ha enfatizado en que se conoce poco sobre cómo y quién realiza esas interacciones a pesar de la relevancia de la información para la conservación de las especies involucradas. Algunos estudios han indagado en la remoción de semillas silvestres por fauna silvestre en sitios no perturbados (Bunney *et al.*, 2017; Campos & Vélez, 2015; Mendieta *et al.*, 2015; Ojeda, 2016), en la remoción de semillas silvestres por fauna silvestre en sitios con diversas alteraciones por actividades antrópicas (Escobar *et al.*, 2020; Franco & Rojas, 2015; López *et al.*, 2015), en la remoción de semillas cultivadas por fauna silvestre en sitios antrópicos (cultivos) (Cordero *et al.*, 2023; López *et al.*, 2015; Guerrero *et al.*, 2000; Vergara *et al.*, 2021) así como la remoción de semillas silvestres y cultivadas por fauna doméstica introducida en diferentes escenarios de conservación o uso de suelo (Campos & Vélez, 2015; Dovrat *et al.*, 2012; Ramos *et al.*, 2015).

Así que la antropización con la agricultura involucra interacciones con semillas cultivadas como lo es con las semillas de mango (*Mangifera indica*), una de las especies más representativas de los cultivos frutales en México (Villegas & Mora, 2011). Y que, por las modificaciones a la vegetación natural, las interacciones con semillas silvestres son intervenidas como lo es con las del chamal (*Dioon edule* Lindl.), especie en estado crítico de conservación (Chemnick & Gregory, 2022). Para estudiar las interacciones que se pueden desarrollar con especies como estas en sitios antrópicos se procederá a describir las dos especies tomadas como objeto de estudio.

Mangifera indica

La domesticación de la planta data desde hace 4000 - 6000 años, tiene un posible origen en la región indo-birmana (Nyanmar), sitios en los que actualmente se pueden encontrar poblaciones silvestres (Gamboa & Mora, 2010). La introducción de la especie a México llegó para el siglo diecisiete (Parrotta, 1993). Los cultivos de mango se extienden por el trópico y subtropico, debido a que no resiste temperaturas inferiores a 5° C, se puede encontrar a altitudes de hasta los 1300 m, en regiones con precipitaciones medias anuales de 800 mm (Gamboa & Mora, 2010) y en suelos de 1.5 m de profundidad. Los estados más productivos son Chiapas, Sinaloa, Nayarit, Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Veracruz. En los años 80's, San Luis Potosí llegó a producir 19,430 ton de mango en los municipios de Ciudad Valles, Axtla de terrazas, Huehuetlán y Matlapa (SIAP, 2022), pero las producciones desde 2010 se restringen al municipio de Ciudad Valles. Al ser un cultivo proveniente de pequeños agricultores

en su mayoría, representa una especie con importancia social y económica, es por esto que la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos (SEDARH) busca implementar programas para aumentar los cultivos a 2,500 ha en la región, lo que se traduce a la modificación de vegetación y nuevamente cambios de uso de suelo (Estrada, 2019).

Descripción botánica de *Mangifera indica*

Especie de árbol perteneciente a la familia Anacardiaceae, pueden llegar a medir más de 20 m de altura, con troncos de 0.6 – 2 m de diámetro y raíz principal fuerte de ocho m. Presenta hojas lanceoladas de 10 – 40 cm de largo y 2 – 10 cm de ancho en color rojo cuando jóvenes y verde oscuro en etapa adulta, distintivas por su nervio central claro y sus nervaduras horizontales. Monoica al contar con flores masculinas y femeninas en el mismo individuo. La floración puede ocurrir desde el primer año o incluso hasta el décimo y las floraciones son dependientes de la precipitación y la temperatura, que en el país son desde octubre hasta mayo. Forman racimos o panículas de 15 – 20 cm de largo, cada panícula puede tener 400 – 6000 flores de cinco pétalos en color blanco amarillento a rojo y cinco pistilos. Produce un látex que puede ser irritante y tóxica para la piel (Gamboa & Mora, 2010).

Las semillas de *Mangifera indica*

Fruto drupáceo aromático con un peso de 100 – 1500 g, dimensiones de 8 – 20 cm de largo y 6 – 12 cm de ancho, mientras que los frutos silvestres sólo miden de 3.5 – 10 cm de largo. El pericarpio o cubierta externa puede tener tonalidades verdes, amarillas a rojizas según la maduración, esta capa suave recubre la parte comestible llamada mesocarpio, una pulpa amarilla dulce y jugosa. El endocarpio fibroso es comúnmente conocido como el hueso del mango, su color va de amarillo a blanco amarillento. En su interior se encuentra la semilla, protegida por el tegumento y la testa, los cotiledones mantienen una textura blanda color blanco amarillento. Las frutas tardan 100 – 120 días en madurar, los individuos adultos producen de 1000 – 3000 frutas al año, la etapa más productiva es de los 20 – 40 años extendiéndose inclusive a los 300 años (Gamboa & Mora, 2010).

Las propiedades nutricionales en 100 g de fruta fresca se componen de 60 kcal, 15 g de carbohidratos, 13.7 g de azúcares, 83.5% de agua, 1.6 g de fibra, además de 11 vitaminas y 12 minerales como el potasio, fósforo y el beta-caroteno entre los más abundantes (Wall *et al.*, 2015). La semilla (almendra) contiene 117 kcal, 6 – 11% de proteína, 33 – 82% de carbohidratos, 3 – 10.7% de grasa, 14% azúcares, 45% de humedad y 2.3 – 4.5% de fibra; los metabolitos secundarios más descritos son los polifenólicos por su variedad de beneficios para la salud (Correa *et al.*, 2019).

Dispersión de semillas de *Mangifera indica*

Los síndromes de dispersión del mango son por barocoria al dejar caer el fruto maduro al suelo y por zoocoria. Referente a la remoción por animales, en poblaciones silvestres los murciélagos dispersan las semillas por el mecanismo de endozoocoria y aunque en cultivos el zorro volador (*Pteropus niger*) llega ser considerado plaga, se conoce que la dispersión puede abarcar distancias de 5 – 20 km por noche, además que mejoran la germinación por el paso digestivo que estas tienen (Oleksy *et al.*, 2019). Otro dispersor efectivo que realiza el mismo síndrome es el elefante (*Loxodonta africana* africana) por llevar grandes cantidades de semillas a distancias de 3.7 km en promedio (Bunney *et al.*, 2017). La dispersión de las semillas por fauna puede llevarse a cabo desde la copa por las aves, ardillas, coatís y monos, o bien por otras especies al recoger las semillas del suelo. En los cultivos, el ganado y el humano suelen ser los mayores dispersores (Parrotta, 1993).

Las interacciones de depredación de semillas de mango por fauna silvestre pueden sobrepasar el umbral económico y el control para este tipo de animales va desde la caza hasta el envenenamiento. Los depredadores conocidos son la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*), zanate mexicano (*Quiscalus mexicanus*), ardillón de roca (*Otospermophilus variegatus*), conejo (*Sylvilagus cunicularius*), zorrillo (*Mephitis macroura*), coatí (*Nasua narica*), cotorra (*Amazona albifrons*) y mono saraguato (*Alouatta pigra*) (Monroy & Flores, 2013).

Dioon edule Lindl.

El chamal o palma de la virgen alberga ejemplares de hasta 2500 años de antigüedad (Vovides & Peters, 1987), pertenece al grupo de las cícadas, uno de los primeros grupos de plantas que desarrollaron semillas (espermatofitas) en conjunto con otras gimnospermas como las coníferas, ginkgos y las gnetales, alcanzando su punto clímax de abundancia en la era Mesozoica (Jones, 1993). Se distribuye en poblaciones dispersas desde el sur de Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo y el centro de Veracruz (Whitelock, 2004). Habita desde bosques tropicales perennifolios y caducifolios, hasta encinares y matorrales. Crece comúnmente en barrancos empinados y en laderas rocosas (Vovides, 1999).

En el estado de San Luis Potosí se distribuye en municipios de la Huasteca Potosina, es de bastante relevancia cultural para las comunidades Xi'úi de la región Pame, donde las hojas se emplean en eventos religiosos y las semillas para la elaboración de harina para tamales, gorditas y tortillas (Bonta *et al.*, 2019), alimentos con mayores concentraciones de hierro y manganeso en comparación al maíz, frijol, espinaca y coliflor (Carranza & Carrillo, 2017). La conservación del conocimiento tradicional para el uso alimenticio de las semillas es de importancia para el consumo seguro debido a las toxinas asociadas a enfermedades neurodegenerativas (Rivadeneira & Rodríguez,

2014). En la Huasteca Potosina se contempla como una especie con potencial para venta de ornato y colección (Arredondo *et al.*, 2012), aunque todavía no se cuentan con UMAS o viveros que eviten el saqueo ilegal de individuos silvestres. Ya que durante los años 80's 40,653 individuos fueron exportados a Estados Unidos, Japón y Europa (Vovides & Iglesias, 1994) y actualmente en plataformas digitales se pueden comprar semillas o individuos sin un certificado de legal procedencia.

Descripción botánica de *Dioon edule* Lindl.

Planta formada por un tallo grueso semi leñoso sin ramificaciones de hasta 5 m de altura y 30 – 50 cm de diámetro, con corteza grisácea áspera en escamas. Hojas apicales (50 – 150) dispuestas en corona pinnadas en color verde pálido a glauco de 100 – 200 cm de largo, peciolos (70 – 50) basales lanceolados de 10 – 15 cm de largo. Se reportan mayores niveles de metabolitos secundarios tóxicos (cicasina y macrozamina) en las hojas de los individuos femeninos (6.35 $\mu\text{mol} / \text{g FW}$) que en las hojas de los individuos masculinos (4.72 $\mu\text{mol} / \text{g FW}$) (Prado *et al.*, 2016), se conoce que el ganado vacuno consume las hojas verdes provocándose una intoxicación. Poseen dos tipos de raíces, una raíz principal contráctil, tuberosa, adjunta de raíces laterales estrechas y ramificadas, algunos individuos desarrollan raíces coraloides que generaran interacción con cianobacterias fijadoras de nitrógeno, realizan simbiosis con algas verde-azules ayudando al crecimiento de los individuos ya que en su mayoría se establecen en suelos someros (Vovides, 2008).

Las semillas de *Dioon edule* Lindl.

El chamal es una especie dioica por lo que el estróbilo de polen (masculino) y el estróbilo de óvulos (femenino) se encuentran en individuos separados. Estos estróbilos también conocidos como conos son estructuras cilíndricas crecientes de forma apical, los conos masculinos son erectos llegando a colgar por los lados cuando maduros, en colores pardos pálidos de hasta 35 cm de largo, 15 – 40 cm de largo y pedúnculo corto. Los conos femeninos son escamosos con textura lanosa de hasta 5 kg de 20 – 35 cm de largo, que llegan a producir hasta 200 semillas (Vovides, 1983), los conos pueden tomar una maduración de 12 – 18 meses y una dehiscencia de 8 – 9 meses con semillas completamente desarrolladas (Whitelock, 2004). Las semillas son en forma ovada de 2.5 – 4.5 cm de largo y 2.5 cm de ancho recubiertas por un tegumento carnoso blanco cuando está inmaduro y amarillo fuerte cuando maduran, protege a la semilla e inhibe la germinación, es un atrayente para los animales al tener una sarcotesta rica en almidón (Jones, 1993), algunos animales al quitarla producen un mecanismo de escarificación. El porcentaje de grasa es relativamente mayor en la sarcotesta que en la semilla con 0.17% y 0.16% respectivamente, mientras que las concentraciones de proteínas en la semilla equivalen al 21%, 61% de carbohidratos, 14.7% de humedad y 353 kcal como contenido energético (Carranza & Carrillo, 2017).

Los aminoácidos libres y alcaloides en la semilla representan un 80% de la concentración total contra un 20% de concentración en la sarcotesta (Covarrubias, 2009), el porcentaje de toxinas con respecto al peso fresco en semillas maduras corresponde al 0.120% de cicasina y 0.645% de macrozamina (Vázquez, 1981).

Dispersión de semillas de *Dioon edule* Lindl.

El principal síndrome de dispersión de las semillas del chamal es la barocoria, cuando el cono madura, las semillas caen al suelo por su propio peso y gravedad, dispersándose a poca distancia de las plantas madres influenciadas por las pendientes del terreno (Vovides, 2008). Los eventos de dispersión secundaria (diplocoria) ocurren por medio de otros síndromes como la hidrocoria y/o la zoocoria. Sobre este último mecanismo las primeras observaciones de campo señalaban a los pequeños roedores como los removedores de las semillas, González (1990) identificó que el roedor *Peromyscus mexicanus* lograba atacar el cono cerrado para la extracción de las semillas. Jones (1993) indicaba sobre la presencia de las semillas con marcas de incisivos de los roedores en grietas y oquedades rocosas a distancias cercanas y lejanas desde la planta madre, además de la existencia de plántulas de chamal salientes de las madrigueras, el mismo estado de depredación y dispersión de las semillas se siguió observando sobre los caminos desde la planta madre hacia las madrigueras de los pequeños mamíferos (Pavón, 1999).

Un estudio reciente registró a otros dos roedores pequeños (*Peromyscus leucopus* y *Chaetodipus* sp.) removiendo y almacenando las semillas en sus madrigueras (diszoocoria), en contraste, a la tuza real (*Cuniculus paca*) y la ardilla gris (*Sciurus aureogaster*) se les observó depredando a las semillas (Yáñez *et al.*, 2021). En un último estudio, Balderas (2021) registró un total de siete especies depredadoras de las semillas y nueve especies removedoras, donde las aves medianas y los roedores pequeños se mostraban como los principales dispersores de larga y corta distancia respectivamente. Interacciones como las de la paloma, ardilla y tuza real quedan en duda si pueden llegar a ser removedoras y no sólo depredadoras.

La ausencia de estudios enfocados en las interacciones con semillas de especies cultivadas (*Mangifera indica*) y silvestres (*Dioon edule*) con una orientación particular en los tipos de interacciones, especies interactuantes y sus patrones de actividad en sitios antrópicos revela la importancia de generar este tipo de conocimiento, que finalmente ayude a la conservación de especies tomadas como vulnerables por las modificaciones a los ecosistemas con especies de origen antrópico.

HIPÓTESIS

Las interacciones y preferencias de la fauna en un sitio antrópico serán diferentes sobre la disponibilidad de semillas de una especie cultivada (*Mangifera indica*) y otra silvestre (*Dioon edule*) en el sistema espacial y temporal.

OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar y analizar las interacciones y preferencias que tiene la fauna con las semillas de la especie cultivada (*Mangifera indica*) y la especie silvestre (*Dioon edule*) en un sitio con actividad humana en la Huasteca Potosina.

Objetivos particulares

Identificar las especies y estimar la abundancia absoluta de la fauna que interactúa con las semillas de *Mangifera indica* y *Dioon edule*.

Determinar los tipos de interacciones y preferencias que tiene la fauna con las semillas de *Mangifera indica* y *Dioon edule*.

Comparar la remoción de semillas de *Mangifera indica* y *Dioon edule* en los periodos de actividad nocturna y diurna.

JUSTIFICACIÓN

Para el funcionamiento y conservación de los ecosistemas en claro conjunto con sus poblaciones animales y vegetales se vuelve esencial entender las interacciones establecidas (Greg *et al.*, 2014), aún más cuando la subsistencia humana depende de los recursos obtenidos de estas (Saldaña *et al.*, 2019). La diversidad que las interacciones brindan a la cubierta vegetal, origina ecosistemas con alto nivel de riqueza y endemismo, tal es el caso de las selvas de la Huasteca Potosina (de Nova *et al.*, 2018), que además por sus condiciones edafoclimáticas permite que sea una región con potencial frutícola.

La agricultura es una de las principales causas de transformación del paisaje de la zona con especies mayormente producidas como *Mangifera indica* (Peralta *et al.*, 2016), comprometiendo poblaciones de *Dioon edule* que por otros factores de la antropización como el tráfico ilegal y la destrucción de sus hábitats coloca a la especie en un estado crítico de conservación (Chemnick & Gregory, 2022). Los estudios que respectan a la interacción con las semillas de estas especies vegetales por separado son reducidos, sin embargo, no existen estudios que se aproximen a las interacciones de remoción de ambas semillas en sitios perturbados.

En consecuencia, abarcar la investigación en este ámbito da oportunidad a las estrategias de conservación y mantenimiento de las interacciones y poblaciones de *Dioon edule* que conlleva a la vez a la conservación de conocimientos tradicionales y beneficios económicos por su uso (Bonta *et al.*, 2019), sin dejar de lado el conocimiento de las interacciones con los ecosistemas agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se conoce como El Rancho el 20, se localiza en las coordenadas 22°16'48.5" N, 99°03'42.8" O y elevación de 202 msnm. Ubicado dentro del ejido Laguna del Mante en el municipio de Ciudad Valles (Figura 1), perteneciente a la región Huasteca del estado de San Luis Potosí. Forma parte de la subprovincia Gran Sierra Plegada, macizo de la región fisiográfica SMO_r. El sitio de muestreo se estableció a 5 km de la presa La Lajilla, ubicada al noroeste de la comunidad de Laguna del Mante. La formación de rocas sedimentarias es de tipo aluvial (SGM, 2021) con suelo tipo vertisol pélico de textura fina (INIFAP & CONABIO, 1995). El clima es templado subhúmedo clave (A) C (w1) (w) (INEGI, 2008), con lluvias en verano y secas en invierno, una precipitación media anual de 1200 a 1500 mm (Vidal, 1990), temperatura media anual de 22 a 24° C (Cuervo *et al.*, 2014), la estación funcional húmeda es entre los meses de junio a octubre y la temporada de secas en los meses de noviembre a mayo. El sitio se rodea del arroyo El Granadillo de orden 1 y 2 proveniente del cuerpo de agua Las Lajillas (INEGI, 2006).

La vegetación primaria en el área de estudio se conforma por diversos tipos de bosques tropicales estacionales (de Nova *et al.*, 2018). Al este a 11 km del Rancho el 20 se encuentra la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa (RBSAT), área natural protegida con presencia de importantes especies vegetales como la de *Dioon edule* Lindl. y al oeste a 4 km la poco explorada Sierra de las Colmenas. La vegetación primaria y secundaria con más cercanía al Rancho el 20 se conecta con pequeños remanentes de vegetación conservados entre los cultivos (Figura 1).

La vegetación secundaria de bosques tropicales estaciones alberga más de 3,700 ha, referente a los cultivos, la agricultura temporal semipermanente es la más extensa (68%), siguiendo la agricultura de riego semipermanente (29%) y en menor proporción los pastizales (3%) (INEGI, 2018) (Figura 1). La práctica de agricultura es dominada por el cultivo de limas (*Citrus x aurantiifolia*, *Citrus latifolia*) y limones (*Citrus x limon*, *Citrus limonum*) por parte de la Productora Agrícola de Cítricos Potosinos S. de RL de CV, empresa con exportaciones a Estados Unidos, Japón y Europa. El cultivo intensivo de la caña de azúcar (*Saccharum* sp.) es trabajado por los ejidatarios, la producción abastece a ingenios de la Huasteca (Aguilar *et al.*, 2010), otros terrenos ejidatarios

más lejanos están destinados al cultivo de diversas especies como parte del programa Sembrando vida, entre ellas plátano (*Musa sp.*), cedro (*Cedrela odorata*), ébano (*Ebenopsis ebano*) y otras.

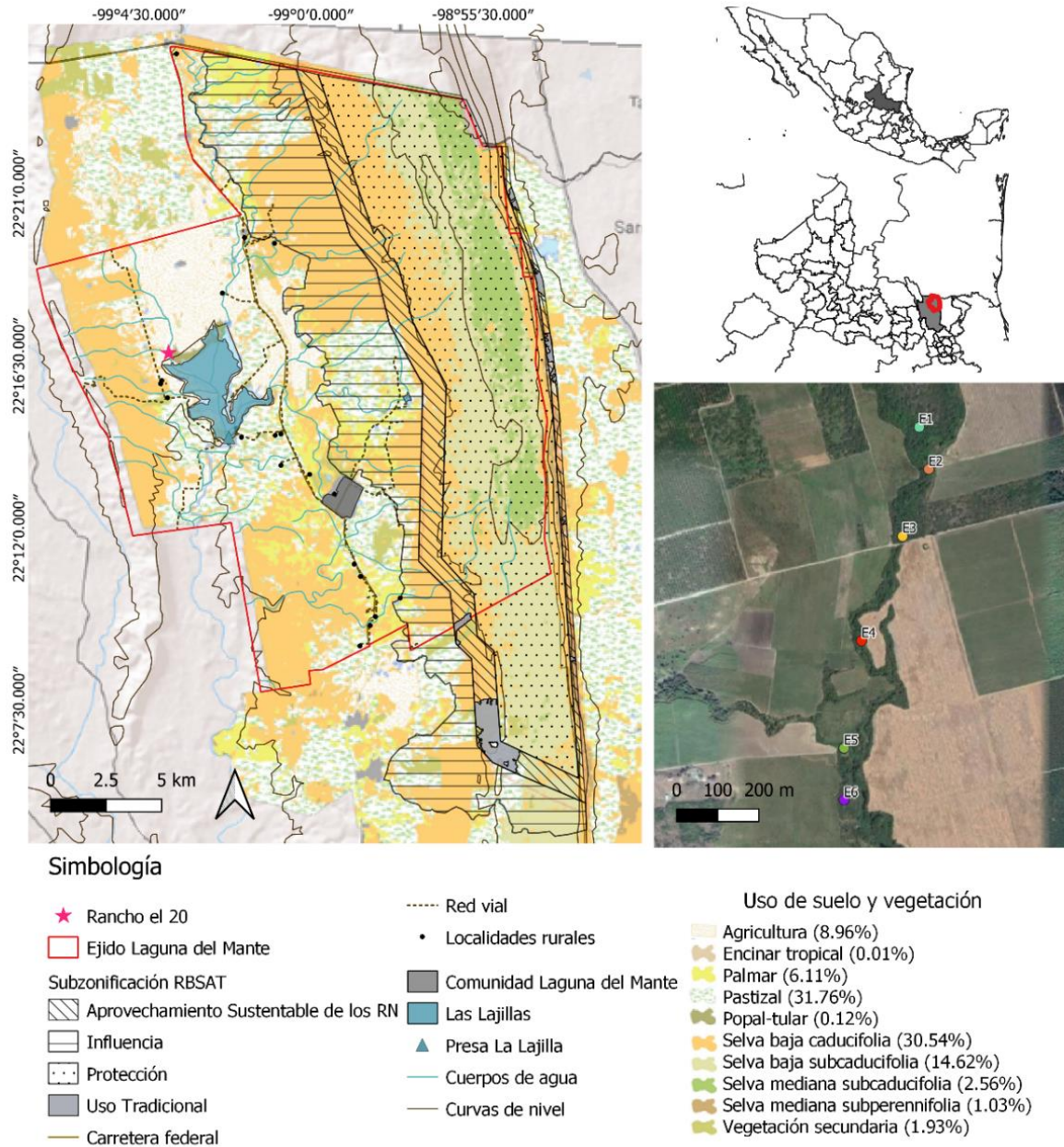


Figura 1. Macro – micro localización, uso de suelo y vegetación y distribución de estaciones de muestreo en el área de estudio "Rancho el 20", Cd. Valles, S.L.P.

