



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**EFFECTO DE LAS SUSTANCIAS AGROQUÍMICAS  
SOBRE EL CULTIVO DE PITAYOS (*STENOCEREUS  
QUERETAROENSIS*) EN EL MUNICIPIO DE  
TECHALUTA DE MONTENEGRO, JALISCO:  
REPERCUSIONES PARA SUS POLINIZADORES MÁS  
EFICIENTES, LOS MURCIÉLAGOS.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**(B I Ó L O G A)**

**P R E S E N T A :**

**VIRIDIANA MARCOS ZAMORA**



**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. JOHNATTAN HERNÁNDEZ CUMPLIDO**

**2020**



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.

**1. Datos del alumno**

Marcos  
Zamora  
Viridiana  
55 23 43 10 48  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
313317912

**2. Datos del tutor**

Dr.  
Johnattan  
Hernández  
Cumplido

**3. Datos del sinodal 1**

Dr.  
Rodolfo  
Omar  
Arellano  
Aguilar

**4. Datos del sinodal 2**

Dra.  
Verónica  
Zamora  
Gutiérrez

**5. Datos del sinodal 3**

Dra.  
Enriquena  
Bustamante  
Ortega

**6. Datos del sinodal 4**

M. en C.  
Pactli  
Fernando  
Ortega  
González

**7. Datos del trabajo escrito**

Efecto de las sustancias agroquímicas sobre el cultivo de pitayos (*Stenocereus queretaroensis*) en el municipio de Techaluta de Montenegro, Jalisco: repercusiones para sus polinizadores más eficientes, los murciélagos. 60 p. 2020.

## **Agradecimientos**

Agradezco a mi familia por estar siempre a mi lado, por su apoyo y amor incondicional.

A mi asesor, el Dr. Johnattan Hernández Cumplido, por permitirme desarrollar esta investigación, por su tiempo, por su esfuerzo, por su apoyo y su paciencia, esta investigación no se hubiera logrado sin él.

A la Dra. Verónica Zamora Gutiérrez por prestarme el equipo de campo necesario para llevar a cabo esta investigación, por su conocimiento y sus observaciones para mejorar este escrito.

A la Dra. Elizabeth Quintana Rodríguez del Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC) en León, Guanajuato, por llevar a cabo el análisis de las trazas químicas.

A mis sinodales, Dr. Rodolfo Omar Arellano Aguilar, Dra. Enriquena Bustamante Ortega, y M. en C. Pactli Fernando Ortega González, por tomarse el tiempo de leer mi investigación y por brindarme sus observaciones para mejorarla.

Al laboratorio de Interacciones y Procesos Ecológicos por todos sus consejos, en especial al Dr. Zenón Cano Santana y al M. en C. Iván Castellanos Vargas por el apoyo técnico.

A los profesores de mi taller “Ecología terrestre y manejo de los recursos bióticos” por sus consejos y opiniones para mejorar el escrito.

A Luis E. Juárez Sotelo por acompañarme a campo, por su esfuerzo y trabajo durante los meses de muestreo.

A Violeta Saraí Jiménez por el apoyo técnico, por el transporte de las muestras y por ayudarme a elaborar el mapa de la localidad.

A SEDER, Jalisco y al municipio de Techaluta de Montenegro, Jalisco, por recibirnos con los brazos abiertos para realizar esta investigación.

A el Sr. Juan De los Santos y su familia por permitirme experimentar en su parcela y por abrirnos las puertas de su casa para lo que necesitáramos. Gracias por la comida, gracias por las pitayas, gracias por las pláticas, gracias por llevar a mi mamá a la estación de autobuses, todas las acciones que tuvieron conmigo están en mi mente y en mi corazón. Estoy muy agradecida con todos ustedes por todo lo que me brindaron durante mi estadía en Techaluta de Montenegro, una experiencia que nunca olvidaré.

A la familia Trill González, Don Benjamín y Doña Alicia, me hicieron sentir parte de su familia desde el primer momento que llegue a Techaluta, gracias por prestarme su congelador y por estar siempre pendiente de nosotros, gracias por los domingos de carnitas, gracias por los paseos al monte, gracias por los pajaretes, gracias por los pellizcos y las mermeladas de pitaya, gracias por los domingos de futbol, gracias por su amabilidad e increíble amor, y muchas gracias por hacer mi estadía en Techaluta una experiencia maravillosa.

A la UNAM, por ser mi casa de estudios, por los conocimientos y las experiencias.

## ÍNDICE

<b>I. RESUMEN</b> .....	<b>6</b>
<b>II. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
2.1. Sustancias agroquímicas .....	8
2.2. Fertilizantes y plaguicidas .....	9
2.3. Efecto de los plaguicidas sobre la vida silvestre. ....	11
<b>III. ANTECEDENTES</b> .....	<b>15</b>
3.1. Efecto de los plaguicidas sobre los murciélagos .....	15
3.2. Mutualismo murciélagos-pitayos .....	17
3.3. Furadan .....	20
<b>IV. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>21</b>
<b>V. OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	<b>22</b>
<b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
6.1. Sitio de estudio .....	23
6.2. Especie de estudio.....	24
6.3. Diseño experimental .....	26
6.4. Producción de estructuras reproductivas .....	29
6.5. Calidad de los frutos. ....	30
6.6. Tasa de visitas de los murciélagos .....	30
6.7. Análisis químicos de trazas.....	33
<b>VII. RESULTADOS</b> .....	<b>35</b>
7.1. Producción de estructuras reproductivas .....	35
7.2. Calidad de los frutos .....	37
7.3. Tasa de visitas de los murciélagos .....	38
7.4. Trazas químicas.....	39
<b>VIII. DISCUSIÓN</b> .....	<b>40</b>
8.1. Efecto de agroquímicos en la producción y calidad de frutos .....	40
8.2. ¿Murciélagos en riesgo? .....	43
8.3. Perspectivas - Cultivo de pitayas .....	48
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	<b>49</b>
<b>X. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>50</b>

Marcos-Zamora, V. 2020. Efecto de las sustancias agroquímicas sobre el cultivo de pitayos (*Stenocereus queretaroensis*) en el municipio de Techaluta de Montenegro, Jalisco: repercusiones para sus polinizadores más eficientes, los murciélagos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 60 pp.

## **I. RESUMEN**

La tecnificación de la agricultura ha traído consigo un aumento en el uso de sustancias agroquímicas con el propósito de mantener los cultivos bien nutridos y libres de plagas. Sin embargo, estos compuestos, particularmente los plaguicidas, pueden provocar efectos negativos sobre especies benéficas. Uno de los grupos de mamíferos más afectados por el uso de plaguicidas, son los murciélagos, los cuales son eficientes polinizadores de una gran cantidad de cactáceas en México, entre las que se encuentra el pitayo (*Stenocereus queretaroensis*). En este estudio, investigamos cómo un plaguicida de amplio espectro (Carbofuran), la aplicación de fertilizante y una mezcla de ambos, afectan la producción y calidad de los cultivos incluyendo la interacción entre los pitayos y su polinizador más eficiente, los murciélagos nectarívoros del género *Leptonycteris*. Para ello, se diseñó una configuración de cuatro tratamientos: 1) plaguicida, 2) plaguicida + licuado, 3) licuado y 4) control, seleccionando 24 plantas por tratamiento en una parcela de pitayas de la variedad más cultivada en el área de estudio "Mamey". Para determinar la producción se registró el número de botones florales, flores, y frutos por planta. Se tomaron treinta muestras de néctar y polen de las flores por tratamiento para análisis de trazas químicas. Así mismo, se recolectaron 30 frutos

por tratamiento para pesarlos, determinar su concentración de azúcares y realizar análisis de trazas químicas. Para determinar si el tratamiento tiene un efecto en la interacción con los murciélagos, se colocaron cámaras de foto trampeo para determinar la frecuencia de visitas a las flores. Se encontró que ninguno de los tratamientos aumentó la producción o la calidad del cultivo, y tampoco influyó en la tasa de visitas de los murciélagos. Se registraron trazas químicas de plaguicida tanto en la pulpa de la fruta como en el néctar floral. Los resultados indican que la adición de productos químicos a los cultivos no necesariamente mejora su rendimiento, a su vez, podrían afectar en gran medida a los polinizadores, como los murciélagos, que no discriminan entre las flores que contienen trazas químicas.

