



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Evaluación del efecto ecológico de la domesticación de la pitaya (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum) sobre la asociación de comunidades de artrópodos en Techaluta de Montenegro, Jalisco, México

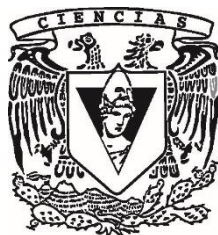
T E S I S

QUÉ PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

(B I Ó L O G O)

P R E S E N T A:

Bruno Leyva Gutiérrez



DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Johnattan Hernández Cumplido
Ciudad Universitaria, CD. MX. 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno

Leyva Gutiérrez

Bruno

leyvabg98@ciencias.unam.mx

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

314071439

2. Datos del tutor

Dr.

Johnattan

Hernández

Cumplido

3. Datos del sinodal 1

Dra.

María Guadalupe

Barajas

Guzmán

4. Datos del sinodal 2

Dra.

Ana Paola

Martínez

Falcón

5. Datos del sinodal 3

Dr.

Arturo

García

Gómez

6. Datos del sinodal 4

M. en C.

Alicia

Rojas

Ascencio

7. Datos del trabajo escrito

Evaluación del efecto ecológico de la domesticación de la pitaya (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum) sobre la asociación de comunidades de artrópodos en Techaluta de Montenegro, Jalisco, México

88 pp.

2022

A mi familia

Quienes me han apoyado siempre y son el motor de mi vida.

A mi madre Soledad, Rosalía y a mi padre Agustín

Quienes han visto por mí en todo momento y confían en mí para cumplir todas mis metas.

A mis hermanos Daniela, Emiliano, Daniel y Fabian

Quienes le dan sentido a mi vida y hacen que cada día sea mejor.

A mis tíos Daniel, Agustín y Soledad

Quienes me han enseñado a ser la persona que soy hoy.

Gracias a ellos aprendí a no rendirme, a esforzarme cada día

y a siempre buscar lo que me haga más feliz en el mundo.

“La diferencia entre una persona exitosa y una que no lo es, no es la falta de fuerza o de conocimiento, es la falta de voluntad”.

Vincent Thomas Lombardi

AGRADECIMIENTOS

Al doctor Johnattan Hernández Cumplido por ser un asesor tanto en lo académico, como en lo personal y convertirse en un gran amigo, quien me ha indicado el camino en más de un aspecto de mi vida y en más de una ocasión.

A la doctora Ana Paola Martínez Falcón por la disposición, la paciencia para enseñarme y ayudarme a comprender los análisis utilizados en este estudio, así como por su orientación, comentarios y apoyo para el término de este trabajo.

A la doctora Verónica Zamora Gutiérrez quien sin su trabajo en Techaluta, esta obra no hubiera podido ser, así como por su orientación.

A los doctores Arturo García Gómez, María Guadalupe Barajas Guzmán y a la Maestra Alicia Rojas Ascencio por sus comentarios e instrucción para facilitar el término de este trabajo.

A las familias Trill, De los Santos, Alcántara y a la gente del pueblo Techaluta de Montenegro, por brindarnos información acerca del cultivo de pitaya y brindarnos un espacio seguro y gran amabilidad para el desarrollo de mi tesis, haciéndome sentir como si fuera mi segundo hogar.

A Alexis Bernal y Erick Rojas por el apoyo en mi muestreo, por su tolerancia, por ayudarme a crecer como persona y por su gran amistad.

A Michelle Ramírez por el apoyo en la elaboración de los mapas presentados en este trabajo y por su amistad.

A Susana Alatraste, Jaime Solís, Violeta Jiménez, Araceli Romero, Fernanda Vieyra, Sofía García, Luis Juárez, Eloisa Clain, Erick Cruz, Brenda Monroy, Aysha Molina y Fabiola Buendía por su apoyo para concluir este trabajo, y ser más que colegas de laboratorio, ser amigos incondicionales.

A Alexis Wences, Mariana Rosendo, David Domínguez, Brenda Martínez y muchos más amigos por brindarme una amistad sincera y apoyarme siempre que lo necesité.

A todos aquellos que me apoyaron en el ámbito académico y personal, sin los cuales no hubiera podido completar mi licenciatura y haberme convertido en la persona que soy ahora.

Al taller de Ecología Terrestre y Manejo de Recursos Bióticos, al Laboratorio de Interacciones y Procesos Ecológicos y al Laboratorio de Agroecología, por ser parte de mi formación y por toda la retroalimentación en mi proceso de aprendizaje y los momentos vividos con su gente.

A los apoyos económicos del proyecto aportados por la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Lagunas (JIMAL) y por parte del proyecto Relación de la domesticación de la guayaba (*Psidium guajava* L.) con niveles tróficos superiores (proyecto IN206422), sin los cuales este proyecto no hubiera podido realizarse.

Índice

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 7 |
| I. INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1.1 La domesticación en la agricultura y síndromes de domesticación..... | 9 |
| 1.2 La domesticación y su efecto en artrópodos..... | 13 |
| 1.3 Situación actual del cultivo de pitaya (<i>Stenocereus queretaroensis</i>) | 19 |
| 1.4 Justificación | 24 |
| II. OBJETIVOS | 25 |
| 2.1 General..... | 25 |
| 2.2 Particulares | 25 |
| III. HIPÓTESIS | 26 |
| IV. MÉTODOS | 27 |
| 4.1 Descripción de los sitios de muestreo | 27 |
| 4.2 Metodología..... | 30 |
| 4.2.1 Muestreo de artrópodos | 30 |
| 4.2.2 Colecta por trampas de caída | 30 |
| 4.2.3 Evaluación de herbivoría..... | 32 |
| 4.3 Trabajo de laboratorio | 33 |
| 4.4 Pruebas estadísticas..... | 34 |
| V. Resultados..... | 36 |
| 5.1 Composición y distribución de órdenes de artrópodos en variedades de pitaya | 36 |
| 5.2 Riqueza, abundancia y composición de artrópodos | 38 |
| 5.3 Herbivoría sobre tallos de <i>Stenocereus queretaroensis</i> | 41 |
| VI. Discusión | 42 |
| 6.1 Composición de la comunidad de artrópodos en respuesta a la domesticación de pitaya | 43 |
| 6.2 Riqueza, abundancia y composición de las comunidades de artrópodos en respuesta a la domesticación de pitaya..... | 50 |
| 6.3 Efecto de la domesticación de pitaya en la herbivoría y las interacciones planta-herbívoro; determinación de la existencia de disyuntivas (<i>trade-offs</i>) rendimiento-defensa. | 52 |
| 6.4 Conservación de variedades de pitaya | 60 |
| VII. Conclusiones | 64 |
| Literatura citada | 65 |
| Anexo 1 | 76 |
| Anexo 2..... | 77 |
| Anexo 3..... | 77 |

Leyva-Gutiérrez, B. 2022. Evaluación del efecto ecológico de la domesticación de la pitaya (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum) sobre la asociación de comunidades de artrópodos en Techaluta de Montenegro, Jalisco, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 88 pp.

RESUMEN

La selección artificial en plantas promueve la divergencia entre las plantas silvestres y domesticadas. Caracteres reproductivos como los frutos son los más evidentemente alterados por la selección y debido a que estos requieren gran cantidad de recursos, se esperan disyuntivas (*trade-offs*) entre la asignación de recursos a defensa y el rendimiento de los cultivos. Estos efectos pueden tener consecuencias en la comunidad de artrópodos asociados a las plantas ya sean silvestres, criollas (con domesticación incipiente) o variedades comerciales (con mayor énfasis en su domesticación). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto ecológico de la domesticación de *Stenocereus queretaroensis* sobre las comunidades de artrópodos, así como la susceptibilidad a herbivoría de la variedad comercial (variedad mamey), las variedades criollas (amarilla, blanca, morada y tenamaxte) y plantas silvestres en Techaluta de Montenegro, Jalisco, México. Para ello, se realizó un muestreo de artrópodos por medio de trampas de caída durante abril de 2019 (periodo reproductivo de la planta), comparando parámetros de riqueza, abundancia, diversidad y similitud entre variedades. También se evaluó el daño en tallos ocasionado por dos herbívoros (*Cactophagus spinolae* y una polilla barrenadora [Lepidoptera: Pyralidae]). Se colectaron 24,927 individuos, pertenecientes a 284 morfoespecies y 21 órdenes de artrópodos. La variedad blanca tuvo los mayores valores de riqueza y diversidad, y menores valores de abundancia, lo cual sugiere comunidades con una alta equidad; la variedad mamey, y las variedades morada y tenamaxte presentaron valores de riqueza y diversidad más altos en comparación con silvestre y la variedad amarilla.

Los resultados de este estudio evidencian que las variedades criollas y la variedad mamey fungen como reservorios de diversidad para las comunidades de artrópodos asociadas; por su parte, la incidencia de daño sobre los tallos por ambos herbívoros evaluados fue mayor en plantas silvestres en comparación con variedades domesticadas; a su vez, las variedades criollas tuvieron mayor daño de herbivoría en comparación a la variedad mamey; este resultado muestra que las variedades criollas podrían fungir como factores de resiliencia para los cultivos de pitaya, los cuales son dominados actualmente por la variedad mamey. Se sugiere que la estructura de artrópodos asociada y la preferencia de herbívoros por las plantas criollas podría evidenciar que en el sistema de domesticación de pitaya no existen aún disyuntivas entre el rendimiento de las plantas y los caracteres defensivos; sin embargo, los efectos observados sobre las comunidades de artrópodos podrían no ser ajenos a factores relacionados con la domesticación y la influencia humana, como la domesticación incipiente de las variedades criollas (con menor intensidad de selección), lo cual ha prevenido el desarrollo de plagas agrícolas en este sistema debido a una transición efectiva de artrópodos a variedades domesticadas; lo que ha evitado la dominancia de especies potencialmente peligrosas para el cultivo.

Palabras clave: agroecosistema, plantas silvestres, cultivadas, centro de origen, variedades criollas, diversidad de artrópodos, plagas agrícolas.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 La domesticación en la agricultura y síndromes de domesticación

Las plantas a lo largo de millones de años han sido condicionadas por factores ambientales e interacciones ecológicas, las cuales han establecido la evolución de las mismas; sin embargo, hace aproximadamente 13,000 años el humano comenzó con el manejo de especies vegetales potencialmente aprovechables como fuentes de alimentación y centró sus esfuerzos en desarrollar, resaltar y perpetuar caracteres para su uso (Wink, 1988; Palumbi, 2001; Gepts, 2010); modificando de manera empírica la genética de las plantas aprovechándose de cuellos de botella, deriva génica; y mutaciones, a través de la selección diferencial de fenotipos y la propagación de los mismos (Gepts, 2010).

Además de las presiones genéticas, las plantas en sistemas agrícolas de cultivo (agroecosistemas) se ven condicionadas a presiones ambientales muy diferentes a las que están expuestas las plantas silvestres; como pueden ser la composición y disponibilidad de recursos del suelo, la reducción en la heterogeneidad ambiental, la fertilización y la disponibilidad de agua proveniente del riego de cultivos (Chen *et al.*, 2015); así mismo, en ocasiones los cultivos se desarrollan en regiones ajenas al centro de origen de la planta, por lo que las condiciones en las que se desarrollan las plantas son contrastantes a diferencia de su región de origen, así como sus interacciones con la fauna de la región (Chen *et al.*, 2017).

En su conjunto las presiones humanas (manejo genético y de agroecosistemas) sobre las especies vegetales, constituyen el proceso de domesticación agrícola, el cual es gradual y continuo, y deriva en el desarrollo de caracteres con fines de aprovechamiento (Evans, 1993; Turcotte *et al.*, 2014; Chen

et al., 2017); los cuales no hubieran sido posibles, ni sostenibles en ambientes silvestres (Evans, 1993).

Algunos caracteres únicos reportados en plantas domesticadas son: gigantismo de órganos cosechables (frutos, raíces, semillas, entre otros), reducción y sincronización de los tiempos generacionales, obtención temprana de frutos (Rosenthal y Dirzo, 1997), incremento en el tiempo de retención de frutos o semillas, simplificación de la arquitectura de la planta, reducción de la dormancia de semillas, alteración de la fenología, reducción de la concentración de metabolitos secundarios y el mejoramiento de sabor (Chen *et al.*, 2018).

La modificación de caracteres derivada de la selección artificial va siempre en un beneficio para el ser humano; sin embargo, existe un desbalance para otros caracteres, los cuales se ven comprometidos gracias a esta selección diferencial; por ejemplo: la pérdida de latencia de las semillas, mecanismos de dispersión o defensa contra enemigos naturales (Chen *et al.*, 2015; Hernández-Cumplido *et al.*, 2018); siendo estos últimos los cuales se ha teorizado se ven afectados en mayor medida, en favor de caracteres relacionados a el rendimiento agrícola (reproducción y énfasis en el órgano bajo selección (hojas, raíces, y frutos) debido al gran gasto de recursos que estos caracteres conllevan (Fig. 1; Anaya *et al.*, 2001; Hernández-Cumplido *et al.*, 2018).

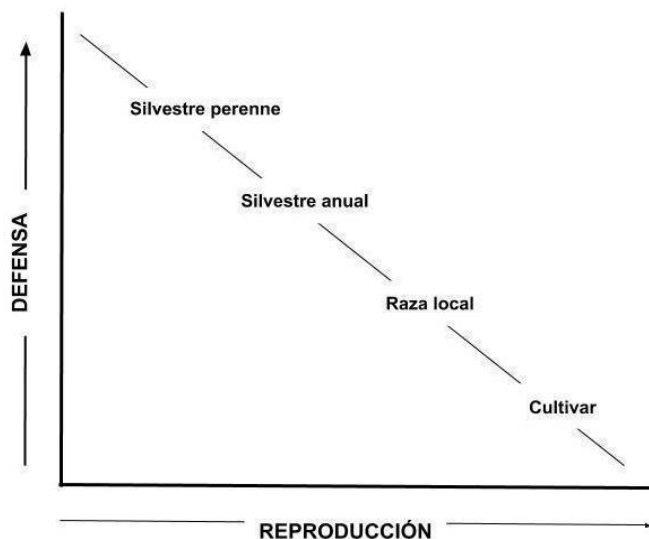


Figura 1. Correlación de la distribución de recursos reproducción (rendimiento)-defensa en plantas silvestres con diferentes hábitos, razas locales (también llamadas variedades criollas), con domesticación baja-moderada (domesticación incipiente) y plantas sujetas a cultivo con domesticación moderada-alta. Modificada de: Rosenthal y Dirzo (1997).

El conjunto de caracteres expresados por las plantas sujetas a selección artificial son conocidos como: “síndromes de domesticación” (Rosenthal y Dirzo, 1997; Anaya *et al.*, 2001; Chen *et al.*, 2015; Hernández-Cumplido *et al.*, 2018).

La base fisiológica de estos síndromes es la reasignación de los recursos, los cuales la planta por sí misma es capaz de realizar entre los caracteres blanco de selección, la defensa y el crecimiento, este fenómeno es conocido en la literatura como disyuntivas o *trade-offs* (Mole, 1994; Rosenthal y Dirzo, 1997; Reich *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2015).

En el trabajo de Turcotte y colaboradores (2014) se hace una recopilación de distintos autores que describen tres posibles causas no mutuamente excluyentes por las cuales la disminución de caracteres defensivos tiene lugar en plantas seleccionadas para uso humano (Cuadro 1):

Cuadro 1: Lista de teorías recopiladas por el trabajo de Turcotte y colaboradores (2014) las cuales predicen las causas por las cuales ocurre la reducción de defensas en plantas domesticadas.

| Autor | |
|---------------------------------------|---|
| Evans (1993) | <ul style="list-style-type: none"> • La selección se enfoca en la eliminación de caracteres defensivos debido a su potencial toxicidad o mal sabor al consumo. |
| Mole (1994); Rosenthal y Dirzo (1997) | <ul style="list-style-type: none"> • De manera indirecta la defensa se reduce por disyuntivas (<i>trade-offs</i>) en favor del rendimiento del cultivo. |
| Meyer y colaboradores (2012) | <ul style="list-style-type: none"> • Los genes asociados a caracteres de defensa se ven comprometidos debido a cuellos de botella genéticos y deriva genética. |

Retomando las ideas de estos trabajos, diversos autores (Mirnezhad *et al.*, 2010; Chen y Bernal, 2011; Rodríguez-Saona *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2015; Chacón-Fuentes *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2018; Hernández-Cumplido *et al.*, 2018; Hernández-Cumplido *et al.*, 2021) han puesto a prueba la teoría de domesticación-reducción de defensas por medio de estudios comparativos entre plantas silvestres y plantas domesticadas, con ello añadiendo nuevas teorías y resultados a la discusión.

Whitehead y colaboradores (2016), por medio de un meta-análisis encontraron que la resistencia de plantas contra herbívoros decrece en al menos 73 plantas bajo cultivo; sin embargo, esta reducción de resistencia no es consistente entre los rasgos de defensa como los son metabolitos secundarios o caracteres físicos, los cuales en ocasiones incrementan su contenido y/o tamaño, o bien decrecen durante la domesticación sin un efecto de supresión mutua (Leiss *et al.*, 2013; Whitehead *et al.*, 2016).

Sin embargo, Mole (1994) expone que las disyuntivas (*trade-offs*) en plantas

no suelen presentarse únicamente entre caracteres de defensa o de reproducción, el mismo autor sugiere la existencia de sumideros de recursos adicionales como son órganos de almacenamiento (ej. Cormos, bulbos, rizomas, tubérculos), la resistencia al estrés abiótico, en las interacciones mutualistas (ej. néctar, polen, atrayentes) y en la capacidad competitiva).

Así pues, la domesticación se ha postulado como un modelo para evaluar y comprender cómo la selección artificial y las condiciones de los agroecosistemas; afectan el genotipo y el fenotipo de las plantas bajo cultivo, y a su vez cómo esta variación impacta las comunidades de organismos asociadas; al modificarse la composición de las redes tróficas interactuantes (Chao *et al.*, 2011; Chen y Bernal, 2011; Michaud, 2011; Laurin-Lemay *et al.*, 2013;).

1.2 La domesticación y su efecto en artrópodos

Así como en los ecosistemas silvestres, existen comunidades de artrópodos asociados a las plantas en agroecosistemas, debido a su gran capacidad de movilización y a su estrecha relación con las plantas con las que interactúan los artrópodos (Chen *et al.*, 2017); sin embargo, se ha sugerido por autores como Alvarez y colaboradores (2007), y Chen y colaboradores (2015) que en estos últimos sistemas, la composición y las dinámicas tróficas de las comunidades de artrópodos se ven alteradas debido principalmente a la intervención humana directa y a los síndromes de domesticación (Chen y Bernal, 2011).

Por un lado, los agricultores mantienen una influencia constante al cambiar las características del agroecosistema por medio de actividades como el riego, fertilización, poda o bien la extracción de las estructuras bajo selección (frutos, tubérculos y hojas; Chen *et al.*, 2015); estas actividades pueden variar en su intensidad, conforme a modelos de aprovechamiento más intensos como lo son la

tecnificación de cultivos o los monocultivos con lo que puede llegarse a simplificar el paisaje, de acuerdo con una reducción de factores bióticos y abióticos presentes en comparación a los ecosistemas silvestres (Chen *et al.*, 2017).

Por otro lado, la aparición de síndromes de domesticación en periodos de tiempo relativamente cortos, evolutivamente hablando (Molina, 2014); propician que los artrópodos respondan a ambientes cambiantes de manera acelerada (Chen *et al.*, 2013), en especial aquellos cuya relación es más estrecha con la especie vegetal con la que se asocian (ej. herbívoros especialistas; Whitham *et al.*, 2010; Whitehead *et al.*, 2016); por lo cual, las redes tróficas se ven afectadas debido a cascadas tróficas en las que gremios de artrópodos (herbívoros, depredadores, parásitos y descomponedores) se adaptan de manera diferencial a los agroecosistemas dependiendo de su grado de especialización (Whitehead *et al.*, 2016).