Selección del sitio y estaciones de muestreo

En el mes de noviembre del 2021 se realizó una salida exploratoria a tres sitios cercanos a la presa La Lajilla; Los mangos, Arroyo y Rancho el 20. En estos se consideró la actividad de la fauna mediante la identificación de rastros de huellas, excretas, madrigueras o comederos (Aranda, 2012), la seguridad de los sitios para el establecimiento de las cámaras trampa, además del permiso por parte de los propietarios para la realización del experimento. A partir de estos criterios se seleccionó el Rancho el 20 como mejor sitio y se realizó un fototrampeo durante el mismo mes, donde se confirmó la presencia de *Cuniculus paca* o tuza real.

El diseño de muestreo se estableció conforme indica el manual de fototrampeo para especies con peso de 1.3 – 6.8 kg (Chávez *et al.*, 2013) y la revisión de literatura de la tuza real, especie con área de actividad de 0.03 km² promedio (Beck-King *et al.*, 1999), tomada como referencia al ser el mamífero más grande en el sitio para ese momento. En estudios para la tuza real, las estaciones se separan desde 100 m hasta 500 m (Figueroa, 2016; Mendieta *et al.*, 2015; Gutiérrez *et al.*, 2016; Santos & Pérez, 2013), por lo que en el remanente de vegetación se establecieron seis estaciones sobre un transecto lineal con una separación de 125 m hasta 310 m cada una (Figura 1).

Todas las estaciones colindaban al este y oeste con cultivos de caña recién cortadas o sembradas, por lo tanto, las estaciones eran los únicos sitios provistos de vegetación con mayor cobertura. La vegetación predominante en las estaciones es la vegetación riparia con acahual y solo la penúltima estación se encontraba en un reducido cultivo de plátano. Para la descripción de las condiciones de las estaciones se establecieron cuatro características principales, reportadas como variables ordinales y su categorización a detalle se puede consultar en el Anexo 1. Las variables cualitativas es un recurso utilizado por algunos autores para la caracterización, sobre todo como recurso precursor cuando no hay caracterizaciones con variables cuantitativas disponibles (Figueroa, 2016; Aquino *et al.*, 2019). Las variables son:

1) Cobertura vegetal, donde se categorizó conforme la presencia y de forma simbólica la abundancia de los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo, así como el nivel de dificultad para acceder o caminar a la estación, donde la cobertura cerrada dificultaba el desplazamiento y se tenía mucha presencia de algún estrato, abundante, media y abierta, cuando el acceso era fácil y no se disponía de muchos individuos en cualquiera de los estratos.

2) Actividad humana, en la que, se calculó la distancia a la productora de cítricos desde las estaciones 1 y 2, al camino desde las estaciones 3 y 4, al asentamiento humano desde las estaciones 5 y 6. Además de analizar el movimiento o presencia de humanos, considerando un aproximado de frecuencia en días y tiempo en ambos

periodos durante el experimento, así mismo, lo observado se confirmaba en pláticas con las personas que se encontraban y amablemente explicaban su dinámica en el sitio. Categorizando como baja cuando era poca presión humana, moderada – baja, moderada y alta cuando se presentaba mucha presión humana.

3) Disponibilidad de agua; simbólicamente se contabilizaban los cuerpos de agua cercano y se consideraba su tamaño durante el experimento, donde la disponibilidad alta representaba cuerpos de agua grandes sobre el arroyo, media, baja y la disponibilidad nula hace referencia a que ningún cuerpo de agua se encontraba presente.

4) Disponibilidad de otras especies vegetales que puedan servir como alimento para la fauna, donde se contaban e identificaban las especies diferentes al menos hasta género. A partir del número de especies encontradas por estación se les asignaba una disponibilidad alta entre más especies, moderada – alta, moderada, y baja entre menos especies presentes.

Identificación de fauna interactuante

Del 18 de mayo al 2 de junio de 2022, correspondiente a la época seca e inicios de la época de lluvias se colocaron dos cámaras-trampa en cada estación. Las cámaras eran marca Cuddeback, modelo E3 Black Flash, con alcance de hasta 15.2 m, resolución de 720 p en video. Se programaron para la toma de videos con duración de 30 segundos e intervalos de 15 segundos (Figuroa, 2016) con impresión de fecha y hora por cada evento capturado, manteniéndose activas las 24 h durante 15 días. Instaladas en bases de árboles o estacas a 40 – 50 cm desde el suelo para la captura de actividad o visita de fauna de talla mediana (>1 kg) a grande (>20 kg) y a 10-20 cm desde el suelo para fauna de talla pequeña (<1 kg) (Chávez *et al.*, 2013). A 180° desde la vista de la cámara-trampa se retiraron y cortaron hojas, ramas o cualquier objeto que pudiera activarla (Figura 2a). Mediante los videos se identificaron las especies de fauna a partir de la guía de identificación de mamíferos de Aranda (2012) y el listado de especies de aves para la RBSAT (Rivera *et al.*, 2021).

Abundancia absoluta de la fauna interactuante

La abundancia absoluta de cada especie se calculó a partir de cada registro individual en las estaciones separados cada 24 horas (Medina *et al.*, 2015). Esta metodología se utiliza cuando se considera que todas las especies del sitio tienen la misma probabilidad de que sean registradas en el fototrampeo. Por la habilidad y rapidez de los roedores pequeños (ratas y ratones) algunas capturas de las fototampas ocurrían cuando estos individuos salían del cuadro visible de la cámara, por lo que el conteo para de su abundancia se registró como “Rodentia” cuando no se podían diferenciar en los registros de videos.

Remoción de semillas en suelo

En cada estación, durante dos periodos de actividad al día (diurno, 6:00 am – 6:00 pm; nocturno, 6:00 pm – 6:00 am) durante los 15 días del experimento (n= 30 registros o momentos de remoción), se colocaron como cebo diez semillas de *D. edule* con sarcotesta y seis semillas de *M. indica* libres de pericarpio (cáscara) y mesocarpio (pulpa), con endocarpio limpio y seco (Figura 2b). Las semillas eran colocadas sobre un metro cuadrado de suelo limpio (Mendieta et al., 2015) al centro de la estación, ordenadas en filas (Figura 2b) a dos m del objetivo de la cámara-trampa (Santos & Pérez, 2013) para la fauna mediana – grande y a un m de la cámara para la fauna pequeña.

Es decir que cada 12 horas (6:00 a.m. y 6:00 p.m.) se acudía a la estación para contabilizar las semillas y registrar su condición (Iob & Vieira, 2008; Mendieta et al., 2015). La condición se catalogaba como semillas intactas a las que no tenían daño por depredación o remoción; removidas a las ausentes y depredadas con daño parcial o total. Se consideraba daño total cuando en las semillas de chamal era consumida la sarcotesta, destruida la testa, el gametofito y embrión; en las semillas de mango se consideraban con daño total cuando el endospermo fibroso era abierto para consumir la testa y el embrión. El daño parcial en las semillas de chamal consistía en consumo parcial o completo de la sarcotesta sin romper o destruir la testa, por último, las semillas de mango cuando sólo era roído y abierto el endospermo fibroso, en ambos casos sin afectar al embrión.

Después del conteo de semillas se reemplazaban con nuevas semillas las depredadas o intactas en mal estado por condiciones de sol y humedad, para dejar nuevamente 10 semillas de chamal y seis de mango en la estación, de esta forma siempre partir del mismo número de semillas para cada periodo durante los 15 días de nuestro. Así la fauna de actividad diurna y nocturna tenían la misma cantidad de alimento disponible, con el objetivo de ver la remoción y preferencia de semillas respectiva a cada periodo de actividad. Sumando un total de 1800 semillas de chamal (10 semillas x 2 periodos x 15 días x 6 estaciones) y 1080 semillas de mango (6 semillas x 2 periodos x 15 días x 6 estaciones).

Las semillas de chamal se colectaron de conos maduros en una comunidad de Tamasopo y se dispuso de alrededor de 300 semillas colectadas con anterioridad para otros proyectos (Permiso SEMARNAT SGPADGVS/00507/08). El número de semillas de mango y chamal colocadas en la estación se determinó por la disponibilidad de estas mismas, asegurando que la cantidad de recursos por especie en relación al peso fuera similar. El peso de una semilla de chamal va de 6 – 9 g (Iglesias & Alba, 2004), en cambio, el peso de la semilla de mango depende de la variedad (10 – 30 g), teniendo un peso promedio de 17 g (Ortega et al. 2017). De tal manera que el peso de

las 10 semillas de chamal equivaldría a un peso total aproximado de las seis semillas de mango.

Con la información de los videos se construyó un registro de las especies de fauna que interactuaron con las semillas, incluyendo la fecha y hora de la interacción, tipo de interacción, especie de semillas y número de semillas con las que se interactuó. Los tipos de interacción se clasificaron en las categorías de a) depredación, cuando el individuo consumía total o parcialmente la semilla; b) remoción, cuando la semilla era removida fuera de la estación; c) búsqueda, cuando el individuo solamente olfateó o tocó las semillas y d) neutral, cuando el individuo pasaba o se detenía sin generar otra interacción (Acevedo & Zamora, 2016). Se aceptaron como eventos diferentes a la interacción observada a partir de la secuencia de videos de diferentes especies o diferentes individuos, cuando no se pudo comprobar que se trataba de diferentes individuos los eventos se separaron por hora. En caso de que se presentaran varios individuos en el mismo video se reconocieron como diferentes eventos por cada uno de los individuos realizando interacción.

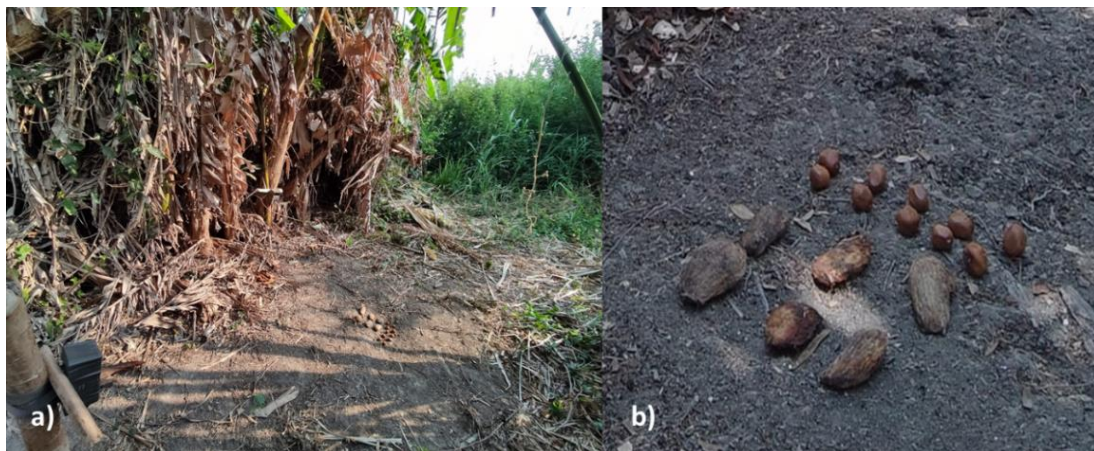


Figura 2. a) Estación con cámaras-trampa instaladas, b) semillas de *Dioon edule* y *Mangifera indica* ordenadas en el suelo al centro de la estación.

Revisión de destino de semillas

La revisión del destino de semillas es un método que permite ampliar los resultados del estudio de la remoción de semillas, mediante la contabilización del número de semillas removidas, la medición de distancias a las que fueron removidas, sitios de deposición y el registro de sus condiciones tras las interacciones con la fauna, factores que resultan importantes en la dispersión de semillas o post – depredación en su caso. Durante las visitas para la revisión del destino de semillas, se realizó la búsqueda de semillas en un radio de 14 m desde la estación (Mendieta *et al.*, 2015) por ser la distancia máxima de remoción de semillas registrada para la tuza real, mamífero considerado un posible dispersor de las semillas.

Con los registros de especie de semilla encontrada (mango o chamal), condición (íntacta, removida y depredada), número de semillas, distancia y orientación de deposición se elaboró una ilustración a escala que mostrara el patrón de remoción de las semillas en las estaciones. En cada búsqueda y revisión se recolectaron en bolsas de papel etiquetadas todas las semillas removidas o depredadas con sus residuos con el fin de evitar dobles conteos entre cada visita.

Se tomó en consideración que a) la distancia de separación entre estaciones permite que sean independientes entre sí (Santos & Pérez, 2013; Mendieta *et al.*, 2015; Figueroa, 2016; Gutiérrez *et al.*, 2016); b) en el sitio de estudio no se dispone de individuos de *M. indica* o de *D. edule* ya sea de forma silvestre o cultivada y las poblaciones más cercanas son al SO a 6.8 km para mango, tratándose de una pequeña área de cultivo abandonada y al SE a 14 km de forma segregada se puede comenzar a encontrar individuos silvestres de chamal; c) antes de cada colocación de las cámaras se realizaron revisiones en el sitio, en las que no se tuvo registro de algún avistamiento de semillas de chamal o mango; y que d) el cambio de uso de suelo del área ha sido fuertemente estudiado por lo menos 53 años concluyendo en un manejo exclusivo agrícola (Reyes *et al.*, 2006; Peralta *et al.*, 2014; Peralta *et al.*, 2016) y en específico en el Rancho el 20 desde hace 45 años con uso único de cultivo de caña. Se debe indicar que no se aplicó metodología de marcaje de semillas por lo que existe la probabilidad de que en la revisión de su destino se hayan considerado semillas ajenas del experimento, por lo que se tuvo consideración con los resultados y la discusión de estos.

Análisis estadísticos

El análisis de remoción de cada especie de semilla se realizó con el método de Kaplan-Meier, que es un método no paramétrico que representa gráficamente el tiempo determinado en el que ocurre un evento o falla por cada tipo de tratamientos (Kaplan & Meier, 1958). Para determinar diferencias significativas entre las curvas de supervivencia de cada análisis se recurrió a la prueba de rango logarítmico (LogRank).

Para el análisis se utilizó una base de datos a partir de la información de los videos y la revisión del destino de semillas, constituido con los datos por estación (1 – 6), día experimental (1 – 15), periodo de actividad (nocturno: 6:00 p.m. – 6:00 a.m., diurno: 6:00 a.m. – 6:00 p.m.), momento experimental (1 – 30), número de semilla (contando desde las primeras semillas colocadas en cada estación hasta las últimas), especie de semilla (mango, chamal), evento de fallo que incluyó cualquier evento de remoción o depredación en conjunto (0: cuando no hay evento, 1: existe evento).

Como primer análisis se realizaron comparaciones con todas las semillas colocadas en todas las estaciones y sus eventos de falla para las semillas de chamal contra las

de mango durante los 15 días, para determinar las remociones entre estaciones y la preferencia de semillas. El segundo análisis se realizó con todas las semillas por especie colocadas en las estaciones durante los días del experimento y sus eventos de fallas en los periodos nocturnos y las fallas en los periodos diurnos, para detectar diferencias de remociones en las estaciones y los periodos de actividad. Finalmente, se realizó un análisis para la comparación de las semillas removidas o depredadas por la fauna (Mammalia y Aves) para determinar diferencias de clases en las estaciones.

Mediante pruebas de chi-cuadrado con tablas de contingencias se probó si existe o no una relación o asociación entre las remociones de semillas con respecto a las características descriptivas de cada estación que fueron tomadas como variables categóricas, como lo es cobertura vegetal, actividad humana, disponibilidad de agua y disponibilidad de otras especies vegetales que pueden servir como alimento para la fauna, así mismo se agregó otra categorización donde se consideraba la abundancia y la riqueza obtenida (Anexo 1). Los estadísticos se ejecutaron en RStudio versión 2022.07.2+576 (R Studio Team, 2022), con los paquetes de “survival”, “survminer”, “rccpp” para los análisis de remoción y la función “chisq.test” para las tablas de contingencia y “residuals” para visualizar el grado de asociación por cada categoría de las variables.

RESULTADOS

Fauna asociada a semillas de *Mangifera indica* y *Dioon edule*

Con un esfuerzo de muestreo de 180 trampas/día obtenido a partir de multiplicar el número de cámaras – trampas totales por los días totales que se mantuvieron activas en el muestreo (Santos & Pérez, 2013) y a partir de 551 eventos individuales se identificaron 26 especies de fauna (Cuadro 1) interactuando con semillas de *M. indica* y *D. edule* (Cuadro 1). Diez especies pertenecen a la clase Aves, 15 a la clase Mammalia y una especie a la clase Reptilia. Para los roedores no se logró llegar hasta especie, debido a que la identificación por fototrampeo suele ser complicada ya que se requiere realizar capturas de individuos para tomar medidas morfológicas incluyendo la observación directa del pelaje para así apoyarse en las guías de identificación, pero por sus características podría tratarse de especies diferentes (rata y ratón). Se identificó presencia de coyote (*Canis latrans*) (excreta), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) (excreta) y comadreja (*Neogale frenata*) (observación directa), aumentando la riqueza del sitio.

El hábito alimenticio general predominante es omnívoro (Figura 3 y Cuadro 1). El hábito alimenticio de las especies con mayor abundancia es el herbívoro y granívoro/frugívoro. No se establecieron periodos de actividad debido a que 16

especies no contaban con los registros necesarios para eso (Anexo 2), así que la actividad sólo se manejó por periodos (nocturno/diurno).

Se contabilizaron 190 individuos totales, 70 individuos de aves, 118 de mamíferos y solamente dos individuos para la clase de reptiles (Figura 4). Las especies más abundantes son el conejo serrano (n= 29), la paloma arroyera (n= 22), la chachalaca (n= 19) y el mapache (n= 18) (Figura 5).

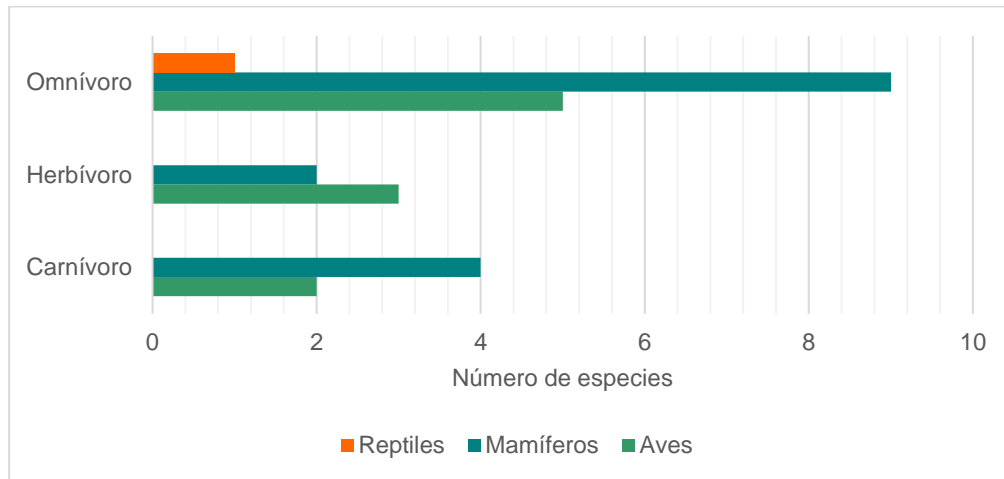


Figura 3. Hábitos alimenticios generales de la de fauna interactuante con las semillas de *M. indica* y *D. edule* en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.