**Palabras clave:** Agricultura; fertilizantes; interacciones; murciélagos; plaguicidas; tecnificación.

## II. INTRODUCCIÓN

### 2.1. Sustancias agroquímicas

El crecimiento global de la producción agrícola se debe principalmente al uso intensivo de insumos químicos como plaguicidas y fertilizantes (Mateo-Sagasta *et al.*, 2017), debido a los efectos positivos que estas sustancias tienen sobre los cultivos como: aumento de la producción, mayor control de vectores de enfermedades; así como, una mejor protección contra pérdida/reducción del rendimiento y calidad de los productos (Aktar *et al.*, 2009).

En México, la agricultura es considerada una de las actividades económicas primarias más importantes. El Producto Interno Bruto del Sector Agroalimentario tuvo un aumento de 5.3% para el tercer trimestre de 2019 respecto al tercer trimestre de 2018 (INEGI, 2019). Datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014), indican que la agricultura genera empleo para el 13% de la población en nuestro país (aproximadamente 3.3 millones de agricultores). Además, la superficie de zonas de cultivo en distritos de riego para los años 2015-2016 corresponde a 3.04 millones de hectáreas, de las cuales 124,126 son utilizadas para el cultivo de plantas frutales (Cuadro 1) (CONAGUA, 2017).

La constante demanda por recursos, aunado a la cada vez más frecuente aparición de plagas en los cultivos, ha fomentado que los agricultores intensifiquen el uso de plaguicidas y fertilizantes. En 2017 hubo disponibilidad de 4.9 millones de toneladas de fertilizantes en México según el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA), de los cuales el 79% se importó de otros países. Mientras tanto, para el año 2019 se

produjeron 81,878 toneladas de plaguicidas (insecticidas, fungicidas, herbicidas y defoliantes) según la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera del INEGI (SEMARNAT, 2019).

**Cuadro 1.** Distribución de la superficie cosechada (Ha) en los distritos de riego por grupo de cultivo en el año 2015-2016. Recuperado de CONAGUA (2017).

<b>Grupo</b>	<b>Superficie cosechada (Ha)</b>	<b>Distribución porcentual (%)</b>
Granos	1, 974, 092	64.8
Forrajes	369, 399	12.13
Hortalizas	206, 063	6.77
Industriales	213, 459	7.01
<b>Frutales</b>	<b>124, 126</b>	<b>4.08</b>
Cítricos	63, 538	2.09
Textiles	33, 164	1.09
Oleaginosas	45, 760	1.50
Cultivos varios	14, 076	0.46
Flores	778	0.03
Espicias	32	0.001
<b>Total</b>	<b>3, 044, 488</b>	<b>100</b>

## 2.2. Fertilizantes y plaguicidas

Las plantas requieren 16 elementos indispensables para su crecimiento, los cuales se pueden clasificar según su procedencia en: a) aquellos elementos abundantes que provienen de la atmósfera, el suelo y el agua (carbono, hidrógeno y oxígeno); y b) aquellos que pueden encontrarse en menor disponibilidad en las reservas del suelo, o mediante la aplicación de abono o fertilizantes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, zinc, manganeso, cobre, boro, molibdeno y cloro) (FAO, 1991).

Los fertilizantes son aquellas sustancias que se utilizan para proveer nutrientes a los cultivos, generalmente cuando el suelo es infértil o poco fértil.

Entre sus beneficios están el aumento de la producción de los cultivos, así como un incremento en la calidad de los productos (IFA, 1992). Los fertilizantes se dividen principalmente en dos tipos dependiendo el número de elementos que contengan: 1) fertilizantes directos que contienen solo uno de los tres nutrientes principales (nitrógeno, potasio o fosforo); y 2) fertilizantes compuestos que contienen más de uno de los tres nutrientes principales (nitrógeno-potasio, nitrógeno-fosforo, fosforo-potasio) o los tres nutrientes juntos (FAO, 1991). Estos compuestos se encargan del aspecto nutricional en los cultivos; sin embargo, el aumento en la cantidad y la calidad de la producción puede atraer plagas, para lo cual se recurre al uso de plaguicidas.

La FAO define a los plaguicidas como “cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga”. Estas sustancias se dividen en dos tipos de acuerdo a su modo de aplicación: 1) de contacto, los cuales se rocían en la superficie de la planta teniendo una acción rápida y residual de algunas horas hasta algunos días; y 2) sistémicos, los cuales se aplican directamente en el suelo y son absorbidos por la planta mediante sus raíces, manteniéndose a lo largo de su desarrollo mientras las protegen de invertebrados del suelo e insectos chupadores (Elbert *et al.*, 1991).

Otra clasificación frecuentemente utilizada se basa en el tipo de compuestos químicos que conforman a los plaguicidas, los cuales han cambiado a lo largo del tiempo. Históricamente los primeros compuestos en utilizarse fueron los organoclorados, los cuales quedaron restringidos a nivel mundial a partir de 1960 (Aktar *et al.*, 2009) debido a que son solubles en lípidos y quedan almacenados en los seres vivos, causándoles efectos nocivos de larga duración

(Eidels *et al.*, 2007). Posteriormente, en los años 70's se introdujeron los compuestos organofosfatos y carbamatos, que a diferencia de los organoclorados no se almacenan en los seres vivos y son eliminados rápidamente (Eidels *et al.*, 2007).

Actualmente, se implementan esfuerzos para modificar la composición química de estas sustancias de tal forma que se eviten daños colaterales, pues se estima que el impacto económico de los plaguicidas sobre otras especies (incluyendo a los humanos) es de aproximadamente 8 billones de dólares en países desarrollados (Aktar *et al.*, 2009).

### **2.3. Efecto de los plaguicidas sobre la vida silvestre.**

El uso de plaguicidas (particularmente de los insecticidas), ha sido controversial a lo largo de los años debido a los efectos nocivos que provocan en los factores abióticos (suelo, aire y agua); así como, los problemas ocasionados a la flora y fauna no blanco (*non-target* en inglés) (Aktar *et al.*, 2009).

El envenenamiento de la vida silvestre por causa de estas sustancias ha sido clasificado en tres tipos: 1) agudo, 2) crónico, y, 3) secundario (Badii *et al.*, 2009). El primero se da por exposiciones cortas que provocan enfermedades o la muerte para muchos organismos. Por el contrario, el envenenamiento crónico resulta en efectos no letales de forma inmediata, sin embargo, la exposición por largos periodos de tiempo deriva en efectos negativos sobre la reproducción e incluso un aumento en la mortalidad (Badii *et al.*, 2009). Finalmente, el envenenamiento secundario no es producto de una exposición directa a diferencia

de los anteriores, este ocurre cuando los organismos consumen presas contaminadas o envenenadas por plaguicidas (Berny, 2007).

Por otro lado, existen efectos indirectos causados por los plaguicidas, en los cuales la vida silvestre se ve afectada por la contaminación de su alimento y hábitat (Badii *et al.*, 2009). Por ejemplo, la disminución de servicios de polinización por el uso de neonicotinoides en varios cultivos, estas sustancias altamente tóxicas contaminan el néctar y el polen provocando el envenenamiento y la posterior muerte de abejas y abejorros (Stanley *et al.*, 2015). Sin embargo, la estimación de los efectos indirectos es difícil de calcular debido a la complejidad de interacciones que existen entre los organismos (Badii *et al.*, 2009).

Recientemente, se ha observado un aumento en la frecuencia de los envenenamientos por plaguicidas en la vida silvestre (Berny, 2007), provocando que las poblaciones de organismos afectados disminuyan, como es el caso de aves rapaces, buitres y grandes mamíferos como las hienas y leones (Ogada, 2014). Gibbons y colaboradores (2015) y Köhler y colaboradores (2013) hacen una síntesis (Cuadro 2) de algunos los efectos que pueden causar el uso de plaguicidas en distintos grupos de vertebrados. Por ejemplo, para el caso de las aves de laboratorio, codorniz blanca (*Colinus virginianus*) y el ánade real o azulón (*Anas platyrhynchos*), se ha reportado reducción en la fertilidad, disminución de tamaño de los embriones, así como reducción de la sobrevivencia y desarrollo anómalo de los polluelos. En mamíferos (principalmente ratones y bajo condiciones de laboratorio), se reportan efectos genotóxicos y citotóxicos provocando desórdenes de comportamiento, reducción de la producción y el

movimiento de los espermias, y mayor tasa de mortalidad en embriones (Gibbons *et al.*, 2015).

Es bien sabido que los cambios en la dieta inducidos por los plaguicidas (efectos indirectos) disminuyen la abundancia de especies en pequeños mamíferos (Freemark, 1995). Además, un meta-análisis hecho por Köhler y colaboradores (2013) sintetizan los efectos documentados de los plaguicidas en la vida silvestre de diferentes taxones (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Efectos de plaguicidas en la vida silvestre a diferentes niveles de organización biológica. Modificado de Köhler *et al.* (2013).