De acuerdo a Gols y colaboradores (2008), Chen y Bernal (2011), y Chen y colaboradores (2017) la transición que los artrópodos hacen de los ecosistemas naturales a los agroecosistemas es la principal razón por la cual los artrópodos se ven afectados por la domesticación; siendo la disminución en caracteres defensivos de las plantas domesticadas un factor de menor relevancia implicado en el cambio de la estructura de las redes tróficas de artrópodos (asumiendo la existencia de la reducción defensiva en el sistema evaluado) lo cual conlleva a una reducción del control de herbívoros y otras funciones ecosistémicas (Chen y Bernal, 2011).

Algunas respuestas potenciales de las comunidades de artrópodos a los síndromes de domesticación se recopilan en distintos estudios:

- 1) Las comunidades asociadas serán menos diversas debido a la incapacidad de ciertas especies o gremios de artrópodos de adaptarse a los

agroecosistemas o bien de la adaptación más exitosa de otras (Alvarez *et al.*, 2007); reduciendo así las funciones ecosistémicas; ocasionando que las comunidades asociadas a agroecosistemas sean más simples, por ejemplo; Chen y colaboradores (2015) mencionan que en cultivos de arroz (*Oryza sativa*) la abundancia y riqueza de los artrópodos depredadores se ha reducido debido a la reducción de la abundancia y riqueza de los artrópodos descomponedores, los cuales representan una fuente de alimento alternativa para los primeros.

2) Ocurrirán explosiones demográficas de especies herbívoras potencialmente dañinas para especies vegetales; la cual promovería una dominancia de pocas especies, producto de la reducción de caracteres defensivos debido a disyuntivas (*trade-offs*) en las plantas (Gols *et al.*, 2008; Turcotte *et al.*, 2014; Hernández-Cumplido *et al.*, 2018; Hernández-Cumplido *et al.*, 2021).

Por su parte, Benrey y colaboradores (1998), y Turcotte y colaboradores (2014); señalan que la selección directa en favor del contenido nutricional y la abundancia de plantas debido a monocultivos causaría la dominancia de herbívoros sobre otros gremios en agroecosistemas.

3) Las plantas con diferentes niveles de domesticación (variedades criollas y de cultivo intensivo) pueden representar reservorios de diversidad para las comunidades de artrópodos asociadas propiciando la asociación de más artrópodos sobre las plantas domesticadas derivado de síndromes de domesticación como mayor contenido nutricional en órganos cosechables, mayor contenido en azúcares en frutos, entre otros (Chen *et al.*, 2017).

4) Por otro lado, Vía (1990) sugiere que artrópodos herbívoros generalistas tendrán un mayor éxito en los agroecosistemas, debido a las pocas exigencias de este gremio de artrópodos para establecerse en sistemas con presiones selectivas

intensas y constantes, como las presentes en los agroecosistemas (Vía, 1990; Gols *et al.*, 2008; Michaud, 2011; Medina *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2015); en los cuales se suele generalizar el uso de pesticidas, cosechas periódicas, siembra, riego, fertilización (Turcotte *et al.*, 2015) y demás prácticas agrícolas las cuales aceleran la evolución de plagas, a partir del establecimiento de comunidades generalistas.

Aunado a esto, autores como Ali y Agrawal (2012) proponen que las especies de herbívoros especialistas son más resistentes a las defensas vegetales en comparación a los generalistas, debido a su relación coevolutiva con la especie vegetal (Ali y Agrawal, 2012), siendo precisamente esta relación la cual permitiría el establecimiento de los artrópodos especialistas constituyéndose así comunidades equitativas.

Debido a estas probables respuestas de las comunidades de artrópodos asociadas (especies y gremios), el enfoque más común abordado en la literatura es la evaluación de la teoría domesticación(rendimiento)-reducción de defensas (Mole, 1994); pues al abordar esta cuestión se busca identificar y evitar posibles riesgos para la producción agrícola (Chen *et al.*, 2017).

Algunos estudios enfocados en determinar la existencia de disyuntivas (*trade-offs*) entre el rendimiento de cultivos y la defensa vegetal, han abordado esta cuestión de manera indirecta, por medio de la comparación entre las comunidades de artrópodos asociados a plantas silvestres y domesticadas de arroz (*Oryza sativa*; Chen *et al.*, 2013) y de murtilla (*Ugni molinae*; Chacón-Fuentes *et al.*, 2016); en ambos casos se han encontrado una menor complejidad en las redes tróficas asociadas a agroecosistemas; es decir, poseen una menor riqueza y abundancia de artrópodos asociados; así como, reducciones en sus funciones ecosistémicas como lo son el control de herbívoros (Chen y Bernal, 2011).

Por un lado, en el estudio de Chen y Bernal (2011) se reportó la herbivoría en plantas de arroz (*O. sativa*) silvestres y domesticadas por parte de barrenadores de tallo y la abundancia de herbívoros.

En primer lugar, sus resultados mostraron mayores infestaciones de larvas de barrenadores de tallo en plantas cultivadas en comparación a plantas silvestres (Chen y Bernal, 2011). En segundo lugar, en el estudio no se encontraron diferencias generales en cuanto a la abundancia de herbívoros; ambos resultados denotan que la domesticación ha influenciado positivamente a diferentes especies de herbívoros (manteniendo sus poblaciones y propiciando la explotación de recursos) pero no a toda la comunidad ni todos los herbívoros.

Por su parte, Chacón-Fuentes y colaboradores en su estudio de 2016 tuvieron un enfoque similar comparando plantas de murtila (*Ugni molinae*) silvestres y cultivadas; encontrando un mayor daño sobre plantas cultivadas y adicionalmente una mayor diversidad de insectos asociada a las mismas. Estos autores sugieren que en solo 20 años de domesticación de murtila se han modificado caracteres defensivos en pro de caracteres alimenticios como antioxidantes y flavonoides en el fruto, presentándose una evidente disyuntiva (*trade-off*) en este sistema de cultivo.

En el caso particular del el arroz y murtila, ambas son plantas anuales, sobre las cuales, de acuerdo con diversos autores (Fuller *et al.*, 2011; Hernández-Cumplido y Chávez-Pesqueira, 2021), los efectos de domesticación serán evidentes más rápido en comparación a plantas perennes debido a sus características (ciclos de vida más cortos y más cambios generacionales en las plantaciones) por lo que existe una gran necesidad de estudios sobre plantas perennes con enfoques similares.

Además, otro aspecto a destacar es que estudios centrados en

agroecosistemas presentan un problema evidente, pues se caracterizan por evaluar las interacciones artrópodo-planta fuera de centros de origen de domesticación (Chen *et al.*, 2017); siendo los estudios de Chen y Bernal (2011), Chen y colaboradores (2013), Chen y colaboradores (2015), Chacón-Fuentes y colaboradores (2016), y Chen y colaboradores (2018) algunos de los pocos desarrollados en centros de origen de domesticación.

De acuerdo con Gols y colaboradores (2008), y Chen y colaboradores (2017); estudios en centros de origen de domesticación tienen el enfoque más adecuado para conocer la evolución de plantas domesticadas y de su ecología pues:

1) Es posible desarrollar estudios comparativos entre plantas en ecosistemas silvestres con respecto a plantas cultivadas (en agroecosistema) sujetas a presiones abióticas, bióticas y humanas (selección artificial) contrastantes entre sí.

2) Retomando el aspecto anterior, se pueden estudiar a las comunidades asociadas por medio de un enfoque ecológico-evolutivo, para evaluar como las presiones selectivas influyen en el establecimiento de artrópodos en ambientes en constante cambio y/o como el mismo proceso de domesticación puede o no fungir como un diversificador de las comunidades de artrópodos (Chen *et al.*, 2013).

3) Lo cual a su vez posibilita la evaluación de la transición de artrópodos de ecosistemas silvestres a agroecosistemas, en especial cuando la superficie agrícola se expande y la producción agrícola se intensifica, provocando que los artrópodos aprovechen plantas cultivadas de manera desmedida poniendo en riesgo los cultivos.

Este último aspecto es posible evaluarse por medio de la presencia de organismos de gremios alimenticios de artrópodos capaces de migrar o no a los agroecosistemas dependiendo del grado de especialización de sus hábitos y

alimentación (Gols *et al.*, 2008; Chen y Bernal 2011; Chen *et al.*, 2017).

Por ejemplo: los artrópodos especialistas son más susceptibles a esta transición debido a su menor capacidad adaptativa a los cambios de nicho que la domesticación supone (Gols *et al.*, 2008); sin embargo, son menos susceptibles a defensas vegetales (Ali y Agrawal 2012).

Por otro lado, artrópodos generalistas tendrían una mayor facilidad para adaptarse a agroecosistemas, por lo cual si son encontrados en alta abundancia podrían indicar una transición efectiva e inclusive una reducción de defensas vegetales a las cuales en teoría son más sensibles los artrópodos de este gremio; aunque de acuerdo con Ali y Agrawal (2012), este paradigma (planta-generalista-especialista) aún no ha sido consolidado ni eliminado como un modelo de coevolución planta-artrópodo.

4) Por último, los estudios situados en centros de origen no poseen un sesgo geográfico o ecológico de la región ajena al centro de origen de la planta cultivada, siendo posible identificar especies claves que ya aprovechan las plantas en el medio silvestre y podrían responder de manera favorable en agroecosistemas (Chen *et al.*, 2017).

Finalmente, entender como el ensamblaje de comunidades responde a la selección humana y al cultivo, puede ser clave para que los productores comiencen a tomar en cuenta caracteres defensivos y a las comunidades de artrópodos en el control de plagas con el fin de desarrollar mejores estrategias de manejo agrícola.

1.3 Situación actual del cultivo de pitaya (*Stenocereus queretaroensis*)

Stenocereus queretaroensis mejor conocida como pitaya es una cactácea columnar arborescente (Fig. 2) endémica de la región occidental del territorio mexicano presente en zonas áridas y semiáridas (Pimienta-Barrios y Nobel, 1994; Pimienta-

Barrios, 1999; Corrales, 2002; De la Barrera y Nobel, 2003).



Figura 2. Individuo silvestre de *Stenocereus queretaroensis* en la localidad de Techaluta de Montenegro, Jalisco, México. Foto por: Brenda Monroy.

Los frutos de esta especie (Fig. 3) representan un recurso alimenticio en regiones áridas donde históricamente se han extraído de plantas silvestres (Martínez-González, 2010); por ello, los pobladores de las regiones de los estados de: Jalisco, Colima, Michoacán, Querétaro y Zacatecas (Corrales, 2022); han mantenido su cultivo agrícola, desde hace más de 100 años, en traspatios y parcelas (Fig. 4; Enrique Pimienta-Barrios, 1999).



Figura 3. Fruto de *S. queretaroensis* (pitaya). Foto por: Alexis Bernal.



Figura 4. Aspecto y distribución de *S. queretaroensis* bajo cultivo en las parcelas donde se realizó el estudio. Foto por: Bruno Leyva-Gutiérrez.

Bajo estos modelos de cultivo, la explotación de frutos se convirtió rápidamente en una alternativa económica viable, en particular en regiones como la cuenca de Sayula en Jalisco (Pimienta-Barrios y Nobel, 1994; Tremlett *et al.*, 2021), en donde hace 50 años, se comenzó un proceso de tecnificación y extensión de los cultivos, para aumentar la producción agrícola, en respuesta a la creciente demanda en la región (Pimienta-Barrios *et al.*, 1997; Pimienta-Barrios, 1999; Tremlett *et al.*, 2021).

Además, el cultivo de pitaya tiene la cualidad de requerir el mínimo esfuerzo para los productores, pues el manejo agrícola es reducido; donde, únicamente se requiere de riego ocasional y el uso de enraizadores en los primeros años de establecida la planta (~2 años) para ayudar en el desarrollo de las plantas jóvenes; asimismo, *S. queretaroensis* es una especie tolerante a sequías y suelos con bajo contenido en nutrientes (Pimienta-Barrios, 1999; Tremlett *et al.*, 2021).

Debido a estas características y a la gran derrama económica que la venta de frutos genera (\$50,000 pesos por hectárea; Tremlett *et al.*, 2021) en solo dos meses y medio correspondientes a la época reproductiva (abril, mayo y junio); en las

últimas décadas, se ha buscado extender su cultivo a regiones áridas y semiáridas con necesidad de especies cultivables que soporten las condiciones de dichas regiones. Además, se ha intentado su cultivo fuera del país (Arriaga *et al.*, n.d.; Ricardo Navarro Hernández, extensionista del área com. pers.).

El sitio en el que se desarrolló este estudio es el municipio de Techaluta de Montenegro; ubicado en la cuenca de Sayula, Jalisco; en donde el sistema económico establecido alrededor de la pitaya está basado en el comercio de frutos a pie de carretera, o bien en ciudades cercanas como Guadalajara o Ciudad Guzmán, y en la venta de productos derivados tales como: pan, mermeladas, licor, salsas y gelatinas maximizando así la derrama económica de este cultivo de unos meses a todo el año (obs. pers.).

En la actualidad, se cultivan al menos ocho variedades de pitaya (Arriaga *et al.*, n.d.; Salcedo, 1991), las cuales se diferencian por el tamaño del fruto, el color y sabor de la pulpa (diferencias más evidentes; Bernal-González, n.d.); estas son: mamey, roja, tenamaxte, amarilla, blanca cristalín, morada, roja montero y blanca montero (Salcedo, 1991; Pimienta-Barrios y Nobel, 1994).

La variedad mamey se ha mantenido más tiempo bajo cultivo (~100 años) y cuenta con la mayor cantidad de ejemplares cultivados en las parcelas del municipio (Pimienta-Barrios y Nobel, 1995); también, se menciona es la variedad más susceptible al aborto de flores y frutos (se marchitan debido a la sobreproducción), y tiene el menor porcentaje de establecimiento de esquejes; requiriendo la siembra de una gran cantidad de los mismos para el desarrollo de una parcela típica de pitaya; esta variedad representa cerca del 80% de las plantas presentes en una parcela (Pimienta-Barrios *et al.*, 1997).

Las demás variedades cultivadas en el municipio (variedades criollas); de

manera general, se menciona tienen una menor demanda por el consumidor, por lo cual la superficie de cultivo destinada a estas variedades no es tan extensa en comparación a mamey (Bernal-González, n.d.).

Las parcelas establecidas en Techaluta de Montenegro, tienen la característica de ser establecidas a partir de esquejes (clones); debido al crecimiento lento de la planta por ser una cactácea, por lo cual el aprovechamiento de los frutos; es posible solo hasta después de cinco años; por lo que se ha descartado el uso de semillas pues la obtención de frutos comienza alrededor de quince años (Candelario Alcántara, productor de la región com. pers.).

Se ha reportado que sistemas de cultivo a partir de esquejes como el establecido en Techaluta, erosionan gradualmente la diversidad genética y fenotípica de las especies aprovechadas (McKey *et al.*, 2010), lo cual ha conllevado a la ocurrencia de situaciones negativas para los cultivos como pueden ser: pérdida de defensas vegetales, reducción de latencia de semillas, pérdida de la capacidad adaptativa, entre otras (McKey *et al.*, 2010); por este motivo se ha sugerido el uso de plantas provenientes de semilla en el cultivo de pitaya; sin embargo, pocos productores lo hacen en la actualidad (Bernal-González, n.d.).

De acuerdo con la disponibilidad y abundancia de las variedades en las parcelas de Techaluta de Montenegro; se consideraron solo cinco variedades de pitaya: mamey, tenamaxte, amarilla, morada y blanca, de las cuales la variedad mamey se consideró como la de mayor énfasis en su domesticación y más derivada en comparación a silvestre, de acuerdo a las características ya expuestas, el tiempo de cultivo (~100 años) y extensión de cultivo (80% del total de pitayas cultivadas en Techaluta; Pimienta-Barrios *et al.*, 1997); por su parte, las variedades tenamaxte, morada, amarilla y blanca se consideró que poseen una domesticación incipiente

(criollas) y menor extensión cultivo (<20% del total de pitayas cultivadas en Techaluta; Pimienta-Barrios *et al.*, 1997).



Figura 5. Esquema de domesticación de las variedades cultivadas y silvestres de *S. queretaroensis*, según productores de la región. Los cuadros de colores indican el fruto de la variedad indicada. Fotos por: Consejo pitayero de Techaluta.

1.4 Justificación

La domesticación agrícola se ha planteado como un modelo ideal para el estudio de la evolución de plantas y de su ecología evolutiva; algunos de los estudios enfocados, han abordado a las disyuntivas (*trade-offs*) entre el aumento en el rendimiento de los cultivos y la reducción defensiva, considerando plantas bajo cultivo y sus contrapartes silvestres, así como el efecto en las interacciones tróficas fuera de centro de origen de domesticación.

Los estudios enfocados en conocer la dinámica de las redes tróficas de artrópodos asociados con diferentes gremios de alimentación y especificidad en plantas domesticadas se vuelven necesarios, para detectar posibles riesgos en la producción agrícola en diferentes sistemas de cultivo.

México representa el centro de origen de domesticación de *Stenocereus queretaroensis*, en particular Techaluta de Montenegro, Jalisco; donde, además, la demanda local ha llevado al uso de monocultivos de la principal variedad de uso económico (variedad mamey), sin considerar las variedades criollas ni los efectos en

las interacciones planta-artrópodo.

Este estudio en el municipio de Techaluta de Montenegro, Jalisco permite evaluar aspectos ecológicos y evolutivos del cultivo de *S. queretaroensis* en un centro de origen de domesticación, en donde representa una actividad de gran importancia económica y alimenticia; lo que posibilita generar conocimiento clave para desarrollar estrategias de conservación de la variación genética de pitaya, y para su aplicación en la selección y fitomejoramiento del cultivo, así como exponer su vulnerabilidad ante potenciales plagas y uso de artrópodos como control biológico.

II. OBJETIVOS

2.1 General

Evaluar el efecto ecológico de la domesticación de pitaya (*Stenocereus queretaroensis*), a través del análisis y la comparación de las comunidades de artrópodos asociados a la variedad mamey, las variedades criollas y plantas silvestres de pitaya en Techaluta de Montenegro, Jalisco, México.

2.2 Particulares

1. Conocer las comunidades de artrópodos asociadas a la variedad mamey, las variedades criollas y plantas silvestres de *Stenocereus queretaroensis*; así como analizar y hacer una comparación estadística de sus parámetros comunitarios de riqueza, abundancia y composición, para determinar el efecto ecológico de la domesticación de pitaya.
2. Estimar la incidencia de herbivoría en los tallos de *S. queretaroensis* hecha por dos herbívoros (*Cactophagus spinolae* y la polilla barrenadora [Lepidoptera: Pyralidae]), para determinar si los artrópodos considerados

podieran representar plagas para el cultivo; en respuesta a una hipotética reducción de defensas producto de la selección en favor del rendimiento de los cultivos; así como establecer si las variedades criollas y la variedad mamey, son más susceptibles a la herbivoría de tallos y puntualizar lo que este aspecto podría representar para la producción agrícola y la conservación de variedades de pitaya en Techaluta de Montenegro, Jalisco.

III. HIPÓTESIS

1. Si la domesticación de *Stenocereus queretaroensis* se ha enfocado en una selección en favor de los caracteres reproductivos y de crecimiento (rendimiento), y se han reducido los caracteres defensivos en el proceso; entonces, las variedades con mayor tiempo de selección (mamey) tendrán comunidades menos diversas dominadas por herbívoros y especies generalistas, debido a la transición drástica de ambientes silvestres a mamey; a la vez que serán más disímiles con respecto a las variedades criollas y silvestres, las cuales a su vez tendrán comunidades más similares entre sí y serán más diversas debido a que de manera hipotética tendrían una menor reducción de defensas.
2. Si la domesticación de *S. queretaroensis* ha generado disyuntivas (*trade-offs*) entre la productividad y la defensa, se espera que las variedades domesticadas sean más vulnerables a herbívoros que afecten sus tallos, permitiendo el desarrollo de plagas agrícolas, lo cual será evidente al encontrarse mayor daño por herbívoros en plantas cultivadas.