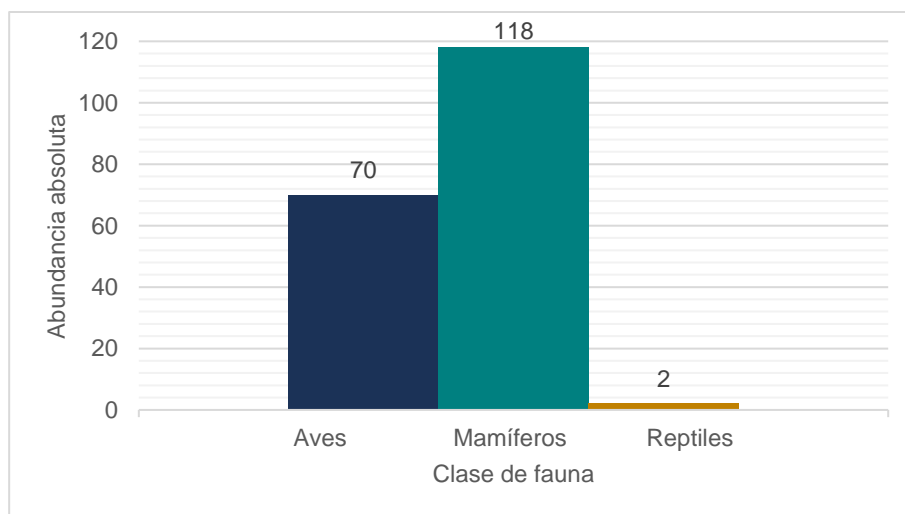


Figura 4. Abundancia absoluta por clase de fauna interactuante con las semillas de *M. indica* y *D. edule* en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.

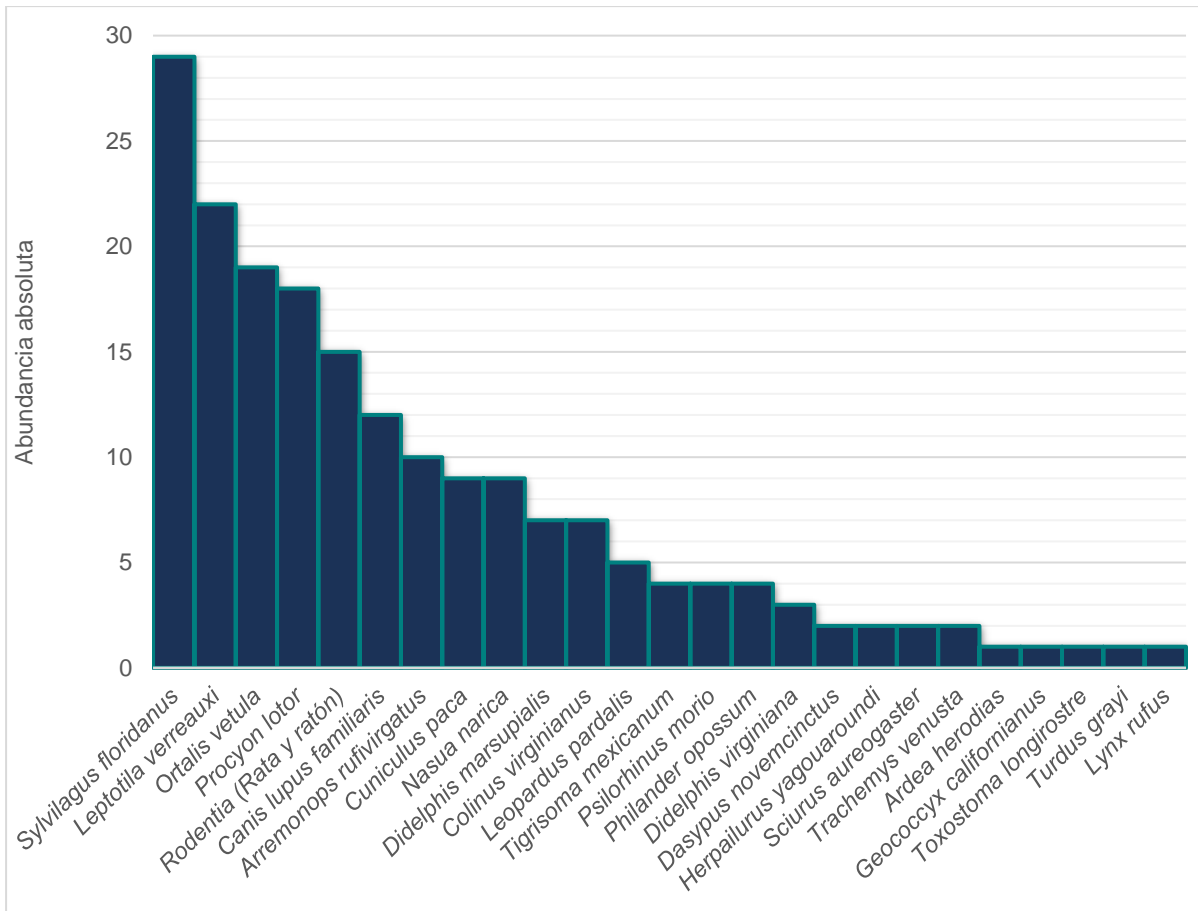


Figura 5. Abundancia absoluta de las especies interactuantes con las semillas de *M. indica* y *D. edule* en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.

Cuadro 1. Especies de fauna interactuantes con las semillas de *M. indica* y *D. edule* en Rancho el 20", Cd. Valles, S.L.P. El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.

Categoría de la IUCN: Preocupación menor (LC), casi amenazado (NT); Categoría de la NOM-059-SEMARNAT-2010: Peligro de extinción (P), amenazada (A) y sujeta a protección especial (Pr); Apéndice de CITES (2019): I (Especies en peligro de extinción con comercio controlado estrictamente), II (Especies amenazadas con comercialización controlada), III (Especies amenazadas que un país ha solicitado el control de comercio); Hábitos alimenticios: Carnívoro (CA), Granívoro (GR), Insectívoro (IN), Omnívoro (OM), Herbívoro generalista (HG), Pertenencia: Nativa (N), Exótica (E); Condición: Silvestre (S), Domesticado (D); Patrones de actividad: Diurno (DI), Nocturno (NO).

Familia	Clase	Especie	Nombre común	UICN	CITES	NOM-059	Hábitos alimenticios	Pertenencia / Condición	Patrones de actividad
Ardeidae	Aves	<i>Ardea herodias</i>	Garza morena	LC			CA	N/S	DI
Ardeidae	Aves	<i>Tigrisoma mexicanum</i>	Garza tigre mexicana	LC		Pr	CA	N/S	DI
Columbidae	Aves	<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma arroyera	LC			GR	N/S	DI/NO
Corvidae	Aves	<i>Psilorhinus morio</i>	Chara papán	LC			IN	N/S	DI
Cracidae	Aves	<i>Ortalis vetula</i>	Chachalaca oriental	LC	III	Pr	GR/FR	N/S	DI/NO
Cuculidae	Aves	<i>Geococcyx californianus</i>	Correcaminos norteño	LC			CA	N/S	DI
Emberizidae	Aves	<i>Arremonops rufivirgatus</i>	Rascador oliváceo	LC			IN	N/S	DI
Mimidae	Aves	<i>Toxostoma longirostre</i>	Cuitlacoche pico largo	LC			OM	N/S	DI
Odontophoridae	Aves	<i>Colinus virginianus</i>	Codorniz cotuí	NT	I		GR/FR	N/S	DI
Turdidae	Aves	<i>Turdus grayi</i>	Mirlo café	LC			IN	N/S	DI
Canidae	Mamíferos	<i>Canis lupus familiaris</i>	Perro doméstico				CA	E/D	DI/NO
Cuniculidae	Mamíferos	<i>Cuniculus paca</i>	Tuza real	LC	III		FR	N/S	NO
Dasyopodidae	Mamíferos	<i>Dasyopus novemcinctus</i>	Armadillo de nueve bandas	LC			OM	N/S	NO
Didelphidae	Mamíferos	<i>Didelphis marsupialis</i>	Tlacuache sureño	LC			OM	N/S	NO
Didelphidae	Mamíferos	<i>Didelphis virginiana</i>	Tlacuache norteño	LC			OM	N/S	NO
Didelphidae	Mamíferos	<i>Philander opossum</i>	Tlacuache cuatro ojos	LC			OM	N/S	NO
Felidae	Mamíferos	<i>Leopardus pardalis</i>	Ocelote	LC	I	P	CA	N/S	NO
Felidae	Mamíferos	<i>Lynx rufus</i>	Gato montés	LC	III		CA	N/S	NO
Felidae	Mamíferos	<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	Yaguarundí	LC	I	A	CA	N/S	DI /NO
Leporidae	Mamíferos	<i>Sylvilagus floridanus</i>	Conejo serrano	LC			HG	N/S	DI/NO
Muridae	Mamíferos	Rodentia (rata)					OM	N/S	NO
Muridae	Mamíferos	Rodentia (ratón)					OM	N/S	NO
Procyonidae	Mamíferos	<i>Nasua narica</i>	Coatí	LC			OM	N/S	DI/NO
Procyonidae	Mamíferos	<i>Procyon lotor</i>	Mapache	LC			OM	N/S	NO
Sciuridae	Mamíferos	<i>Sciurus aureogaster</i>	Ardilla gris	LC			OM	N/S	DI
Emydidae	Reptiles	<i>Trachemys venusta</i>	Tortuga de Guadalupe				OM	N/S	DI

Interacciones semilla – fauna

El 46% De las 26 especies registradas se mostraron neutral ante los cebos, 19% en búsqueda y 35% de remoción o depredación (Cuadro 2). Las estaciones 2 y 5 presentaron un mayor número de interacciones en ese orden, siguiendo la estación 1, por igual las estaciones 3 y 6 y por último la estación 4. Donde de forma total la principal interacción fue la de depredación (35%), de búsqueda (21%) y la de remoción (19%). El chamal (*Dioon edule*) presentó interacción exclusiva de depredación y remoción con el 23.07% de las especies animales, mientras que el mango (*Mangifera indica*) solo registró interacción de depredación y remoción con 11.53% de las especies (Cuadro 2).

Cuadro 2. Interacciones con las semillas de *M. indica* y *D. edule* con la fauna presente en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.

Especie	<i>M. indica</i>	<i>D. edule</i>	Rol
<i>Ardea herodias</i>			Neutral
<i>Tigrisoma mexicanum</i>			Neutral
<i>Leptotila verreauxi</i>		X	Depredación
<i>Psilorhinus morio</i>	X		Remoción
<i>Ortalis vetula</i>	X	X	Búsqueda
<i>Geococcyx californianus</i>			Neutral
<i>Arremonops rufivirgatus</i>		X	Búsqueda
<i>Toxostoma longirostre</i>			Neutral
<i>Colinus virginianus</i>			Neutral
<i>Turdus grayi</i>			Neutral
<i>Canis lupus familiaris</i>			Neutral
<i>Cuniculus paca</i>	X	X	Depredación y remoción
<i>Dasyopus novemcinctus</i>			Neutral
<i>Didelphis marsupialis</i>	X	X	Búsqueda
<i>Didelphis virginiana</i>	X	X	Búsqueda
<i>Philander opossum</i>	X	X	Búsqueda
<i>Leopardus pardalis</i>			Neutral
<i>Lynx rufus</i>			Neutral
<i>Herpailurus yagouaroundi</i>			Neutral
<i>Sylvilagus floridanus</i>		X	Depredación
Rodentia (ratón)		X	Remoción
Rodentia (rata)		X	Remoción
<i>Nasua narica</i>	X		Depredación y remoción
<i>Procyon lotor</i>	X		Depredación y remoción
<i>Sciurus aureogaster</i>		X	Depredación
<i>Trachemys venusta</i>			Neutral

La clase Mammalia presentó mayores interacciones de depredación (41%) y remoción de semillas (23%) con siete especies bajo esos roles, la interacción de búsqueda cubrió el 20% con tres especies y la neutral el 16% con 5 especies. La presencia de la tuza real se extendía en todas las estaciones, fueron los mamíferos con más interacciones (Figura a, b y c). Las ratas (Figura 6d) y ratones (Figura 6e) con el rol de removedores de semillas de chamal fueron los segundos mamíferos con mayor interacción, su presencia era restringida, encontrándose sólo en las estaciones 1, 3 y 6, donde en esta última eran frecuentes las interacciones por día. El coatí (Figura 6f) y mapache (Figura 6g), presentaron roles de removedores y depredadores para las semillas de mango, interacciones poco frecuentes en días y estaciones, al igual que el conejo (Figura 6h) y la ardilla (Figura 6i), pero en su caso con roles de depredación para las semillas de chamal.



Figura 6. Mamíferos interactuantes con las semillas de *M. indica* y *D. edule*. a) *C. paca* removiendo y b) depredando semillas de *M. indica*, c) juvenil de *C. paca* depredando semillas de *D. edule*; d) Rodentia: ratón (*Peromyscus* sp.) y e) rata removedores de semilla de *D. edule*; f) *N. narica* con semilla de *M. indica* en el hocico, g) *P. lotor*

removedor y depredador de semillas de *M. indica*; h) *S. floridanus* e i) *S. aureogaster* depredando semillas de *D. edule*.

En aves, las interacciones neutrales alcanzaron el 72% con seis especies, la segunda interacción fue la de búsqueda (23.5%) con dos especies, las interacciones de depredación (3.5%) y remoción (1%) registraron sólo una especie interactuante en cada una. La chara papán removió semillas de mango en tan solo una estación durante dos ocasiones en los primeros días de muestreo, para el final del experimento la paloma arroyera comenzó a depredar las semillas de chamal en la estación 2.

Remoción de semillas en suelo

Se removió y depredó el 35.2% del total de las semillas de chamal y el 42.8% de las semillas de mango. Además de observarse una preferencia de remoción y depredación en las semillas de mango por su menor probabilidad de supervivencia, con la prueba de rango logarítmico se muestran diferencias significativas ($p < 0.0004$) entre estaciones, donde en la estación 6 las semillas tuvieron el menor porcentaje de probabilidad de supervivencia con el 25% (Figura 7) y para ambas semillas en las estaciones 4 y 3 registraron menos eventos.

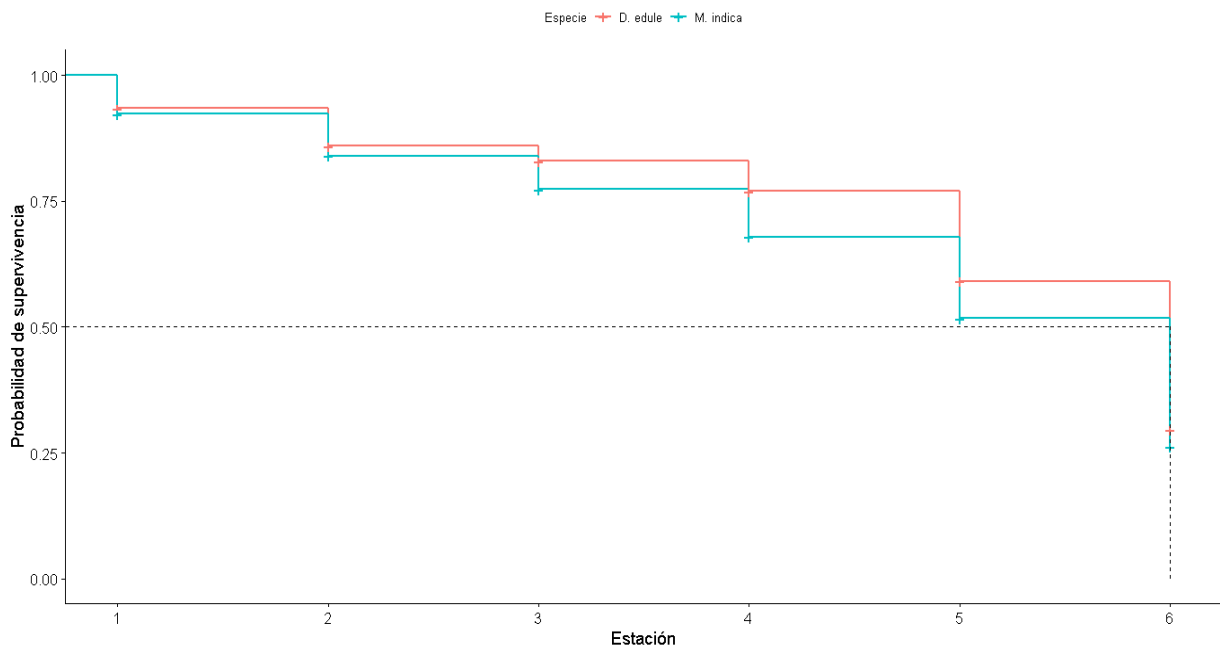


Figura 7. Remoción y depredación de semillas por especie (*M. indica* y *D. edule*) en las seis estaciones de muestreo en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P. N= 2880, $\alpha= 0.05$, $p= 0.00037$.

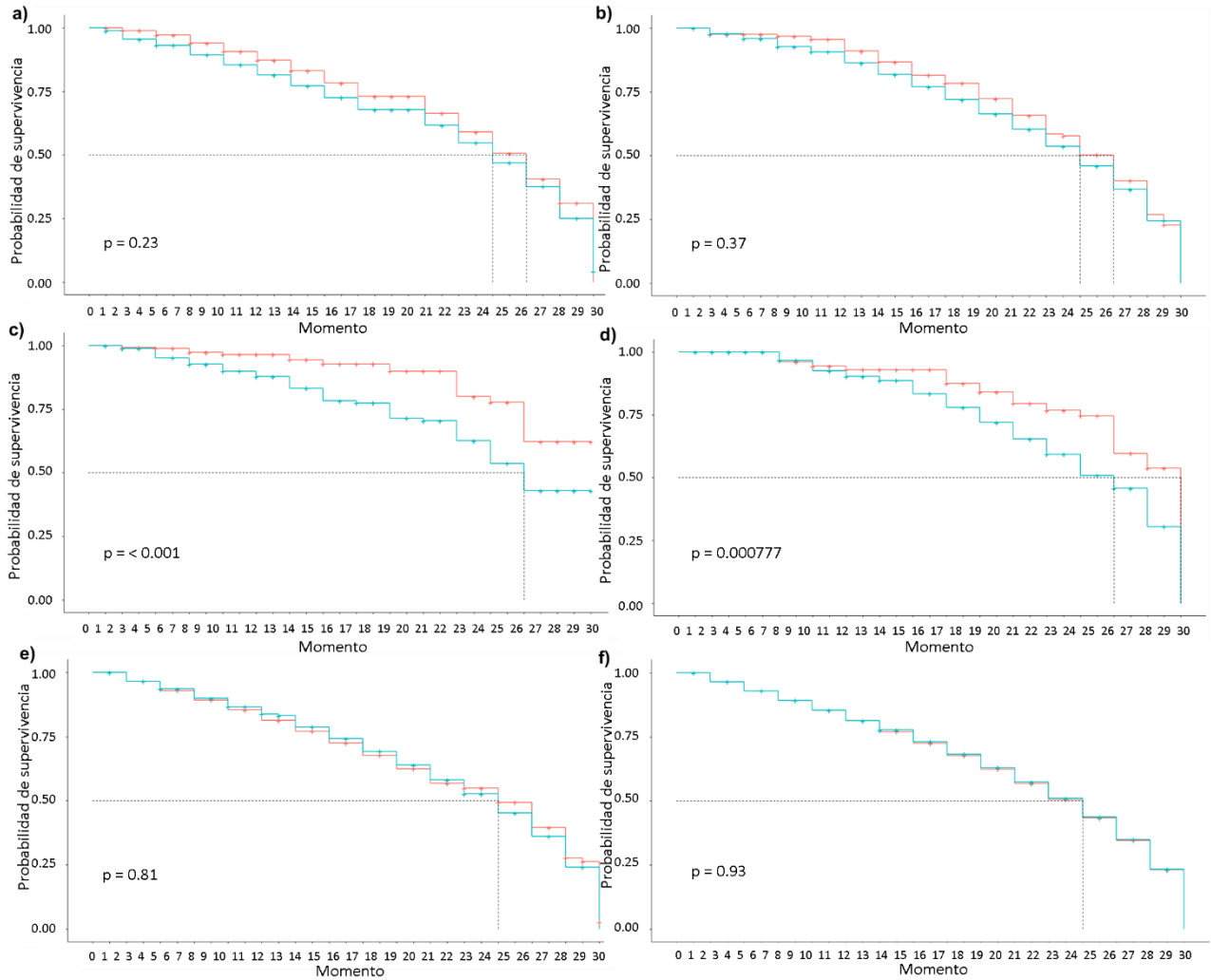


Figura 8. Remoción y depredación de semillas de *D. edule* (rojo) y *M. indica* (azul) en las estaciones de El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P. a) estación 1, b) estación 2, c) estación 3, d) estación 4, e) estación 5, f) estación 6. Por cada análisis: N= 480, $\alpha = 0.05$.

Al realizar un análisis para la probabilidad de supervivencia de semillas en cada estación se obtuvo que el mango fue la especie con menor probabilidad de supervivencia. Aunque sólo se muestran diferencias significativas de dichas preferencias en las estaciones 3 ($p < 0.0001$) (Figura 8c) y 4 ($p < 0.0007$) (Figura 8d) (estaciones con menor remoción o depredación), para la estación 3 es mayormente notable que fue la estación con menos actividad, puesto que aún para mango, como la semilla más preferida mantuvo su probabilidad de supervivencia al 50% para los últimos momentos experimentales.

Se puede observar que la estación 6 (Figura 8f) mantiene una curva muy uniforme entre las preferencias de ambas especies de semillas durante todos los momentos del muestre, la remoción constante se debe a que sólo en uno de los periodos la tuza real depredó chamal y mango cuando tuvo disponible ambas especies de semillas, mientras que por el resto de los periodos sólo removía y depredaba las semillas de mango puesto que las semillas de chamal ya habían sido removidas antes por los roedores pequeños. Mientras que para la estación 5 la curva muestra un ligero cambio en las preferencias de remoción de las semillas (menor preferencia por chamal), pero sin llegar a ser estadísticamente significativo ($p > 0.8$) (estaciones con mayor remoción) (Figura 12e). Entre tanto, las curvas de las estaciones uno (Figura 8a) y dos (Figura 8b) resultaron más parecidas entre sí (estaciones con remoción media), con mayor remoción de mango en estación 2, pero sin ser significativo.