Grupos de animales	Efecto en Individuos	Efecto en Poblaciones
<p data-bbox="277 993 529 1066"><b>Mamíferos</b></p> 	<p data-bbox="630 989 967 1016">Alteraciones conductuales</p> <p data-bbox="638 1052 959 1079">Alteraciones metabólicas</p> <p data-bbox="683 1115 914 1142">Falla reproductiva</p> <p data-bbox="651 1178 946 1251">Aumento tasas de infección y parasitismo</p>	<p data-bbox="1052 1115 1354 1142">Aumento de mortalidad</p>
<p data-bbox="331 1339 464 1413"><b>Aves</b></p> 	<p data-bbox="638 1335 959 1362">Alteraciones metabólicas</p> <p data-bbox="621 1398 976 1503">Problemas de alimentación, aprendizaje y crianza de los pollos</p> <p data-bbox="654 1539 943 1644">Disrupción endocrina Reducción cáscara de huevo</p> <p data-bbox="683 1680 914 1707">Falla reproductiva</p>	<p data-bbox="1060 1528 1344 1602">Declive o disminución poblacional</p>

<p><b>Reptiles</b></p> 	<p>Disrupción endocrina Anormalidad de las gónadas Falla reproductiva</p>	<p>Efectos negativos en parámetros poblacionales</p>
<p><b>Anfibios</b></p> 	<p>Alteraciones conductuales Alteraciones metabólicas Anormalidad de las gónadas – Falla reproductiva Mayor susceptibilidad a parásitos</p>	<p>Declive o disminución poblacional</p>
<p><b>Peces</b></p> 	<p>Alteraciones conductuales Alteraciones metabólicas Disrupción endocrina</p>	<p>Muertes en masa</p>
<p><b>Insectos y otros invertebrados</b></p> 	<p>Alteraciones conductuales Reducción éxito de las crías Alteraciones metabólicas Afectaciones en la memoria Alteran polinización</p>	<p>Disminuyen el tamaño de la colonia Alta mortalidad</p>

Hasta el momento, estudios previos sobre los efectos de los plaguicidas en la vida silvestre reportan una tendencia negativa sobre el uso de plaguicidas en los

cultivos, debido a que, suelen afectar no solo a las plagas, sino también a los organismos no-blanco que pueden ser benéficos para las plantas (Curtis y Horne, 1995, Horne y Edwards 1998, Jenkins *et al.*, 2013). Por ello, resulta indispensable conocer los efectos indirectos que el uso de plaguicidas tiene sobre grupos de animales que interactúan de manera positiva con los cultivos.

### **III. ANTECEDENTES**

#### **3.1. Efecto de los plaguicidas sobre los murciélagos**

Los murciélagos son considerados uno de los mamíferos más vulnerables a los plaguicidas debido a algunas características de su historia de vida como: 1) su longevidad, los murciélagos llegan a vivir en promedio 15 años y hasta los 41 años (*Myotis brandtii*) (Podlutzky *et al.*, 2005), lo que los hace potencialmente susceptibles al envenenamiento a largo plazo; 2) tasas de reproducción bajas, lo cual los hace aún más susceptibles a riesgos de disminución de la población después de los eventos de envenenamiento; 3) su conducta de hibernación, la movilización de plaguicidas lipofílicos acumulados durante esta temporada podría aumentar la mortalidad al bajar sus reservas energéticas; y 4) su alta ingesta de alimento para mantener su metabolismo, lo cual aumenta el riesgo de envenenamiento por bioacumulación a partir de su dieta (polen, néctar, insectos) (EFSA *et al.*, 2019).

Una investigación realizada con dos especies de murciélagos insectívoros (*Myotis sodalis* y *M. septentrionalis*) en Indiana (EUA), reporta que el 30% de murciélagos muestreados presentaron residuos de compuestos organofosfatos provenientes del consumo de insectos envenenados con plaguicidas, o bien, por

consumir agua contaminada en zonas aledañas a campos de cultivo (Eidels *et al.*, 2007). En otro estudio realizado en huertos de manzanas en el municipio de Winden (Alemania), se llevó a cabo una evaluación de riesgo a plaguicidas, en el cual registraron que los individuos pertenecientes a tres especies de murciélagos (*Pipistrellus pipistrellus*, *Myotis nattereri*, y *Myotis mystacinus*) son propensos a tener un alto riesgo reproductivo debido al consumo de artrópodos del follaje con altos valores de residuos de insecticida (Stahlschmidt *et al.*, 2012). Clark y colaboradores (1995), realizaron estudios del guano de murciélagos cola de ratón (*Tadarida brasiliensis*) provenientes de nueve cuevas en el norte de México y encontraron residuos de dicloro difenil dicloroetileno (DDE), que es el principal compuesto formado a partir del dicloro difenil tricloroetano (DDT), en todas las cuevas muestreadas.

Como sabemos, los murciélagos provén una gran variedad de servicios ecológicos y económicos al fungir como controladores de plagas, polinizadores o dispersores de semillas en distintos agro-ecosistemas (Fujita y Tuttle 1991; Kasso y Balakrishnan 2013; Tremlett *et al.*, 2019). Sin embargo, tal y como se menciona en los estudios previamente descritos, al estar en contacto directo con los cultivos y alimentarse de los insumos que estos ofrecen, los murciélagos se encuentran en alto riesgo de envenenamiento secundario (Schmidt *et al.*, 2000; Eidels *et al.*, 2016; Hsiao *et al.*, 2016), lo cual podría provocar que su desempeño como mutualistas en los cultivos se vea afectado.

### 3.2. Mutualismo murciélagos-pitayos

México es el país con la mayor riqueza de plantas de la familia Cactaceae, con 913 taxones, de los cuales el 80 por ciento son endémicos del país (Jiménez, 2011). En nuestro país, los murciélagos nectarívoros cumplen un rol importante como polinizadores de la mayor parte de las cactáceas columnares (Valiente *et al.*, 1996; Molina *et al.*, 2003).

La estrecha relación que presentan las plantas visitadas y potencialmente polinizadas por murciélagos es conocida como quiropterofilia, que se refiere a que las flores cumplen con ciertas características ligadas a sus polinizadores como: color opaco o blanco, aroma rancio o afrutado y producción de grandes cantidades de néctar durante su antesis nocturna (Baker, 1961). Uno de los cactus columnares caracterizados por la presencia de este síndrome es el pitayo (*Stenocereus queretaroensis*), especie endémica del centro de México (Pimienta-Barrios *et al.*, 1997).

El pitayo (*S. queretaroensis*) no solo depende principalmente de los murciélagos del género *Leptonycteris* para su polinización, los murciélagos de este género son los polinizadores más eficientes en los cultivos de pitayas pues contribuyen a su mantenimiento y mejoran la calidad del producto (Ibarra-Cerdeña *et al.*, 2005; Tremlett *et al.*, 2019). La desaparición de estos polinizadores implicaría una disminución de hasta 35% en la producción de frutos, la calidad de los frutos también se vería afectada, con disminuciones de 46% y 13% en el peso y la concentración de azúcares de los frutos, respectivamente (Tremlett *et al.*, 2019).

El pitayo de la especie *Stenocereus queretaroensis*, cuyo fruto es la pitaya, es una de las especies de cactácea columnar más importante bajo cultivo semi-intensivo en México (Pimienta-Barrios *et al.*, 1997); junto con otras especies del mismo género (*S. pruinosus* y *S. stellatus*) que son cultivadas a lo largo del Valle de Tehuacán y la Mixteca baja (Luna-Morales, 2004). *S. queretaroensis* es endémica de regiones semiáridas en el centro oeste de México (Ibarra-Cerdeña *et al.*, 2005) y la producción de sus frutos (pitayas) por medio de cultivos locales se ha esparcido en varios municipios de Jalisco. Sin embargo, su mayor centro de producción es en la cuenca de Sayula, Jalisco (Pimienta- Barrios *et al.*, 1997). Actualmente, la. El municipio de Techaluta de Montenegro es considerado el de mayor producción de pitayas en el centro de México, y existen planes para tecnificar el cultivo con la finalidad de aumentar la producción debido a la alta demanda en el mercado local, incluso con planes futuros de expansión e incluso exportación.

El aumento de la producción de pitayas podría traer consigo la presencia de plagas. Recientemente, los agricultores han detectado la presencia de varios insectos que dañan la integridad sus cultivos, cada uno de estos descritos brevemente a continuación (Cuadro 3). La presencia de estos insectos en los cultivos ha provocado un incremento en el uso de plaguicidas para tratar de proteger los campos de cultivo a corto plazo.