IV. MÉTODOS

4.1 Descripción de los sitios de muestreo

El municipio de Techaluta de Montenegro se encuentra en la región sur de Jalisco, México (20° 5' N, 103° 33' W y a 1380 m s.n.m.) posee una extensión de 80 km², el clima en el municipio es semiárido-semicálido, la temperatura media anual es de 18.7°C con una precipitación media anual de 800 mm (Pimienta-Barrios, 1999; IIEGI, 2018).

El pueblo de Techaluta de Montenegro se ubica al este de la sierra de Tapalpa (Fig. 7), donde se hallan ejemplares silvestres de *Stenocereus queretaroensis* y cultivos de la misma, los cuales se extienden hasta una planicie arenosa remanente de la laguna de Sayula al este del pueblo (Pimienta-Barrios, 1999).

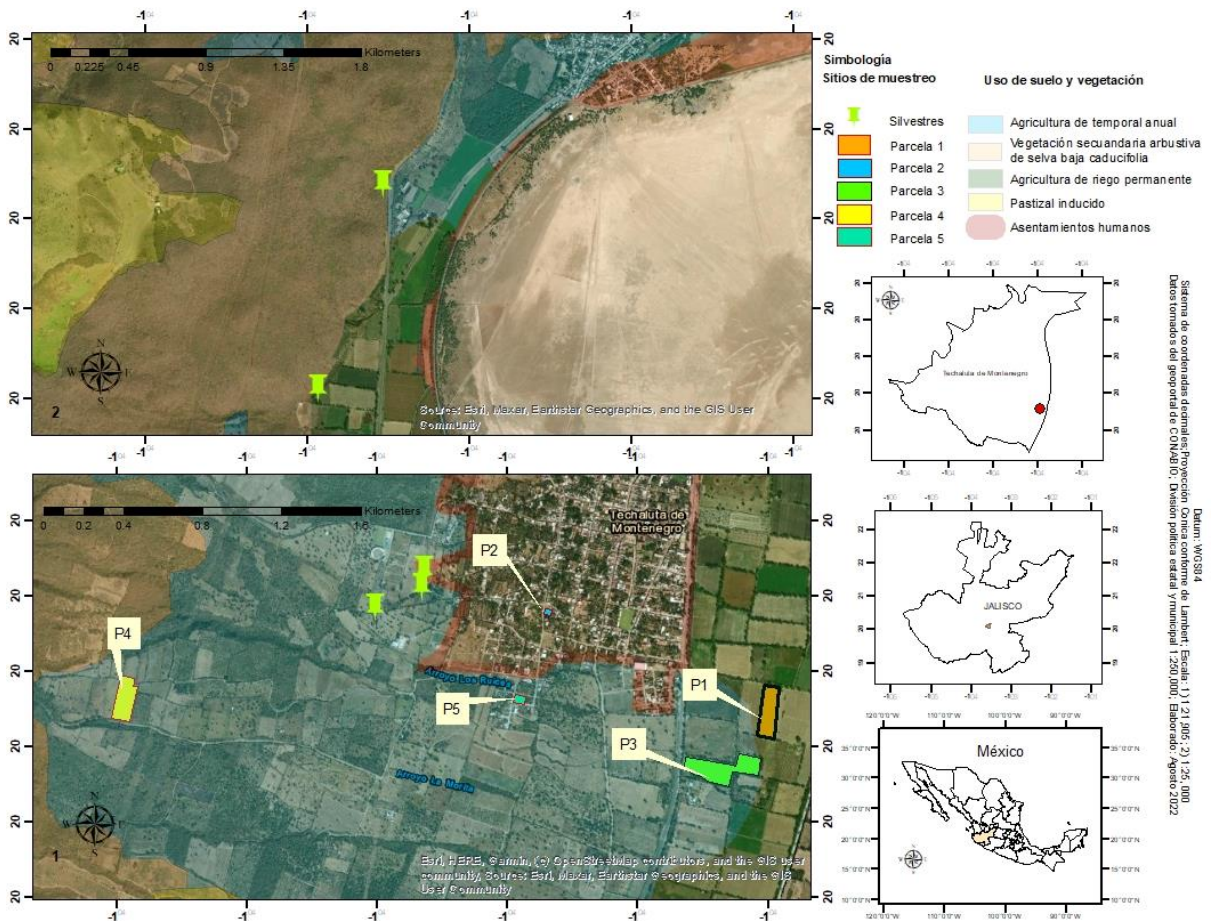


Figura 6. Mapa del Techaluta de Montenegro, Jalisco (Borde rojos), se señalan los individuos silvestres seleccionados (Pin verde) y las parcelas de estudio Parcela 1 (P1), Parcela 2 (P2), Parcela 3 (P3), Parcela 4 (P4) y Parcela 5 (P5). Mapa creado en: ArcGIS; autoría: Michelle Ramírez.

Los cultivos de *S. queretaroensis* en el municipio de Techaluta poseen individuos distribuidos de manera uniforme en hileras, con una separación de cuatro metros entre hileras y menos de un metro entre las plantas de cada hilera (Fig. 4).

Se seleccionaron cinco parcelas, cada una de ellas con representantes de las cinco variedades: amarilla, blanca, mamey, morada y tenamaxte; estas parcelas se encuentran en distintos puntos dentro y en los alrededores del municipio (las parcelas seleccionadas se les asignó la letra P y el número correspondiente, ejemplo: parcela 1, es P1, así sucesivamente).

La parcela P1 (Fig. 6), se encuentra al Este del pueblo (20° 04' 16.8" N, 103° 33' 46.5" W), en donde se concentran la mayor cantidad de cultivos de pitaya; el

manejo agrícola en esta parcela consiste en el labrado del suelo, fertilización de las pitayas por lo menos una vez al año, riego de las plantas al menos una vez al mes en temporada seca, en ocasiones se cultivan otras especies entre las hileras; sin embargo, al momento de desarrollo de este estudio no había cultivadas otras especies además de las pitayas; la parcela se encuentra bordeada por un camino de tierra en los lados Norte y Oeste, y potreros en sus lados Sur y Este.

La parcela P2 (Fig. 6) se ubica dentro del pueblo ($20^{\circ} 04' 16.4''$ N, $103^{\circ} 33' 15.6''$ W), en un traspatio bordeado por un camino pedregoso y una pared. El manejo agrícola de esta parcela consiste en el riego ocasional en época de secas.

La parcela P3 (Fig. 6) se ubica al Sureste ($20^{\circ} 04.3' 50.2''$ N, $103^{\circ} 32' 48.4''$ W); su manejo agrícola se limita al riego en época de secas, ésta es la que cuenta con la mayor cantidad de plantas cultivadas (~450) de entre las cinco parcelas seleccionadas; se encuentra rodeada de otras parcelas en sus alrededores y una carretera en su lado Oeste.

La parcela P4 (Fig. 6), es la ubicada con mayor altitud localizada al Oeste del pueblo ($20^{\circ} 03' 16.8''$ N, $103^{\circ} 34' 23.3''$ W); su manejo agrícola consiste en riego a lo largo del año y en esta parcela hay zonas donde solo se encuentra una variedad específica; la parcela se encuentra rodeada de otras parcelas de cultivo de pitaya.

La parcela P5 (Fig. 6), se encuentra dentro del pueblo ($20^{\circ} 04' 16.8''$ N, $103^{\circ} 33' 14''$ W) siendo un cultivo de traspatio; el manejo consiste en riego ocasional, la labranza de la tierra y uso de fertilizantes orgánicos; la parcela se encuentra rodeada de caminos en sus lados norte, sur y oeste y otro traspatio al este.

Los individuos silvestres considerados en este estudio se ubicaron a las afueras de la población (Fig. 6), dichos organismos se encuentran distribuidos al azar en sitios diversos en cuanto a vegetación y uso de suelo (Fig. 2; Pimienta-

Barrios, 1999) volviéndose más escasas conforme se incrementa la altitud: Silvestre 1 (20° 7'29.10" N, 103°32'43.16" W); Silvestre 2 (20°04'16.06" N, 103°33'15.69" W); Silvestre 3 (20°4'19.96" N, 103°33'35.83" W); Silvestre 4 (20° 4'22.90" N, 103°33'35.55"W) y Silvestre 5 (20° 4'16.68"N, 103°33'43.59"W).

4.2 Metodología

4.2.1 Muestreo de artrópodos

Se realizaron colectas de artrópodos asociados a *Stenocereus queretaroensis* durante el mes de abril del 2019; en cada parcela se seleccionó un individuo de cada una de las cinco variedades cultivadas; la selección de individuos se realizó, de acuerdo con la disponibilidad de la variedad en la parcela y que la planta estuviera rodeada de individuos de la misma variedad; se tomó en cuenta también que los individuos tuvieran más de 15 años siendo estos individuos usados para la producción de frutos.

Por otro lado, las cinco plantas silvestres se consideraron dependiendo si se encontraban en una matriz vegetal nativa y se consideraron con al menos 100 metros de separación entre individuos; el número total de plantas consideradas para el estudio fue de 30 (cinco por cada una de las cinco variedades y cinco silvestres).

4.2.2 Colecta por trampas de caída

Para determinar parámetros poblacionales de artrópodos asociados a plantas de pitaya se utilizaron trampas de caída (*pitfall*) que, aunque atrapan en su mayoría artrópodos terrestres, estas representan métodos de muestreo pasivo con el que se pueden obtener datos de la actividad de plagas, abundancia relativa y riqueza de especies en distintos hábitats; además, no es un método dirigido a órdenes específicos por lo que es posible realizar censos generales de la comunidad de artrópodos (Molina, 2014; McCary *et al.*, 2015). Otros métodos de colecta fueron

descartados debido a su poca eficiencia en el muestreo sobre los individuos de pitaya.

Las trampas consistieron en contenedores de plástico de 1L., a cada una de ellas se les agregó una solución de 300 ml compuesta de agua, alcohol (96°; para el preservado de los ejemplares) y etilenglicol (anticongelante; para evitar la evaporación rápida) en una proporción 1:1:1 (Fig. 7a); se enterraron a ras de suelo para que los artrópodos cayeran en la solución (Molina, 2014), una vez colocada se cubrieron con ramas o rocas para evitar perturbaciones humanas y animales (Fig. 7b).



Figura 7. Apariencia de una trampa de caída (*pitfall*) a. Vista lateral de la trampa enterrada y adicionada con la disolución de alcohol, agua y anticongelante, b. Trampa de caída oculta con diversos objetos encontrados en el sitio. Fotos por: Bruno Leyva-Gutiérrez.

El muestreo comenzó el 29 de marzo del año 2019, día en el cual se colocaron las trampas de caída (*pitfall*) en los cinco individuos silvestres; al siguiente día se colocaron las trampas en la parcela 1 (30 de marzo), los días sucesivos se colocaron en la parcela 2 (31 de marzo), la parcela 3 (1 de abril), la parcela 4 (2 de abril) y la parcela 5 (3 de abril) la metodología se desarrolló de esta manera debido al tiempo empleado en la colocación de las trampas, al tiempo de traslado a las parcelas.

En cada uno de los individuos muestreados se colocaron tres trampas separadas entre sí por aproximadamente dos metros y a menos de un metro de la

base de la pitaya para evitar dañar las raíces (Fig. 8).



Figura 8. Esquema de las tres trampas de caída (*pitfall*) colocadas alrededor de las plantas de pitaya (*S. queretaroensis*). Foto por: Bruno Leyva-Gutiérrez.

El tiempo en que las trampas estuvieron activas fue de cinco días; pasado este tiempo se retiraron en el orden en el que fueron colocadas, los días del 4 al 9 de abril; se volvieron a colocar las trampas del 10 al 15 de abril y se retiraron las trampas del 16 al 21 de abril, por tercera vez se colocaron las trampas del 22 al 27 de abril y se retiraron del 28 de abril al 3 de mayo. El número total de trampas utilizadas en el estudio fue de 270. Los ejemplares capturados se preservaron en frascos de plástico con alcohol al 70% y se etiquetaron debidamente.

4.2.3 Evaluación de herbivoría

Con ayuda de los productores de la región se identificaron dos tipos de daños dominantes sobre los tallos de *S. queretaroensis* cultivados, los cuales corresponden a: el escarabajo picudo del nopal (*Cactophagus spinolae* [Gyllenhal], 1838 [Coleoptera: Curculionidae]; Fig. 9a) y a la palomilla barrenadora ([Lepidoptera: Pyralidae]; Fig. 9b).

De cada una de las variedades; incluyendo silvestre, se seleccionaron 15 plantas distribuidas tanto en las parcelas de trabajo, así como en las inmediaciones

del pueblo (en el caso de las silvestres), sobre las cuales se realizó un censo de la incidencia de daño producido por *C. spinolae* y la polilla barrenadora la cual no se pudo identificar; aunque, se reporta que pertenece a la familia Pyralidae (Pimienta-Barrios, 1999).

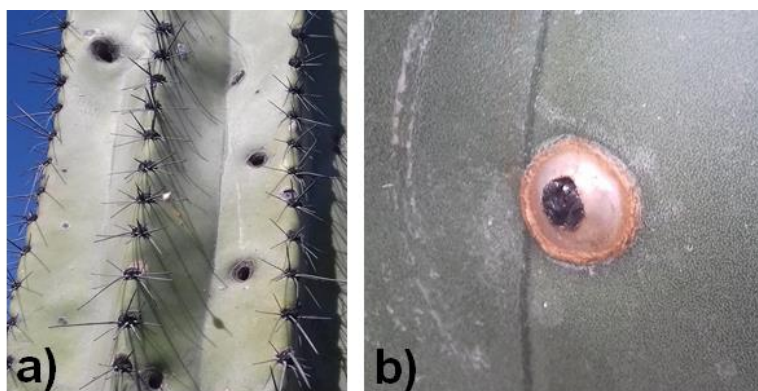


Figura 9. a) Apariencia del daño por escarabajo picudo (*C. spinolae*). b) Apariencia del daño producido por la palomilla barrenadora (Lepidoptera: Pyralidae) sobre un tallo de pitaya. Fotos por: Bruno Leyva-Gutiérrez.

Los daños producidos por estos artrópodos herbívoros se evaluaron sobre la totalidad de los tallos de las plantas seleccionadas (Aquino *et al.*, 2007) en el caso de las plantas silvestres, se consideró evaluar el daño presente a una altura similar a las plantas cultivadas (cuatro metros aprox.); la altura se midió con una cinta métrica Truper® y un gancho de carrizo utilizado para la obtención de los frutos de pitaya.

4.3 Trabajo de laboratorio

Los artrópodos colectados se identificaron con ayuda de un microscopio estereoscópico (Marca: Leica) al nivel taxonómico más fino posible, de acuerdo con la clasificación de Zhang (2013) y el uso de guías y claves de identificación de Borror y White (1970); Triplehorn y Johnson (2005) y White (1983). En caso de no poder identificar los artrópodos hasta el nivel de especie o género, se usó el criterio de morfoespecie, a excepción de especies con alta abundancia o reportadas como plaga de *S. queretaroensis* o de otras especies de cactáceas bajo cultivo, para

identificar posibles riesgos para la producción de pitaya. De acuerdo con el área geográfica donde se suscite la plaga, la relación taxonómica de la planta atacada con *S. queretaroensis*, regularidad de las afectaciones a los cultivos y pérdidas económicas derivadas de la actividad de la plaga.

4.4 Pruebas estadísticas

Para determinar la eficiencia del muestreo, se estimó la cobertura del muestreo (\hat{c} ; Chao y Jost, 2012), el cual toma valores de 0% (completitud mínima de una comunidad) a 100% (completitud máxima); lo cual permite evaluar si el esfuerzo de muestreo realizado fue representativo de las comunidades asociadas a cada una de las variedades de *Stenocereus queretaroensis* (Chao *et al.*, 2014).

Para la comparación directa de las comunidades de artrópodos asociadas a las cinco variedades y plantas silvestres de pitaya se utilizaron curvas de rarefacción (interpolación) y predicción (extrapolación) a partir del cálculo los números de Hill (qD) de orden $q = 0$ y $q = 1$ (Jost, 2006) para cada una de las variedades incluyendo silvestres, los cuales representan: la riqueza de morfoespecies ($q = 0$) y la diversidad efectiva de morfoespecies ($q = 1$; Chao *et al.*, 2014; Chao y Jost, 2012).

De acuerdo con Jost y González-Oreja, (2012); la estimación de riqueza correspondiente a $q = 0$ tiene la característica de no ser sensible a la abundancia de organismos ya que las morfoespecies se consideran con un peso proporcional a su abundancia en la comunidad; por otro lado, la diversidad efectiva de morfoespecies referida como $q = 1$ corresponde al exponencial del índice de entropía de Shannon-Wiener (H' ; Jost, 2006).

Por su parte, se elaboraron curvas de rarefacción y extrapolación, a partir de la cobertura del muestreo (\hat{c}) y los intervalos de confianza al 95% (IC 95%); el punto final máximo (*endpoint*) considerado como la abundancia máxima para estimar ${}^qD \pm$

IC 95% (Chao y Jost, 2012), para estas gráficas fue de 8,000 individuos; número que corresponde a poco más de la máxima abundancia registrada de la variedad silvestre (7,716 individuos).

La estimación de la cobertura del muestreo (\hat{c}), el cálculo de los números de Hill de orden $q = 0$ y $q = 1$, los intervalos de confianza al 95% y la construcción de las curvas de rarefacción y extrapolación se realizaron en el software R[®] (Team R Core, 2020), utilizando el paquete estadístico “iNEXT” (Hsieh *et al.*, 2018) y “ggplot2” (Wickham, 2016); para más información del cálculo de los índices de diversidad consultar a Chao y colaboradores (2012 y 2014), y Colwell y colaboradores (2012).

Por otro lado, para cuantificar la similitud entre la composición de comunidades asociadas entre variedades se calculó el índice de Jaccard de la siguiente manera:

$$\text{Índice de Jaccard} = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

a = morfoespecies únicas en la muestra A, b = morfoespecies únicas en la muestra B y c = morfoespecies compartidas en la muestra A y B.

Este índice toma valores de uno a cero, en donde los valores cercanos a cero sugieren dos comunidades poco similares entre sí en su composición de morfoespecies (Moreno, 2001).

Para el análisis de la abundancia de morfoespecies encontradas en el muestreo por trampas de caída se realizó un modelo lineal generalizado (GLM), a partir de la distribución *Poisson* de los datos utilizando como método de estimación: máxima verosimilitud. Como el factor principal se consideraron a las variedades de *S. queretaroensis* y se realizó una prueba de Wilcoxon para comparar las

diferencias entre variedades, utilizando cada uno de los tres tiempos del muestro (tiempo 1: 29 de marzo - 3 de abril, tiempo 2: 10 de abril - 15 de abril y tiempo 3: 22 - 27 de abril). Este análisis se realizó usando el programa JMP® 11 (SAS Institute Inc., 2014).

Por otro lado, para evaluar las diferencias en la incidencia de herbivoría del escarabajo picudo (*C. spinolae*) y polilla (Lepidoptera: Pyralidae) sobre las variedades evaluadas se realizó una prueba de Kruskal-Wallis y posteriormente una prueba de contrastes múltiples de Dunn para comparar el promedio de la incidencia de herbivoría entre las variedades. Los análisis se realizaron utilizando el programa R® (Team R Core, 2020) con ayuda del paquete estadístico "dunn.test" (Dinno, 2017) y se realizaron gráficas de caja y bigote con los resultados de los análisis con el paquete estadístico "ggplot2" (Wickham, 2016).

V. Resultados

5.1 Composición y distribución de órdenes de artrópodos en variedades de pitaya

Se encontraron 24,927 individuos repartidos en 284 morfoespecies dentro de 21 órdenes (Cuadro 2). Para el arreglo taxonómico utilizado en este estudio se utilizó la clasificación de Zhang (2013).