Se contabilizaron y graficaron las semillas de chamal con eventos de remoción y depredación, separando las depredadas total y parcialmente. Resultando que de las 634 semillas el 38% fueron depredadas parcialmente (consumo de sólo sarcotesta) (Figura 9). Con una prueba de rango logarítmico se mostraron diferencias significativas entre las estaciones ($p < 0.0001$) donde la mayor depredación parcial de las semillas ocurría en las estaciones 2 y 1, mientras que en la estación 6 absolutamente todas las semillas tuvieron una depredación total, por último, la estación 5 fue la segunda con mayor depredación total.

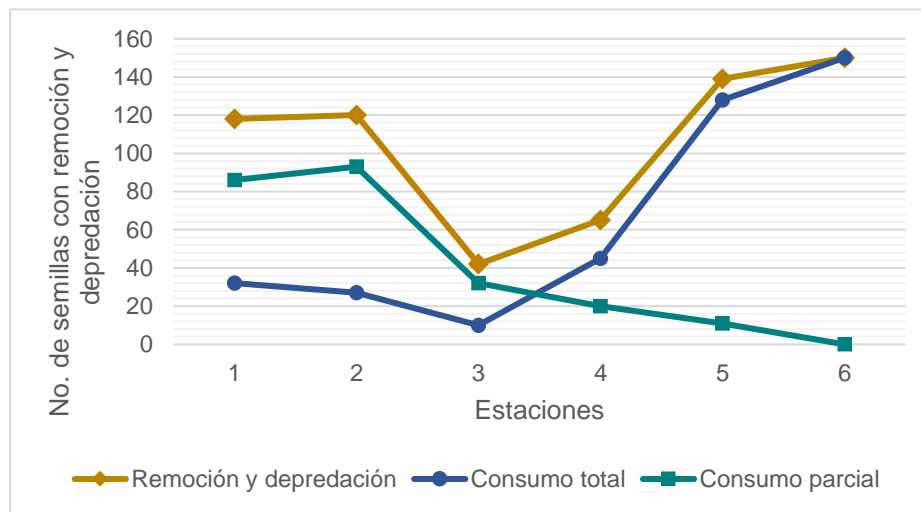


Figura 9. Semillas de *D. edule* removidas y consumidas total y parcialmente mediante los registros del fototrampeo en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.

De las especies que realizaron interacción de remoción o depredación con las semillas de chamal, el 27.8% fueron removidas y depredadas por la tuza real, del cual el 12.72%

consumió de forma parcial, entre los registros de Rodentia (ratón y rata) se removió el 6.7% (Figura 10).

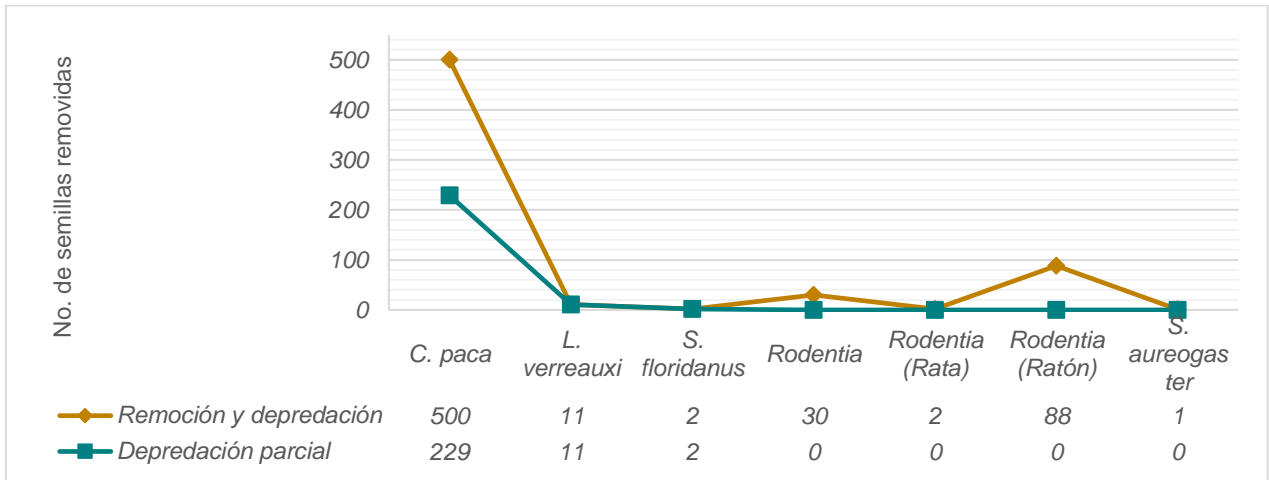


Figura 10. Remoción y depredación parcial de semillas de *D. edule* por las especies de fauna interactuantes en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.

Remoción de semillas por periodo de actividad

La prueba de rango logarítmico para el análisis de remoción y depredación de las dos especies de semillas por periodos de actividad mostró diferencias significativas entre períodos ($p < 0.0001$) con una mayor remoción y depredación en el periodo nocturno en las estaciones y una remoción y depredación de ambas especies de semillas en la actividad diurna con una curva constante de la probabilidad de supervivencia por encima del 85% (Figura 11).

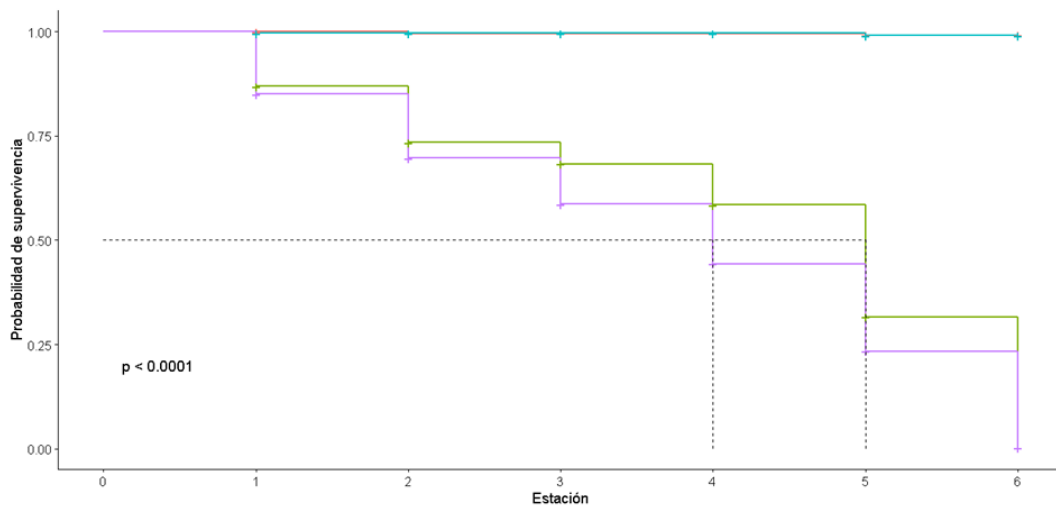


Figura 11. Remoción y depredación de semillas por ambos periodos de actividad en las seis estaciones de muestreo en el Rancho el 20, Ciudad Valles. $N = 2880$, $\alpha = 0.05$.

D. edule – Día (rojo), *M. indica* – Día (azul), *D. edule* – Noche (verde), *M. indica* – Noche (morado).

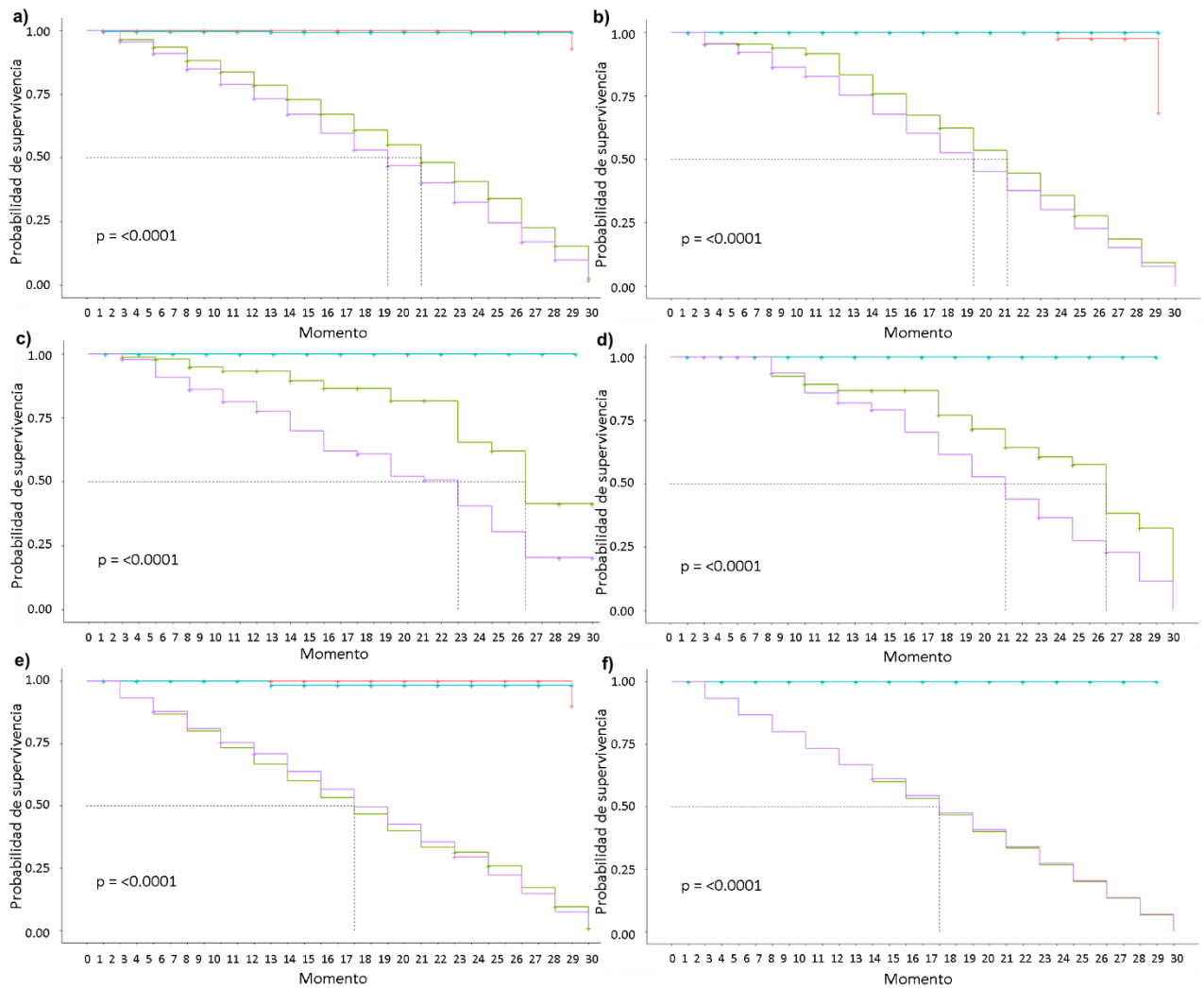


Figura 12. Remoción y depredación de semillas de *D. edule* y *M. indica* por periodo de actividad en las estaciones de El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P. a) estación 1, b) estación 2, c) estación 3, d) estación 4, e) estación 5, f) estación 6. Por cada análisis: N= 480, $\alpha = 0.05$. *D. edule* – Día (rojo), *M. indica* – Día (azul), *D. edule* – Noche (verde), *M. indica* – Noche (morado).

En el análisis para la probabilidad de supervivencia de semillas por cada estación se observan diferencias significativas entre estas ($p < 0.0001$). Para el chamal en el periodo diurno las únicas estaciones con remoción o depredación fueron la estación número 2 (Figura 12b), siguiendo la estación 5 (Figura 12e). Para las semillas de mango en el mismo periodo de actividad la estación 1 mostró mayor número de eventos (Figura 12a), mientras que al igual que el chamal la estación 5 fue la segunda con más remoción y depredación (Figura 12e), por el resto de las estaciones para

ambas semillas no se registraron eventos de remoción o depredación en el periodo diurno.

Remoción de semillas por clase de fauna

En ambas especies de semillas la mayor remoción o depredación fue por la clase Mammalia. Específicamente, los mamíferos removieron o depredaron 99.57% de las semillas de mango y las aves tan sólo cubrieron el 0.43%, con las semillas de chamal los mamíferos abarcaron el 98.26% y las aves 1.74%. Las curvas de remoción y depredación de semillas por clase de fauna mostraron diferencias significativas entre estaciones ($p < 0.0001$). Los mamíferos removieron y depredaron ambas especies de semillas en todas las estaciones, en el siguiente orden 6, 5, 1, 2, 4, 3. Las remociones o depredaciones realizadas por la clase de aves ocurrieron sólo en la estación 1 para las semillas de mango y en la estación 2 con las semillas de chamal (Figura 13, Cuadro 3).

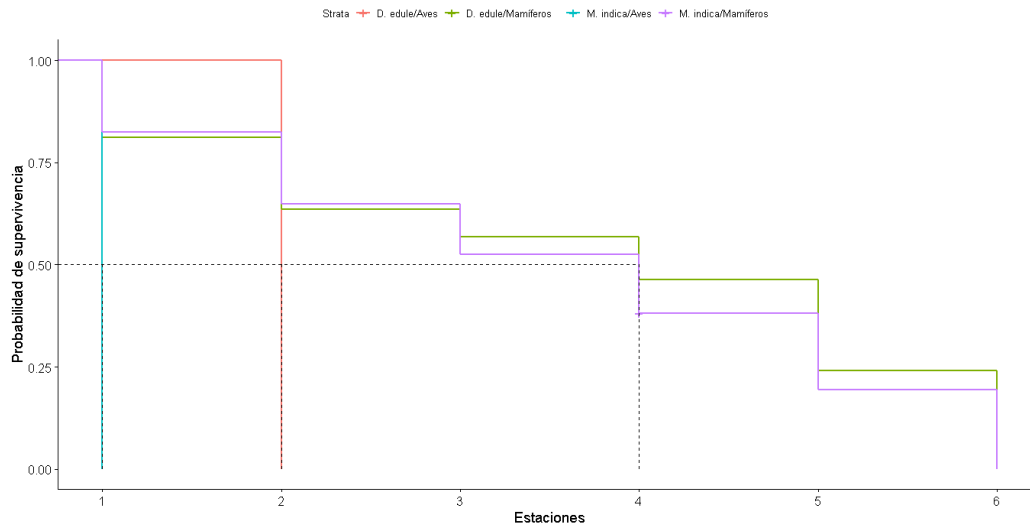


Figura 13. Remoción y depredación de semillas de *D. edule* y *M. indica* por clase de fauna interactuante en las estaciones de muestreo en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P. N= 1096, $\alpha= 0.05$.

Las curvas de remoción y depredación consideran ambos periodos de actividad (diurno y nocturno).

Complementando los resultados de remoción por clase de fauna y especies respecto a cada periodo de actividad, se tiene que el periodo nocturno tuvo mayor número de especies con interacción de remoción, el 99.2% (629) de los eventos de remoción de semillas de chamal fueron realizados por sólo una especie de ave mediana, además de mamíferos pequeños y medianos. El 99.3% (459) de la remoción de semillas de

mango en el mismo periodo se llevó a cabo por mamíferos medianos. En el periodo diurno las semillas de mango fueron removidas únicamente por un ave mediana y un mamífero mediano. De forma semejante las remociones de chamal en el periodo diurno se realizaron por un ave mediana y un mamífero pequeño (Cuadro 3).

Cuadro 3. Interacciones de remoción de las semillas de *M. indica* y *D. edule* por especie de fauna en cada periodo de actividad y estación en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.

Periodo de actividad	Especie de semilla	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Diurno	<i>M. indica</i>	<i>P. morio</i> (remoción) n = 2				<i>N. narica</i> (remoción) n = 1	
	<i>D. edule</i>		<i>L. verreauxi</i> (depredación) n = 4			<i>S. aureogaster</i> (depredación) n = 1	
	<i>M. indica</i>	<i>C. paca</i> (remoción / depredación) n = 80	<i>C. paca</i> (remoción / depredación) n = 80	<i>C. paca</i> (remoción / depredación) n = 57	<i>C. paca</i> (remoción / depredación) n = 66	<i>C. paca</i> (remoción / depredación) n = 84	<i>C. paca</i> (remoción / depredación) n = 89
Nocturno		<i>P. lotor</i> (depredación) n = 1	<i>P. lotor</i> (remoción) n = 1			<i>N. narica</i> (depredación) n = 1	
		<i>C. paca</i> (remoción / depredación) n = 118	<i>C. paca</i> (remoción / depredación) n = 107	<i>C. paca</i> (remoción / depredación) n = 42	<i>C. paca</i> (remoción / depredación) n = 65	<i>C. paca</i> (remoción / depredación) n = 138	<i>C. paca</i> (remoción / depredación) n = 10
	<i>D. edule</i>		<i>L. verreauxi</i> (depredación) n = 7				Rodentia (remoción) n = 120
			<i>S. floridanus</i> (depredación) n = 2				

Todas las pruebas de chi-cuadrada resultaron con un valor de $p < 0.05$, indicando que sí existe una asociación estadísticamente significativa entre la remoción de semillas en las estaciones con respecto a la cobertura vegetal, actividad humana, disponibilidad de agua, disponibilidad de otras especies vegetales que pueden servir de alimento y la diversidad (riqueza y abundancia) que resultó o caracterizó a cada una de las estaciones. La Figura 14 permite observar que los residuos positivos (azules) representan una fuerte relación entre las variables de remoción de semillas por estación y su respectiva categoría de alguna de las cinco características analizadas, así como una relación contraria con los residuos negativos (rojos). Es necesario hacer una interpretación en conjunto con las remociones por estación y todas las características que conforman dicha estación. Partiendo de la estación con mayor remoción (E6) se puede leer que el nivel de remoción está asociado fuertemente por una cobertura cerrada, baja actividad humana, nula disponibilidad de agua, baja

disponibilidad de otras especies como alimento y una riqueza y abundancia moderada. Las estaciones centrales compartieron niveles de remoción semejantes, siendo los más bajos y asociándose fuertemente a una cobertura vegetal abierta, disponibilidad moderada-alta de otras especies como alimento y una diversidad baja. Cada asociación se desarrolla más afondo en la discusión de este texto.

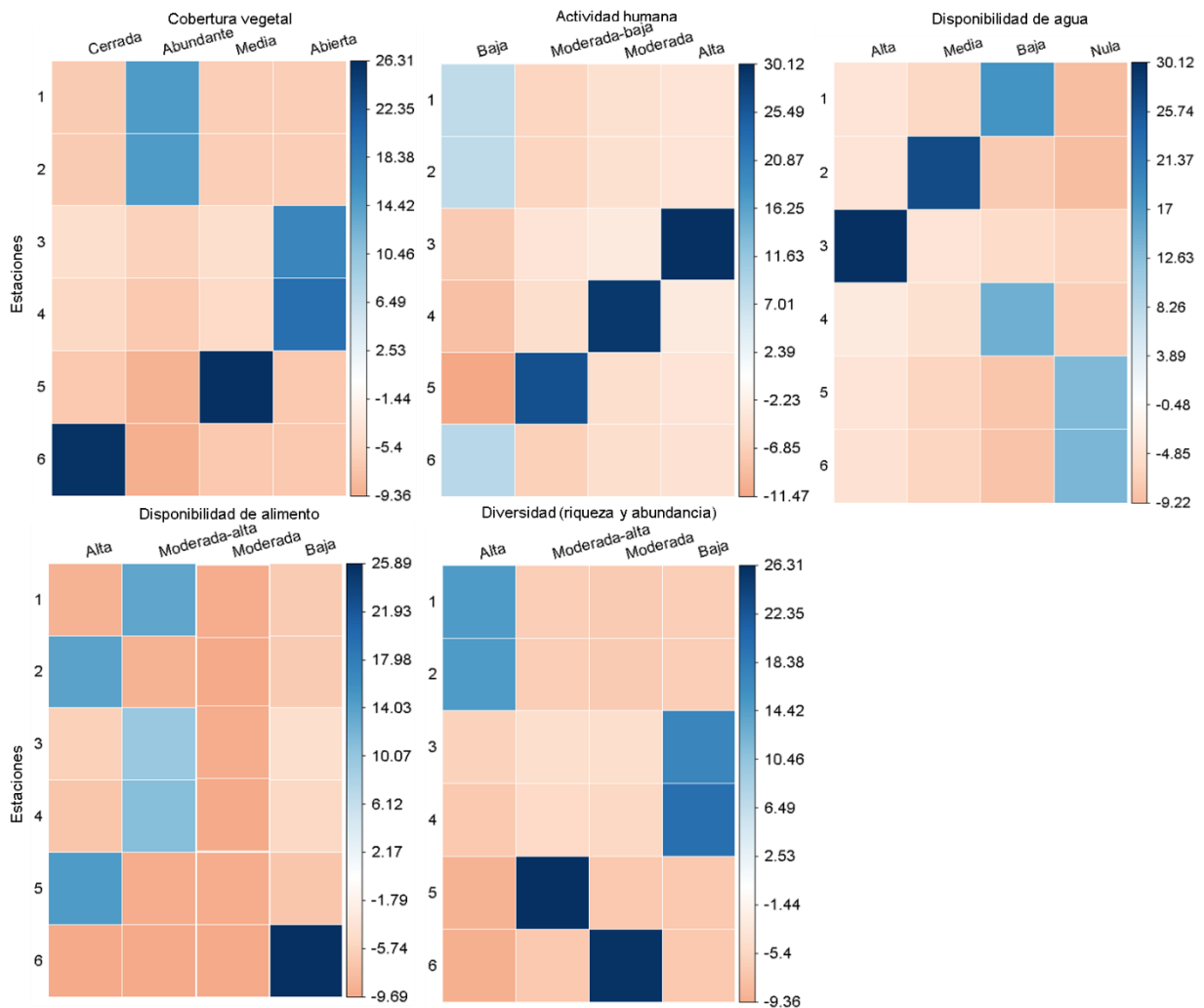


Figura 14. Gráfico de los residuales estandarizados de la prueba chi-cuadrada con respecto a la remoción y las características de las estaciones de muestreo.