**Cuadro 3.** Principales plagas de *S. queretaroensis* presentes en la localidad Techaluta de Montenegro, Jalisco (datos no publicados)

Foto	Especie	Descripción	Efecto
	<p><i>Atta</i> sp "Hormiga arriera"</p>	<p>Cuerpo color café o rojizo, y mandíbulas bien desarrolladas.</p>	<p>Atacan los brazos de los pitayos, los botones florales y el fruto (Medina y Kondo 2012).</p>
	<p><i>Cactophagus spinolae</i> "Barrenador o picudo del nopal"</p>	<p>Larvas de color blanco o ligeramente amarillo, la cabeza y las piezas bucales son de color café. El adulto es negro con cuatro bandas rojas o naranjas en sus élitros, y dos más cerca de la cabeza.</p>	<p>Las larvas se encuentran en el interior del pitayo, mientras que los adultos se pueden alimentar del tejido externo (Bravo-Avilés <i>et al.</i>, 2014).</p>
	<p><i>Dasiops saltans</i> "Mosca del botón floral"</p>	<p>Larvas de cuerpo blanco o ligeramente amarillo, con cabeza pequeña y retráctil. Los adultos miden 5 mm de longitud, y su cuerpo es de color azul metálico.</p>	<p>Se alimenta de las estructuras internas del botón floral, lo cual lleva a que éstos se dañen, se pudran y caigan con facilidad.</p>
	<p><i>Leptoglossus zonatus</i> "La chinche patona o pata de hoja"</p>	<p>En estado juvenil, son de color rojo o naranja con negro. Los adultos son color café oscuro, con antenas alargadas y bandas alternas color naranja y negro, la forma de sus patas posteriores tienen un ensanchamiento en las tibias que las hace parecer hojas.</p>	<p>Tanto juveniles como adultos causan daños durante el primer mes de floración. Su forma de alimentación provoca que en el pitayo aparezcan pequeños manchones con clorosis.</p>

### 3.3. Furadan

En los cultivos de pitaya del municipio de Techaluta de Montenegro se ha implementado el uso del plaguicida Furadan, un insecticida/nematicida de amplio espectro cuyo ingrediente activo es el carbofuran. Los carbamatos como el carbofuran, son inhibidores de la enzima colinesterasa, la cual hidroliza el neurotransmisor acetilcolina en insectos. Se ha documentado que la presencia de estos compuestos, principalmente en aves y mamíferos, provoca efectos neurotóxicos, endócrinos y en el sistema inmune (Hoffman *et al.*, 2001). También se han encontrado que causa problemas reproductivos como aumento en el peso de los testículos, disminución del número de espermatozoides y la oclusión de los ductos deferentes en ensayos realizados con ratas de laboratorio (Nakai *et al.*, 1992). En el caso específico del carbofuran, se ha documentado envenenamiento crítico en aves presentes en cultivos de maíz tratados con esta sustancia debido a la inhibición de colinesterasa cerebral (Stinson *et al.*, 1994). En un estudio con mirlos de alas rojas (*Agelaius phoeniceus*), tres de cinco cadáveres encontrados cerca de un campo de maíz tratado con carbofuran presentaron inhibición del 14 al 48% de colinesterasa cerebral, además, todos los cadáveres tenían residuos de carbofuran en el tracto gastrointestinal que iban de 5.44 a 72.7 mg/g de peso seco (Augspurger *et al.*, 1996).

El carbofuran no solo resulta letal para varios organismos en vida silvestre, también es considerado un contaminante significativo para las aguas subterráneas (INECC, 2019). Si el carbofuran es liberado en la atmósfera se presenta tanto en la fase de vapor como de partículas. La fase de vapor tiene una vida media de 13 h en el ambiente, mientras que en el suelo el carbofuran es moderadamente

persistente con una vida media de 30 a 120 días, y actúa de forma sistémica (INECC (s.f.), 2020). El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) considera que este compuesto tiene un riesgo de salud nivel 4 para los seres humanos; es decir, a exposición corta puede llegar a provocar lesiones residuales importantes, o incluso la muerte. A pesar de su comprobado efecto altamente tóxico, el carbofuran es el cuarto plaguicida más importado en nuestro país desde 2003, según datos de la Secretaría de Economía (INECC, 2019). Hasta el momento no existe alguna regulación para la venta y distribución del carbofuran en México, a pesar de estar prohibido en 49 países y de encontrarse clasificado como uno de los plaguicidas altamente peligrosos según los criterios de la FAO-OMS (Bejarano-González, 2017).

Los efectos indirectos del carbofuran no han sido estudiados en vida silvestre, por lo que es prioritario estudiar el impacto que los organofosfatos y carbamatos en animales indicadores y altamente vulnerables a estos agroquímicos como los murciélagos (Clark *et al.* 1995).

#### **IV. JUSTIFICACIÓN**

La producción de pitayas por medio de cultivos locales se ha expandido en varios municipios del estado de Jalisco, este aumento podría traer consigo deficiencias nutricionales, así como explosiones poblacionales de insectos plagas, y cada vez son más los agricultores que optan por el uso de sustancias agroquímicas sin tener una directriz sobre el problema. El uso de estas sustancias de manera indiscriminada y sin conocer la eficiencia de las mismas sobre el rendimiento de los cultivos, podría resultar en un riesgo innecesario para los mutualistas benéficos

del pitayo (murciélagos) desencadenando una serie de efectos negativos sobre la producción y calidad de los cultivos a largo plazo. Debido a la necesidad de implementar acciones rápidas para prevenir un crecimiento poco sustentable del cultivo, en este estudio se busca determinar los efectos que el uso de sustancias agroquímicas tiene sobre el cultivo de pitayas; así como, evaluar la repercusión indirecta que el uso de estas sustancias podría provocar en la interacción planta-polinizador.

## **V. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

El objetivo general de este trabajo es determinar los efectos que tiene el uso de sustancias agroquímicas en el cultivo de pitaya (*Stenocereus queretaroensis*) y sobre la interacción con su principal polinizador, los murciélagos.

Los objetivos particulares que se plantean son:

- Determinar el efecto de cuatro tratamientos: 1) control, 2) plaguicida, 3) licuado, 4) plaguicida + licuado; sobre la producción, peso y concentración de azúcares de los frutos.
- Determinar si el plaguicida puede bioacumularse en las flores (néctar y polen) y los frutos de los pitayos por medio de análisis químico de trazas.
- Estimar el efecto de cuatro tratamientos sobre la tasa de visitas de los murciélagos.

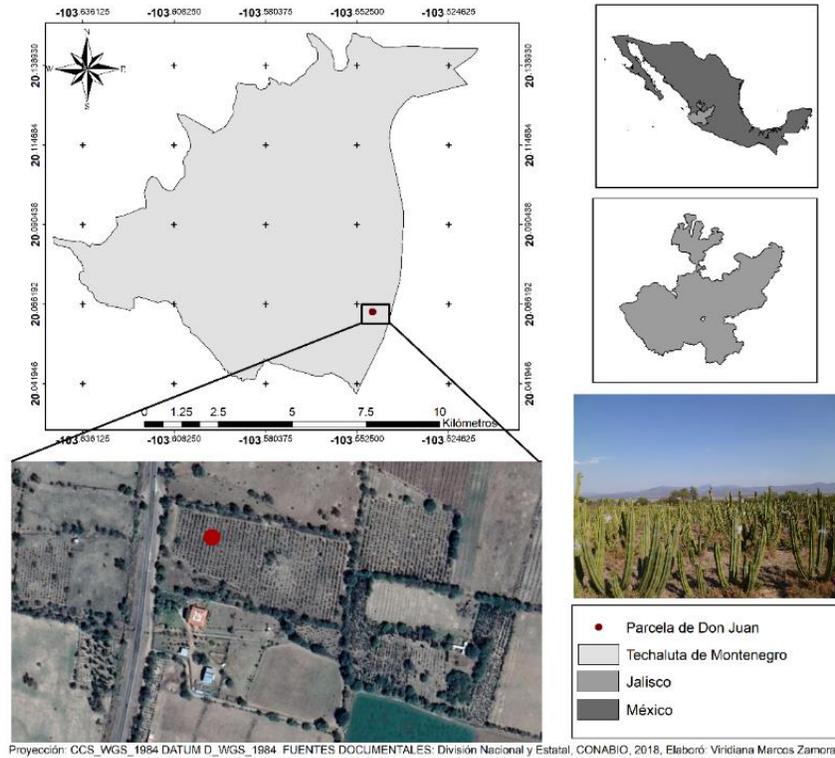
Las hipótesis que se plantean en este trabajo son:

1. Si la mezcla de nutrientes (licuado nutritivo) tiene un efecto positivo sobre los pitayos, entonces la producción de frutos y su concentración de azúcares será mayor en las plantas sometidas a este tratamiento.
2. Si el plaguicida puede bioacumularse y se encuentran residuos en el polen y en el néctar de las flores, éste tendrá un efecto negativo sobre la interacción planta-murciélago, provocando que la tasa de visitas de estos animales sea menor en las pitayas tratadas con Furadan.