Cuadro 2. Abundancia y riqueza de morfoespecies por orden, capturadas por trampas de caída en las seis variedades de *S. queretaroensis* en Techaluta de Montenegro, Jalisco.

| Subphylum | Orden | Morfoespecies | Abundancia (No. de ind.) |
|-------------|------------------|---------------|-----------------------------|
| Chelicerata | Scorpiones | 6 | 25 |
| | Araneae | 32 | 262 |
| | Opiliones | 2 | 6 |
| | Pseudoscorpiones | 4 | 8 |
| | Solifugae | 3 | 5 |

| | | | |
|-----------|-----------------|----|--------|
| Myriapoda | Scutigermorpha | 1 | 1 |
| Crustacea | Isopoda | 8 | 162 |
| Hexapoda | Entombryomorpha | 2 | 152 |
| Insecta | Archaeognatha | 1 | 1 |
| | Orthoptera | 6 | 43 |
| | Dermaptera | 1 | 1 |
| | Mantodea | 1 | 1 |
| | Embioptera | 2 | 4 |
| | Blattodea | 4 | 1,725 |
| | Thysanoptera | 2 | 3 |
| | Hemiptera | 55 | 173 |
| | Coleoptera | 73 | 1,725 |
| | Neuroptera | 3 | 3 |
| | Lepidoptera | 6 | 10 |
| | Hymenoptera | 59 | 21,613 |
| | Diptera | 13 | 38 |

Los órdenes con mayor cantidad de morfoespecies y abundancia fueron Hymenoptera, Coleoptera, Araneae y Hemiptera, con una riqueza de más de 32 morfoespecies y una abundancia mayor a al menos 173 individuos. El orden Blattodea también posee una alta abundancia concentrada solamente una morfoespecie (de las 4 morfoespecies encontradas) pertenecientes al infraorden Isoptera y el género *Nasutitermes* (1,714 individuos).

Los órdenes Araneae, Blattodea, Coleoptera, Entombryomorpha, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera y Orthoptera tuvieron al menos un ejemplar en cada una de las seis variedades de *S. queretaroensis*; por lo que serán referidos a partir de aquí como “órdenes principales”. Además, los órdenes Dermaptera, Embioptera, Mantodea y Scutigermorpha se identificaron como exclusivos de la variedad blanca y el orden Archaeognatha solo se encuentra presente en la variedad mamey (Anexo 1).

5.2 Riqueza, abundancia y composición de artrópodos

Con respecto a la cobertura de especies (\hat{c}) se obtuvieron valores mayores al 95% en todas las variedades, siendo el menor valor el de la variedad blanca con el 96% de cobertura muestreado (con 1,623 individuos y una riqueza de 120 morfoespecies asociadas).

Por otro lado, los mayores valores obtenidos fueron los de las variedades silvestre y amarilla con 99% de cobertura para ambas (con 7,716 individuos y 144 morfoespecies para la variedad silvestre y 5,473 individuos y 114 morfoespecies para la variedad amarilla).

Los valores para las demás variedades fueron de 97% para la variedad morada y 98% para las variedades mamey y tenamaxte (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número de individuos (N), riqueza observada (S) y cobertura de la muestra (\hat{c}) de las seis variedades de *S. queretaroensis* en Techaluta de Montenegro, Jalisco.

| | Silvestre | Blanca | Amarilla | Morada | Tenamaxte | Mamey |
|-----------|-----------|--------|----------|--------|-----------|-------|
| N | 7,716 | 1,623 | 5,473 | 2,311 | 4,509 | 3,295 |
| S. obs. | 144 | 120 | 114 | 112 | 102 | 119 |
| \hat{c} | 0.99 | 0.96 | 0.99 | 0.97 | 0.98 | 0.98 |

Con respecto al parámetro comunitario de riqueza (S) se encontró que la variedad silvestre presenta la mayor riqueza total de morfoespecies con 144, seguida de la variedad blanca con 120, mientras, la variedad tenamaxte tiene la menor riqueza (102 morfoespecies; Anexo 2).

La comparación directa de la riqueza de morfoespecies ($q = 0$), entre variedades; a partir del punto final máximo (*endpoint*), se observa que la variedad silvestre (interpolación) no difiere significativamente con respecto a mamey, amarilla y tenamaxte (extrapolación). Por su parte, mamey (interpolación) si difiere con respecto a amarilla y tenamaxte (interpolación), pero no difiere con respecto a morada (extrapolación). La variedad blanca difiere con respecto a todas las

variedades (Fig. 10; $q = 0$).

Por otro lado, los resultados obtenidos con respecto a la diversidad efectiva de morfoespecies ($q = 1$) mostraron que: no existen diferencias significativas entre la variedad morada y blanca, las cuales poseen la mayor diversidad de morfoespecies encontrada; por su parte, la variedad tenamaxte y mamey fueron la tercera y cuarta variedad más diversa respectivamente, con diferencias significativas entre sí y con respecto a las demás variedades. La variedad silvestre y amarilla, no difirieron significativamente entre sí, y tuvieron la menor diversidad asociada (Fig. 10; $q = 1$).

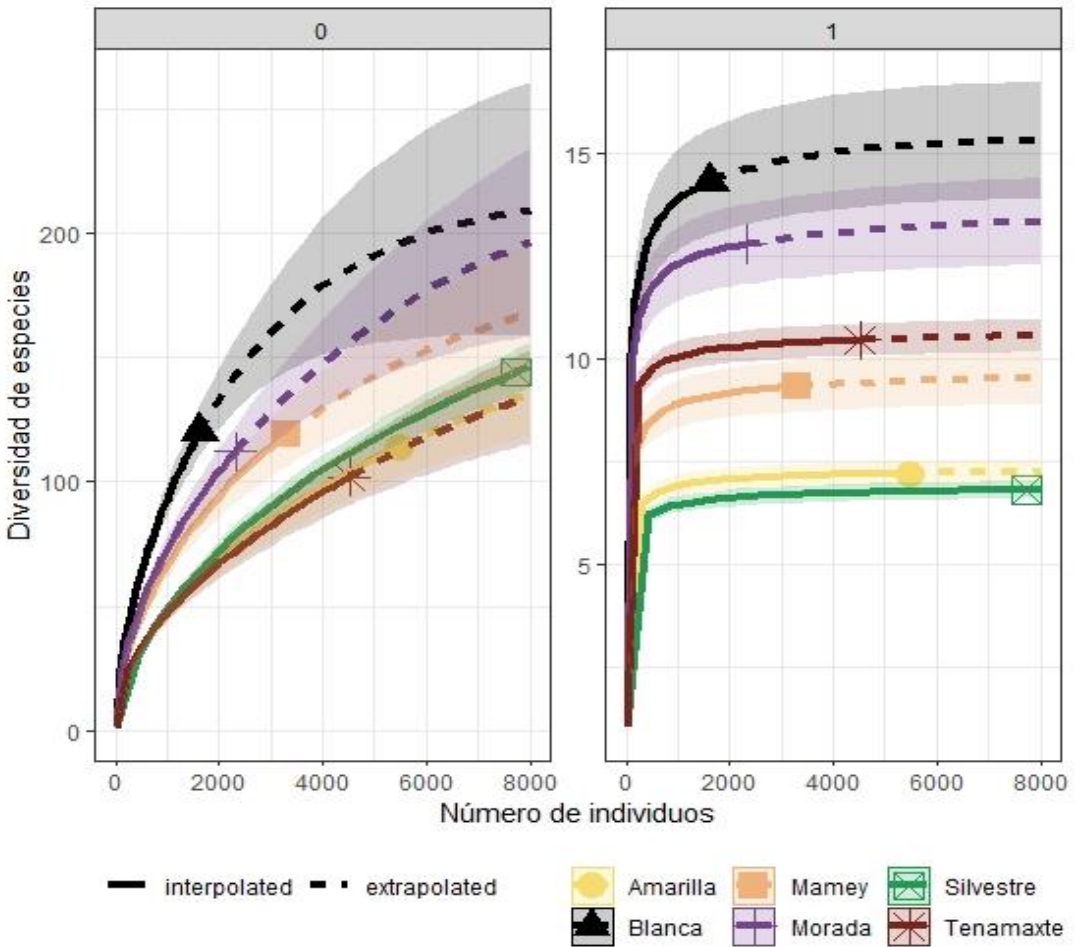


Figura 10. Curvas de interpolación y extrapolación de la riqueza y diversidad de artrópodos asociados a las seis variedades de *S. queretaroensis* en Techaluta de Montenegro, Jalisco. La línea continua de cada curva es la porción interpolada, el símbolo marca la riqueza/diversidad observada y la línea punteada es la porción extrapolada. La parte sombreada corresponde a los intervalos de confianza al 95%. De izquierda a derecha se muestra el orden $q = 0$: riqueza de morfoespecies y $q = 1$: diversidad efectiva de morfoespecies. Las curvas fueron extrapoladas hasta 8000 individuos, que corresponde a poco más de la mayor abundancia registrada de la variedad silvestre (7,716 individuos).

En cuanto a el análisis de abundancia, se encontraron diferencias significativas entre variedades ($\chi^2 = 14628.96$; $gl = 17$; $P < 0.001$), de manera general; las plantas silvestres y la variedad tenamaxte poseen la mayor abundancia. Por su parte las variedades criollas y mamey no difirieron entre sí, en general tuvieron la menor abundancia promedio de morfoespecies (Fig. 11; Anexo 3).

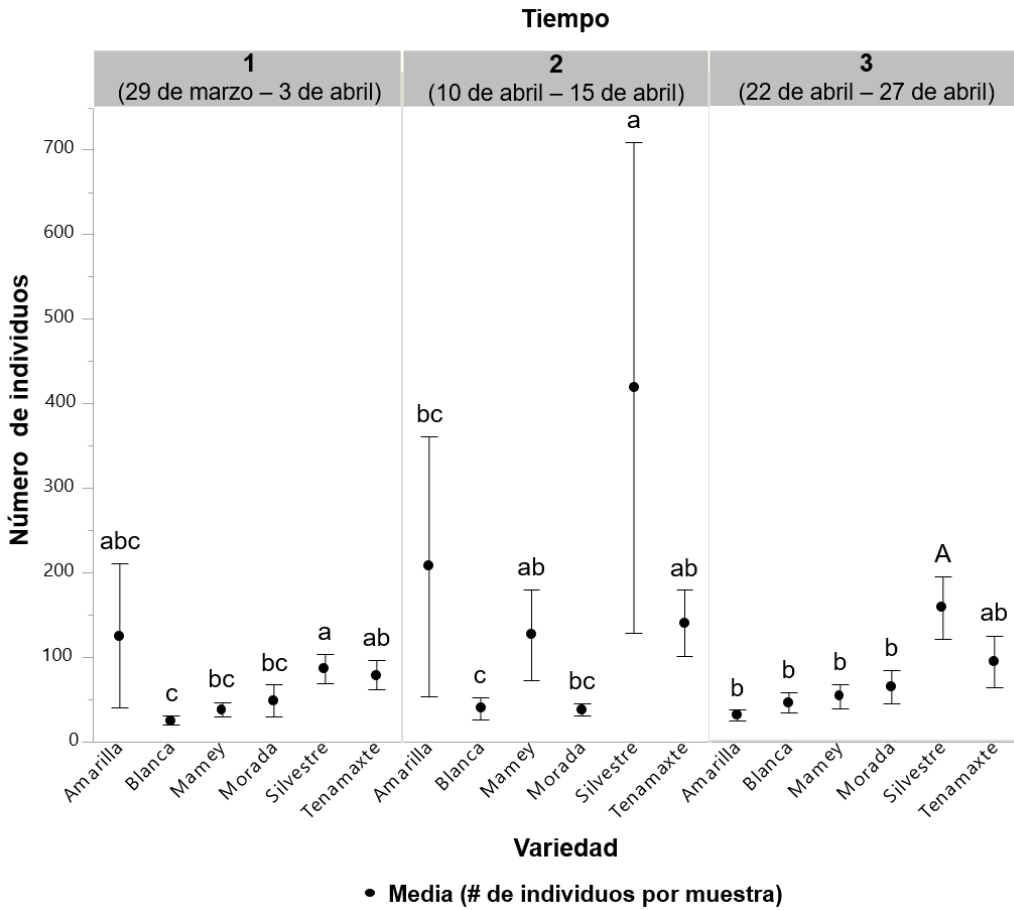


Figura 11. Modelo lineal generalizado (GLM) de abundancia de artrópodos/trampa en las seis variedades de *S. queretaroensis* capturados por trampas de caída en tres tiempos a lo largo del mes de abril de 2019. Los puntos representan la media del número de individuos por muestra y las líneas el error estándar. Las letras representan diferencias significativas de acuerdo con la prueba *post hoc* de Wilcoxon entre variedades.

Los valores obtenidos del índice de Jaccard, fueron en su totalidad menores a 0.5; los valores cercanos a cero sugieren dos comunidades diferenciadas en cuanto a las morfoespecies asociadas (Moreno, 2001; Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores del índice de Jaccard calculados para la abundancia de artrópodos por variedad de *S. queretaroensis* capturados mediante trampas de caída (*pitfall*).

| Índice de Jaccard | | | | | | |
|-------------------|-----------|--------|----------|--------|-----------|-------|
| | Silvestre | Blanca | Amarilla | Morada | Tenamaxte | Mamey |
| Silvestre | - | - | - | - | - | - |
| Blanca | 0.32 | - | - | - | - | - |
| Amarilla | 0.35 | 0.35 | - | - | - | - |
| Morada | 0.38 | 0.37 | 0.39 | - | - | - |
| Tenamaxte | 0.30 | 0.27 | 0.36 | 0.28 | - | - |
| Mamey | 0.41 | 0.30 | 0.39 | 0.44 | 0.33 | - |

5.3 Herbivoría sobre tallos de *Stenocereus queretaroensis*

Se encontraron diferencias significativas en las tasas de herbivoría producidas por *Cactophagus spinolae* ($\chi^2 = 25.61$; gl = 5; $P < 0.01$; Fig. 12a) y la polilla barrenadora ($\chi^2 = 26.96$; gl = 5; $P < 0.01$; Fig. 12b).

Para ambos casos, el daño ocasionado fue más alto en plantas silvestres (14.27 ± 2.80 cicatrices por planta para *C. spinolae* y 12.98 ± 2.22 para la polilla barrenadora) en comparación a las variedades domesticadas, destaca la variedad mamey cuyos valores de daño fueron los más bajos encontrados para ambas especies evaluadas (2.5 ± 1.51 para *C. spinolae* y 1.80 ± 0.48 para la polilla barrenadora).

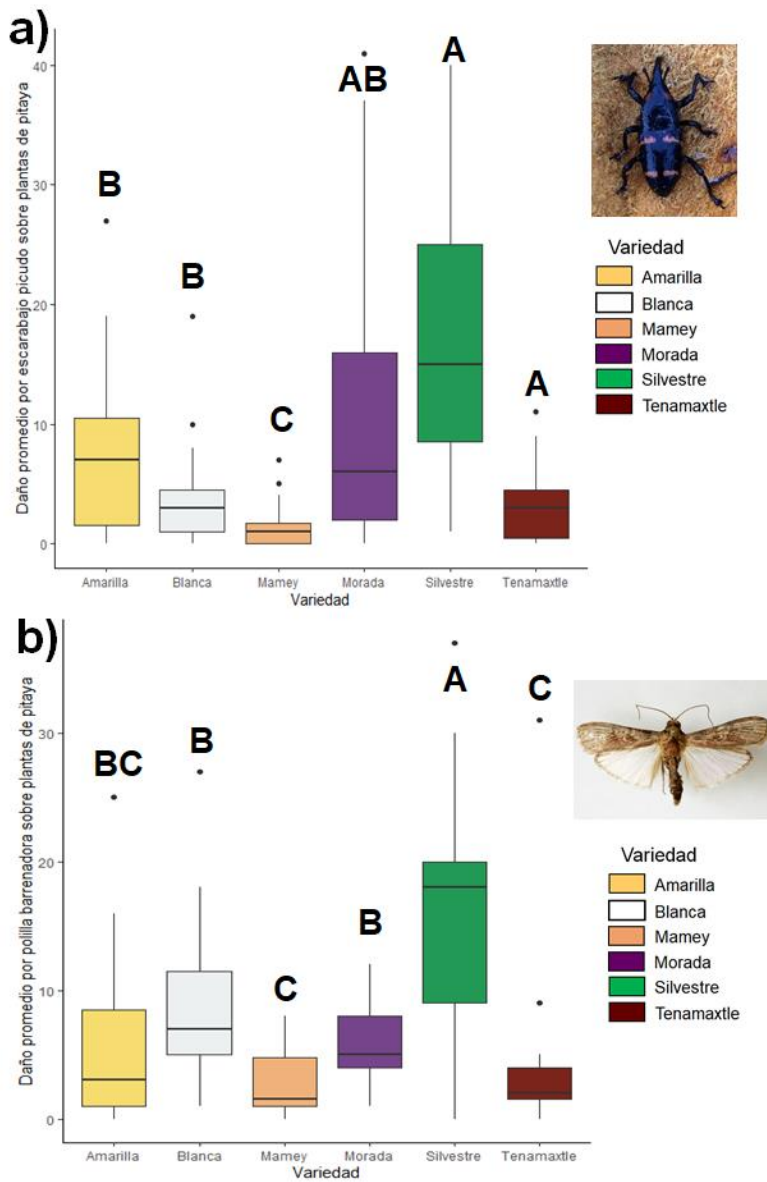


Figura 12. Incidencia de daño producido por a) *C. spinolae* y b) la polilla barrenadora (Lepidoptera: Pyralidae) en los tallos de las seis variedades de *S. queretaroensis*. Los cuadros sólidos representan el rango Inter cuartil correspondiente al 50% de los valores de diversidad más cercanos a la mediana (línea en negrita) y los bigotes representan el 25% bajo y alto de los valores, las letras representan diferencias significativas de acuerdo con la prueba *post hoc* de Dunn.

VI. Discusión

Los resultados de este estudio muestran los efectos de la domesticación de *Stenocereus queretaroensis* sobre las comunidades de artrópodos asociadas. En este trabajo se encontró que la variedad mamey y las variedades criollas funcionan como reservorios de riqueza y diversidad de artrópodos en comparación a las

plantas silvestres; además, se demostró que las plantas silvestres y criollas son más consumidas por *Cactophagus spinolae* y la polilla barrenadora en comparación a la variedad mamey, lo que evidencia que podrían no existir disyuntivas (*trade-offs*) entre el rendimiento y las defensas vegetales de *S. queretaroensis* bajo selección; sin embargo, la estructura comunitaria y la herbivoría asociada a las plantas cultivadas de pitaya, podría no ser ajena a los efectos de la domesticación y la influencia humana; esto, con evidencia en la temporada de fructificación, clave para el cultivo de *S. queretaroensis*.

6.1 Composición de la comunidad de artrópodos en respuesta a la domesticación de pitaya

Este estudio no se limita a evaluar la composición de artrópodos terrestres; sin embargo, debido al método de colecta se encontró una mayor riqueza y abundancia de estos artrópodos (ej. Hymenoptera 13 [Myrmicinae 1] con 9,150 individuos, Hymenoptera 4 [*Formica* sp.] con 3,202 individuos, Hymenoptera 1 [*Tetramorium* sp.] con 1,888 individuos y Hymenoptera 5 [*Atta* sp.] con 321 individuos colectados).

La evaluación de la comunidad de artrópodos terrestres en agroecosistemas es un enfoque pocas veces evaluado; sin embargo, ha tenido un reciente énfasis en la literatura (Quinto *et al.*, 2021), debido a la evidencia de que las dinámicas poblacionales se modifican; de acuerdo, con cascadas tróficas en respuesta a el manejo agrícola (Beiroz *et al.*, 2014; Dong *et al.*, 2018; Stam *et al.*, 2019; Quinto *et al.*, 2021).