Destino de semillas removidas

La difícil visibilidad por la hojarasca, la presencia de lodo en el arroyo y la complejidad de los comederos por la abundante vegetación volvió dificultosa la recuperación de las semillas, por lo que las no recuperadas podrían haber quedado ocultas en las estaciones, aun así, el porcentaje de recuperación es bastante alto. En las revisiones de las 6:00 p.m. (actividad de 6:00 am – 6:00 pm) se tuvo una recuperación total de

las semillas de chamal y 99% de las semillas de mango, las dos semillas no localizadas corresponden a la remoción por *N. narica*. La recuperación de semillas de chamal pertenecientes al periodo de actividad nocturna (6:00 p.m. – 6:00 a.m.) alcanzó un 91% (64 semillas faltantes), la estación 4 fue la única con una recuperación total. Durante las primeras revisiones se pudieron encontrar las semillas enterradas en el suelo y cubiertas por hojarasca. La recuperación de las semillas de mango de la actividad nocturna fue del 92.5%, las estaciones con menor recuperación fueron la 3 (59%), 1 (81%) y 2 (88%). En la estación 3 y 4 ocurrió lo mismo que en la estación 6 con las semillas de chamal, es decir que semillas no localizadas de una revisión eran encontradas en las siguientes revisiones, estas eran observadas con depredación total en comederos de tuza real.

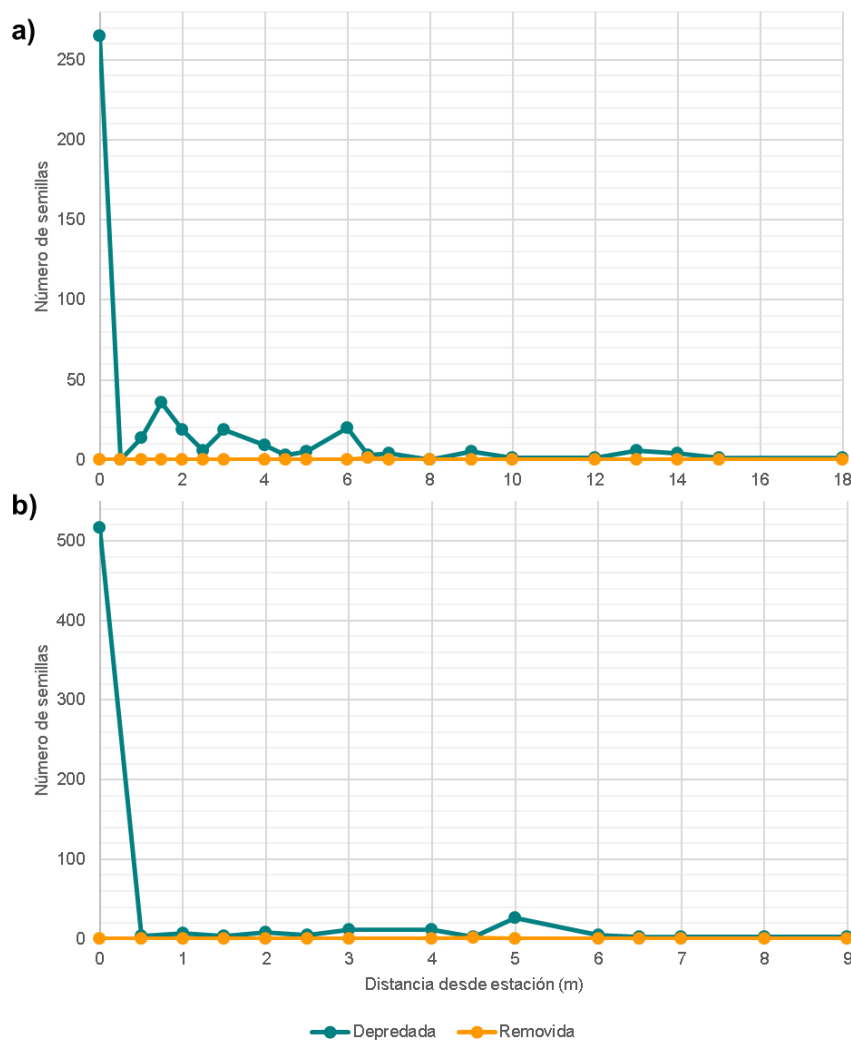


Figura 15. Distancia destino de las semillas a) *M. indica* y b) *D. edule* desde el centro de las estaciones.

La distancia promedio de deposición de mango fue de 7.4 m, la mínima de 0.5 m y la máxima de 18 m, que sobrepasó el radio de búsqueda (14 m) pero que pudo ser encontrada (Figura 15a). Aproximadamente el 76% de las semillas de mango fueron encontradas dentro de la estación, el resto de las semillas se concentraban principalmente hasta los 6 – 9 m (Figura 15a) a excepción de la estación 6, puesto que el 87% de las semillas depredadas se encontraron en el centro de la estación. En contraste a esto, en la estación 5 las semillas depredadas dentro de la misma eran menores (15.5%), ya que eran encontradas en un laberinto muy cerrado de diversos comederos de tuza real a unos 6 m (Figura 16a). Para las semillas de chamal la distancia promedio de deposición fue de 4.3 m, la mínima de 0.5 m y la máxima de 9 m (Figura 15b). Alrededor del 90% de las semillas se encontraron en el centro de la estación, de la estación 1 a la 5 se mantuvieron porcentajes similares de semillas depredadas dentro de la misma estación (97 – 100%), en la estación 5 las semillas encontradas *ex situ* compartían los mismos comederos donde se localizaron las semillas de mango a 5 m desde el centro. En cuanto a la estación 6 el 44% de las semillas enterradas en los caminos de roedores pequeños se encontraron concentradas principalmente a los 3 – 6 m (Figura 15).

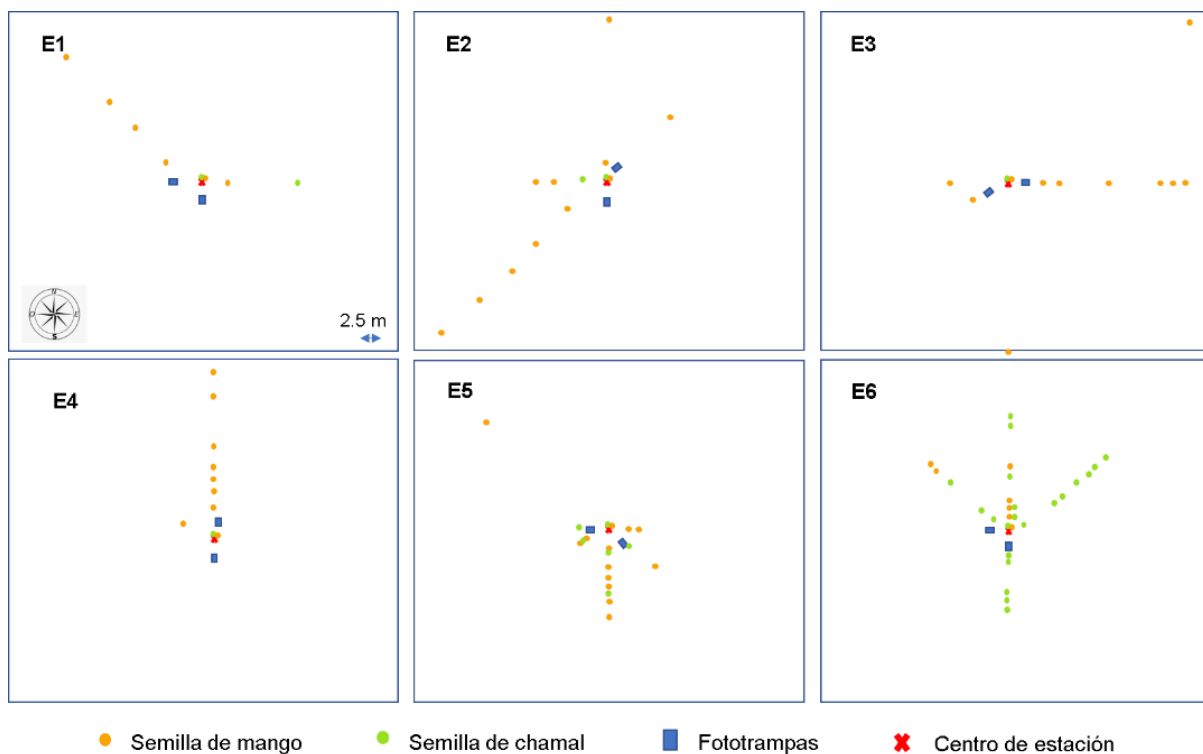


Figura 16. Patrones de deposición de semillas de *M. indica* y *D. edule* en El Rancho el 20, Cd. Valles, S.L.P.

Únicamente una semilla de mango se encontró intacta sobre una pendiente considerable a 6.5 m desde el centro de la estación 1, por el periodo de revisión y el registro de los videos se trata de una remoción realizada por el ave *P. morio*. En la misma estación, de las semillas de chamal se encontró una semilla en un comedero de *C. paca* sobre una pendiente a 7 m en línea recta desde la estación (Figura 15), la semilla presentaba ligeros daños a la sarcotesta casi imperceptibles (caso único para este roedor), al revisar los registros de fototrampeo se deduce que fue provocada por la molestia causada por un alacrán. En la estación 6 a una distancia de 4.5 m se localizó la única semilla de chamal removida sin depredación de sarcotesta, remoción realizada por algún roedor pequeño, los mismos agentes removedores que enterraban las semillas en el suelo mantenían las semillas sin sarcotesta (depredación parcial), la marca de los incisivos no representaba un daño grave a la testa, como en ocasiones lo llegaba a hacer *C. paca* en otras estaciones (Figura 16f). Por el resto de las semillas de ambas especies depredadas fueron encontradas en condición de depredación total ya sea al centro de la estación, en caminos de fauna o comederos (Figura 16a, b y c).



Figura 17. a) Comedero de *C. paca* con semillas de *M. indica* depredadas al fondo; b) Semillas de *M. indica* depredadas al centro de la estación; c) Semillas de *D. edule* depredadas al centro de la estación. d= endocarpio con marcas de incisivos de *C. paca*, e= abertura de endocarpio para extracción de la semilla; f= semilla sin sarcotesta (depredación parcial) con marcas de incisivos de *C. paca* en la testa, g= sarcotesta depredada, h= testa depredada, i= gametofito y embrión depredado.

DISCUSIÓN

El experimento en el sitio antrópico de la Huasteca Potosina llamado Rancho el 20 se realizó durante una sola estación funcional correspondiente a la estación de secas,

con seis estaciones caracterizadas con categorías o variables ordinales y sin otro sitio de estudio con diferente estado de conservación o presión antrópica. Desde el estudio con estos elementos mencionados se encontraron diferencias por la interacción de depredación por fauna silvestre (mamíferos) de actividad nocturna con preferencia en las semillas de la especie cultivada *M. indica* sobre las semillas de la especie silvestre *D. edule*.

Fauna asociada a semillas de *Mangifera indica* y *Dioon edule*

Por la modificación de hábitats la fauna silvestre desarrolla más adaptabilidad a sitios antropizados, se ha probado que, por la heterogeneidad ambiental, hábitats con alteración moderada pueden compartir diversidad (componentes de riqueza y abundancia) semejante a sitios conservados (Blasio & Pineda, 2020; Sánchez *et al.*, 2001). En este estudio, sin considerar a los roedores pequeños, 22 especies han sido registradas en áreas conservadas como la RBSAT (De Nova *et al.*, 2019; del Río, 2016; Rivera *et al.*, 2021) y de las especies restantes, el gato montés y el tlacuache cuatro ojos contaban con pocos registros previos en la región (Dalquest, 1950; Silva & Rosas, 2021). La riqueza de mamíferos se iguala a una obtenida por fototrampeo en una temporada en la RSBAT (15 sp.), sin embargo, la composición difiere en especies más grandes como el jaguar (*Panthera onca*), puma (*Puma concolor*), pecarí (*Pecari tajacu*) y venado (*Odocoileus virginianus*) (del Río, 2016).

La composición de las especies de fauna es un indicador sobre el grado de alteración humana, potencialmente se habla que la defaunación en mamíferos grandes conlleva impactos negativos en la vegetación. Esto al ser integrantes de los niveles más altos en las redes tróficas o bien importantes removedores de semillas que al ir desapareciendo desencadenan cambios en las poblaciones de las otras especies y por ende a las poblaciones vegetales (Dirzo *et al.*, 2007, 2015; Escobar *et al.*, 2020). Por ejemplo, el pecarí y el venado que realizan interacciones de depredación con las semillas de *Ceratozamia matudae* y *D. edule* no se encuentran en este estudio (Balderas, 2021; Pérez & Vovides, 2004).

Aunque las cercanías al área de estudio tienen potencial para la presencia de especies paraguas como el jaguar, el uso de remanentes de vegetación en sitios antropizados se vuelve de paso debido a su mayor afinidad por sitios conservados (Villordo, 2009). En su ausencia, convergen especies con más adaptabilidad a ecotonos de sitios antropizados (Silva & Rosas, 2021), como los son el resto de felinos, tlacuaches, conejos, ardillas o palomas registrados en este estudio. A su vez, los sitios con alteración también son susceptibles a la entrada de fauna invasora, como es el caso de los perros domésticos y asilvestrados que fueron registrados. Y que al introducirse en la red trófica representan una amenaza por desplazar a sus competidores, además

de depredar y transmitir enfermedades a especies silvestres (Álvarez & Medellín, 2005), nuevamente, este hecho se traduce a cambios en abundancias a las otras especies y con ello, posibles cambios en las remociones de semillas.

En este caso, la presencia, periodo de actividad y abundancia de los perros es únicamente afín con las primeras cuatro estaciones, que simultáneamente representan las estaciones con mayor riqueza y abundancia de las aves. Por lo que con el argumento anterior de que las especies exóticas pueden poner en ciertos riesgos a las especies silvestres, se puede sugerir que las especies de la clase Aves podrían llegar a convertirse en presas potenciales para los perros, punto importante en la interacción con semillas, al ser aquellas que realizan remoción y depredación de mango (chara papán) y chamal (paloma arroyera). Se puede sugerir lo mismo con el coatí, mamífero con interacciones de depredador de semillas de mango, que con base al registro tomado durante alguna revisión diurna se observaron a varios individuos de *N. narica* ser perseguidos por una jauría de perros asilvestrados.

Dentro de las especies que se estudia el impacto que tienen en la supervivencia de sus depredadores, competidores y composición vegetal es la *C. paca* (Gutiérrez *et al.*, 2016) y que en este estudio se distingue por tener mayores eventos de interacción. De hecho, se ha visto que, en presencia de tuza real, la riqueza y abundancia de depredadores naturales puede ser alta, inclusive se llega a considerar que la diversidad de estos depredadores en sitios con tuza real es un indicador de la preferencia de esta especie como presa (Figuroa, 2016; Jax *et al.*, 2015). Ese comportamiento de alimentación puede ser semejante en el sitio al tener registro de varios eventos de intentos de caza de tuza real por ocelote y gato montés. Soriano (2016) muestra que aun cuando el gato montés es especialista en lagomorfos y roedores pequeños, su dieta en sitios antropizados incluirá especies más grandes gracias a su plasticidad como depredador oportunista, la disponibilidad, variedad y biomasa de presas que el sitio alterado puede ofrecer.

La presencia de la tuza real en el sitio concuerda con otros estudios al mencionar que es una especie que puede adaptarse al uso de sitios antrópicos, con cultivos, asentamientos humanos y frecuencia de actividades humanas (Figuroa, 2016; Jax *et al.*, 2015). Esa adaptabilidad se demuestra cuando los individuos realizan actividades de desplazamiento, alimentación y reproducción (Guzmán, 2008; Martínez, 2017), como justo fueron observadas mediante el fototrampeo, con comportamiento relegado aún con la revisión diaria en las estaciones o la recurrente quema y corta de caña, en adición, los cazadores no son recurrentes en toda el área.

Para entender la discusión de los resultados de abundancias, interacciones, remociones, selección y destino es de vital importancia tener en cuenta el conjunto de

características que conforman las estaciones que se describieron en la metodología y Anexo 1. Pese a que en toda el área está bajo la misma presión antrópica, cada estación presenta un conjunto de características que hacen que la fauna esté un poco más expuesta a todo tipo de depredadores en unas a diferencia de otras o con mayor recurso de agua o de otras especies vegetales que puedan servir de alimento. En el caso de estaciones con mayor abundancia de todas las clases de fauna recaen en aquellas estaciones con baja actividad humana y cobertura vegetal cerrada (E1 y E2) a diferencia de las estaciones que tuvieron un mayor factor de riesgo (E3 y E4) con alta actividad humana y cobertura vegetal abierta. La riqueza difiere por clases de fauna, donde las aves, concentran más en las primeras cuatro estaciones, esto se puede deber a que algunas son de hábitos acuáticos y en las últimas estaciones la disponibilidad de agua es nula, o bien, que algunas otras especies acostumbran sitios menos perturbados. Mientras que especies como la paloma y la chachalaca si de distribuyen en todas las estaciones, puesto a que son especies con adaptabilidad a sitios perturbados (Rivera *et al.*, 2021).

La riqueza por mamíferos mantiene la misma tendencia que la densidad, las estaciones con menor riqueza se conforman principalmente por perro, conejo, mapache y coatí, es decir, especies más adaptables a sitios de alta actividad humana (Aranda, 2012). Se esperaba que la riqueza y abundancia de los roedores pequeños fuera mayor al ser tolerantes a la transformación de hábitats, inclusive para algunas especies su riqueza y abundancia llega a aumentar en sitios así (Cimé *et al.*, 2010). Su ausencia o poca actividad se puede explicar a que las abundancias estén subestimadas, ya que para moverse dependen de rocas (tigmotaxis) y cobertura vegetal (Cimé *et al.*, 2010), por lo que sólo la estación con cobertura vegetal cerrada presentaba menor riesgo de depredadores.

Interacciones semilla – fauna

El hecho de que el porcentaje de especies con roles neutrales sea más alto (46%) que las especies con rol de removedores y depredadores (35%) se relaciona directamente con los hábitos alimenticios. En las aves, la forma y tamaño de sus picos son un indicador para conocer qué alimentos pueden consumir. En el sitio, las aves carnívoras (garzas) se alimentan principalmente de peces, de las omnívoras dos aves consumen principalmente insectos (correcaminos y cuicacoche pico largo), por otro lado, las especies omnívoras y herbívoras que dentro de su dieta pueden llegar a remover frutos y semillas se reducen a seis. Donde la codorniz cotuí y el mirlo café se mantuvieron como neutrales debido a que aun siendo granívoros se reporta que consumen semillas pequeñas de leguminosas y gramíneas para el caso de *C. virginianus* y de cultivos como la papaya para *T. grayi*, que en dado caso estuviera consumiendo pulpa y no solo semillas (Acosta & García, 2005; Valencia *et al.*, 2019). Dentro de los mamíferos

neutrales se debe a sus hábitos carnívoros (felinos y perro) como se extendió en el apartado anterior, además del armadillo por su alimentación insectívora (Aranda, 2012).

Cabe señalar que pese a los registros u observaciones de los roedores pequeños interactuando con las semillas de chamal y cícdas del mismo u otros géneros según diversos estudios (Balderas, 2021; Jones, 1993; Hall & Walter, 2013; Gómez *et al.*, 2022; Lázaro *et al.*, 2011; Pérez y Vovides, 2004; Snow & Walter, 2007; Yáñez *et al.*, 2021) y autores que indican dispersión a larga distancia por aves y dispersión a corta distancia por roedores (Balderas, 2021) desde 1999 no se han realizado experimentos de destino de semilla a largo plazo que evalúen la sobrevivencia de las semillas hasta plántulas (Pavón, 1999) para considerarse y estudiarse la dispersión. En este estudio las interacciones de roedores con semillas de *D. edule* coinciden con las de otros estudios: roedores pequeños removiendo, ardilla gris y tuza real depredando (Balderas, 2021; González, 1990; Yáñez *et al.*, 2021).

Tres interacciones que las últimas investigaciones no podían definir quedaron más despejadas en este estudio, 1) la paloma arroyera sí depreda la sarcotesta de las semillas (Balderas, 2021), 2) la tuza real puede remover las semillas sin causar daños a la testa o embrión sólo en pocas ocasiones, 3) contrario a la ardilla gris que vuelve únicamente a depredar en la estación (Yáñez *et al.*, 2021). Se reportan nuevas interacciones con el conejo serrano depredando sarcotesta, el tlacuache cuatro ojos con búsqueda (olfateo) y a la chachalaca que sólo se le observó realizar interacción de búsqueda, pero se ha visto que depreda sarcotesta en semillas de *Dioon morelae* (Lázaro *et al.*, 2011), igual que la paloma con las semillas de chamal, haría falta más estudios para determinar si la chachalaca pudiera realizar una interacción similar con el chamal. Situación semejante con las semillas de mango, ya que sólo mostró interacción de búsqueda, pero por su hábito alimenticio frugívoro arbóreo de semillas blandas (Arriaga, 2008) podría llegar a ser una especie apetecible en algún momento por su pulpa.