## **VI. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1. Sitio de estudio**

Techaluta de Montenegro es un municipio de la región sur del estado de Jalisco que se encuentra a 20° 5' latitud N, 103° 32' longitud W a 1380 m.s.n.m. (De la Barrera *et al.*, 2003) (Fig. 1). Tiene una superficie de 80 km<sup>2</sup>, su cabecera municipal se encuentra a 1,404 m.s.n.m. y posee 3 mil 703 habitantes según la Encuesta Intercensal de 2015 (IIEG, 2017). La mayor parte del municipio tiene clima semiárido cálido, la temperatura media anual es de 18.7 °C, con una oscilación entre los 29.4 °C y 7.7 °C. La precipitación media anual es de 800 mm. El suelo predominante es Feozem (60.4%) con profundidad variable, el 31.6% de la cobertura del suelo está destinado a la agricultura (IIEG, 2017). Las principales actividades económicas son la industria, los servicios, el comercio y la agricultura; esta última es la segunda actividad que más empleos genera en el municipio (IIEG, 2017).



**Fig. 1** - Mapa de Techaluta de Montenegro, Jalisco señalando la parcela de estudio.

## 6.2. Especie de estudio

*Stenocereus queretaroensis* (F.A.C. Weber, 1961) es una especie endémica del centro y oeste de México, y está ampliamente distribuido en las regiones semiáridas de Jalisco, Colima, Nayarit, Aguascalientes, Guanajuato, Michoacán, México, Querétaro y Zacatecas (Pimienta-Barrios y Nobel, 1994; Guzmán *et al.*, 2007). Es un cactus columnar arborescente que puede alcanzar los 10 m de alto con un tronco corto y numerosos tallos verticales (Fig. 2). Los tallos cilíndricos generalmente tienen ocho costillas prominentes y un diámetro de 13 a 18 cm. Las flores tienen de 10 a 14 cm de largo y crecen desde areolas a lo largo de la mitad superior de las ramas, la época de floración comienza a principios de febrero y

termina en el mes de abril (Pimienta-Barrios y Nobel, 1994). El fruto se le llama pitaya y varía de globoso a ovoide, tiene de 6 a 8 cm de largo y madura a finales de abril hasta junio (Salcedo *et al.*, 1991; Pimienta-Barrios y Nobel, 1994; Ibarra, 2005).

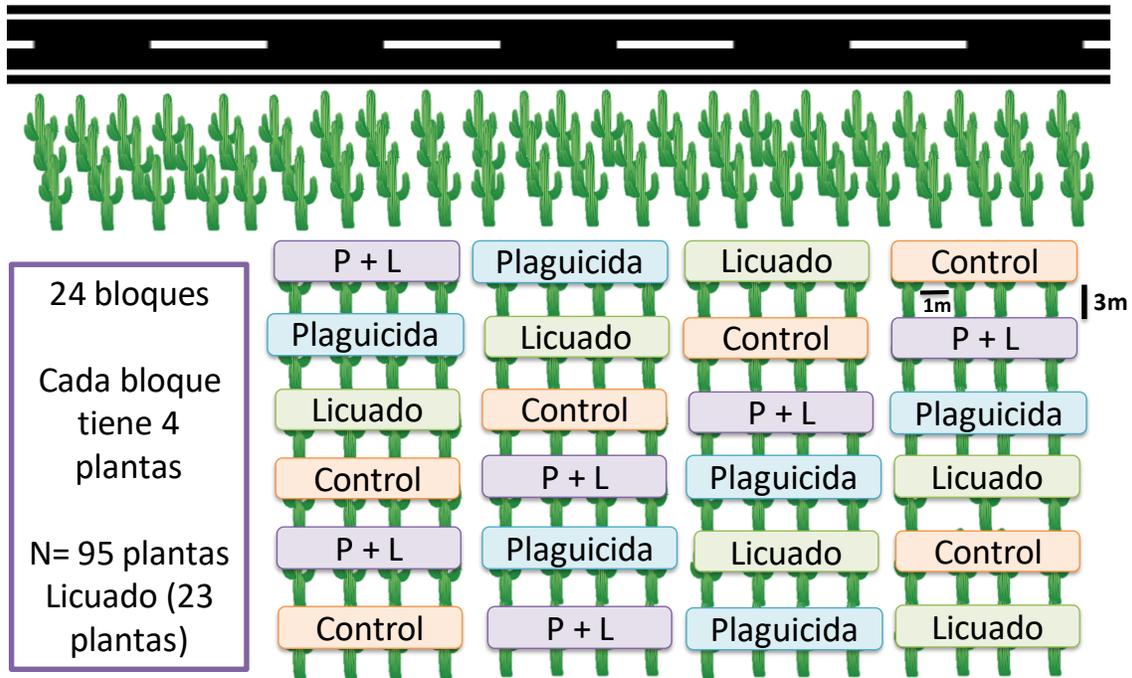
Hay un gran número de variedades de pitayas (tenamaxtle, cristalín, pitaya blanca, amarilla, morada, sandía). Sin embargo, la que más destaca es la variedad “mamey” debido a su pulpa roja, mayor tamaño y dulzura, la cual representa el 80% de la producción local (Pimienta-Barrios *et al.*, 1997). De acuerdo a los pitayeros, estas características son las más cotizadas en el mercado y buscadas por los consumidores, por ello, a esta variedad se le denomina localmente como “La reina de las pitayas” (información proporcionada por Benjamin Trill y Juan de los Santos, productores locales). Las semillas de la pitaya son numerosas, pequeñas, negras, y frágiles.



**Fig. 2** - Pitayo cultivado en la parcela experimental ubicada en Techaluta de Montenegro, Jalisco.

### **6.3. Diseño experimental**

En diciembre de 2017 se consiguió permiso para trabajar en una parcela de pitayo. Previó a la selección de las plantas, se registró el número de brazos y la altura de cada pitayo para determinar si estas variables podrían ser factores de confusión en los análisis posteriores; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en ambas variables (altura:  $\chi^2=3.03$ ,  $P= 0.3855$ , número de brazos:  $\chi^2=6.53$ ,  $P=0.0882$ ), por lo que se dejaron fuera de los análisis posteriores. En la parcela de experimentación, se seleccionaron 95 pitayos de la variedad "Mamey" distribuidos en seis hileras (separadas unas de otras por tres metros de distancia y con un metro de separación entre cada pitayo). Las plantas se dividieron en bloques de cuatro, teniendo seis bloques por tratamiento (Fig. 3). Cada planta se etiquetó con un código único utilizando rectángulos de aluminio con el número y la inicial del tratamiento que se colocaron alrededor de uno de los brazos del pitayo con alambre (Fig. 4).



**Fig. 3** – Ordenamiento de los bloques de los tratamientos en las 6 hileras de pitayos dentro de la parcela de experimentación ubicada en Techaluta de Montenegro, Jalisco.



**Fig. 4** – Etiquetas fabricadas con aluminio alrededor de uno de los brazos del pitayo, C3 (pitayo 3 del tratamiento control), y P7 (pitayo 7 del tratamiento plaguicida).

Con el propósito de conocer los efectos del uso de Furadan (plaguicida de amplio espectro y de liberación sistémica) y de una mezcla de fertilizantes sobre el

cultivo de pitayas y sus polinizadores naturales, los murciélagos, se realizó la aplicación de cuatro tratamientos en el mes de enero del 2018. Los tratamientos aplicados fueron los siguientes:

- 1) **plaguicida Furadan**: 80 ml de Furadan diluidos en 20 l de agua
- 2) **licuado**: 200 g de “Speedfol SQM”, 80 g de “Cuprimicina 5 SP ADAMA”, y 200 g de enraizador “Rootex Cosmocel” (Glasser *et al*, 2018 en prep.).
- 3) **plaguicida + licuado**: 40 ml de Furadan, 100 g de speedfol, 40 g de cuprimicina y 100 g de enraizador en 20 l de agua.
- 4) **control**: 20 l agua.