El efecto de la domesticación se plantea que podría ser mucho más tardado en plantas perennes (Hernández-Cumplido *et al.*, 2021); sin embargo, estas plantas se mantienen por largos periodos de tiempo en las parcelas, generando una retroalimentación con el suelo al modificar su composición, porcentaje de nutrientes

y agua disponible a lo largo de periodos de tiempo extensos, lo cual genera cambios sobre las comunidades de artrópodos terrestres (Heinen *et al.*, 2017; Kostenko *et al.*, 2012). En el sistema de pitaya existe una gran cantidad de flores y frutos abortados por las plantas, lo cual mantiene al pie de la planta una gran cantidad de materia vegetal disponibles para los artrópodos que explotan este recurso, pudiendo propiciar la asociación de una mayor diversidad de artrópodos (obs. pers.).

En este estudio se encontró que la variedad blanca posee la comunidad más rica en morfoespecies (Fig. 10 $q = 0$); además, se identificó la presencia de cuatro órdenes exclusivos: Dermaptera, Embioptera, Mantodea y Scutigeraomorpha (Anexo 1).

La presencia exclusiva de estos órdenes da énfasis a que la variedad blanca es la más diferenciada en su comunidad de artrópodos, en comparación a las demás variedades cultivadas; por un lado, el orden Mantodea resulta ser un excelente indicador del estado de las comunidades en ambientes antropizados; pues son capaces de establecerse en este tipo de ambientes con facilidad y alimentarse de una amplia cantidad de especies con una abundancia considerable para garantizar permanencia en el sistema al que se asocian (Ramos-Patlán *et al.*, 2018).

Por otro lado, la presencia única de los órdenes Dermaptera y Embioptera en la variedad blanca, puede indicar la existencia de dinámicas ecológicas únicas establecidas en torno a esta variedad; ya que por un lado, el orden Dermaptera tiene hábitos alimenticios omnívoros y representan un importante componente de la dinámica trófica, pues pueden fungir como control biológico de especies (Herrera, 2015). Aunque se conoce poco del cómo pueden ser afectadas sus poblaciones, por efecto de presiones humanas como la domesticación.

En el caso de los embiópteros, estos son de hábitos gregarios y su alimentación detritívora/herbívora (única de hembras y ninfas), su presencia podría sugerir que la materia vegetal producida por la variedad blanca de pitaya, es suficiente para la asociación de estos artrópodos se establezcan y a su vez en conjunto con la gran abundancia de otros órdenes, representen una amplia fuente de alimento para otros artrópodos como arañas y escorpiones; incluyendo al orden Scutigera (también depredador), siendo este un orden único para la variedad blanca pudiendo ser atraído por la mayor diversidad asociada a esta variedad y la presencia de presas únicas (Anexo 1; Torralba-Burrial, 2015).

Además de la variedad blanca, se encontró también que la variedad mamey presenta a él orden Archaeognatha como exclusivo (Anexo 1), la alimentación de este orden depende en gran parte de la materia vegetal en el suelo por lo cual podrían ser indicadores de su disponibilidad (Sturm, 2009); de acuerdo con los productores de la región esta es la variedad aborta más flores y frutos en comparación a las demás variedades (Benjamin Trill y Andrés de los Santos productores de la región com. pers.) manteniendo abundante materia orgánica en descomposición en el suelo en la época en que se desarrolló este estudio, pudiendo atraer ejemplares a esta variedad.

Los órdenes exclusivos encontrados en este estudio particulares de las variedades blanca y mamey, se plantean como indicadores de la diferenciación (Beiroz *et al.*, 2014) de estas variedades entre sí, con respecto a silvestre y las demás criollas; este aspecto da soporte a que las plantas diferenciadas vía domesticación podrían fungir como reservorios de diversidad tal como lo proponen Whitham y colaboradores (2010); aunque, este resultado podría ser único para la época de floración-fructificación de la pitaya en la que se desarrolló este estudio por

lo que se sugieren estudios enfocados en muestrear a lo largo del año la comunidad asociada para dar un panorama general de la comunidad asociada a las variedades.

Por otro lado, de acuerdo con la estructura de las comunidades asociadas, el orden Hymenoptera fue el más abundante capturado por las trampas de caída (*pitfall*) con 21,613 individuos (86% del total de artrópodos colectados); la mayoría de sus ejemplares pertenecen a la familia Formicidae.

Esta familia posee gran cantidad de especies generalistas capaces de explotar una amplia variedad de recursos y de asociarse fácilmente a especies vegetales (Gallego-Roper, 2005); sin embargo, esta alta abundancia y amplia capacidad de explotar los recursos en su medio, puede ser una de las principales razones por las cuales los productores de la región y autores como Pimienta-Barrios (1999) reporten a la hormiga arriera (*Atta* sp.) como una plaga de los cultivos de pitaya; pues se alimentan de flores, frutos, botones florales y la zona apical de los tallos acabando muchas veces con la producción de una planta e inclusive con los tallos; debido a que las plantas de pitaya bañan sus tallos de sustancias azucaradas provenientes de los botones florales durante la noche cuando el pico de actividad de estas hormigas tienen lugar debido a las altas temperaturas durante el día (Marquéz-Luna, 1996) que en el municipio se llegan a alcanzar: de hasta 29.4°C a la sombra (IIEGI, 2018).

En el muestreo por trampas de caída realizado, la especie *Atta* sp. (Hymenoptera 5), se encontró con una abundancia de 321 individuos y asociada a todas las variedades; en particular, las variedades con mayor abundancia de esta especie fueron amarilla y morada (78 y 58 individuos respectivamente).

Otras especies de hormigas identificadas como potenciales plaga fueron: 1) *Solenopsis* sp. (considerada como la morfoespecie Hymenoptera 2; con una

abundancia de 703 individuos), la cual ha sido reportada como plaga de plantas del género *Hylocereus* (Bravo-Aviles *et al.*, 2019) y 2) *Camponotus* sp. (considerada como la morfoespecie Hymenoptera 3; con una abundancia de 509 individuos) reportada como plaga de especies de la tribu Browningieae en géneros como *Armatocereus*, *Neoraimondia* y *Jasminocereus* en Sudamérica (Novoa *et al.*, 2005).

El orden Coleoptera se encontró con una riqueza alta (73 morfoespecies) y una abundancia de 691 individuos en el muestro por trampas de caída, algunas especies clave encontradas fueron las pertenecientes a familia Curculionidae, esta familia se identificó como gran importancia económica para el cultivo de pitaya debido su capacidad de penetrar en los tejidos vegetales para alimentarse y usar como refugio los tallos para completar su ciclo de vida, dañándolos en el proceso (Farrell *et al.*, 2001); además, la especie *Cactophagus spinolae* (perteneciente a esta familia) se reporta como plaga de especies del género *Stenocereus* (Pablo-Rios *et al.*, 2015; Sánchez-Cortés *et al.*, 2018),

De acuerdo con los productores de pitaya este escarabajo se alimenta regularmente de los tallos de las pitayas; sin embargo, en el muestreo por trampas de caída no se colectaron individuos de *C. spinolae*; aunque, fue encontrado alimentándose de los tallos de *S. queretaroensis* y reposando sobre los mismo (obs. pers); de acuerdo con Bravo-Aviles y colaboradores (2014) las larvas de este escarabajo se desarrollan y alimentan dentro de los tejidos blandos dentro de los tallos de pitaya.

Actualmente, se ha comenzado a reportar en la literatura a *C. spinolae* aprovechando a especies del género *Stenocereus* en el centro y sur del país (Bravo-Aviles *et al.*, 2014, 2019); sin embargo, en la región de Jalisco, donde se centró este estudio aún no existen reportes de esta interacción; esto puede deberse a que este

escarabajo posee una distribución más sesgada a la zona centro-sur del territorio mexicano en los estados de Morelos, Guerrero, Michoacán y Oaxaca asociado a *Stenocereus stellatus* (Pablo-Ríos *et al.*, 2015; Sánchez-Cortés *et al.*, 2018).

Pablo-Ríos y colaboradores (2015) sugieren que *C. spinolae* ha comenzado recientemente a alimentarse de las especies del género *Stenocereus* (Bravo-Avilez *et al.*, 2014; Sánchez-Cortés *et al.*, 2018), a pesar de tener un área de distribución similar desde el sur de Nuevo León hasta el norte de Oaxaca y la zona sur-este del país hasta Nayarit.

Se ha reportado a esta especie como plaga de los géneros *Opuntia* (de ahí su nombre común de picudo del nopal), *Cereus*, *Ferocactus* (Muñiz, 1998) e *Hylocereus* (Bravo-Avilez *et al.*, 2014); lo cual podría indicar una transición de estas especies a las especies del género *Stenocereus* y por lo tanto una plaga potencial para *S. queretaroensis* y su cultivo, por ello; debería ponerse énfasis en el monitoreo de su población y en su control de manera oportuna para evitar posibles riesgos para la producción de pitaya.

Otras especies de escarabajos de la familia Curculionidae identificadas fueron: tres especies del género *Dendroctonus* de las cuales destaca la especie *frontalis* (considerada como la morfoespecie Coleoptera 1) la cual es una especie plaga de importancia en la industria maderable de *Pinus* (Del-Val y Sáenz-Romero, 2017), los hábitos alimenticios de esta especie y de otras especies del género son especie-específicos (Salinas-Moreno *et al.*, 2010); sin embargo, existen una serie de situaciones por las cuales serían potencialmente peligrosas para *S. queretaroensis* y su cultivo:

En primer lugar, la región en que se llevó a cabo este estudio se caracteriza por tener un clima semiárido-semicálido con vegetación de tipo matorral xerófilo

(IIEGI, 2018); con una nula presencia de pinos en el municipio, lo cual hace especialmente importante su colecta.

En segundo lugar, es relevante puntualizar que *D. frontalis* únicamente se encontró asociado a plantas de pitaya silvestres (Anexo 4); sin embargo, se identificaron otras dos especies de *Dendroctonus* (Coleoptera 35 y Coleoptera 53) asociadas exclusivamente a plantas cultivadas (Anexo 4), encontrándose al menos un ejemplar de estas dos especies en cada una de las cinco variedades cultivadas lo cual indica que al menos las especies de este género tienen interacciones con *S. queretaroensis* en el medio silvestre y los agroecosistemas.

Debido a los resultados anteriormente expuestos, se sugiere el desarrollo de futuros estudios para comprender la presencia de *D. frontalis* en la región y sus interacciones, para así conocer si existen especies que potencialmente podrían ser aprovechadas por esta especie o cualquiera de este género como podría ser el caso de *S. queretaroensis* o bien determinar su papel ecológico como descortezador.

Finalmente, el orden Blattodea fue identificado también como de potencial riesgo para el cultivo de pitaya; pues la especie *Nasutitermes* sp. se reporta como plaga de la especie *Dendrocereus nudiflorus* (Salinas-Moreno *et al.*, 2010), la cual es una cactácea endémica de Cuba; sin embargo, en este estudio se encontró esta especie en alta abundancia (1,714 individuos asociados a todas las variedades incluyendo silvestre; con mayor abundancia en amarilla: 1,235 individuos; Anexo 4), por lo cual es necesario dar énfasis al monitoreo de las poblaciones de esta especie y determinar sus hábitos alimenticios para descartarla como especie de riesgo para *S. queretaroensis*.

6.2 Riqueza, abundancia y composición de las comunidades de artrópodos en respuesta a la domesticación de pitaya

Los valores de cobertura del muestreo (\hat{c}) para las seis variedades de pitaya fueron mayores a 95% de completitud, lo cual permite hacer inferencias con respecto a su estructura trófica (Moreno *et al.*, 2011; Quinto *et al.*, 2021) de una manera acertada, pues el esfuerzo de muestreo fue cercano al 100%.

En este sentido, de acuerdo con el análisis de riqueza de morfoespecies ($q = 0$), la extrapolación de la riqueza de las variedades blanca y morada a el punto final máximo (*endpoint*), muestra que son las variedades con mayor riqueza y de acuerdo con la diversidad efectiva de morfoespecies ($q = 1$), son las variedades con mayor diversidad y menor abundancia de morfoespecies (Fig. 11). Estos resultados permiten ver que estas variedades son las de mayor equidad en sus comunidades asociadas, de acuerdo con el modelo de estimación de $q = 1$ (Chao *et al.*, 2014).

Este aspecto se evidencia, de acuerdo con la abundancia de las morfoespecies más dominantes asociadas, las cuales no superaron los 698 (Hymenoptera 13 [Myrmicinae 1]) y 126 individuos (Hymenoptera 4 [*Formica* sp.]) para la variedad blanca, y 846 (Hymenoptera 13 [Myrmicinae 1]) y 324 individuos (Blattodea 4 [Nasutitermes]) para la variedad morada (Anexo 4); a diferencia de las morfoespecies más comunes en variedades menos diversas como: silvestre y amarilla (Fig. 10; $q = 1$), cuyas morfoespecies más abundantes tuvieron hasta 3,866 (Hymenoptera 13 [Myrmicinae 1]) y 1,114 individuos (Hymenoptera 8 [Formicinae sp.]) asociados a silvestre, y 2,469 (Hymenoptera 13 [Myrmicinae 1]) y 1,235 individuos (Blattodea 4 [Nasutitermes]) asociados a amarilla (Anexo 4).

Estos resultados muestran que en realidad las comunidades asociadas a la mayoría de las variedades de pitaya (excepto amarilla) poseen una alta equidad de morfoespecies asociadas (Chao *et al.*, 2014); esto podría deberse a que la

transición realizada por los artrópodos de los sistemas silvestres a las plantas cultivadas en los agroecosistemas ha sido efectiva, encontrándose una alta riqueza (S) de especies entre las cuales podrían encontrarse especies generalistas, especialistas y gremios de artrópodos (Whitham *et al.*, 2010; Ali y Agrawal, 2012; Whitehead *et al.*, 2016), con lo cual se ha evitado la dominancia de especies que pudieran desencadenar el desarrollo de plagas agrícolas (Vía, 1990)

Gols y colaboradores (2008) sugieren que la transición realizada por los artrópodos de sistemas silvestres a agroecosistemas puede generar explosiones demográficas de especies potencialmente nocivas para la planta y su cultivo, lo cual no fue evidente en este estudio en *Stenocereus queretaroensis*.

En general, estudios como el de Gols y colaboradores (2008), contrastan solo monocultivos con sistemas silvestres, sin tomar en cuenta las variedades criollas; sin embargo, este mismo enfoque lo poseen estudios como los de Chacón-Fuentes y colaboradores (2016) evaluando plantas de murtilla (*Ugni molinae*), y los trabajos de Chen y Bernal (2011), y Chen y colaboradores (2013) en arroz (*Oryza sativa*); lo que podría limitar la perspectiva de la domesticación, al ser este un proceso gradual (Evans, 1993; Turcotte *et al.*, 2014), lo cual sí podría ser evidente al retomar variedades criollas como las que se consideraron en este estudio.

En este sentido, los valores obtenidos del índice de Jaccard fueron en su totalidad menores a 0.5 pero no menores a 0.25 lo que evidencia que las comunidades asociadas poseen comunidades una similitud intermedia entre sí, aunque podría haber una inclinación de las comunidades a la diferenciación de las variedades criollas con domesticación incipiente y no por la variedad mamey considerada con mayor énfasis en su domesticación (Cuadro 4).

El presente trabajo es el primero en abordar plantas silvestres, la variedad

comercial (en este caso mamey) y variedades criollas en el centro de origen de domesticación de la pitaya, proporcionando evidencia del recambio de especies (Calderón-Patrón *et al.*, 2012); y a que la domesticación propicia cambios en la estructura de la comunidad de artrópodos tal como lo sugieren y han encontrado en sus estudios autores como Chacón-Fuentes y colaboradores (2016), y Chen y colaboradores (2013); en este estudio se plantea que de acuerdo a los resultados obtenidos las variedades criollas podrían fungir como reservorios de diversidad y riqueza de especies de artrópodos (Whitham *et al.*, 2010).

6.3 Efecto de la domesticación de pitaya en la herbivoría y las interacciones planta-herbívoro; determinación de la existencia de disyuntivas (*trade-offs*) rendimiento-defensa.

Mole en 1994 entre otros autores han propuesto que de manera general, la domesticación reduce las defensas de las plantas bajo selección producto de disyuntivas (*trade-offs*) en la asignación de recursos, en favor de caracteres reproductivos (Fig.1; Bazzaz *et al.*, 1987; Rosenthal y Dirzo, 1997; Anaya *et al.*, 2001).

Diversos autores han buscado evaluar esta cuestión, con el fin de generar conocimiento clave para brindar información para la conservación de rasgos de resistencia ante potenciales plagas para el cultivo (Rosenthal y Dirzo, 1997); aunque, de acuerdo con Turcotte y colaboradores (2014), se han obtenido resultados variables en diferentes sistemas: en algunos estudios se reportan reducciones generales de las defensas vegetales (Wink, 1988; Rosenthal y Dirzo, 1997; Benrey *et al.*, 1998; Mirnezhad *et al.*, 2010; Rodríguez-Saona *et al.*, 2011), algunos otros estudios reportan sistemas con variedades cultivadas particulares con defensas reducidas (Mirnezhad *et al.*, 2010; Rodríguez-Saona *et al.*, 2011) y sistemas sin efectos sobre las defensas en variedades cultivadas (Leiss *et al.*,

2013).

Este estudio tuvo como objetivo, el evaluar la existencia de una reducción de defensas producto de disyuntivas (*trade-offs*; Mole, 1994) debido a la selección directa en favor del rendimiento de los cultivos de *S. queretaroensis*, y al énfasis en los caracteres reproductivos, descuidando aspectos de defensa (Rosenthal y Dirzo, 1997; Anaya *et al.*, 2001).

Este aspecto se abordó con un enfoque indirecto al evaluar la composición de comunidades de artrópodos asociados y el daño producido por dos herbívoros sobre el cuerpo de los ejemplares de pitaya (Chen *et al.*, 2015); ya que actualmente no existen estudios previos que evalúen la herbivoría sobre *Stenocereus queretaroensis*; únicamente se reporta en estudios generales que existe daño sobre los tallos (Pimienta-Barrios, 1999), y consumo de flores y botones florales (Llamas-Llamas, 1984; Lomeli y Pimienta-Barrios, 1993); sin embargo, si se han identificado especies plaga, sobre otras especies de *Stenocereus* (*Stenocereus stellatus* y *Stenocereus pruinosus*; Bravo-Aviles *et al.*, 2014) y sobre especies relacionadas taxonómicamente con la especie en México.

Uno de los herbívoros más importantes estudiados en la literatura es *Cactophagus spinolae* también conocido como el escarabajo barrenador del nopal, el cual ha sido reportado como dañino para las especies: *S. stellatus* y *S. pruinosus* en Tehuacán, Puebla, México (Bravo-Aviles *et al.*, 2014; Pablo-Rios *et al.*, 2015); este escarabajo, se alimenta de las plantas por medio de la perforación de tallos y el consumo del tejido carnoso de la planta dentro de los cuales; además, las hembras ovipositan y las larvas se desarrollan y se alimentan (Bravo-Aviles *et al.*, 2014).

Las heridas derivadas de la alimentación *C. spinolae* facilitan la entrada de patógenos a la planta ocasionando enfermedades como: la pudrición amarilla (Fig.

13a; ocasionada por la bacteria *Erwinia carotovora*) en la cual los tejidos internos de la planta se debilitan y se decoloran hasta ocasionar la muerte del individuo (Ortiz-Hernández y Carrillo-Salazar, 2012). Por otro lado, la enfermedad de la costra gris o también llamada ojo de pescado (Fig. 13b), es ocasionada por hongos cuyos efectos también pueden derivar en la muerte del individuo infectado, algunas especies reportadas en el género *Hylocereus* son *Fusarium oxysporum* y *Bipolaris cactivora* (Ortiz-Hernández y Carrillo-Salazar, 2012).