El tlacuache norteño es otra especie que es necesario realizar más estudios para poder determinar si el consumo de chamal sólo es de manera esporádica, puesto que en este sólo realizó interacción de búsqueda (olfateo), mientras que en Balderas (2021) si se registra depredación, pero un porcentaje bajo, esto pudiera darse a que dentro de su dieta omnívora mantienen una preferencia por el consumo de insectos, huevos o aves de corral (Iñiguez *et al.*, 2021). Bajo la misma sugerencia de ampliar investigaciones que profundicen la frecuencia del consumo de chamal por algunas especies animales, se tiene que el rascador oliváceo y el coatí en este estudio repiten la interacción de búsqueda como con el tlacuache norteño, pero en Balderas (2021) muestran depredación y dispersión en bajos porcentajes. En este estudio el coatí

mostró una interacción de búsqueda semejante a la de otro estudio con semillas de *Ceratozamia norstogii* (Gómez *et al.*, 2022).

La interacción del coatí con las semillas de mango también fue semejante a la literatura conocida, donde indican que esta especie suele remover o depredar directo en los cultivos (Monroy & García, 2013). La información sobre las interacciones con semillas de mango es muy limitada, los mismos autores indican que conejos del género (*Sylvilagus*) son depredadores de mango, mismo género que se registró aquí consumiendo sarcotesta de chamal. La tuza real, especie recurrente en las estaciones y días de muestreo, que además de ser la única especie que interactuó como depredador y removedor de ambas especies de semillas, tenía mayores frecuencias de interacciones en comparación de las demás especies totales de fauna. Dado que, como frugívora oportunista, mantiene una enorme variedad de alimentos en su dieta, incluyendo el mango en vida silvestre y en cautiverio (Beck-King *et al.*, 1999; Laska *et al.*, 2003).

El número de interacciones en la clase Aves fue muy diferente a la de los mamíferos, ya que por estación predominaban las interacciones de búsqueda o neutral, por el contrario, los mamíferos si realizaron los cuatro tipos de interacciones en todas las estaciones, recordando que son la clase con mayor riqueza y abundancia. Es interesante ver cómo en las estaciones con actividad humana alta a moderada y cobertura vegetal abierta (E3 y E4) presentaron mínimas interacciones de búsqueda en comparación del resto, en especial de las que tuvieron los mayores registros de esta interacción y de la interacción neutral (E1 y E2), las cuales presentaban las condiciones de cobertura vegetal abundante, actividad humana baja y al mismo tiempo presentaban alta disponibilidad de otras especies vegetales que podrían servir como alimento para la fauna.

Remoción de semillas en suelo

La preferencia de semillas y la remoción se da en respuesta por diversos factores, partiendo de la rentabilidad de forrajeo que tiene un espacio con la disponibilidad de alimentos, no solo en cantidad si no también en diversidad, las características físicas y químicas del alimento, la susceptibilidad a depredadores, factores de comportamiento animal (alimenticio) (Lessa & Costa, 2009; Rojas *et al.*, 2011). O bien, factores antrópicos como la presión por la actividad humana o transformación del hábitat que se puede ver en la apertura de la cobertura vegetal (Dirzo *et al.*, 2007; Escobar *et al.*, 2020; Franco & Rojas, 2015; Iob & Vieira, 2008; Vélez & Pérez, 2010). Las estaciones con la menor remoción y depredación de ambas semillas (E3 y E4), aun teniendo disponibilidad moderada – alta de otras especies vegetales comparten las características de tener una cobertura vegetal abierta y una moderada a alta

actividad humana, pudiendo generar un lugar con más susceptibilidad a depredadores como para detenerse a realizar remoción o depredación de las semillas. En comparación con las estaciones de mayor remoción y depredación (E5 y E6) que a pesar de estar más cercanas al asentamiento humano mantienen una actividad humana baja a moderada y mayor cobertura vegetal.

Las estaciones 1 y 2 muestran una remoción y depredación media a pesar de su cercanía a la productora de cítricos, pudiendo ser el resultado de las características de una cobertura vegetal abundante, baja actividad humana y además un alta – moderada disponibilidad de especies vegetales que pueden servir de alimento para la fauna. Aunque también pudiera deberse al tipo de forrajeo que la fauna puede establecer en un sitio de exploración, en los que como característica principal las paradas son limitadas (Rojas *et al.*, 2011), esto mismo puede encajar con el hecho de ser las estaciones con mayor interacción neutral.

Ojeda (2016) señala que la preferencia de alimento por tuza real se limita cuando estos están inmaduros, prosiguiendo a consumir los que están en disponibilidad, si se compara este comportamiento en la estación de cultivo (E5) en la que se puede encontrar plátano y papaya, ambas especies dentro de su dieta (Guzmán, 2008) pero que al momento del estudio no contaban con frutos maduros y que además, cabe destacar que la mayoría de los individuos de esta especie visitaban la estación con una alta interacción de búsqueda, se podría sugerir que sea la razón de la alta remoción de mango y chamal.

En otro estudio la tuza real tuvo mayor preferencia de chamal (9 g) sobre las semillas de *Quercus polymorpha* (1.38 g) (Yáñez *et al.*, 2021), selección que pasaba por encima de los metabolitos tóxicos del chamal al ofrecer alimento de más tamaño. En cautiverio se ha probado que la preferencia de mango es superior ante otras 11 especies frutales (Laska *et al.*, 2003) pues la selección se realiza por información olfativa debido a su gusto por alimentos con sabores ácidos y dulces, en este estudio cada evento de remoción o depredación de semillas ocurría primero con las de mango antes que las de chamal.

Pero a diferencia del experimento de Laska *et al.* (2003) que indica que la selección también se da por el contenido energético y no por el nutricional no concuerda con la preferencia de este estudio, ya que por semilla el chamal (354.25 kcal) supera en contenido energético a las de mango (177 kcal), dejando de seguir la esperada teoría del forrajeo óptimo. Fundamentalmente dentro del forrajeo óptimo se considera el tiempo de manipulación de un alimento en relación a la energía ganada en la manipulación (Rojas *et al.*, 2011), así que menor tiempo de manipulación menor energía gastada, pero esto tampoco se sigue al considerar que el tiempo de

depredación de las semillas de mango (2 minutos aproximadamente por cada una) sobrepasa al tiempo de forrajeo de las semillas de chamal (40 segundos aproximadamente por cada una). Así que sin importar que la depredación de semillas represente más exposición ante depredadores, la preferencia será para las más palatables y no tóxicas (Shimada *et al.*, 2015).

Desde otro ángulo, la preferencia y remoción de semillas con presencia de toxinas puede variar entre especies de fauna, sobre todo en las adaptadas a dichos metabolitos como el caso de los roedores pequeños (Kuprewicz & García, 2019). Se ha comprobado que *P. mexicanus* y ratas Wistar pueden alimentarse de semillas de chamal en un consumo ocasional con una dieta mixta sin riesgo de intoxicación (González, 1990; Covarrubias, 2009). Y en disponibilidad de otro alimento la búsqueda y remoción difiere por el contenido de taninos que pueda tener las semillas (Bartelmess, 2001), como en Yáñez *et al.* (2021), donde los roedores pequeños y la ardilla gris removieron más rápido las semillas *Q. polymorpha* que las de chamal a pesar de que las bellotas son menores en tamaño. Sin embargo, para este estudio la preferencia exclusiva de chamal en las ratas y ratones puede justificarse al ser semillas que se acercan al tamaño óptimo para su manipulación (30 mm) respecto al tiempo, costo y beneficio energético que implica ese movimiento (Méndez, 2016) a diferencia de las semillas de mango que sobrepasa esa dimensión.

La uniformidad de las curvas de supervivencia en la estación con baja disponibilidad de otras especies vegetales que pudieran servir como alimento y la más alta en remoción y depredación (E6) se representa de forma constante debido a la competencia por recurso entre los roedores pequeños y la tuza real. En la estación vecina (E5) la uniformidad de las curvas de supervivencia ocurría al observarse que en días continuos la mayoría de los individuos de tuza real y en ocasiones todos los individuos de este roedor acudían a la estación para depredar las semillas que se encontraban. Pero el cambio en la curva del último cuarto de los momentos puede sugerir que a pesar de la competencia entre los individuos estos preferían las semillas de mango antes que remover o depredar por completo las semillas de chamal. Es decir que pasaron de realizar una remoción y depredación completa de ambas semillas al inicio del experimento por la no disponibilidad de otros alimentos maduros a reducir la remoción entre especies de semillas. Vélez & Pérez (2010) mostraron un cambio similar en los patrones de remoción en sitios de mayor remoción y menor disponibilidad de recursos, sugiriendo la adaptabilidad ante la disponibilidad de los recursos y de ahí preferencia y remoción o depredación.

El consumo parcial de las semillas de chamal por el conejo, la paloma, ardilla, roedores pequeños o tuza real puede asumirse por la misma teoría de forrajeo óptimo, pues en búsqueda de recursos van forrajeando para reducir el gasto de energía que implica la

misma interacción de búsqueda (Rojas *et al.*, 2011). Además de los niveles bajos o imperceptibles de toxinas en la sarcotesta, por lo que es segura para el consumo de los animales (Hall & Walter, 2014). Por otro lado, al comparar las diferencias de consumo parcial y total por estaciones se observa en la gráfica que el consumo parcial va reduciendo de estaciones con menos actividad humana, más disponibilidad de otras especies vegetales a estaciones con más actividad humana y menos disponibilidad de otras especies vegetales.

Remoción de semillas por periodo de actividad

Algunos autores muestran que la remoción o depredación por periodos de actividad está marcada por aves en el periodo diurno y mamíferos en el periodo nocturno (Nava, 2015; Roza & Parrado, 2004), atribuyéndoles más importancia a los mamíferos al realizar más interacciones de remoción o depredación. De forma concordante, los mamíferos nocturnos realizaron la mayor remoción y depredación de ambas semillas en todas las estaciones.

Las únicas estaciones con remoción o depredación en el periodo diurno tienen características de baja a moderada actividad humana y cobertura vegetal media o abundante, mientras que aquellas estaciones con alta actividad humana como las cercanas al camino (E3 y E4) o la estación más próxima al asentamiento humano (E6) a pesar de tener menor actividad humana que las anteriores se limitaron a remover o depredar las semillas durante el día. Las especies que realizaron esas interacciones (chara papán, paloma, coatí y ardilla) pueden ser vistas en sitios antropizados, esta adaptación las deja susceptibles a la depredación por fauna introducida como el caso los perros en este sitio que interactúa en el mismo periodo de actividad, por lo que este factor de antropización (introducción de fauna exótica) pudiera afectar las remociones de ambas especies de semillas, a diferencia del periodo nocturno que no hay presencia de perro, aunque sí de felinos.

En las cícadas se asociada de la misma forma las clases de fauna por los periodos de actividad, es decir, aves diurnas (Symes, 2018) y mamíferos nocturnos (Gómez *et al.*, 2022; Hall & Walter, 2013; Yáñez *et al.*, 2021). La remoción o depredación de chamal en este estudio si se ve diferenciada por el periodo nocturno, mismo que es dominado por mamíferos (tuza real, conejo, rata y ratón), pero dentro del periodo diurno las interacciones entre aves (paloma) y mamíferos son equivalentes (ardilla). Las aves registradas por Balderas (2021) realizando remoción y depredación de semillas de chamal en sitios conservados como la RBSAT (*Crax rubra*, *Cyanocorax yncas* y *Momotus momota*) no estuvieron presentes en el sitio antrópico. La ausencia de esas especies de aves y la baja remoción o depredación de semillas en el periodo diurno podría relacionarse.

Por el mismo camino, los porcentajes de remoción o depredación en el sitio antrópico no se asemejan a los realizados por las aves de la RBSAT, puesto que en este sitio existió baja depredación por la paloma y la otra especie de ave interactuante (chara papán) removió únicamente mango. Según Arriaga (2008) las aves del gremio insectívoras frugívoras arbóreas como lo es la chara papán, se adaptan más a los sitios antropizados con cultivos, puede ser por eso que su única interacción de remoción haya sido con la semilla de especie cultivada. También señala que las especies frugívoras terrestres como la especie *C. rubra*, pueden reducir su presencia en sitios antrópicos.

Remoción de semillas por clase de fauna

Se ha propuesto que el uso de especies exóticas de frutos carnosos proporciona un recurso abundante para los depredadores de especies silvestres, pues aumentan el número de visitas de frugívoros y ayudan a la lluvia de semillas silvestres (Vergara *et al.*, 2021). Mientras otras especies de fauna pueden remover las semillas silvestres, como por ejemplo los conejos dispersores de este tipo de semillas (Cordero *et al.*, 2023), los cuales al menos en este estudio tuvieron interacción con las semillas de chamal. En la introducción específica de mango, se ha evaluado que es una especie que sí puede ayudar a la colonización de la vegetación silvestre en tierras de cultivo abandonadas (Cordero *et al.*, 2023). Se podría dirigir en este estudio, que, en efecto, ciertas especies que depredan grandes cantidades de chamal como lo fue la tuza real al tener disponibilidad de ambas semillas en las estaciones les permitía remover o depredar con una marcada preferencia las semillas de mango al resultarles más palatables como ya se explicó anteriormente.

Y si se considera que los roedores pequeños suelen suplir a los dispersores de semillas silvestres en sitios alterados (Escobar *et al.*, 2020), es concordante que en la estación con presencia de tuza real y pequeños roedores (E6) se evitaba la depredación pre – dispersiva de chamal al removerlas dejando sólo las semillas cultivadas a la tuza real.

Otras especies que pueden adaptarse a sitios alterados llegan a modificar su dieta, ampliando la variedad de alimentos con las especies frutales introducidas por la antropización y removiéndolas a sitios conservados donde habitan especies vegetales silvestres (Dovrat *et al.*, 2011). Tal puede ser el caso de la chara papán, especie de ave a la que se le conoce que es dispersora en sitios conservados (Arriaga, 2008) por lo que podría llevar semillas de mango a sitios aledaños de especies vegetales silvestres o aquellos remanentes de vegetación que conforman el área. Mismo caso para los mapaches que remueven semillas de papaya (30%) y solo en época húmeda el mango (2%) (Guerrero *et al.*, 2000), por lo que es semejante a las interacciones de

remoción y depredación de este estudio. Y que por sus hábitos arborícolas o semi – arborícolas (Aranda, 2012) podrían remover otras especies exóticas como las de los cultivos cítricos cercanos a las primeras estaciones que justo corresponden a las estaciones con más presencia de estos mamíferos. No obstante, dentro de su dieta también se encuentran otras especies silvestres como *G. ulmifolia* (60%), *Ficus* sp., y *Spondias* sp. (Guerrero *et al.*, 2000), plantas presentes en el sitio.

En cícdas, se ha reportado más depredación en sitios alterados que en sitios conservados (Tang, 1989). Particularmente las semillas de *D. edule* en sitios conservados se asocian a una remoción por aves y en lugares más cercanos a sitios antrópicos se asocian a una depredación por mamíferos grandes domésticos (*Sus scrofa domesticus*) y a una remoción por mamíferos nativos de tamaño similar (*Pecari tajacu*) o de menores dimensiones como los roedores pequeños (Balderas, 2021). En el gradiente descriptivo de las características por estación de este sitio, se puede decir que, en estaciones con cobertura vegetal abundante a cerrada y baja actividad humana se dieron las interacciones con chamal por la paloma, conejo y roedores pequeños que corresponden a interacciones de remoción y depredación parcial. Por lo que se podría llegar a pensar que las interacciones de roedores pequeños con chamal serán independientes del sitio o época, ya que en Yáñez *et al.* (2021) tuvieron los mismos roles de remoción en época húmeda y en un hábitat similar con cultivos de caña, pero un parche de vegetación más grande y conservado. Remarcando que este estudio se realizó a finales de la época seca y los parches o remanentes no son tan extensos por el uso intensivo del suelo para los cultivos de caña o cítricos en el área.

Aun cuando los mamíferos grandes removedores o depredadores del estudio de Balderas (2021) no se encontraron aquí, sí concuerda con que la mayor depredación se realizó por un mamífero de mayor tamaño como es el caso de la tuza real. Que para ambas especies de semillas los eventos de depredación y remoción aminoraban en aquellas estaciones de actividad humana moderada y de cobertura vegetal abierta (E3 y E4). La especie exótica de este sitio (perro) no realizó depredaciones de las semillas como lo hizo la especie exótica en el estudio de Balderas (2021) pues tal como indican las revisiones de Cordero *et al.*, (2023) las desventajas que puede haber en la introducción de fauna es que se pueden llegar a convertir en destructores de las semillas silvestres.

Destino de semillas removidas

Con la revisión de destino de semillas se determinó que la tuza real actúa como depredadora. Estudios de análisis de excretas e intestinos han permitido demostrar que por su alimentación principalmente frugívora la dispersión es efectiva para semillas pequeñas y las semillas grandes por lo general son depredadas, pero sólo algunas

llegan a ser dispersadas ocasionalmente cuando las trasladan a los comederos y se olvidan de estas (Beck-King *et al.*, 1999). Conjuntamente, las caracterizaciones de sus madrigueras hasta ahora no registran almacenamiento de semillas (Aquino *et al.*, 2009; Muñoz *et al.*, 2002). De aquí el porcentaje de depredación de ambas especies de semillas dentro de la estación y fuera de la estación (removidas y depredadas al llegar a los comederos o sitio de refugio). Así que, el caso único de remoción de semilla de chamal sin daños a la testa por tuza real fue causada tras un evento de molestia por un alacrán hacia el roedor, siendo parte del comportamiento de traslado de alimentos a los comederos cuando se sienten en peligro (Guzmán, 2008), puesto que en la estación los eventos de depredación son mayores que los de remoción en el fototrampeo, indicando poco cuidado ante los depredadores durante el forrajeo en la estación.

La distancia promedio de semillas de chamal removidas por tuza real cae dentro de la distancia promedio de deposición de otra semilla con dimensiones aproximadas a las de la cícada (*Mauritia flexuosa*, 1 – 5 m), la distancia promedio de mango la supera por 2.4 m y 4 m en la distancia máxima (Mendieta *et al.*, 2015). Este último estudio reporta que tras el seguimiento del destino de semillas por tuza real la condición resultó predominantemente en depredación y por otra parte la única semilla removida logró germinar. De manera que, es importante seguir realizando estudios que involucren el seguimiento de destino de semillas de chamal para proveer de más información sobre las condiciones de las semillas, sobre todo, que esta siga una metodología del marcaje de semillas principalmente si se desarrolla en sitios donde sí se disponga de la especie vegetal.

Anteriormente se había descrito que los roedores del género *Peromyscus* dispersan semillas de chamal hasta seis m desde la planta madre (Yáñez *et al.*, 2021), en este estudio, en las revisiones de destino en la única estación con actividad de remoción por roedores pequeños (E6) se encontraban semillas con marcas de incisivos del tamaño de estos roedores, donde una semilla se localizó a los nueve m del centro de la estación. Empatándose con la dispersión máxima de otras cícadas de 9 – 10.8 m por roedores y marsupiales (Hall & Walter, 2013; Snow & Walter, 2007). Así mismo, la distancia máxima precedente se describe como diszoocoria por acaparamiento de despensa en sus madrigueras y para este estudio se registra diszoocoria por acaparamiento disperso al enterrar las semillas en el suelo. El almacenamiento de semillas tóxicas puede ser una estrategia para los roedores ya que se conoce que algunas semillas pueden disminuir del 5 al 25 % de los taninos (Wang & Chen, 2011).

Las semillas de chamal se encontraban en un sitio bajo sombra, alrededor de dos cm de profundidad y ligeramente tapadas por la hojarasca, profundidad que según López & Treviño (2008) promueve más la germinación. Según la revisión de Campos & Velez

(2015) los removedores que almacenan las semillas producen desgaste o escarificación en las estructuras impermeables que contribuyen a la dormición, por lo que la manipulación por roedores y la depredación de la sarcotesta durante el almacenamiento de las semillas pudiera ayudar a la germinación de las semillas.

Otro punto es que los removedores almacenadores en acaparamiento disperso (suelo) en especial los roedores tienen un atractivo por semillas con cubiertas duras y altos contenidos de compuestos secundarios pues resultan características que pueden alargar el almacenamiento del recurso, incluso ese tipo de almacenamiento al llegar a ser en sustratos más secos terminan retrasando la germinación y, por ende, alargan sus reservas (Jansen & Forget, 2001). Así que, la esclerotesta dura de las semillas de chamal podría ser un recurso más favorable para el acaparamiento disperso al enterarlas en el suelo, aunque no en beneficio para las propias semillas. Pues los niveles de humedad y temperatura requeridos para su supervivencia (López & Treviño, 2008) las convierte en semillas transitorias, mientras que el almacenamiento de despensa (madrigueras) promueve mejores condiciones para las semillas (Lázaro *et al.*, 2011). De igual forma ambos mecanismos aumentan las posibilidades de supervivencia de las semillas en caso de olvido de los removedores o depredación por otros agentes (Greg *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

El estudio demostró que las interacciones y preferencias en el sitio antrópico de la Huasteca Potosina “Rancho el 20” ante la disponibilidad de semillas de una especie cultivada (*Mangifera indica*) y otra silvestre (*Dioon edule*) son diferentes al presentar distintos niveles de remoción en las estaciones y en los periodos de actividad durante un solo muestreo en la temporada de estiaje.