Para la aplicación de los compuestos, se utilizó un aspersor manual de mochila (LOLA 20 litros, marca Swissmex), la solución se asperjó durante 30 segundos directamente en el suelo y alrededor de cada uno de los pitayos. Para el manejo del plaguicida Furadan se tuvieron en cuenta todas las medidas de seguridad obligatorias (vestimenta de protección: overol de materiales sintéticos, guantes de nitrilo, lentes de seguridad, botas, y máscara respiratoria). Los tratamientos se aplicaron cuando las plantas empezaron a producir los primeros botones florales (15 de enero) esperando que la planta absorbiera las sustancias presentes en el suelo y las utilizará para la reproducción en los meses posteriores. Así mismo, para estimular al sistema radicular de las plantas, estas se regaron con dos litros de agua la noche anterior de la aplicación de los tratamientos.

#### 6.4. Producción de estructuras reproductivas

Durante la época de floración, se realizaron tres conteos cada 15 días (primer conteo: 15 y 16 de marzo del 2018, segundo conteo: 29 de marzo del 2018 y tercer conteo: 12 de abril del 2018) del número de botones florales (Fig. 5a), de flores (Fig. 5b) y de frutos inmaduros (Fig. 5c) producidos por planta.

A los datos obtenidos se les realizó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk y una prueba de homocedasticidad de varianzas de Levene para determinar si se cumplen los supuestos estadísticos. Los datos de botones florales y flores se transformaron a la escala logarítmica base diez para que cumplieran con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas ( $W=0.97$ ,  $P=0.11$ ,  $F=1.90$ ,  $P=0.14$ ;  $W=0.96$ ,  $P=0.07$ ,  $F=0.98$ ,  $P=0.40$ ), se analizaron con ANOVA de una vía y prueba post hoc de Tukey. En el caso de los frutos, los datos no presentaron normalidad ni homocedasticidad en las varianzas aún después de ser transformados ( $W=0.93$ ,  $P<0.001$ ,  $F=5.61$ ,  $P=0.0022$ ) por lo cual se realizó un GLM con distribución Poisson además de comparaciones múltiples con el método de Dunnett para determinar que tratamientos eran significativamente diferentes. Todos los análisis fueron realizados en el programa estadístico JMP 11.



**Fig. 5** – Fotografías de las estructuras cuantificadas en cada pitayo. **a)** fotografía del botón floral, **b)** fotografía de una flor de pitayo, y, **c)** fotografía del fruto inmaduro (Viridiana Marcos).

### **6.5. Calidad de los frutos.**

En la época de fructificación, se pesaron tres frutos de diez pitayos escogidos al azar por tratamiento ( $n=30$ ) utilizando una balanza granataria (VELAB). Para evitar la variación del peso con respecto a su estado de maduración, la colecta y el pesaje de los frutos se llevó a cabo en el mismo momento, y sólo se colectaron los frutos maduros, lo cual se determinó por la facilidad de remover las espinas que los rodeaban. Los datos obtenidos se transformaron a la escala logarítmica base diez y se les aplicó una prueba de Normalidad Shapiro-Wilk ( $W=0.98$ ,  $P=0.2561$ ) y una prueba de homocedasticidad de varianzas de Levene ( $F=1.95$ ,  $P=0.1253$ ) en el programa JMP 11. El peso de los frutos se analizó con una ANOVA de una vía y una prueba *post hoc* de Tukey-Kramer.

Se evaluó la concentración de azúcares utilizando la pulpa de los frutos previamente pesados por medio de un refractómetro de bolsillo (marca Kuhny CH-3123). Los datos obtenidos en grados Brix fueron transformados a una escala logarítmica base diez para que tuvieran normalidad ( $W=0.98$ ,  $P=0.0827$ ) y homocedasticidad en sus varianzas ( $F=2.14$ ,  $P=0.097$ ). Los datos se analizaron con una ANOVA de una vía.

### **6.6. Tasa de visitas de los murciélagos**

Para evaluar el efecto generado por los polinizadores nocturnos (específicamente los murciélagos) y dado que las flores se mantienen abiertas toda la mañana y parte de la tarde; se excluyeron a los polinizadores diurnos embolsando

diariamente todas las flores abiertas en un horario de 7 h hasta las 19 h utilizando bolsas de tul de aproximadamente 15 cm de largo y 10 de ancho (Fig. 6).

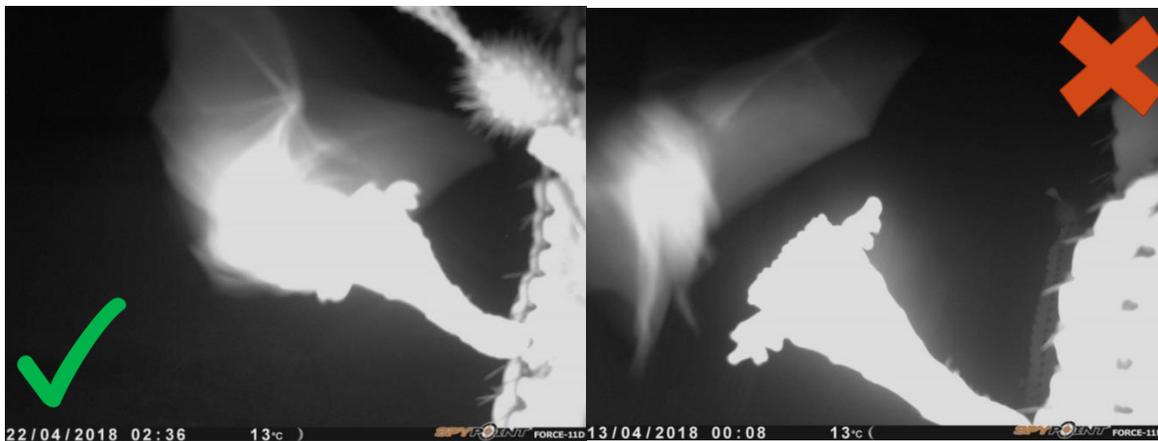
Para la toma de datos correspondientes a la interacción pitayo-murciélago, se realizó un monitoreo cada dos días durante dos semanas (del 24 de marzo al 9 de abril del 2018) del número de visitas de murciélagos en cada tratamiento; y posteriormente un monitoreo diario de 12 días (del 10 al 21 de abril del 2018). Se utilizaron cuatro cámaras de fototrampeo marca SpyPoint FORCE-11D (una por tratamiento). Las cámaras se colocaron de manera focal a menos de un metro de distancia de las flores de interés. Estas se seleccionaron por la posición en la que se encontraban respecto al brazo del pitayo donde se colocaría la cámara, se trataba de enfocar dos flores cercanas, o en su defecto, una solo flor. Las cámaras se programaron para grabare de las 21 h a 5 h del día siguiente, que es el periodo de actividad de los murciélagos. Las fotografías se analizaron y un evento de visita se tomó como legitima si se apreciaba contacto de alguna parte del hocico del murciélago con la flor (Fig. 7).

Así mismo, con una cámara Bushnell mod. 119774 se tomaron videos de un minuto de duración cada cinco minutos grabando un tratamiento por noche desde las 21 h hasta las 5 h del día siguiente (12 minutos de grabación por hora). La cámara se colocó tres veces en cada tratamiento (es decir, 288 minutos de grabación por tratamiento). Para colocarla se utilizaron dos extensores de rodillo de 3 m en los cuales se amarraba la cámara con ayuda de piola delgada, los extensores, por su parte, eran amarrados sobre el brazo de un pitayo ubicado a más de un metro de distancia de los pitayos escogidos para la grabación. Estos pitayos se seleccionaban por el número de flores (más de tres flores), y una vez

seleccionado, se contaban y se ubicaban cada una de las flores para poder reconocerlas en los videos y registrar de manera eficiente cada una de las visitas. Los videos se observaron para contabilizar el número de visitas por hora desde las 21 h hasta las 5 h del día siguiente (12 minutos de grabación por hora).



**Fig. 6** – Flor excluida con la bolsa de tul para evitar polinizadores diurnos.



**Fig. 7** – Fotografías obtenidas con las cámaras SpyPoint para ejemplificar una visita legítima (parte superior) y una no legítima (parte inferior) por parte de los murciélagos.

La tasa de visitas se obtuvo dividiendo el número de visitas entre los minutos de observación por día, y entre el número de flores observadas.

A los datos se les aplicó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk y la prueba de homocedasticidad de varianzas de Levene. Los datos de tasa de visitas registrados de la cámara SpyPoint no presentaron normalidad ( $W=0.78$ ,  $P<0.0001$ )

ni homocedasticidad en sus varianzas ( $F=2.03$ ,  $P=0.1152$ ); por lo tanto, se analizaron con una prueba no paramétrica de Wilcoxon y Kruskal-Wallis. Por su parte, los datos provenientes de la cámara Bushnell se transformaron sacando la escala de raíz cuadrada para que tuvieran normalidad ( $W=0.91$ ,  $P=0.2471$ ) y homocedasticidad en sus varianzas ( $F=1.24$ ,  $P=0.3561$ ); estos se analizaron mediante una ANOVA de una vía.