Figura 13. Ejemplos de enfermedades sobre tallos de cactáceas: a) Pudrición amarilla ocasionada por la bacteria *Erwinia carotovora* sobre un tallo de *Hylocereus*; b) Costra gris ocasionada por hongos sobre el tallo de un individuo de *Stenocereus*. Fotos por: Bruno Leyva-Gutiérrez.

C. spinolae y los síntomas visibles de las enfermedades anteriormente mencionadas se observaron sobre los tallos de *S. queretaroensis* en las parcelas donde se desarrolló este estudio; sin embargo, el escarabajo solo se observó reposando sobre los tallos de pitaya y en el suelo; por ello, no es posible afirmar si este escarabajo pudiera ser actualmente una plaga para el cultivo de pitaya y si este es el causante directo de la presencia de las enfermedades de los tallos (obs. pers.). Por ello, se requieren estudios integrados enfocados en las poblaciones de *C. spinolae* y de sus efectos sobre la planta más allá de la herbívora de los tallos.

Por su parte, otro artrópodo reportado como de posible riesgo para *S. queretaroensis* es la polilla barrenadora, la cual de acuerdo con los productores de la región (Benjamin Trill y Andrés de los Santos productores de la región com. pers.), es capaz de dañar el tallo de *S. queretaroensis* a través de perforar el tejido blando de los tallos de pitaya; además, generan daños en los frutos, pues depositan sus huevecillos en los receptáculos florales en donde se desarrollan las larvas, dejando los frutos no aptos para el consumo.

En este estudio, no fue posible identificar la especie de polilla barrenadora que afecta los cultivos de pitaya; sin embargo, se considera que pertenece a la familia Pyralidae. Los daños producidos por esta especie sobre los tallos de pitaya se identificaron con ayuda de los productores de la región (Benjamin Trill y Andrés de los Santos productores de la región com. pers.).

Se identificó el daño producido por *Cactophagus spinolae* con ayuda de los productores de la región (Benjamin Trill y Andrés de los Santos productores de la región com. pers.) y con base en el daño reportado por Bravo-Aviles y colaboradores (2014) sobre los tallos de *S. stellatus* y *S. pruinosus*.

Los resultados obtenidos en este estudio para ambos herbívoros mostraron patrones similares; ya que, la herbivoría fue mayor en los tallos de individuos silvestres en comparación a la encontrada en las variedades domesticadas (Fig. 12).

A su vez, la variedad mamey fue significativamente la que presentó menor daño promedio (Fig. 12); este resultado contrasta con lo esperado; pues de acuerdo a los productores de la región la variedad mamey es postulada como la variedad más susceptible, ya que presenta más síndromes de domesticación, entre ellos: frutos con mayor talla, tendencia a perder más fácilmente las espinas del fruto, abortan más flores, entre otros caracteres (Bernal-González, n.d.), por lo cual

hipotéticamente esta sería la variedad más vulnerable de acuerdo con la hipótesis de domesticación (rendimiento)-reducción de defensas (Anaya *et al.*, 2001; Mole, 1994). Además, la variedad mamey es la más extendida en el municipio con incluso monocultivos de esta variedad en específico (Pimienta-Barrios y Nobel, 1994).

Por su parte, las variedades criollas tuvieron significativamente mayor daño con respecto a mamey y menor en comparación a plantas silvestres; estos resultados en conjunto a que estas variedades poseen mayor diversidad asociada, sugieren que las variedades criolla funcionan como “escudos protectores” de la variedad mamey (Fig. 12); hipotéticamente, en una parcela con todas las variedades presentes, los herbívoros se alimentarían primero y en mayor medida de las variedades criollas en lugar de la variedad mamey. Lo cual puede indicar que la hipótesis de domesticación-reducción de defensas no está actuando sobre las variedades cultivadas de pitaya.

Una de las razones probables por las cuales las disyuntivas (*trade-offs*) no se presenten en este sistema de manera en que exista una reducción de defensas (Anaya *et al.*, 2001); es que *S. queretaroensis* es una planta perenne, de acuerdo con diversos autores (Bazzaz *et al.*, 1987; Rosenthal y Dirzo, 1997; Benrey *et al.*, 1998; Fuller, 2011; Rodríguez-Saona *et al.*, 2011; Takahashi *et al.*, 2012; Szczepaniec *et al.*, 2013; Whitehead *et al.*, 2016; Hernández-Cumplido *et al.*, 2018; Stam *et al.*, 2019; Hernández-Cumplido *et al.*, 2021), los efectos de la domesticación en este tipo de plantas son menos evidentes en comparación a plantas anuales, debido a sus extensos períodos generacionales y ciclos de vida largos.

Estudios comparativos en plantas anuales como los de Chen y Bernal (2011), y Chen y colaboradores (2013) en arroz (*Oryza sativa*) reportaron los efectos de herbivoría en plantas cultivadas encontrando que esta es menor en comparación a

plantas silvestres, lo cual muestra que aun cuando en esta especie se esperaba mayores efectos de la domesticación (como la presencia de disyuntivas) debido a sus características de especie anual (ciclos de vida más cortos y más cambios generacionales en las plantaciones (Fuller *et al.*, 2011; Hernández-Cumplido y Chávez-Pesqueira, 2021) no se encontraron efectos negativos evidentes en estos estudios.

Por su parte, autores como Chacón-Fuentes y colaboradores (2016) tuvieron un enfoque similar comparando plantas de murtila (*Ugni molinae*) silvestres y cultivadas, encontrando estos autores un mayor daño sobre plantas cultivadas, y una mayor diversidad de insectos asociada a las mismas; estos autores sugieren que en solo 20 años de domesticación de murtila se han modificado caracteres defensivos en pro de caracteres alimenticios como antioxidantes y flavonoides en el fruto.

En este estudio no se encontró evidencia de una reducción de las defensas vegetales, por lo cual la estructura comunitaria particular asociada y la herbivoría (mayor en variedades criollas) encontradas en este estudio, están influenciadas por la domesticación incipiente del humano sobre las plantas en los últimos 100 años (Mole, 1994; Rosenthal y Dirzo, 1997; Anaya *et al.*, 2001; Reich *et al.*, 2003) y no por las disyuntivas (*trade-offs*; Whitehead *et al.*, 2016) tal como se planteó en este estudio.

Bajo esta concepción, las variedades criollas consideradas en este estudio (blanca, amarilla, morada y tenamaxte) no poseen características extremas en comparación a la variedad mamey, pero si presentan un cambio significativo en algunas características como lo son: desajustes en el floración y fructificación, mayor contenido en azúcares, aumento de tamaño de frutos, cambio de forma de

los frutos, entre otras características (Bernal-González, n.d.), lo cual podría haber generado una diferenciación en la asociación de las comunidades de artrópodos como consecuencia de un equilibrio entre la asociación de artrópodos sensibles a disturbios más intensos como el representado sobre la variedad mamey (Rosenthal y Dirzo, 1997; Bernal-González, n.d.) y en conjunto con un control de depredadores, y otros enemigos naturales derivado de dinámicas asociadas a plantas en entornos silvestres, que podrían presentarse en estas variedades criollas con domesticación incipiente (Chen *et al.*, 2018).

Autores como Benrey y colaboradores (1998) y Delgado-Baquerizo y colaboradores (2016), sugieren que las comunidades de artrópodos pueden verse afectadas por la selección directa hacia una mayor calidad nutricional de las plantas domesticadas con respecto a sus parientes silvestres; facilitando el establecimiento de ciertos gremios de artrópodos más susceptibles a los cambios de su entorno y a que tienen en los agroecosistemas una gran disponibilidad de plantas de las cuales alimentarse facilitando así su establecimiento; lo cual se traduce en menor gasto de energía y mayor obtención de recursos para los artrópodos.

Por su parte, Turcotte y colaboradores (2014) por medio de la evaluación de 29 eventos independientes de domesticación abordando a dos herbívoros generalistas, proponen que las comunidades de artrópodos se ven influenciados: dependiendo del tiempo bajo cultivo, el enfoque de la selección, la intensidad de la selección y las características de los sistemas bajo domesticación, esto en plantas anuales.

Por otro lado, Whitehead y colaboradores (2016) sugieren a el ciclo de vida de las plantas y a la dirección de selección de la domesticación como factores de cambio de las comunidades de artrópodos y sus interacciones; sin embargo, estos

autores proponen otros factores derivados también de la intervención humana que no se abordaron en este estudio y podrían también actuar sobre las comunidades de artrópodos, algunos de ellos son:

1) El sistema de apareamiento o la estrategia de defensa, pues son caracteres vegetales directamente asociados a la identidad de artrópodos que interactúan con la planta.

2) La identidad de los artrópodos interactuantes y el modo en que se alimentan (gremios de alimentación y el nivel de especialización de los mismos).

3) Determinar la historia evolutiva de las interacciones planta-herbívoro, con el fin de predecir el modo en el cual se establecen las interacciones actuales y las que se darán al mantenerse el cultivo como actividad económica.

4) Finalmente, también proponen a el cambio en las condiciones bajo las cuales la domesticación se ha llevado a cabo a diferencia de las condiciones en sistemas silvestres, incluyendo: el clima, los nutrientes y la presencia de organismos generalistas capaces de generar cascadas tróficas que propicien el establecimiento de especies de artrópodos únicas en variedades cultivadas en comparación a las asociadas a silvestres (Whitehead *et al.*, 2016).

Los estudios referidos anteriormente, sugieren factores alternativos a las disyuntivas (*trade-offs*) que influyen en el ensamblaje de las comunidades asociadas y podrían dar una mejor explicación a los resultados encontrados en este estudio en variedades de *S. queretaroensis* en comparación a los individuos silvestres.

Se propone el desarrollo de estudios futuros que den más claridad a esta cuestión abordando factores complementarios derivados de la selección humana y a otros posibles artrópodos que pudieran ser plagas de *S. queretaroensis* y no se abordaron en este estudio.

Por ejemplo: otros organismos potencialmente dañinos para *S. queretaroensis* (no evaluados en este estudio, pero encontrados en el muestreo por trampas de caída) son especies de las familias Coreidae y Miridae dentro del orden Hemiptera, reportados por Rocha-Flores y colaboradores (2017) como plagas del género *Opuntia* en México, en un área de distribución potencialmente compartida con *S. queretaroensis*; representando un riesgo potencial para la planta, ya que podrían alimentarse de los tejidos carnosos de sus tallos dejando heridas donde patógenos podrían entrar e infectar a la planta (Ortiz-Hernández y Carrillo-Salazar, 2012 y Rocha-Flores *et al.*, 2017).

Como observación personal, se encontraron ejemplares de la familia Miridae asociadas a los tallos de ejemplares cultivadas de *S. queretaroensis* alimentándose de estos, lo cual podría indicar que especies de estas familias están desarrollando sus ciclos de vida asociados a las plantas de pitaya; sin embargo, aún no han sufrido explosiones poblacionales que las pudiera convertir en una amenaza para la producción y los ejemplares silvestres de pitaya, por lo que podría ser importante la evaluación de sus poblaciones en Techaluta de Montenegro, Jalisco.

Otro enfoque adecuado en un estudio futuro sería comparar las comunidades de artrópodos asociadas a plantas silvestres y domesticadas con un cultivo similar como es el de ciertas especies del género *Hylocereus* que representan plantas perenne con un reciente aumento en su cultivo y explotación (Rodríguez, 2000); o bien, dentro del género *Stenocereus*, la especie *S. stellatus*, la cual posee un énfasis en su cultivo similar a *S. queretaroensis* en la región sur del territorio mexicano en estados como Oaxaca (Sánchez-Cortés *et al.*, 2018).

6.4 Conservación de variedades de pitaya

De acuerdo con Turcotte y colaboradores (2014), los monocultivos a gran escala

suelen ser el escenario idóneo para el desarrollo de plagas agrícolas debido a la limitada diversidad genética presente, evitando que genotipos potencialmente resistentes al ataque de artrópodos se mantengan; como pasaría en un sistema silvestre, pues muchas veces son eliminados por el ser humano en favor de variedades únicamente aprovechables pero no sostenibles.

En el caso del cultivo de *Stenocereus queretaroensis* en Techaluta de Montenegro, este se encuentra actualmente en una tendencia hacia un sistema de producción basado en un monocultivo de la variedad mamey, preservándose otras variedades en traspatios o en poca abundancia en las parcelas extensivas (Benjamin Trill y Andrés de los Santos productores de la región com. pers).

Los resultados de este estudio evidencian que el monocultivo de la variedad mamey podría representar un problema para la actividad económica en torno a *S. queretaroensis*, pues de acuerdo con los parámetros comunitarios evaluados, esta variedad posee una diversidad ($q = 1$) y riqueza de morfoespecies ($q = 0$) intermedia en comparación a las demás variedades de pitaya evaluadas.

Este ensamblaje de comunidades asociadas podría ocasionar que el cultivo de *S. queretaroensis* en un futuro sea dominado por especies consumidoras de la planta, reduciendo así la complejidad de interacciones (Whitham *et al.*, 2010; Turcotte *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2015), lo cual puede ocasionar explosiones demográficas de plagas al no existir un control por parte de artrópodos depredadores, lo que se evidencia en nuestro estudio, de acuerdo con el pobre establecimiento de órdenes depredadores en la variedad mamey (11 morfoespecies de Araneae, dos morfoespecies de Pseudoscorpiones y la ausencia los órdenes Mantodea y Scorpiones).

El continuar con un cultivo de una sola variedad (variedad mamey) volvería al

sistema de pitaya, susceptible a riesgos biológicos e incluso ambientales

(Whitehead *et al.*, 2016).

Por otro lado, además del monocultivo; otros factores reportados que pueden contribuir a reducir la diversidad genética de los cultivos son: La menor cantidad de ciclos de recombinación genética en los agroecosistemas en entornos silvestres (Zohary, 2004) y también, de las plantas perennes (Hernández-Cumplido *et al.*, 2021), como lo es *S. queretaroensis* la cual alcanza la madurez sexual a los 15 años; después de plantada la semilla (Salcedo, 1991; Pimienta-Barrios *et al.*, 1995; Pimienta-Barrios *et al.*, 2002), esto puede conllevar a fuertes presiones selectivas sobre la planta y sobre los herbívoros interactuantes, lo que podría llevar a una explotación descontrolada de las plantas bajo cultivos (Gould, 1998; Palumbi, 2001; Macfadyen y Bohan, 2010).

Sin embargo, este sistema de cultivo cuenta con variedades criollas como blanca, morada y tenamaxte (Pimienta-Barrios, 1999), las cuales de acuerdo a nuestros resultados, albergan una comunidad de artrópodos más compleja (Fig. 10; Fig. 11; Fig. 12; Cuadro 4) con respecto a plantas silvestres lo que concuerda con la teoría propuesta por Whitham y colaboradores (2010) pudiendo ser las variedades criollas un reservorio de diversidad para artrópodos.

Adicionalmente, estas variedades criollas pueden representar reservorios de diversidad genética (Whitham *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2017), que pudieran ser útiles para la especie y los productores en contra de posibles plagas o especies dañinas, como lo evidencian los resultados de este estudio en cuanto a el daño evaluado por *C. spinolae* y la polilla barrenadora (Lepidoptera: Pyralidae), que en variedades cultivadas es significativamente menor en comparación a variedades silvestres (Fig. 12).

Sin embargo, este estudio presenta una limitación evidente y es el hecho de que el enfoque indirecto con el cual se coordinó este estudio sobre las comunidades de artrópodos, no permite evaluar aspectos propios de la planta como los metabolitos secundarios involucrados en la defensa vegetal, por lo cual se propone que se coordinen estudios futuros en los que se aborden estas características sobre las variedades criollas y domesticada, y sobre las plantas silvestres para complementar los resultados encontrados en este estudio.

Finalmente, los cultivos de pitaya del género *Stenocereus* no solo se limitan al municipio de Techaluta de Montenegro o a la cuenca de Sayula, pues esta actividad se reporta con otras especies como *Stenocereus stellatus* (Pfeiff.) Riccob. en Tehuacán, Puebla (Bárceñas y Jiménez, 2010; Martínez-González, 2010), Guerrero (Sánchez-Cortés *et al.*, 2018), Oaxaca (Piña, 1977; Martínez-González, José, 2010), *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en Centroamérica (Corrales, 2002) y *Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb. en Tehuacán, Puebla (Martínez-González, José, 2010); en donde existen también variedades criollas y variedades comerciales bajo cultivo intensivo (Sánchez-Cortés *et al.*, 2018).

Por lo que los resultados de este estudio también pueden ser la base para proponer estrategias de conservación de la variación de las plantas de *S. queretaroensis* y especies relacionadas con uso agrícola, y brindar información a los agricultores para aplicarse en la conservación de rasgos para el fitomejoramiento y proporcionar evidencia de la vulnerabilidad ante potenciales plagas, por este motivo se sugiere la conservación de variedades criollas y un mayor uso de plantas provenientes de semilla que signifiquen un reservorio de diversidad genética (Whitham *et al.*, 2010), con lo cual en un futuro puede mantener el bienestar general de los cultivos.

VII. Conclusiones

1. Los cambios en la composición de comunidades de artrópodos asociadas a *Stenocereus queretaroensis* encontrados en este estudio son un resultado próximo del fenómeno de domesticación, debido a la dirección de selección que se le ha dado a esta especie hacia aumentar el rendimiento y énfasis en caracteres reproductivos, lo cual ha aumentado la disponibilidad de recursos aprovechables para artrópodos herbívoros propiciando el establecimiento de una mayor riqueza y diversidad de artrópodos a variedades domesticadas, en comparación a las comunidades de plantas silvestres, lo cual se ha reflejado en que no se han presentado explosiones demográficas de especies potencialmente dañinas para las pitayas; además, de la presencia de órdenes únicos que pueden ser la clave para entender la estructura de las comunidades asociadas a las variedades criollas y mamey, lo cual puede ser la base para el desarrollo de mejores planes de manejo para los cultivos de pitaya.
2. La evaluación de herbivoría sobre los tallos de *S. queretaroensis* evidencia una mayor incidencia en variedades criollas, lo cual sugiere que estas variedades pueden fungir como factores de resiliencia de otras variedades con mayor énfasis en su domesticación y más extendidas como lo es la variedad mamey; sin embargo, es preciso que se desarrollen estudios enfocados en conocer la identidad de la especie de polilla barrenadora y su posible papel como plagas de *S. queretaroensis*, así como el de *Cactophagus spinolae* a mediano y largo plazo, pues en la actualidad parecen no representar aún plagas para el cultivo, a pesar de que se alimentan de las plantas de pitaya y su presencia ha podido observarse en Techaluta de

Montenegro, Jalisco, México.

3. La herbivoría y las estructuras comunitarias encontradas, son fundamentales para proponer que la hipótesis de domesticación (rendimiento)-reducción de defensas no fue evidente para las pitayas bajo cultivo; en su lugar, en este estudio se plantea que las estructuras comunitarias asociadas a las plantas criollas y mamey, podrían ser el resultado de factores derivados de la domesticación y la influencia humana, como pueden ser: la transición de las plantas silvestres a las plantas domesticadas en los agroecosistemas, los síndromes de domesticación de variedades cultivadas (mayor talla de frutos, mejoramiento del sabor de la pulpa, mayor aborto de flores y frutos) y la abundancia de las plantas en las parcelas en el municipio.
4. La preservación de variedades criollas mantendría una mayor diversidad y riqueza de especies de artrópodos asociadas en las poblaciones de *S. queretaroensis* bajo cultivo, lo cual puede ser un factor determinante para la resiliencia de los cultivos y su fitomejoramiento en contra del desarrollo de posibles plagas agrícolas que amenacen a las plantas de pitaya y a la producción, que constituye el principal sustento económico de la región.
5. Este estudio es un primer acercamiento para la comprensión de los procesos ecológicos derivados de la domesticación de *S. queretaroensis* sobre sus comunidades de artrópodos asociadas; el cual permite complementar el conocimiento de las especies de artrópodos en la región de Techaluta de Montenegro, Jalisco, México.