La identificación de fauna interactuante con las semillas de *D. edule* y *M. indica* en el Rancho el 20 comprende 26 especies diferentes, donde las especies más abundantes corresponden a especies que son más adaptables a sitios alterados por la antropización, incluyendo al perro como especie exótica en condición domesticada y asilvestrada. La menor riqueza y abundancia va en proporción con las estaciones de menores niveles de remoción de semillas.

El mayor porcentaje de las especies identificadas mantuvieron un rol neutral ante las semillas de *D. edule* y *M. indica*, sin embargo, las interacciones con mayor número de eventos en todas las estaciones fueron la de depredación y remoción si se consideran en conjunto. Las especies más relevantes fueron *Cuniculus paca* como principal depredador de ambas especies de semillas y los roedores pequeños (rata y ratón) como removedores de las semillas de *D. edule*. Se tuvo mayor preferencia por las

semillas cultivadas sobre las silvestres, a pesar de que representaban un recurso con más aporte energético, de peso y de menor tiempo para su manipulación.

La remoción entre periodos de actividad mostró una marcada diferencia al presentar muy pocas interacciones durante el período diurno y mayor remoción en el período nocturno. Además, las especies removedoras del periodo diurno se limitaron a interactuar únicamente en estaciones con menos presencia humana.

PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES FINALES

El primer acercamiento que tuvo este tema de investigación surgió a través de los antecedentes de los recientes estudios sobre las interacciones ecológicas entre la fauna y las semillas de *Dioon edule*. Con especial atención en las interacciones con el roedor *Cuniculus paca* o tuza real, pues esta especie no sólo abría el panorama para ampliar información sobre sus mecanismos de remoción de las semillas, si no que permitía comenzar a indagar áreas poco estudiadas como la química con los metabolitos secundarios tóxicos que posee la cícada.

Pues atendiendo primeramente que algunas culturas originarias y población en general sacan provecho de la carne de la tuza real para consumo propio o como un recurso para venta, y al encontrar interacciones de la tuza real con las semillas tóxicas, se conjuntan las preguntas de ¿cómo se comportan las toxinas en los individuos de tuza real tras consumir las semillas?, ¿las toxinas pueden acumularse en sus tejidos?, ¿qué cantidades de toxinas se pueden encontrar en la carne de la tuza real antes y después de ser preparada para el consumo humano?.

Responder a estas preguntas agrupa conocimientos ecológicos y tradicionales que deben ser atendidos, al examinar el desconocido tránsito de las toxinas en las cadenas tróficas donde finalmente el humano termina incluyéndose. Sin embargo, la primera área de estudio seleccionada correspondió a la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa (RBSAT), área en la que su comunidad tiene poca relación con el conocimiento, uso y aprovechamiento de *Dioon edule* y *Cuniculus paca* de forma conjunta e individual. Asimismo, al menos desde su creación como ANP, dispone de limitados registros de individuos de tuza real, haciendo necesario aumentar el esfuerzo de muestreo y de recursos para el encuentro de sus poblaciones, originando dificultades para el cumplimiento de ciertos objetivos.

Tras un segundo intento de búsqueda de individuos se recurrió a la exploración de áreas aledañas a la RBSAT, donde finalmente pudieron ser encontrados, pero por la disponibilidad de tiempo, mismos objetivos tuvieron que ser recortados. La adecuación de los objetivos y del título de la investigación ahora desarrollada en un área con

alteraciones antrópicas, permitió una nueva perspectiva al ver la oportunidad de generar más información sobre las interacciones ecológicas con las semillas de la especie silvestre y con semillas cultivadas que pueden encontrarse en el sitio y su relación con toda la fauna presente y así no reducir el estudio a una sola especie animal, siendo un enfoque no estudiado pero relevante para la conservación de las especies, sobre todo el conocer la dinámica ecológica de un sitio con esas características.

Es importante recalcar que la parte química es un tema potencial para la investigación, pues abarca áreas ecológicas, culturales, económicas y de salud, que se pueden aplicar en otros sitios de la región Huasteca donde se conoce la presencia y aprovechamiento de *C. paca*, como es el caso de Tamasopo o Xilitla. Y así objetivamente pueda aplicarse la metodología para el análisis de toxinas, incluso, puede ser trasladado al estudio con otras especies de cícadras que tampoco han sido evaluadas aun cuando forman parte de un linaje de origen antiguo y con mucha historia. Debido al recorte de objetivos, información recabada mediante entrevistas no pudo ser incluida en el estudio. Información que resulta relevante al proveer conocimiento tradicional de aprovechamiento y consumo de tuza real y chamal, así como la percepción ante la posible pérdida del conocimiento y conservación de las especies. Esto bajo el enfoque de comparación de conocimiento de generaciones y géneros que tienen un acercamiento al trabajo en campo.

La tuza real resultó como la especie con más relevancia en las interacciones de este estudio. Sobre esta especie al menos para la región hay pocas investigaciones sobre su ecología, reproducción, hábitos alimenticios o de actividad, distribución, abundancia, entre otros, ya que es una especie más estudiada en las selvas del sureste del país. Con los resultados o registros obtenidos se puede proporcionar aún más información de las interacciones que se pueden enfocar a estudios de nivel especie, individuos, sexo, etc.

Por otro lado, se recomienda ampliar los muestreos, donde estos puedan ser comparables en diferentes estaciones funcionales (secas y lluvias), ya que estas variaciones temporales podrían mostrar desde diferente riqueza, abundancia y periodos de actividad de la fauna hasta diferentes interacciones, remociones y preferencias de semillas. También debería ser necesario poder agregar más sitios que permitan comparar diferentes niveles de conservación dados a través de diferente intensidad o características de antropización. Porque desde la perspectiva generada con las entrevistas no utilizadas y lo visto en campo, el concepto de conservación de las especies está influenciada gracias a la cercanía a la RBSAT y los esfuerzos de la CONANP con el acercamiento a la comunidad. A diferencia de otros sitios que pueden

promover más actividades antrópicas incluidas la caza de fauna y por ende influir en las interacciones ecológicas.

La metodología de marcaje de semillas es muy necesaria si se desea abarcar una investigación que incluya la revisión de destino de semillas hasta la supervivencia de las plántulas, ya que, aunque en el sitio no se encontraban individuos de ninguna de las dos semillas, ecológicamente un sistema abierto puede tener dichas semillas justo por las interacciones con la fauna, así que, en el conteo, podría tratarse de otra semilla ajena al experimento. Desde este mismo punto se recomienda que las próximas investigaciones de *D. edule*, incluyan marcaje de semillas y revisión de destino hasta la supervivencia, pues no hay estudios recientes que provean de esta información, sobre todo cuando se trata de definir especies dispersoras de sus semillas. Como última recomendación, realizar una descripción o caracterización cuantificable del sitio podría ayudar de mejor manera a reportar los resultados y discutirlos con otros estudios que utilicen una metodología y descripción similar. Pues esto mismo podrá ser de utilidad para próximas investigaciones al contextualizar el área de estudio de una forma más metódica y no sólo con variables ordinales.

Finalmente, trabajar un sitio antrópico resulta un aporte fundamental al proporcionar información nueva de qué especies están interactuando y cómo interactúan, además del registro de especies que han sido pocas veces vistas en la región como lo es el gato montés y el tlacuache cuatro ojos. Indicando que es necesario establecer estrategias de conservación de las especies en sitios así, mediante el trabajo comunitario con los ejidatarios productores, investigadores y autoridades ambientales. Aunque es necesario ampliar las investigaciones, el mantenimiento de parches o remanentes de vegetación podrían ser clave para proveer de alimento, agua y refugio a la fauna, pudiendo servir como hábitats que mantengan las interacciones semilla – fauna y a su vez la conservación de poblaciones vegetales y de fauna, además se ser potenciales conectores a ecosistemas más conservados.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, J., & Zamora, G. 2016. Papel de los mamíferos en los procesos de dispersión y depredación de semillas de *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) en la Amazonía colombiana. *Revista de Biología Tropical*, 64 (1), 5-15. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v64i1.18157>.
- Acosta, M. & García, I. (2005). Morfometría y alimentación de la codorniz (*Colinus virginianus*) en dos áreas del occidente de Cuba. *Journal of Caribbean Ornithology*, 18 (1), 54-68. ISSN 1527-7151.
- Aguilar, N., Galindo, G., Contreras, C. & Fortanelli, J. (2010). Zonificación productiva cañera en Huasteca Potosina, México. *Agronomía Tropical*, 60 (2), 139-154. ISSN 0002-192X.

- Aguilar, O., González, P. & Vovides A. (2008). Population dynamics of *Dioon edule* Lindl. (Zamiaceae): life history stages and management impact. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 157 (3), 381–391. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2008.00814.x>.
- Aguilar, R., Ashworth, L., Cagnolo, L., Jausoro, M., Quesada, M. & Galetto, L. (2009). Dinámica de interacciones mutualistas y antagonistas en ambientes fragmentados. *In: Medel, R., Aizen, M. & Zamora, R. (1a ed.), Ecología y evolución de interacciones planta-animal. Santiago de Chile; Universitaria, 2009. pp. 199–233. ISBN: 978-956-11-2092-1.*
- Aguirre, A. & Mendoza, A. (2009). Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía. *In: Sarukhán, J. (ed.), Capital natural de México, Vol.2. Estado de conservación y tendencias de cambio, CONABIO, México, pp. 277–318.*
- Álvarez, J. & Medellín, R. (2005). *Canis lupus*. Vertebrados superiores exóticos en México: diversidad, distribución y efectos potenciales. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto U020. México. D.F.
- Andresen, E. (2012). Dispersión de semillas por animales frugívoros y granívoros. *In: del Val, E., & Boege, K. (Eds.) Ecología y evolución de las interacciones bióticas. Fondo de Cultura Económica, CIECO, UNAM. pp. 101–139. ISBN 978-607-16-1063-8.*
- Aquino, R., Gil, D. & Pezo, E. (2009). Aspectos ecológicos y sostenibilidad de la caza del majás (*Cuniculus paca*) en la cuenca del río Itaya, Amazonía peruana. *Revista Peruana de biología*, 16 (1), 67-72. ISSN 1727-9933.
- Aquino, R., Meléndez, G., Pezo, E. & Gil, D. (2012). Tipos y formas de ambientes de dormir de majás (*Cuniculus paca*) en la cuenca alta del río Itaya. *Revista Peruana de Biología*, 19, (1), 27–34. <https://doi.org/10.15381/rpb.v19i1.800>.
- Aranda, J. (2012). Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México. Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 225 pp. ISBN: 978-607-7607-69-4.
- Arredondo, A., Ávila, R. & Muñoz, L. (2012). Fichas descriptivas de 52 plantas ornamentales que se comercializan en la Huasteca Potosina. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. pp. 19. ISBN 978-607-425-773-1.
- Arriaga, S. (2008). Avifauna en un Paisaje Antropizado en el Parque Estatal de la Sierra, Tabasco. [Tesis de Doctorado. El Colegio de la Frontera Sur].
- Balderas, D. (2021). Depredación y dispersión de semillas de *Dioon edule* por fauna nativa en tres localidades de la Sierra Madre Oriental (Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí). [Tesis de maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí].
- Barthelmess, E. (2021). The effects of tannin and protein on food preference in eastern grey squirrels. *Ethology Ecology & Evolution*, 13 (2), 115-132. <https://doi.org/10.1080/08927014.2001.9522779>.

- Beck-King, H., Helversen, O. & Beck-King, R. (1999). Home range, population density, and food resources of *Agouti paca* (Rodentia: Agoutidae) in Costa Rica: a study using alternative methods. *Biotropica*, 31 (4), 675-685. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.1999.tb00417.x>.
- Blasio, C. & Pineda, R. (2020). Diversidad de aves en ambientes antrópicos en una localidad del semidesierto del centro de México. *Huitzil*, 21 (2), 1870-7459 <https://doi.org/10.28947/hrmo.2020.21.2.449>.
- Bonta, M., Pulido, M., Diego, T., Vite, A., Vovides, A. & Cibrán, A. (2019). Ethnobotany of Mexican and northern Central American cycads (Zamiaceae). *J Ethnobiology Ethnomedicine*, 15 (4), 1-34. <https://doi.org/10.1186/s13002-018-0282-z>.
- Bunney, K., Bond, W. & Henley, M. (2017). Seed dispersal kernel of the largest surviving megaherbivore—the African savanna elephant. *Biotropica*, 49 (3), 395-401. <https://doi.org/10.1111/btp.12423>.
- Campos, C. & Vélez, S. (2015). Almacenadores y frugívoros oportunistas: el papel de los mamíferos en la dispersión del algarrobo (*Prosopis flexuosa* DC) en el desierto del Monte, Argentina. *Ecosistemas*, 24 (3), 28-34. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-3.05>.
- Carranza, C. & Carrillo, L. (2017). Perfil nutrimental de diferentes tejidos y frutos de la palma chamal (*Dioon edule*). *Acta Universitaria*, 27 (2), 3-9. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1208>.
- Chávez, C., A de la Torre, H. Bárcenas, R.A. Medellín, H. Zarza & G. Ceballos. (2013). Manual de fototrampeo para estudio de fauna silvestre. El jaguar en México como estudio de caso. Alianza WWF-Telcel, Universidad Nacional Autónoma de México, México. pp. 108. ISBN: 978-607-8143-02-3.
- Chávez, M. (2017). Síndromes de domesticación en plantas. Desde el Herbario CICY. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. 9, 79–83. http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/ ISSN: 2395-8790.
- Chemnick, J. & Gregory, T. (2022). *Dioon edule*. The IUCN Red List of Threatened Species 2022: e.T42158A69829495. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2022-1.RLTS.T42158A69829495.en>.
- Cimé, J., Hernández, S., Barrientos, R. & Castro, A. (2010). Diversidad de Pequeños Roedores en una selva baja caducifolia espinosa del noreste de Yucatán, México. *Therya*, 1(1), 23-39. <https://doi.org/10.12933/therya-10-2>.
- Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). (2019). Checklist of CITES Species. https://checklist.cites.org/#/en/search/output_layout=alphabetical&level_of_listing=0&show_synonyms=1&show_author=1&show_english=1&show_spanish=1&show_french=1&scientific_name=Dioon+edule&page=1&per_page=20.

- Cordero, S., Gálvez, F. & Fontúrbel, F. (2023). Ecological Impacts of Exotic Species on Native Seed Dispersal Systems: A Systematic Review. *Plants*, 12 (2), 261. <https://doi.org/10.3390/plants12020261>.
- Correa, D., Romero, G. & León, R. (2019). Extracción de taninos de semilla de mango criollo (*Mangifera indica* L.) y su aplicación como curtiente. *Journal of Agro-Industry Sciences*, 1 (2), 51–55. <https://doi.org/10.17268/JAIS.2019.007>.
- Covarrubias, A. (2009). Caracterización de la locomoción de ratas expuestas a semillas de *Dioon edule* Lindl. [Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de San Luis Potosí].
- Cuervo, A., Téllez, O., Gómez, M., Venegas, C., Manjarrez, J. & Martínez, E., (2014). Temperatura media anual en México (1910-2009), escala: 1:1000000. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/tman13gw.html>
- Dalquest, W., W. (1950). Records of mammals from the Mexican state of San Luis Potosi. *Occasional Papers of the Museum of Natural Science, Louisiana State University*, 1 (23), 1–15. <https://doi.org/10.31390/opmns.023>
- De Nova J., Sahagún, F., Bueno J. & Cruzado, J. (2019). Inventario multitaxonómico: PN El Potosí y RB Sierra del Abra Tanchipa (San Luis Potosí). Incidencia y Gobernanza Ambiental A. C. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto PJ029. Ciudad de México.
- De Nova, A., Castillo, P., Salina, M., Fortanelli, J. & Mora, A. (2018). Los bosques tropicales estacionales. *In: Reyes, H. H., De-Nova, V. J. & Durán, F. A. (2018). Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa. Biodiversidad y Acciones para su Conservación. UASLP-CONANP-RBSAT-FMCN-UAT, San Luis Potosí, SLP. ISBN 978607535054-7.*
- Del Río, I. (2016). Estado poblacional de mamíferos en dos áreas naturales protegidas de San Luis Potosí, México. [Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados].
- Diekötter, T., Haynes, K., Mazeffa, D. & Crist, O. (2007). Direct and indirect effects of habitat area and matrix composition on species interactions among flower-visiting insects. *Oikos*, 116 (9), 1588-1598. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15963.x>.
- Dirzo, R., Mendoza, E. & Ortiz, P. (2007). Size-Related Differential Seed Predation in a Heavily Defaunated Neotropical Rain Forest. *Biotropica*, 39 (3), 355-362. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2007.00274.x>.
- Dovrat, G., Perevolotsky, A. & Ne'eman, G. (2012). Wild boars as seed dispersal agents of exotic plants from agricultural lands to conservation areas. *Journal of Arid Environments*, 218 (78), 49-54. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.11.011>
- Escobar, S., Razafindratsima, O., Montúfar, R. & Balslev, H. (2020). Post-Dispersal Seed Removal in a Large-Seeded Palm by Frugivore Mammals in Western Ecuador. *Tropical Conservation Science*, 13 (1), 1-14. <https://doi.org/10.1177/1940082920947041>
- Estrada, S. (2019). Mango y aguacate, el futuro de la agricultura en SLP: SEDARH. *Metrópoli*.
- Figueroa, A. (2016). Dinámica de ocupación de cavidades y uso de hábitat del tepezcuintle (*Cuniculus paca*) en la Selva Lacandona, Chiapas, México. [Tesis de Doctorado. El Colegio de la Frontera Sur].

- Franco, Q. & Rojas, R. (2015). Frugivoría y dispersión de semillas de la palma *Oenocarpus bataua* en dos regiones con diferente estado de conservación. *Actualidades Biológicas*, 37 (102), 273-285. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.329005>.
- Galicia, L., García, R., Gómez, L. & Ramírez, M. (2007). Cambio de uso del suelo y ambiental. *Ciencia. Comunicaciones libres*, 58 (4). <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/ediciones-antiores/82-vol-58-num-4-octubre-diciembre-2007/comunicaciones-libres/135-cambio-de-uso-del-suelo-y-degradacion-ambiental>.
- Gamboa, J. & Mora, J. (2010). Guía para el cultivo del mango (*Mangifera indica* L.) en Costa Rica. San José, C.R. INTA. 62 p. ISBN 978-9968-586-06-1
- Gómez, H., Hernández, J. & Ortiz, A. (2022) Seed predation and potential seed dispersers of the narrow endemic *Ceratozamia norstogii* (Zamiaceae). *Biodiversity Data Journal*, 10, e86007. <https://doi.org/10.3897/BDJ.10.e86007>
- González, A. (1990). Algunas interacciones entre *Dioon edule* (Zamiaceae) y *Peromyscus mexicanus* (Rodentia: Cricetidae). Centro de Investigaciones Biológicas. Universidad Veracruzana.
- Greg, M., Kinsman, S. & Bronstein, J. (2014). Plant-animal interactions. *In: Wheelwright, N. & Nadkarni, N. (ed.) Monteverde. Oxford University Press and Bowdoin's Scholars' Bookshelf*. 376 – 470.
- Guerrero, S., Sandoval, M. & Zalapa, S. (2000). Determinación de la dieta del mapache (*Procyon lotor hernandezii* Wagler, 1831) en la costa sur de Jalisco, México. *Acta Zoológica Mexicana*, (n.s.) 80, 211-221. <https://doi.org/10.21829/azm.2000.80801901>.
- Gutiérrez, S., Harmsen, B., Doncaster, P., Kay, E. & Foster, R. (2016). Ranging behavior and habitat selection of pacas (*Cuniculus paca*) in central Belize. *Journal of Mammalogy*, 98 (2), 542–550. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw179>.
- Guzmán, C. (2008). Uso, preferencia de hábitat y aprovechamiento del tepezcuintle, *Cuniculus paca* (Linneo, 1766) en el Parque Estatal de la Sierra de Tabasco, México. [Tesis de maestría. Instituto de Ecología].
- Hall, J. & Walter, G. (2013). Seed dispersal of the Australian cycad *Macrozamia miquelii* (Zamiaceae): Are cycads megafauna-dispersed “grove forming” plants?. *American Journal of Botany*, 100 (6), 1127–1136. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200115>.
- Hall, J. & Walter, G. (2014). Relative Seed and Fruit Toxicity of the Australian Cycads *Macrozamia miquelii* and *Cycas ophiolitica*: Further Evidence for a Megafaunal Seed Dispersal Syndrome in Cycads, and Its Possible Antiquity. *J Chem Ecol*, 40 (8), 860–868. <https://doi.org/10.1007/s10886-014-0490-5>
- Iglesias, C., & Alba, J. (2004). Variación de semillas de *Dioon edule* Lindl. (Zamiaceae): en el rancho El Niño, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 6 (1), 15-20. ISSN: 1405-7247.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2006). Red hidrográfica digital de México escala 1:250 000 edición 1.0. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598428>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2008). Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas. <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Censos de Población y Vivienda 2010 y 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) & Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (1995). Edafología. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/eda251mgw.html>
- Íñiguez, V., Guerrero, A. & Ordóñez, L. (2021). Análisis exploratorio sobre conflictos fauna silvestre en la Reserva Natural Tumbesia La Ceiba, área núcleo de la Reserva de Biosfera Binacional Ecuador-Perú "Bosques de Paz". *Revista Peruana de Biología*, 28 (1), e17665. <https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v28i1.17665>
- Iob, G. & Vieira, E. (2008). Seed predation of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) in the Brazilian Araucaria Forest: influence of deposition site and comparative role of small and 'large' mammals. *Plant Ecology*, 198 (2), 185–196. <https://doi.org/10.1007/s11258-007-9394-6>.
- Jansen, P. & Forget, P. (2001). Scatterhoarding rodents and tree regeneration. *In*: Bongers, F., Charles, P., Forget, P. & Théry, M. (eds) *Nouragues. Dynamics and plant-animal interactions in a neotropical rainforest*, pp. 275–288. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9821-7_26.
- Jax, E., Marín, S., Rodríguez, A. & Isasi, E. (2015). Habitat use and relative abundance of the Spotted Paca *Cuniculus paca* (Linnaeus, 1766) (Rodentia: Cuniculidae) and the Red-rumped Agouti *Dasyprocta leporina* (Linnaeus, 1758) (Rodentia: Dasyproctidae) in Guatopo National Park, Venezuela. *Journal of Threatened Taxa*, 7 (1), 6739-6749 <https://doi.org/10.11609/JoTT.o3915.6739-49>.
- Jones, D. (1993). *Cycads of the world. Ancient plants in today's landscape*. USA: Smithsonian Institution Press.
- Kaplan, E., & Meier, P. (1958). Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. *Journal of the American Statistical Association*, 53 (282), 457-481. <https://doi.org/10.2307/2281868>.
- Kuprewicz, E. & García, C. (2019). Deciphering seed dispersal decisions: Size, not tannin content, drives seed fate and survival in a tropical forest. *Ecosphere*, 10 (1), e02551. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2551>.
- Laska, M., Luna, J. & Rodríguez, E. (2003). Food preferences and nutrient composition in captive pacas, *Agouti paca* (Rodentia, Dasyproctidae). *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde*, 68, (1), 31–41. <https://doi.org/10.1078/1616-5047-00059>.