### **6.7. Análisis químicos de trazas**

Para realizar los análisis químicos de trazas en busca de residuos del plaguicida, durante la floración se tomaron muestras de néctar de tres flores de diez plantas escogidas al azar por tratamiento ( $n=30$ ) con una jeringa de insulina de 0.3 ml. Así mismo, se colectaron granos de polen al retirar los estambres de tres flores de diez pitayos por tratamiento ( $n=30$ ). Las muestras se guardaron en tubos Eppendorf de 1.5 ml. Posteriormente, en la época de fructificación, se tomaron tres frutos de diez pitayos al azar por tratamiento ( $n=30$ ), se colectaron muestras de pulpa y se guardaron en bolsas ziploc grandes. Todas las muestras se mantuvieron almacenados a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su procesamiento en el laboratorio.

Para la detección de trazas químicas de carbofuran, las muestras (tanto de polen, néctar y pulpa de pitaya) fueron molidas por separado con mortero utilizando nitrógeno líquido. Se tomó una muestra de 20 g y se le añadieron 100 ml de metanol. Posteriormente, la mezcla se maceró en un agitador (Incubadora de agitación orbital) durante 3 horas de agitación continua. Después de agitar, la suspensión se filtró a través de un embudo Buchner con succión. El matraz y las tortas de filtración se enjuagaron con 8 ml de metanol cada una. Luego el filtrado se transfirió luego a un matraz de fondo redondo de 250 ml y se secó a 5 ml por

evaporación usando un evaporador de vacío rotatorio. El filtrado concentrado se transfirió luego a un embudo de separación de 500 ml, haciendo 10 ml de volumen con metanol. Se añadieron alrededor de 20 ml de hexano con 10 ml de filtrado al embudo separador y se agitó vigorosamente durante 5 minutos y se eluyó en un matraz. El eluato se centrifugó luego a 1200 rpm durante 5 minutos. Después de centrifugar, se recogió el sobrenadante para inyección.

La siguiente fase consistió en la identificación de los compuestos presentes en las muestras utilizando un cromatógrafo de gases (GC) modelo 7890A acoplado a un detector de cuatro polos y triple eje con ionización electrónica de impacto (EIMS) modelo 5975 (Agilent Technologies, Inc., EE. UU.) equipado con una columna capilar HP5MS (30 m 320  $\mu$ m 0.25  $\mu$ m, J&W, Agilent Technologies, Inc., EE. UU.) El procedimiento consistió en la inyección de una alícuota de 1  $\mu$ l de la muestra en modo sin división. La temperatura de inyección fue de 175 ° C. Se usó helio como gas portador con un flujo constante de 1 ml / min. El programa del horno GC comenzó a 40 ° C y se mantuvo durante 5 minutos, luego aumentó a 12 ° C / min a 120 ° C y se mantuvo durante 1 minuto y después de 20 ° C / min a 300 ° C durante 8 minutos. La temperatura de la línea de transferencia fue de 175 ° C. La temperatura de la fuente de iones y el cuadrupolo fue de 230 ° C y 150 ° C, respectivamente. Las mediciones se realizaron en modo SCAN con un rango de masa de 50-550 y operaron a 2,9 escaneos por segundo. Los espectros de masas se obtuvieron a 70 eV. Los datos se recopilaron con el software MassHunter Workstation versión B.06.00 (Agilent Technologies, Inc., EE. UU.). El tiempo de retención y el espectro de masas de cada componente se determinaron con el software "Automated Mass Spectral Deconvolution and Identification System"

(AMDIS) (<http://www.amdis.net/>). Los compuestos se identificaron usando la base de datos de espectros de masas y la biblioteca NIST MS Search software versión 2.0 (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, EE. UU.) y/o el estándar respectivo, para la pureza estándar de carbofuran. Se realizaron tres repeticiones por tratamiento para cada muestra analizada (n=12).

A los datos se les aplicó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk ( $W=0.90$ ,  $P=0.3976$ ) y la prueba de homocedasticidad de varianzas de Levene ( $F=1.11$ ,  $P=0.3862$ ), posteriormente se realizó una prueba  $t$  de Student en el programa estadístico JMP comparando la media del tratamiento plaguicida con la del tratamiento plaguicida + licuado en las trazas encontradas en la pulpa de pitaya.

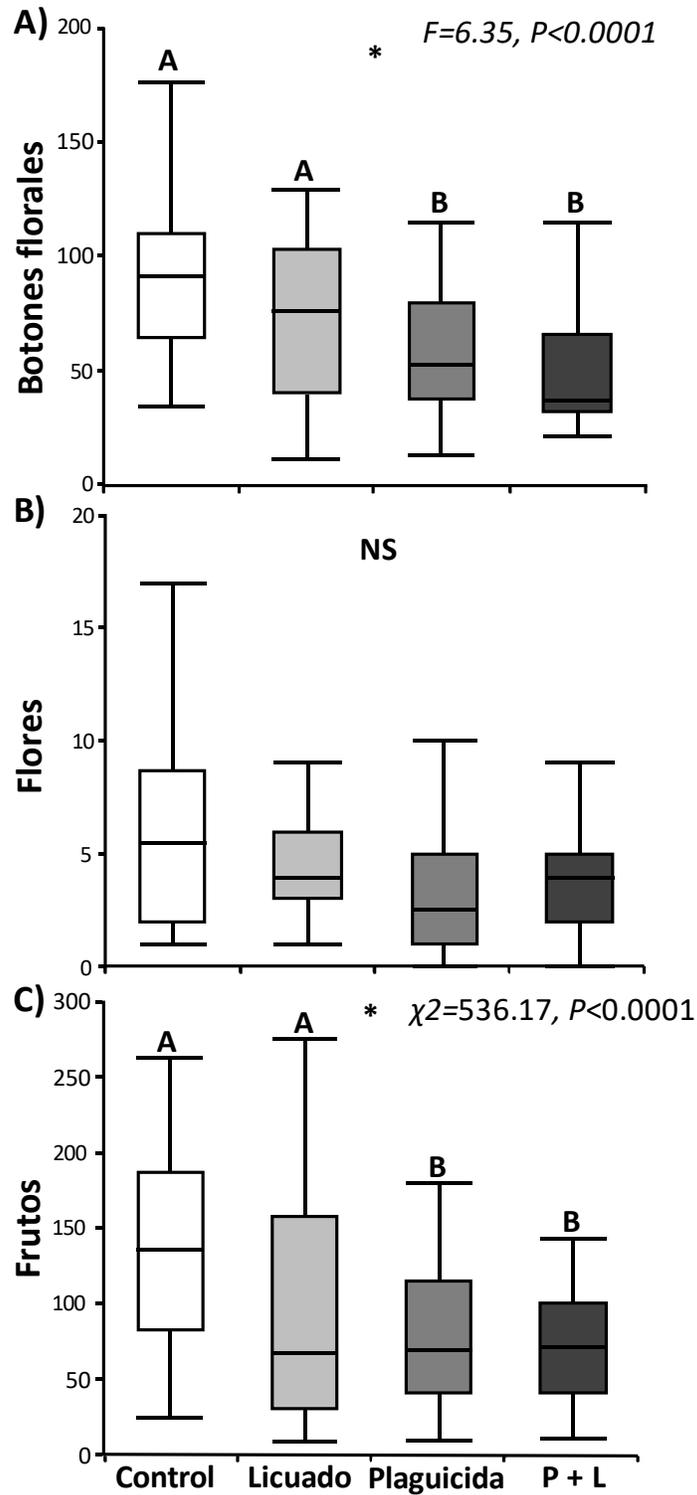
## **VII. RESULTADOS**

### **7.1. Producción de estructuras reproductivas**

En la siguiente figura se representan el número acumulado de tres estructuras reproductivas para cada tratamiento: En el caso de la producción de botones, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $F=6.35$ ,  $P=0.0001$ ) siendo los tratamientos plaguicida y plaguicida + licuado significativamente menores al tratamiento control (Fig. 8 A).

En el caso del número de flores, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $F=2.67$ ,  $P=0.051$ ) (Fig. 8 B).