Literatura citada

Ali, J. G., y Agrawal, A. A. (2012). Specialist versus generalist insect herbivores plant defense. *Trends in Plant Science*, 17(5), 293–302.

- Alvarez, N., Hossaert-Mckey, M., Restoux, G., Delgado-Salinas, A., y Benrey, B. (2007). Anthropogenic effects on population genetics of phytophagous insects associated with domesticated plants. *Evolution*, 61(12), 2986–2996.
- Anaya, A. L., Espinosa-García, F., y Cruz-Ortega, R. (2001). *Relaciones químicas entre organismos: aspectos básicos y perspectivas de su aplicación*. Plaza y Valdés, S.A. de C.V.
- Aquino, T., Iparraguirre, M. A., y Ruiz, J. (2007). *Scyphophorus acupunctatus (=interstitialis)* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae). Plaga del agave mezcalero: Pérdidas y daños en Oaxaca, México. *Revista UDO Agrícola*, 7(1), 175–180.
- Arriaga, M. C., Pimienta-Barrios, E., Neri, C., Avendaño, A., Sánchez, J., Arellano, L. J., Padilla, J. M., Acero, J., Jiménez, C., López, D., y Rodríguez, E. (n.d.). *La pitaya silvestre (Stenocereus queretaroensis) una alternativa alimenticia, nutricional y socioeconómica*.
- Bárcenas, P., y Jiménez, V. (2010). Pitayas y Pitahayas (*Stenocereus* spp. e *Hylocereus* spp.), recursos agrícolas en el Valle de Tehuacán Puebla. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 10(19), 101–119.
- Bazzaz, F. A., Chiariello, N. R., Coley, P. D., y Pitelka, L. F. (1987). Allocating resources to reproduction and defense. *BioScience*, 37(1), 58–67.
- Beiroz, W., Audino, L. D., Queiroz, A. C. M., Rabello, A. M., Boratto, I. A., Silva, Z., y Ribas, C. R. (2014). Structure and composition of Edaphic arthropod community and its use as bioindicators of environmental disturbance. *Applied Ecology and Environmental Research*, 12(2), 481–491.
- Benrey, B., Callejas, A., Rios, L., Oyama, K., y Denno, R. F. (1998). The effects of domestication of *Brassica* and *Phaseolus* on the interaction between phytophagous insects and parasitoids. *Biological Control*, 11(2), 130–140.
- Bernal-González, Y. A. (n.d.). *La domesticación de Stenocereus queretaroensis*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Borror, D. J., y White, R. E. (1970). *A field guide to insects: America North of Mexico*.

Houghton Mifflin Harcourt.

- Bravo-Avilez, D., Rendón-Aguilar, B., Zavala-Hurtado, J. A., y Fornoni, J. (2014). Primer registro de *Cactophagus spinolae* (Coleoptera: Curculionidae) sobre dos especies de *Stenocereus* (Cactaceae) en el centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(3), 972–974.
- Bravo-Avilez, D., Zavala-Hurtado, J. A., y Rendón-Aguilar, B. (2019). Damage in Cactaceae, their geographic distribution and new evidences. *Botanical Sciences*, 97(4), 551–567.
- Calderón-Patrón, J. M., Moreno, C. E., y Zuria, I. (2012). La diversidad beta: Medio siglo de avances. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(3), 879–891.
- Chacón-Fuentes, M. A., Lizama, M. G., Parra, L. J., Seguel, I. E., y Quiroz, A. E. (2016). Insect diversity, community composition and damage index on wild and cultivated murtilla. *Ciencia e Investigación Agraria*, 43(1), 57–67.
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., y Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84(1), 45–67.
- Chao, A., y Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: Standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533–2547.
- Chao, D., Fu, Z., y Zhao, H. (2011). Structure and dynamics of arthropod communities in kiwifruit orchards. *Journal of Northwest Agriculture and Forestry University*, 39(11), 89–96.
- Chen, Y. H., y Bernal, C. C. (2011). Arthropod diversity and community composition on wild and cultivated rice. *Agricultural and Forest Entomology*, 13(2), 181–189.
- Chen, Y. H., Gols, R., y Benrey, B. (2015). Crop domestication and its impact on naturally selected trophic interactions. *Annual Review of Entomology*, 60, 35–58.
- Chen, Y. H., Gols, R., Stratton, C. A., Brevik, K. A., y Benrey, B. (n.d.). Complex tritrophic interactions in response to crop domestication: Predictions from the wild. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 157(1), 40–59.
- Chen, Y. H., Langellotto, G. A., Barrion, A. T., y Cuong, N. L. (2013). Cultivation of

- domesticated rice alters arthropod biodiversity and community composition. *Annals of the Entomological Society of America*, 106(1), 100–110.
- Chen, Y. H., Ruiz-Arocho, J., y Wettberg, E. J. (2018). Crop domestication: Anthropogenic effects on insect–plant interactions in agroecosystems. *Current Opinion in Insect Science*, 29, 56–63.
- Chen, Y. H., Shapiro, L. R., Benrey, B., y Cibrián-Jaramillo, A. (2017). Back to the origin: *In situ* studies are needed to understand selection during crop diversification. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5(125), 1–8.
- Colwell, R. K., Chao, A., Gotelli, N. J., Lin, S. Y., Mao, C. X., Chazdon, R. L., y Longino, J. T. (2012). Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology*, 5(1), 3–21.
- Corrales, J. (2002). *Caracterización postcosecha, aprovechamiento e industrialización de pitayas y pitahayas* (1st ed.). Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM).
- De la Barrera, E., y Nobel, P. S. (2003). Physiological ecology of seed germination for the columnar cactus *Stenocereus queretaroensis*. *Journal of Arid Environments*, 53(3), 297–306.
- Del-Val, E., y Sáenz-Romero, C. (2017). Insectos descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) y cambio climático: Problemática actual y perspectivas en los bosques templados. *Tip*, 20(2), 53–60.
- Delgado-Baquerizo, M., Reich, P. B., García-Palacios, P., y Milla, R. (2016). Biogeographic bases for a shift in crop C : N : P stoichiometries during domestication. *Ecology Letters*, 19(5), 564–575.
- Dinno, A. (2017). *dunn.test: Dunn's Test of Multiple Comparisons Using Rank Sums*. R package version 1.3.5. <https://cran.r-project.org/web/packages/dunn.test/index.html>
- Dong, B.-C., Wang, M.-Z., Liu, R.-H., Luo, F.-L., Li, H.-L., y Yu, F.-H. (2018). Direct and legacy effects of herbivory on growth and physiology of a clonal plant. *Biological*

Invasions, 20(12), 3631–3645.

Evans, L. T. (1993). *Crop evolution, adaptation and yield*. Cambridge University Press.

Farrell, B. D., Sequeira, A. S., O'Meara, B. C., Normark, B. B., Chung, J. H., y Jordal, B. H. (2001). The evolution of agriculture in beetles (Curculionidae: Scolytinae and Platypodinae). *Evolution*, 55(10), 2011–2027.

Fuller, D. Q. (2011). Finding plant domestication in the Indian subcontinent. *Current Anthropology*, 52(S4), 5347–5362.

Fuller, D. Q., Willcox, G., y Allaby, R. G. (2011). Cultivation and domestication had multiple origins: arguments Against the core area hypothesis for the origins of agriculture in the Near East. *World Archaeology*, 43(4), 628–652.

Gallego-Ropero, M. C. (2005). Intensidad de manejo del agroecosistema de café (*Coffea arabica* L.) (Monocultivo y policultivo) y riqueza de especies de hormigas generalistas. *Boletín Del Museo de Entomología de La Universidad Del Valle*, 6(2), 16–29.

Gepts, P. (2010). Crop domestication as a long-term selection experiment. In J. Janick (Ed.), *Plant breeding reviews* (pp. 504–513). John Wiley & Sons Inc.

Gols, R., Bukovinszky, T., van Dam, N. M., Dicke, M., Bullock, J. M., y Harvey, J. A. (2008). Performance of generalist and specialist herbivores and their endoparasitoids differs on cultivated and wild Brassica populations. *Journal of Chemical Ecology*, 34(2), 132–143.

Gould, F. (1998). Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: Integrating pest genetics and ecology. *Annual Review of Entomology*, 43(1), 701–726.

Heinen, R., van der Sluijs, M., Biere, A., Harvey, J. A., y Bezemer, T. M. (2017). Plant community composition but not plant traits determine the outcome of soil legacy effects on plants and insects. *Journal of Ecology*, 106(3), 1217–1229.

Hernández-Cumplido, J., Giusti, M. M., Zhou, Y., Kyryczenko-Roth, V., Chen, Y. H., y Rodríguez-Saona, C. (2018). Testing the “plant domestication-reduced defense” hypothesis in blueberries: the role of herbivore identity. *Arthropod-Plant Interactions*, 12(4), 483–493.

Hernández-Cumplido, J., Rodríguez-Saona, C., Ruíz-Rodríguez, C. E., Guevara-Fefer, P.,

- Aguirre-Paleo, S., Miranda Trejo, S., y Callejas-Chavero, A. (2021). Genotypic variation in plant traits, chemical defenses, and resistance against insect herbivores in avocado (*Persea Americana*) across a domestication gradient. *Frontiers in Agronomy*, 2, 1–12.
- Hernández-Cumplido, y Chávez-Pesqueira, M. (2021). Las consecuencias de vivir mucho o poco en el proceso de domesticación. *Desde El Herbario CICY*, 13, 217–221.
- Herrera, L. (2015). Orden Dermaptera. *Revista Ide @-Sea*, 42, 1–10.
- Hsieh, T. C., Ma, K. H. y Chao, A. (2022). *iNEXT: Interpolation and Extrapolation for Species Diversity*. R package version 3.0.0.
http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/.
- Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEGI). (2018). *Techaluta de Montenegro. Diagnóstico del Municipio, mayo 2018*.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113, 363–375.
- Jost, L., y González-Oreja, J. (2012). Midiendo la diversidad biológica: Más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana*, 56(1–2), 3–14.
- Kostenko, O., van de Voorde, T. F., Mulder, P. P., van der Putten, W. H., y Martijn Bezemer, T. (2012). Legacy effects of aboveground–belowground interactions. *Ecology Letters*, 15(8), 813–821.
- Laurin-Lemay, S., Angers, B., Benrey, B., y Brodeur, J. (2013). Inconsistent genetic structure among members of a multitrophic system: Did bruchid parasitoids (*Horismenus* spp.) escape the effects of bean domestication? *Bulletin Entomological Research*, 103(2), 182–192.
- Leiss, K. A., Cristofori, G., van Steenis, R., Verpoorte, R., y Klinkhamer, P. G. L. (2013). An eco-metabolomic study of host plant resistance to Western flower thrips in cultivated, biofortified and wild carrots. *Phytochemistry*, 93, 63–70.
- Llamas-Llamas, J. (1984). El cultivo del pitayo en Huajuapán de León. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 29(3), 62–65.
- Lomeli, E., y Pimienta-Barrios, E. (1993). Demografía reproductiva del pitayo (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum). *Revista Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 38,

- Macfadyen, S., y Bohan, D. A. (2010). Crop domestication and the disruption of species interactions. *Basic and Applied Ecology*, 11(2), 116–125.
- Marqu ez-Luna, J. (1996). Las hormigas “arrieras”, *Atta* spp. (Hymenoptera: Formicidae) de México. *Dugesiana*, 3(1), 33–45.
- Martínez-González, José, C. (2010). *Principales cultivares de pitaya en Puebla y Oaxaca*. SAGARPA-INIFAP.
- McCary, M. A., Martínez, J. C., Umek, L., Heneghan, L., y Wise, D. H. (2015). Effects of woodland restoration and management on the community of surface-active arthropods in the metropolitan Chicago region. *Biological Conservation*, 190, 154–166.
- McKey, D., Elias, M., Pujol, B., y Duputi , A. (2010). The evolutionary ecology of clonally propagated domesticated plants. *New Phytologist*, 186(2), 318–332.
- Medina, R. F., Reyna, S. M., y Bernal, J. S. (2012). Population genetic structure of a specialist leafhopper on *Zea*: Likely anthropogenic and ecological determinants of gene flow. *Entomología Experimentalis et Applicata*, 142(3), 223–235.
- Meyer, R. S., Duval, A. E., y Jensen, H. R. (2012). Patterns and processes in crop domestication: An historical review and quantitative analysis of 203 global food crops. *New Phytologist*, 196(1), 29–48.
- Michaud, J. P. (2011). Challenges to effective management of sunflower insects on the high plains. In V. C. Hughes (Ed.), *Sunflowers: Cultivation, Food and Nutrition Uses, and Biodiesel Uses* (Ilustr e, pp. 169–182). Nova Science Publishers.
- Mirnezhad, M., Romero-González, R. R., Leiss, K. A., Choi, Y. H., Verpoorte, R., y Klinkhamer, P. G. L. (2010). Metabolomic analysis of host plant resistance to thrips in wild and cultivated tomatoes. *Phytochemical Analysis*, 21(1), 110–117.
- Mole, S. (1994). Trade-offs and constraints in plant–herbivore defense theory: A life-history perspective. *Oikos*, 71(1), 3–12.
- Molina, G. A. R. (2014). *Influencia de la heterogeneidad del paisaje sobre la diversidad y la estructura trófica de los ensamblajes de artrópodos en ambientes agrícolas de la Pampa*

Ondulada. Universidad de Buenos Aires.

- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. MyT-Manuales y Tesis SEA* (1st ed.). GORFI, S. A.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., y Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: Alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1249–1261.
- Muñiz, R. (1998). *Cactophagus spinolae* (Gyllenhal, 1838) picudo del nopal. *Dugesiana*, 5(1), 42–43.
- Novoa, S., Redolfi, I., Ceroni, A., y Arellano, C. (2005). El forrajeo de la hormiga *Camponotus* sp. en los botones florales del cactus *Neoraimondia arequipensis* subsp. roseiflora (Werdermann & Backeberg) Ostolaza (cactaceae). *Ecología Aplicada*, 4(1–2), 83–87.
- Ortiz-Hernández, Y. D., y Carrillo-Salazar, J. A. (2012). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): A short review. *Comunicata Scientiae*, 3(4), 220–237.
- Pablo-Rios, N., Hernández-Tapia, A., y Cruz-Rodríguez, J. A. (2015). Efecto del sombreado en el ataque del picudo (*Cactophagus spinolae*) en plantas de pitayo (*Stenocereus stellatus*) en Pizotlán, Morelos, México. *V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA*, 5.
- Palumbi, S. R. (2001). Humans as the world's greatest evolutionary force. *Science*, 293(5536), 1786–1790.
- Pimienta-Barrios, E., Nobel, P. S., Robles-Murguía, C., Mendez-Moran, L., Pimienta-Barrios, E., y Yopez-Gonzalez, E. (1997). Ethnobotany, productivity, and ecophysiology of pitaya (*Stenocereus queretaroensis*). *Journal of Professional Association for Cactus Development*, 2, 29–38.
- Pimienta-Barrios, Enrique. (1999). *Productividad y ecofisiología del pitayo de Querétaro (Stenocereus queretaroensis) (Weber) Buxbaum*. Universidad de Guadalajara.
- Pimienta-Barrios, Enrique, Robles-Murguía, C., y Pimienta-Barrios, E. (2002). Crecimiento primario en plantas silvestres de pitayo (*Stenocereus queretaroensis* (Weber)

- Buxbaum) y su relación con temperatura, lluvia y micorrizas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(2), 3–13.
- Pimienta-Barrios, Eulogio, y Nobel, P. S. (1994). Pitaya (*Stenocereus* spp., Cactaceae) an ancient and modern fruit crop of Mexico. *Economic Botany*, 48(1), 76–83.
- Pimienta-Barrios, Eulogio, y Nobel, P. S. (1995). Reproductive characteristics of pitayo (*Stenocereus queretaroensis*) and their relationships with soluble sugars and irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(6), 1082–1086.
- Piña, L. (1977). Pitayas y otras cactáceas afines del estado de Oaxaca. *Revista Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 22(1), 3–13.
- Quinto, J., Martínez-Falcón, A. P., Murillo-Pacheco, J. I., Abdala-Roberts, L., y Parra-Tabla, V. (2021). Diversity patterns of tropical epigeal beetle assemblages associated with monoculture and polyculture plantations with big-leaf mahogany. *Neotropical Entomology*, 50(4), 551–561.
- Ramos-Patlán, F. D., Salas-Araiza, M. D., Guzmán-Mendoza, R., Pérez-Moreno, L., Martínez-Jaime, O. A., y Núñez-Palenius, H. G. (2018). Notas sobre la presencia y distribución de especies de mantis en Guanajuato. *Entomología Mexicana*, 5, 118–124.
- Reich, P. B., Wright, I. J., Cavender-Bares, J., Craine, J. M., Oleksyn, J., Westoby, M., y Walters, M. B. (2003). The evolution of plant functional variation: traits, spectra, and strategies. *International Journal of Plant Sciences*, 164(3), 143–164.
- Rocha-Flores, R. G., García-Martínez, O., y Villarreal-Quintanilla, J. Á. Sánchez-Peña, S. R. (2017). Especies de Hemiptera-Heteroptera asociadas a *Opuntia* spp. y *Nopalea* spp. en el desierto chihuahuense mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8), 1773–1784.
- Rodríguez-Saona, C., Vorsa, N., Singh, A. P., Johnson-Cicalese, J., Szendrei, Z., Mescher, M. C., y Frost, C. (2011). Tracing the history of plant traits under domestication in cranberries: Potential consequences on anti-herbivore defences. *Journal of Experimental Botany*, 62(8), 2633–2644.
- Rodríguez, A. (2000). *Pitahayas: Estado mundial de su cultivo y comercialización*.

Fundación Yucatán Produce AC y Universidad Autónoma Chapingo.

- Rosenthal, J., y Dirzo, R. (1997). Effects of life history, domestication and agronomic selection on plant defense against insects: Evidence from maizes and wild relatives. *Evolutionary Ecology*, 11, 337–355.
- Salcedo, E. (1991). *Aspectos taxonómicos y etnobotánicos del pitayo Stenocereus queretaroensis (Web.) Buxb., en el municipio de Techaluta, Jalisco*. Universidad de Guadalajara.
- Salinas-Moreno, Y., Vargas Mendoza, C. F., Zúñiga, G., Alan Ager, J. V., y Hayes, J. L. (2010). *Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género Dendroctonus (Curculionidae: Scolytinae) en México* (1st ed.). Instituto Politécnico Nacional y Comisión Nacional Forestal.
- Sánchez-Cortés, H., Bustamante-Gonzalez, B., Vargas-López, S., Pérez-Ramírez, N., y Morales-Jimenez, J. (2018). El cultivo de la pitaya de agosto (*Stenocereus stellatus* Pfeiffer) en la montaña de Guerrero. *Agroproductividad*, 11(10), 189–193.
- SAS Institute Inc. (2014). *JMP 11®* (No. 11). SAS Institute Inc.
https://www.jmp.com/es_mx/home.html
- Stam, J. M., Kos, M., Dicke, M., y Poelman, E. H. (2019). Cross-seasonal legacy effects of arthropod community on plant fitness in perennial plants. *Journal of Ecology*, 107(5), 2451–2463.
- Sturm, H. (2009). Archaeognatha: (Bristletails). In *Encyclopedia of Insects* (Segunda, pp. 48–50). Academic Press.
- Szczepaniec, A., Widney, S. E., Bernal, J. S., y Eubanks, M. D. (2013). Higher expression of induced defenses in teosintes (*Zea* spp.) is correlated with greater resistance to fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 146(2), 242–251.
- Takahashi, C. G., Kalns, L. L., y Bernal, J. S. (2012). Plant defense against fall armyworm in micro-sympatric maize (*Zea mays* ssp. *mays*) and Balsas teosinte (*Zea mays* ssp. *parviglumis*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 145(3), 191–200.