- Lázaro, J. (2017). Mecanismos de diseminación de semillas y su relación con la composición florística de las comunidades vegetales salmantinas. [Tesis de grado. Universidad de Salamanca].
- Lázaro, J., González, M., Mendoza, A. & Martínez, M. (2011). Historia natural de *Dioon Merolae* (Zamiaceae) en Chiapas, México. *Botanical Sciences*, 90 (1), 73-87. <https://doi.org/10.17129/botsci.387>.
- Lessa, L. & Costa, F. (2009). Food habits and seed dispersal by *Thrichomys apereoides* (rodentia: echimyidae) in a Brazilian Cerrado Reserve. *Mastozoología Neotropical*, 16 (2), 459-463.
- López, A., & Treviño, E. (2008). Reproducción por semilla del chamal (*Dioon edule* Lindley). *Ra Ximhai*, 4 (1), 45-55. <https://doi.org/10.35197/RX.04.01.2008.03.AO>
- López, J., González, J. & Guitián, J. (2015). Mutualistic relationships under landscape change: Carnivorous mammals and plants after 30 years of land abandonment. *Basic and Applied Ecology*, 16 (2), 152–161 <https://doi.org/10.1016/j.baae.2014.12.001>
- Martínez, Y. (2017). Hábitos alimenticios del tepezcuintle (*Cuniculus paca*) en la Selva Lacandona, Chiapas. [Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur].
- Medel, R., Aizen, M. & Zamora, R. (2009). Ecología y evolución de interacciones planta-animal. 1a ed. Santiago de Chile; Universitaria, 399 p. ISBN: 978-956-11-2092-1.
- Méndez, J. (2016). El tamaño de semillas de árboles tropicales, como factor determinante en la selección de semillas por el ratón *Peromyscus mexicanus*, Saussure 1860. [Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana].
- Mendieta, G., Pacheco, L. & Roldán, A. (2015). Dispersión de semillas de *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) por frugívoros terrestres en Laguna Azul, Beni, Bolivia. *Acta Amazónica*, 45 (1), 45 – 56. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201400283>.
- Mendoza, E. & Dirzo, R. (2007). Seed-size variation determines interspecific differential predation by mammals in a neotropical rain forest. *Oikos*, 116 (11), 1841 – 1852. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15878.x>.
- Monroy, R. & Flores, A. (2013). La fauna silvestre con valor de uso en los huertos frutícolas tradicionales de la comunidad indígena de Xoxocotla, Morelos, México. *Etnobiología*, 11 (1), 44 – 53. ISSN: 1665-2703.
- Muñoz, J., Betancur, O. & Duque, M. (2002). Patrones de hábitat y de actividad nocturna de *Agouti paca* en el Parque Nacional Natural Utría (Chocó, Colombia). *Actualidades Biológicas*, 24 (76), 75-85. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.329586>.
- Nahuel, M. & de Viana, M. (2009). Depredación pre-dispersiva de semillas en tres poblaciones del árbol *Enterolobium contortisiliquum* (Fabaceae). *Revista de Biología Tropical*, 57(3), 781-788. ISSN: 0034-7744.
- Nava, E. (2005). Depredación de semillas de *Euphorbia tehuacana* por vertebrados en una zona semiárida del centro de México. [Tesis de Licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].

- Ojeda, M. (2016). Dispersores primarios y secundarios de *Oenocarpus bataua* y *Mauritia flexuosa* en el bosque tropical Yasuní, Amazonía Ecuatoriana. [Tesis de maestría. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Escuela de Ciencias Biológicas].
- Oleksy, R., Ayady, C., Tatayah, V., Jones, C., Howey, P., Froidevaux, J., Racey, P. & Jones, G. (2019). The movement ecology of the Mauritian flying fox (*Pteropus niger*): a long-term study using solar-powered GSM/GPS tags. *Movement ecology*, 7 (12), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40462-019-0156-6>.
- Ortega, G., Castro, C., Manobanda, M., Ayón, F. & Patricia, L. (2017). Descripción morfológica y organoléptica de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) cultivados en el cantón Jipijapa en Ecuador. *Selva Andina Research Society*, 8 (2), 145-154.
- Otavo, S. & Echeverría, C. (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88 (4), 924-935. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.041>.
- Pacheco, J. & Chávez, M. (2020). La domesticación en las interacciones ecológicas, una mirada a nuevos ambientes. Desde el Herbario CICY. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. 12, 94–98. http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/ ISSN: 2395-8790.
- Parrotta, J. (1993). *Mangifera indica* L. Mango. SO-ITF-SM-63. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 6 p.
- Pavón, M. (1999). Germinación y sobrevivencia de plántulas de *Dioon edule* Lindley (Zamiaceae) en su hábitat natural cerro del Papayal-Achichuca, municipio de Coatepec, Veracruz. [Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana].
- Peralta, C., Contreras, C., Galindo, M. & Bernal, L. (2016). Historia ambiental de la Región Huasteca: principales cambios de cobertura y uso de suelo entre 1521 y 2011. In: Peralta, C., Contreras, C., Galindo, M. & Bernal, L. (1a Edición). *Tópicos ambientales y conservación de ecosistemas naturales*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. pp. 88-116. ISBN: 987-607-9453-81-7.
- Peralta, C., Contreras, C., Galindo, M., Algara, M. & Mas, F. (2014). Deforestation Rates in the Mexican Huasteca Region (1976-2011). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 3 (1), 1-20.
- Pérez, M. & Vovides, A. (2004). Spatial distribution, population structure, and fecundity of *Ceratozamia matudae* Lundell (Zamiaceae) in El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico. *The Botanical Review*, 70 (2), 299-311. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2004\)070\[0299:SDPSAF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2004)070[0299:SDPSAF]2.0.CO;2)
- Prado, A., Rubio, G., Yañez, L. & Bede, C. (2016). Ontogenetic Changes in Azoxyglycoside Levels in the Leaves of *Dioon edule* Lindl. *Journal of chemical ecology*, 42 (11), 1142–1150. <https://doi.org/10.1007/s10886-016-0774-z>
- R Studio Team, R. (2022). R: A language and environment for Statistical Computing.

- Ramos, M., González, J. & Robles, A. (2015). Dispersión endozoócora de leguminosas silvestres: desde la recuperación hasta el establecimiento en campo. *Ecosistemas*, 24 (3), 14-21. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-3.03>.
- Reyes, H., Aguilar, M., Aguirre, J. & Trejo, I. (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (59), 26-42.
- Rivadeneira, E. & Rodríguez, J. (2014). Las cícadas y su relación con algunas enfermedades neurodegenerativas. *Neurología*, 29 (9), 517—522. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nrl.2013.03.005>.
- Rivera, V., Tinajero, R., Aguirre, J. & Reyes, H. (2021). Avances en el conocimiento sobre las aves. *In: Reyes, H., Reyes, J. & Durán, A. 1a Ed. Desafíos para la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad en la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.* pp. 38-48. ISBN 978-607-535-254-1
- Rojas, M., Pérez, D., Clavijo, A., García, O., & Gutiérrez, G. (2011). Efectos de la Dispersión de Alimento sobre la Elección y los Patrones de Exploración. *Acta de Investigación Psicológica - Psychological Research Records*, 1 (1), 132-150.
- Rozo, M. & Parrado, Á. (2004). Dispersión primaria diurna de semillas de *Dacryodes chimantensis* y *Protium paniculatum* (burseraceae) en un bosque de tierra firme de la Amazonia Colombiana. *Caldasia*, 26 (1), 111-124.
- Saldaña, R., Heita, T., Rodríguez, C., Roldán, B., del Castillo, K., Herrera, L., Hernández, J. & Mendoza, E. (2019). Guía sintética para estudiar los servicios ecosistémicos que provee la fauna silvestre en ambientes agropecuarios. *In: Ornelas, C., Álvarez, F. & Weier, A. (Eds.), Antropización: primer análisis integral, IBUNAM, CONACYT.* pp. 37-71. ISSN digital: 978-607-30-2030-5.
- Sánchez, C., Romero, M., Colín, H. & García, C. (2001). Mamíferos de cuatro áreas con diferente grado de alteración en el sureste de México. *Acta zoológica mexicana*, (84), 35-48. <https://doi.org/10.21829/azm.2001.84841838>
- Santos, A. & Pérez, G. (2013). Abundancia de tepezcuintle (*Cuniculus paca*) y relación de su presencia con la de competidores y depredadores en una selva tropical. *Therya*, 4 (1), 89-98. <https://doi.org/10.12933/therya-13-97>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). Informe del Medio Ambiente. 2014. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2019). Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019#gsc.tab=0.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2021). Sistema de consulta de información geocientífica GeoInfoMex. México: Servicio Geológico Mexicano. <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/>.

- Shimada, T., Takahashi, A., Shibata, M., & Yagihashi, T. (2015). Effects of within-plant variability in seed weight and tannin content on foraging behaviour of seed consumers. *Functional Ecology*, 29 (12), 1513–1521. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12464>.
- Silva, A. & Rosas, O. (2021). Presence of the bobcat (*Lynx rufus*) in the northeast of San Luis Potosí, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 65 (2), 185–187. <https://doi.org/10.1894/0038-4909-65.2.185>.
- Snow, E. & Walter, G. (2007). Large seeds, extinct vectors and contemporary ecology: Testing dispersal in a locally distributed cycad, *Macrozamia lucida* (Cycadales). *Australian Journal of Botany*, 55 (6), 592–600. <https://doi.org.10.1071/BT07009>.
- Symes, C. (2018). Cycad seed dispersal - the importance of large frugivorous birds. *Biodiversity Observations*, 9 (4), 1-9. <https://doi.org.10.15641/bo.v9i0.503>.
- Tang, W. (1989). Seed dispersal in the cycad *Zamia pumila* in Florida. *Canadian Journal of Botany*, 67 (7), 2066-2070. <https://doi.org/10.1139/b89-261>.
- Valencia, L., Posada, J. & Mancera, N. (2019). Aspectos de la biología de *Psarocolius decumanus* y *Turdus grayi* en la estación agraria Cotové, Santa Fé de Antioquia, Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 8 (2), 69-82. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v8n2.76352>.
- Vélez, F., & Pérez, J. (2010). Remoción de semillas por roedores en un fragmento de bosque seco tropical (Risaralda-Colombia). *Revista MVZ Córdoba*, 15 (3), 2223-2233.
- Vergara, D., Blendinger, P., Tello, A., Peluc, S. & Tecco, P. (2021). Fleshy-fruited invasive shrubs indirectly increase native tree seed dispersal. *Oikos*, 2 (2), 1–9. <https://doi.org.10.1111/oik.08311>.
- Vidal, R. (1990). Precipitación media anual. En Precipitación, IV.4.6. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1 :4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/preci4mgw.html>.
- Villegas, A. & Mora, A. (2011). Advances in México fruitculture. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33 (1), 179-186. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500021>.
- Villordo, J. (2009). Distribución y estado de conservación del jaguar (*Panthera onca*) en San Luís Potosí, México. [Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados].
- Vovides, A. (1983). Flora de Veracruz. Zamiaceae. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. ISBN 84-89600-46-5.
- Vovides, A. (1999). Familia Zamiaceae. In Flora del bajo y de regiones adyacentes. Fascículo 7, J. Rzedowski y G. Calderón (eds.). Instituto de Ecología, A. C., Pátzcuaro. 1-17.
- Vovides, A. (2008). Cycadales in Mexico. (*Dioon edule*). NDF Workshop Case Studies WG 3 - Succulents and Cycads Case Study 3.
- Vovides, A. & Iglesias, C. (1994). *Dioon edule* Lindl.: Conservación y aprovechamiento. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 1(2), 55 – 58. ISSN 2007-4034.
- Vovides, A. & Peters, C. (1987). *Dioon edule*: La planta más antigua de México. *Ciencia y Tecnología: Ciencia y Desarrollo*, 73 (3), 19-24. ISSN 0121-7488.

- Wall, a., Olivas. A., Velderrain, G., González. A., de la Rosa, A., López, J. & Álvarez, E. (2015). El mango: aspectos agroindustriales, valor nutricional/funcional y efectos en la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 67-75. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7701>.
- Wang, B. & Chen, J. (2011). Scatter-hoarding rodents prefer slightly astringent food. *PloS one*, 6(10), e26424. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026424>
- Whitelock, L. M. (2004). Variation in the Mexican Cycad *Dioon edule* (Zamiaceae). *Botanical Review*, 70 (2), 240–249. ISSN 0006-8101.
- Yáñez, L., Barragán, F., Ibarra, A. & Morales, J. (2021). Dispersal of *Dioon edule* cycad seeds by rodents in a tropical oak forest in Mexico. *Tropical Zoology*, 34 (3), 57-71. <https://doi.org/10.4081/tz.2021.105>.

ANEXOS

Anexo 1. Descripción de las estaciones de muestreo.

Cobertura vegetal: 1= cerrada, 2= abundante, 3= media, 4= abierta; Actividad humana: 1= baja, 2= moderada – baja, 3= moderada, 4= alta; Disponibilidad de agua: 1= alta, 2= media, 3= baja, 4= nula; Diversidad animal (riqueza y abundancia) y Disponibilidad de otras sp. vegetales que pueden servir como alimento: 1= alta, 2= moderada – alta, 3= moderada, 4 = baja.

Estación	Tipo de vegetación	Cobertura vegetal	Actividad humana	Disponibilidad de agua	Diversidad animal	Disponibilidad otras sp. vegetales	Semillas removidas
E1	Vegetación riparia y de acahual con cuerpos de agua (arroyo)	2 Estrato herbáceo y arbóreo era abundante. Acceso de nivel medio	1 300 m a la productora. Ninguna persona se acercaba en ambos periodos	3 Aprox. dos pequeños cuerpos de agua sobre el arroyo cercanos	1 Abundancia: 43 ind. Riqueza: 13 spp.	2 <i>Salix</i> sp., <i>Sabal mexicana</i> , <i>Bauhinia</i> sp., <i>Erythrina</i> sp., <i>Sapindus saponaria</i> , <i>Prosopis</i> sp., <i>Ficus</i> sp.	201
E2	Vegetación riparia y de acahual con cuerpos de agua (arroyo)	2 Estrato herbáceo y arbóreo era abundante. Acceso de nivel medio	1 425 m a la productora. Ninguna persona se acercaba en ambos periodos	2 Aprox. dos cuerpos de agua grandes en el arroyo	1 Abundancia: 43 ind. Riqueza: 17 spp.	1 <i>Salix</i> sp., <i>Acacia cornigera</i> , <i>Sabal mexicana</i> , <i>Solanum</i> sp., <i>Bauhinia</i> sp., <i>Delonix regia</i> , <i>Sapindus saponaria</i> , <i>Ardisia scallonioidica</i>	201
E3	Vegetación riparia y de acahual con cuerpos de agua (arroyo)	4 Existía muy poco estrato arbustivo, el estrato herbáceo se daba de forma segregada. Acceso de nivel fácil	4 32 m al camino. Diariamente y en diversas ocasiones durante el periodo diurno transcurría aproximadamente seis personas de la productora en camionetas, carros y cuatrimotos	1 Apox tres abundantes y grandes cuerpos de agua en el arroyo	4 Abundancia: 28 ind. Riqueza: 9 spp.	2 <i>Salix</i> sp., <i>Prosopis</i> sp., <i>Sabal mexicana</i> , <i>Bauhinia</i> sp., <i>Leucaena</i> sp., <i>Acacia cornigera</i> , <i>Sapindus saponaria</i>	99
E4	Vegetación riparia y de acahual con cuerpos de agua (arroyo) cercano a cultivo de caña y plátano	4 Existía muy poco estrato arbustivo y arbóreo, el estrato herbáceo se daba de forma segregada. Acceso de nivel fácil	3 255 m al camino. Durante el periodo nocturno tres trabajadores asistían diariamente a plantar caña	3 Aprox. cuatro pequeños cuerpos de agua en el arroyo	4 Abundancia: 19 ind. Riqueza: 9 spp.	2 <i>Salix</i> sp., <i>Prosopis</i> sp., <i>Sabal mexicana</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Acacia cornigera</i> , <i>Sapindus saponaria</i> ; <i>Mandevilla</i> sp.,	131
E5	Platanar circundante a cultivos de caña, acahual y vegetación riverieña	3 Estrato herbáceo, arbustivo y arbóreo era abundante. Acceso de nivel medio	2 380 m al asentamiento humano. Cinco trabajadores vivían de forma temporal, pero no asistían a la estación en ningún periodo	4 No se presentaban cuerpos de agua cercanos	3 Abundancia: 25 ind. Riqueza: 11 spp.	1 <i>Musa</i> sp., <i>Carica</i> sp., <i>Sabal mexicana</i> , <i>Salix</i> sp., <i>Mimosa</i> sp., <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Ricinus communis</i> , <i>Prosopis</i> sp., <i>Phaseolus</i> sp., <i>Acacia cornigera</i>	225
E6	Acahual en cuerpo de agua (arroyo) circundante a cultivos de caña	1 Estrato herbáceo y arbustivo era abundante y cerrado. Acceso de nivel difícil	1 400 m a asentamiento humano. Ninguna persona se acercaba en ambos periodos	4 No se presentaban cuerpos de agua cercanos	2 Abundancia: 31 ind. Riqueza: 12 spp.	4 <i>Sabal mexicana</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Mimosa</i> sp., <i>Sapindus saponaria</i> , <i>Delonix regia</i>	239

Anexo 2. Presencia, abundancia, eventos individuales y horarios de actividad por especie.

Especie	Abundancia						Σ	Eventos individuales	Horarios actividad
	E1	E2	E3	E4	E5	E6			
<i>Ardea herodias</i>		1					1	1	09:00 - 10:00 h
<i>Tigrisoma mexicanum</i>			4				4	5	07:00 - 18:00 h
<i>Leptotila verreauxi</i>	5	5		6	6		22	30	08:00 - 19:00 h
<i>Psilorhinus morio</i>	1	1		2			4	5	12:00 - 13:00 h
<i>Ortalis vetula</i>	5	3	2	3	4	2	19	26	07:00 - 19:00 h
<i>Geococcyx californianus</i>						1	1	1	10:00 - 11:00 h
<i>Arremonops rufivirgatus</i>	4	4	1		1		10	15	08:00 - 17:00 h
<i>Toxostoma longirostre</i>		1					1	1	13:00 - 14:00 h
<i>Colinus virginianus</i>	7						7	7	18:00 - 19:00 h
<i>Turdus grayi</i>			1				1	1	13:00 - 14:00 h
<i>Canis lupus familiaris</i>	1	3	1	7			12	12	07:00 - 16:00 h
<i>Cuniculus paca</i>	2	3	1	1	1	1	9	319	20:00 - 06:00 h
<i>Dasypus novemcinctus</i>		1			1		2	2	23:00 - 01:00 h
<i>Didelphis marsupialis</i>	2			2	1	2	7	7	00:00 - 06:00 h
<i>Didelphis virginiana</i>		1				2	3	3	22:00 - 01:00 h
<i>Philander opossum</i>		1	2		1		4	4	21:00 - 02:00 h
<i>Leopardus pardalis</i>		1		2	2		5	5	22:00 - 04:00 h
<i>Lynx rufus</i>						1	1	1	02:00 - 03:00 h
<i>Herpailurus yagouaroundi</i>		1				1	2	2	07:00 - 20:00 h
<i>Sylvilagus floridanus</i>	8	8	1	4	3	5	29	39	16:00 - 11:00 h
Rodentia (rata)						2	2	5	20:00 - 06:00 h
Rodentia (ratón)	1					6	7	14	22:00 - 03:00 h
Rodentia						6	6	3	
<i>Nasua narica</i>	1	1		1	4	2	9	15	14:00 - 07:00 h
<i>Procyon lotor</i>	5	7	6				18	23	20:00 - 06:00 h
<i>Sciurus aureogaster</i>	1				1		2	3	07:00 - 18:00 h
<i>Trachemys venusta</i>		1					1	2	12:00 - 17:00 h
ABUNDANCIA	43	43	19	28	25	31	189	551	
RIQUEZA	13	17	9	9	11	12			



This work is under a license a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.