- Team R Core. (2020). *R*® (3.6.3). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Torralba-Burrial, A. (2015). Orden Embioptera. *Revista Ide @-Sea*, 44, 1–6.
- Tremlett, C. J., Peh, K. S. H., Zamora-Gutierrez, V., y Schaafsma, M. (2021). Value and benefit distribution of pollination services provided by bats in the production of cactus fruits in central Mexico. *Ecosystem Services*, 47, 1–12.
- Triplehorn, C. A., Johnson, N. F., y Joyce, D. (2005). *Borror and DeLong's introduction to the study of insects* (Thompson B). Thomson Brooks/Cole.
- Turcotte, M. M., Lochab, A. K., Turley, N. E., y Johnson, M. T. J. (2015). Plant domestication slows pest evolution. *Ecology Letters*, 18(9), 907–915.
- Turcotte, M. M., Turley, N. E., y Johnson, M. T. J. (2014). The impact of domestication on resistance to two generalist herbivores across 29 independent domestication events. *New Phytologist*, 204(3), 671–681.
- Vía, S. (1990). Ecological genetics and host adaptation in herbivorous insects-the experimental study of evolution in natural and agricultural systems. *Annual Review of Entomology*, 35(1), 421–446.
- White, R. E. (1983). *Field guide to the beetles of North America*. Houghton Mifflin Co.
- Whitehead, S. R., Turcotte, M. M., y Poveda, K. (2016). Domestication impacts on plant–herbivore interactions: A meta-analysis. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 372(1712), 1–9.
- Whitham, T. G., Gehring, C. A., Evans, L. M., LeRoy, C. J., Bangert, R. K., Schweitzer, J. A., Allan, G. J., Barbour, R. C., Fischer, D. G., Potts, B. M., y Bailey, J. K. (2010). A community and ecosystem genetics approach to conservation biology and management. In J. A. DeWoody, J. W. Bickham, C. H. Michler, K. M. Nichols, G. E. Rhodes, y K. E. Woeste (Eds.), *Molecular Approaches in Natural Resource Conservation and Management* (pp. 50–73). Cambridge University Press.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org>.

- Wink, M. (1988). Plant breeding: Importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores. *Theoretical and Applied Genetics*, 75(2), 225–233.
- Zhang, Z.-Q. (2013). Phylum Arthropoda. *Zootaxa*, 3703(1), 17–26.
- Zohary, D. (2004). Unconscious selection and the evolution of domesticated plants. *Economic Botany*, 58, 5–10.

Anexo 1

Presencia/ausencia de cada orden de artrópodos capturados por trampas de caída (*pitfall*) en las seis variedades de *Stenocereus queretaroensis*.

| Subphylum | Orden | Sil | Bla | Ama | Mor | Tena | Mam |
|-------------|------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| Chelicerata | Scorpiones | X | X | X | X | X | X |
| | Araneae | X | X | X | X | X | X |
| | Opiliones | X | - | - | - | X | X |
| | Pseudoscorpiones | X | - | X | X | X | X |
| | Solifugae | - | X | X | - | X | - |
| Myriapoda | Scutigermorpha | - | X | - | - | - | - |
| Crustacea | Isopoda | X | X | X | X | X | X |
| Hexapoda | Entomobryomorpha | X | X | X | X | X | X |
| Insecta | Archaeognatha | - | - | - | - | - | X |
| | Orthoptera | X | X | X | X | X | X |
| | Dermaptera | - | X | - | - | - | - |
| | Mantodea | - | X | - | - | - | - |
| | Embioptera | - | X | - | - | - | - |
| | Blattodea | X | X | X | X | X | X |
| | Thysanoptera | X | - | - | X | - | - |
| | Hemiptera | X | X | X | X | X | X |
| | Coleoptera | X | X | X | X | X | X |
| | Neuroptera | X | X | - | - | - | X |
| | Lepidoptera | X | X | X | X | X | X |
| | Hymenoptera | X | X | X | X | X | X |
| | Diptera | X | X | X | X | X | X |

Anexo 2

Número de morfoespecies de cada orden de artrópodos capturados por trampas de caída (*pitfall*) en las seis variedades de *Stenocereus queretaroensis*.

| Subphylum | Orden | Sil | Bla | Ama | Mor | Tena | Mam |
|-------------|------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| Chelicerata | Scorpiones | 5 | 1 | 3 | 1 | 3 | 0 |
| | Araneae | 17 | 17 | 14 | 17 | 13 | 20 |
| | Opiliones | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | Pseudoscorpiones | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| | Solifugae | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Myriapoda | Scutigermorpha | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Crustacea | Isopoda | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 |
| Hexapoda | Entomobryomorpha | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Insecta | Archaeognatha | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Orthoptera | 4 | 4 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| | Dermaptera | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Mantodea | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Embioptera | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Blattodea | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | Thysanoptera | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | Hemiptera | 27 | 18 | 12 | 11 | 16 | 18 |
| | Coleoptera | 36 | 28 | 31 | 32 | 28 | 29 |
| | Neuroptera | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 |
| | Lepidoptera | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| | Hymenoptera | 30 | 35 | 37 | 32 | 25 | 35 |
| | Diptera | 8 | 2 | 4 | 5 | 2 | 3 |

Anexo 3

Valores obtenidos con las pruebas de Wilcoxon-Mann-Whitney en la comparación de medias de la abundancia de morfoespecies de artrópodos/trampa colectados en el muestreo por trampas de caída (*pitfall*) en cada uno de los tres tiempos de muestreo a lo largo del mes de abril.

Valores de pruebas de wilcoxon – Tiempo 1 (marzo 29 – abril 3)

| Variedades comparadas | Z | P |
|-----------------------|---|---|
|-----------------------|---|---|

| | | |
|-----------------------|-------|-----------------|
| Silvestre – blanca | 2.59 | <0.01 |
| Silvestre – amarilla | 1.26 | 0.2 |
| Silvestre – morada | 2.05 | 0.03 |
| Silvestre – tenamaxte | -0.29 | 0.77 |
| Silvestre – mamey | 2.11 | 0.03 |
| Blanca – amarilla | -1.55 | 0.11 |
| Blanca – morada | 0.78 | 0.43 |
| Blanca – tenamaxte | 2.38 | 0.01 |
| Blanca- mamey | 0.83 | 0.4 |
| Amarilla – morada | -1.03 | 0.29 |
| Amarilla – tenamaxte | 0.97 | 0.32 |
| Amarilla – mamey | -0.68 | 0.49 |
| Morada – tenamaxte | 1.76 | 0.07 |
| Morada – mamey | -0.02 | 0.98 |
| Tenamaxte – mamey | 1.72 | 0.08 |

Valores de pruebas de wilcoxon – Tiempo 2 (abril 10 – abril 15)

| Variedades comparadas | Z | P |
|-----------------------|-------|-----------------|
| Silvestre – blanca | 3.14 | <0.01 |
| Silvestre – amarilla | 2.14 | 0.03 |
| Silvestre – morada | 3.14 | <0.01 |
| Silvestre – tenamaxte | -0.54 | 0.58 |
| Silvestre – mamey | 1.68 | 0.09 |
| Blanca – amarilla | -0.82 | 0.1 |
| Blanca – morada | 0.87 | 0.38 |
| Blanca – tenamaxte | 2.05 | 0.04 |
| Blanca- mamey | 2.11 | 0.03 |
| Amarilla – morada | -0.04 | 0.96 |
| Amarilla – tenamaxte | 1.13 | 0.25 |
| Amarilla – mamey | 0.95 | 0.33 |
| Morada – tenamaxte | 1.48 | 0.13 |
| Morada – mamey | -1.61 | 0.1 |
| Tenamaxte – mamey | 0.58 | 0.55 |

Valores de pruebas de wilcoxon – Tiempo 3 (abril 17– abril 27)

| Variedades comparadas | Z | P |
|-----------------------|------|-------|
| Silvestre – blanca | 2.86 | <0.01 |
| Silvestre – amarilla | 3.49 | <0.01 |
| Silvestre – morada | 2.59 | 0.08 |
| Silvestre – tenamaxte | -1.7 | <0.01 |
| Silvestre – mamey | 2.71 | <0.01 |
| Blanca – amarilla | 0.41 | 0.67 |
| Blanca – morada | 0.58 | 0.56 |
| Blanca – tenamaxte | 0.61 | 0.54 |
| Blanca- mamey | 0.39 | 0.69 |
| Amarilla – morada | 0.69 | 0.48 |
| Amarilla – tenamaxte | 1.01 | 0.31 |
| Amarilla – mamey | 0.96 | 0.33 |
| Morada – tenamaxte | 0.1 | 0.91 |
| Morada – mamey | 0.06 | 0.95 |
| Tenamaxte – mamey | 0.24 | 0.81 |

Anexo 4

Abundancia de morfoespecies de artrópodos capturados por trampas de caída (*pitfall*) en las seis variedades de *Stenocereus queretaroensis*.

| Subphylum | Morfoespecie | Sil | Bla | Ama | Mor | Tena | Mam |
|-------------|--------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| Chelicerata | Scorpiones 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | Scorpiones 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | Scorpiones 3 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Scorpiones 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | Scorpiones 5 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| | Scorpiones 6 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Araneae 1 | 5 | 7 | 7 | 9 | 5 | 2 |
| | Araneae 2 | 5 | 2 | 2 | 3 | 5 | 4 |
| | Araneae 3 | 1 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 |

| | | | | | | |
|--------------------|---|---|---|---|---|---|
| Araneae 4 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 |
| Araneae 5 | 7 | 4 | 4 | 3 | 4 | 6 |
| Araneae 6 | 6 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 |
| Araneae 7 | 2 | 5 | 0 | 4 | 7 | 6 |
| Araneae 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| Araneae 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Araneae 10 | 5 | 0 | 0 | 5 | 1 | 2 |
| Araneae 11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Araneae 12 | 0 | 2 | 1 | 4 | 0 | 2 |
| Araneae 13 | 0 | 1 | 2 | 1 | 7 | 2 |
| Araneae 14 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| Araneae 15 | 5 | 2 | 0 | 1 | 4 | 4 |
| Araneae 16 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Araneae 17 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Araneae 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Araneae 19 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Araneae 20 | 1 | 1 | 0 | 4 | 0 | 1 |
| Araneae 21 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Araneae 22 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Araneae 23 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Araneae 24 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Araneae 25 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3 |
| Araneae 26 | 0 | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| Araneae 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Araneae 28 | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| Araneae 29 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Araneae 30 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Araneae 31 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Araneae 32 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Opiliones 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Opiliones 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pseudoscorpiones 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Pseudoscorpiones 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

| | | | | | | | |
|-----------|-------------------------------------|----|----|------|-----|----|----|
| | Pseudoscorpiones 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Pseudoscorpiones 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | Solifugae 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Solifugae 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | Solifugae 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Myriapoda | Scutigermorpha 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Crustacea | Isopoda 1 | 0 | 3 | 1 | 2 | 0 | 3 |
| | Isopoda 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| | Isopoda 3 | 4 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 |
| | Isopoda 4 | 1 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 |
| | Isopoda 5 | 0 | 13 | 15 | 6 | 9 | 18 |
| | Isopoda 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | Isopoda 7 | 1 | 66 | 0 | 0 | 4 | 0 |
| | Isopoda 8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Hexapoda | Entomobryomorpha 1 | 4 | 47 | 5 | 58 | 25 | 9 |
| | Entomobryomorpha 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| Insecta | Archaeognatha 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Orthoptera 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Orthoptera 2 | 10 | 1 | 4 | 1 | 0 | 0 |
| | Orthoptera 3 | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | Orthoptera 4 | 8 | 2 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| | Orthoptera 5 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Orthoptera 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Dermaptera 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Mantodea 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Embioptera 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Embioptera 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Blattodea 1 | | | | | | |
| | (<i>Latiblattella</i> sp.) | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | Blattodea 2 (<i>Nyctibora</i> sp.) | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Blattodea 3 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| | Blattodea 4 | 27 | 66 | 1235 | 324 | 21 | 41 |

(*Nasutitermes* sp.)

| | | | | | | |
|----------------|---|---|---|----|---|---|
| Thysanoptera 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Thysanoptera 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 1 | 7 | 2 | 1 | 8 | 0 | 3 |
| Hemiptera 2 | 0 | 2 | 4 | 13 | 1 | 0 |
| Hemiptera 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Hemiptera 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Hemiptera 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Hemiptera 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| Hemiptera 7 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Hemiptera 10 | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| Hemiptera 11 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Hemiptera 12 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 13 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| Hemiptera 14 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 15 | 5 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Hemiptera 16 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Hemiptera 17 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 18 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 19 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Hemiptera 20 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 21 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Hemiptera 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Hemiptera 23 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Hemiptera 24 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 25 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| Hemiptera 26 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Hemiptera 27 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 28 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 29 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 30 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|-----------------------------------|----|----|---|----|----|----|
| Hemiptera 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Hemiptera 32 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 33 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Hemiptera 34 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Hemiptera 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Hemiptera 36 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Hemiptera 37 | 0 | 0 | 0 | 5 | 2 | 1 |
| Hemiptera 38 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 39 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 40 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 41 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Hemiptera 42 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Hemiptera 43 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 44 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Hemiptera 46 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 47 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Hemiptera 48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Hemiptera 49 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Hemiptera 51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Hemiptera 52 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 53 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera 54 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Hemiptera 55 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Coleoptera 1 | | | | | | |
| (<i>Dendroctonus frontalis</i>) | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Coleoptera 3 | 96 | 0 | 2 | 3 | 0 | 2 |
| Coleoptera 4 | 1 | 0 | 1 | 4 | 1 | 1 |
| Coleoptera 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 6 | 3 | 15 | 9 | 22 | 21 | 28 |
| Coleoptera 7 | 0 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 |

| | | | | | | |
|-------------------------|---|----|----|---|----|----|
| Coleoptera 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Coleoptera 9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Coleoptera 10 | 0 | 1 | 0 | 4 | 1 | 0 |
| Coleoptera 11 | 1 | 1 | 3 | 5 | 3 | 0 |
| Coleoptera 12 | 0 | 7 | 4 | 9 | 4 | 3 |
| Coleoptera 13 | 6 | 17 | 28 | 3 | 12 | 17 |
| Coleoptera 14 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| Coleoptera 15 | 6 | 11 | 14 | 4 | 9 | 13 |
| Coleoptera 16 | 5 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Coleoptera 17 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Coleoptera 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Coleoptera 19 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Coleoptera 21 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Coleoptera 22 | 4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Coleoptera 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Coleoptera 24 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | 0 |
| Coleoptera 25 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Coleoptera 26 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Coleoptera 27 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Coleoptera 28 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 29 | 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Coleoptera 30 | 6 | 0 | 15 | 0 | 5 | 0 |
| Coleoptera 31 | 7 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 32 | 5 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 |
| Coleoptera 33 | 3 | 0 | 3 | 3 | 2 | 12 |
| Coleoptera 34 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Coleoptera 35 | | | | | | |
| (<i>Dendroctonus</i>) | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Coleoptera 36 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Coleoptera 37 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Coleoptera 38 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Coleoptera 39 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 |

| | | | | | | |
|-----------------------|----|---|---|---|---|---|
| Coleoptera 40 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 41 | 22 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 |
| Coleoptera 42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Coleoptera 43 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Coleoptera 44 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| Coleoptera 45 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 46 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 47 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 48 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 49 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 50 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Coleoptera 51 | 0 | 1 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| Coleoptera 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Coleoptera 53 | | | | | | |
| <i>(Dendroctonus)</i> | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 |
| Coleoptera 54 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| Coleoptera 55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 1 |
| Coleoptera 56 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Coleoptera 57 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Coleoptera 58 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| Coleoptera 59 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Coleoptera 61 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 62 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 63 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 64 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| Coleoptera 65 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 66 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Coleoptera 67 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 |
| Coleoptera 68 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 69 | 0 | 0 | 2 | 4 | 0 | 0 |
| Coleoptera 70 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Coleoptera 71 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|---|------|-----|------|-----|------|------|
| Coleoptera 72 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera 73 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Neuroptera 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Neuroptera 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Neuroptera 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lepidoptera 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lepidoptera 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lepidoptera 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Lepidoptera 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Lepidoptera 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Lepidoptera 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Hymenoptera 1 | 336 | 25 | 469 | 30 | 8 | 40 |
| Hymenoptera 2 (<i>Solenopsis</i> sp. 1) | 8 | 81 | 37 | 202 | 357 | 18 |
| Hymenoptera 3 (<i>Camponotus</i> sp.) | 114 | 34 | 89 | 31 | 128 | 113 |
| Hymenoptera 4 (<i>Formica</i> sp.) | 825 | 126 | 292 | 194 | 361 | 1404 |
| Hymenoptera 5 (<i>Atta</i> sp.) | 29 | 9 | 78 | 58 | 55 | 36 |
| Hymenoptera 6 | 195 | 6 | 85 | 38 | 661 | 13 |
| Hymenoptera 7 | 538 | 21 | 100 | 87 | 95 | 83 |
| Hymenoptera 8 (Formicinae sp.) | 1114 | 81 | 117 | 76 | 108 | 82 |
| Hymenoptera 9 | 29 | 2 | 20 | 0 | 2 | 2 |
| Hymenoptera 10 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 11 | 84 | 9 | 3 | 6 | 51 | 13 |
| Hymenoptera 12 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 |
| Hymenoptera 13 (Myrmicinae 1) | 3866 | 698 | 2469 | 846 | 643 | 628 |
| Hymenoptera 14 (Myrmicinae 2) | 5 | 3 | 4 | 3 | 1472 | 395 |
| Hymenoptera 15 | 8 | 5 | 0 | 0 | 17 | 15 |

| | | | | | | |
|----------------------------|----|----|-----|----|-----|----|
| Hymenoptera 16 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 17 | 0 | 1 | 6 | 0 | 1 | 0 |
| Hymenoptera 18 | | | | | | |
| (<i>Odontomachus</i> sp.) | 0 | 4 | 3 | 12 | 2 | 4 |
| Hymenoptera 19 | 91 | 5 | 66 | 59 | 13 | 49 |
| Hymenoptera 20 | | | | | | |
| (<i>Pogonomyrmex</i> sp. | | | | | | |
| 1) | 0 | 17 | 29 | 19 | 104 | 38 |
| Hymenoptera 21 | 1 | 0 | 7 | 1 | 1 | 1 |
| Hymenoptera 22 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| Hymenoptera 23 | | | | | | |
| (<i>Solenopsis</i> sp. 2) | 36 | 48 | 119 | 47 | 16 | 10 |
| Hymenoptera 24 | 8 | 5 | 4 | 1 | 1 | 4 |
| Hymenoptera 25 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 26 | 2 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 27 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| Hymenoptera 28 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 29 | 1 | 0 | 4 | 2 | 0 | 2 |
| Hymenoptera 30 | 0 | 2 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| Hymenoptera 31 | 0 | 53 | 1 | 0 | 181 | 27 |
| Hymenoptera 32 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Hymenoptera 33 | 0 | 1 | 5 | 0 | 0 | 1 |
| Hymenoptera 34 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 35 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 36 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 37 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 38 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 39 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 40 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 41 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Hymenoptera 42 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 43 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 5 |
| Hymenoptera 44 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Hymenoptera 45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| Hymenoptera 46 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Hymenoptera 48 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Hymenoptera 49 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 50 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| Hymenoptera 51 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 52 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 53 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| Hymenoptera 54 (<i>Pseudomyrmex</i> sp. 2) | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 55 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Hymenoptera 56 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| Hymenoptera 57 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Hymenoptera 58 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Hymenoptera 59 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Diptera 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Diptera 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Diptera 3 | 2 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| Diptera 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Diptera 5 | 1 | 4 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| Diptera 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Diptera 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Diptera 8 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| Diptera 9 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| Diptera 10 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| Diptera 11 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Diptera 12 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Diptera 13 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