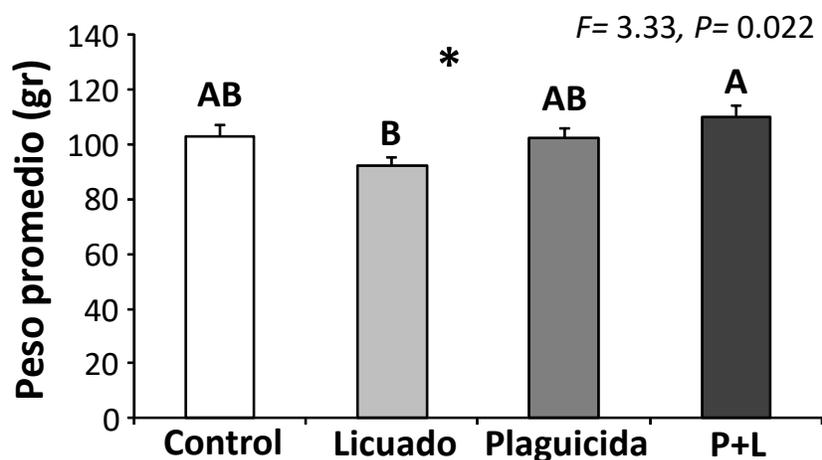
Para la producción de los frutos se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $\chi^2=536.17$ ,  $P<0.0001$ ) siendo los tratamientos plaguicida y plaguicida + licuado significativamente menores a comparación del tratamiento control (Fig. 8 C).



**Fig. 8** – Efecto de los tratamientos sobre la producción de estructuras reproductivas: (A) botones florales, (B) flores y C) frutos. Las barras representan la desviación estándar. Diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas entre los tratamientos.

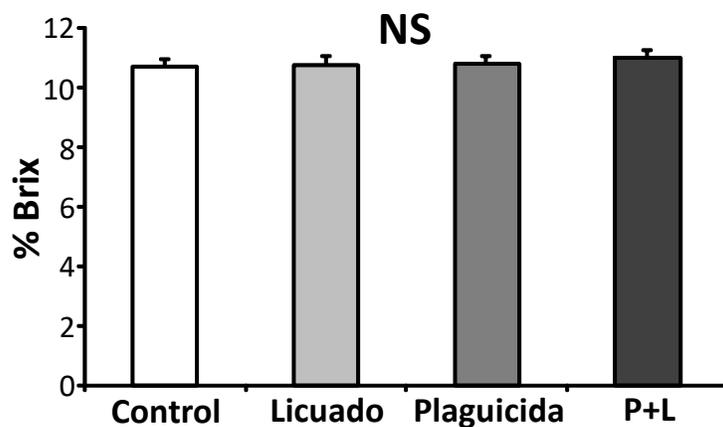
## 7.2. Calidad de los frutos

Se encontraron diferencias significativas ( $F=3.33$ ,  $P=0.022$ ) siendo el peso de los frutos del tratamiento de plaguicida + licuado significativamente mayor a comparación del tratamiento licuado (Fig. 9).



**Fig. 9** – Peso promedio de los frutos por tratamiento, las barras representan la desviación estándar. Diferentes letras sobre las barras representan diferencias significativas entre los tratamientos.

No se encontraron diferencias significativas entre los datos de concentración de azúcar de los frutos ( $F=0.258$ ,  $P=0.854$ ) (Fig. 10).

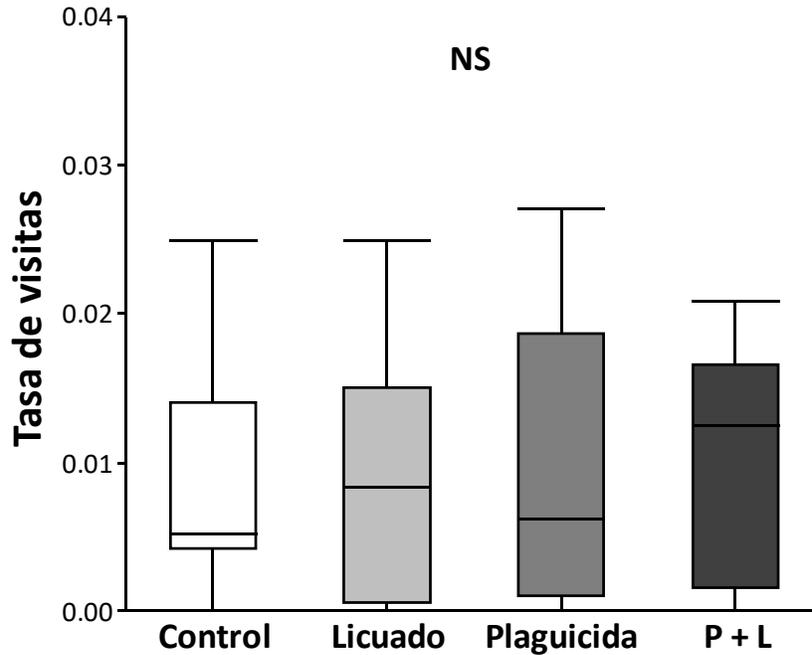


**Fig. 10** – Promedio de la concentración de azúcares promedio en la pulpa de pitaya entre los tratamientos, las barras representan la desviación estándar.

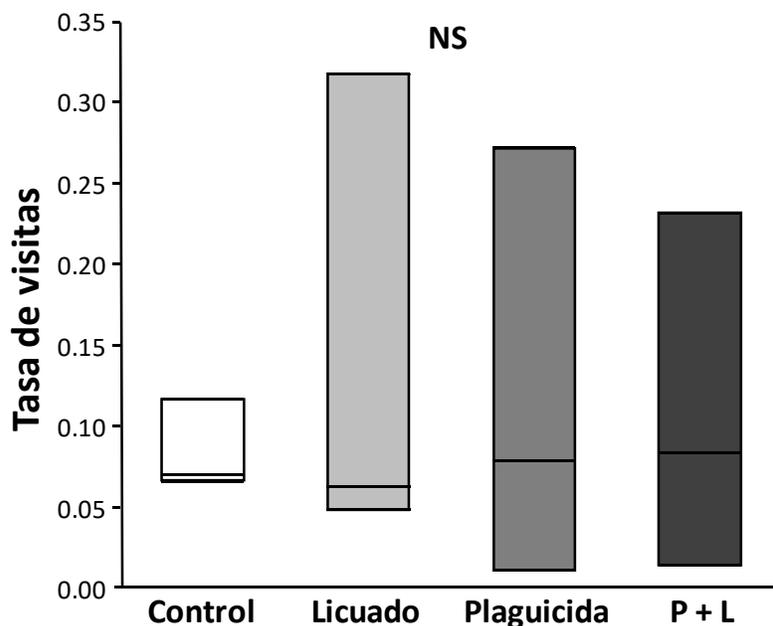
### 7.3. Tasa de visitas de los murciélagos

Para la cámara de SpyPoint no se encontraron diferencias significativas ni en la tasa de visitas obtenidas de las fotografías ( $\chi^2=0.42$ ,  $P=0.935$ ) (Fig. 11), ni para las visitas obtenidas de los videos ( $F=0.06$ ,  $P=0.976$ ) (Fig.12).

En total se obtuvieron fotografías de 49 flores (14 flores del tratamiento control, 15 de plaguicida, 11 de licuado y 9 de plaguicida + licuado), y 1,154 minutos de grabación (288 minutos por tratamiento) de 110 flores (29 flores del tratamiento control, 26 de plaguicida, 30 de licuado y 25 de plaguicida + licuado).



**Fig. 11** – Tasa de visitas promedio registradas con fotografías para cada tratamiento, las barras representan la desviación estándar.



**Fig. 12** – Tasa de visitas promedio registradas con video para cada tratamiento, las barras representan la desviación estándar.

#### 7.4. Trazas químicas.

Se encontraron trazas del plaguicida Furadan en el néctar y la pulpa de las pitayas de los tratamientos plaguicida y plaguicida + licuado. No se encontraron diferencias significativas entre las medias de cantidad de trazas entre estos dos tratamientos ( $t= 1.05$ ,  $P= 0.806$ ) (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Promedios obtenidos, de las tres repeticiones por tratamiento, en la prueba de trazas químicas de las muestras tomadas de polen, néctar y pulpa de pitaya. ND significa que no se detectaron trazas químicas, y  $\sigma$  representa la desviación estándar.

	Control	Pesticide	Nutrients	P + L
<b>Nectar</b>	ND	0.01002	ND	ND
<b><math>\sigma</math></b>	ND	7.0603E <sup>-05</sup>	ND	ND
<b>Pitaya Pulp</b>	ND	0.0101392	ND	0.01009
<b><math>\sigma</math></b>	ND	2.1208E <sup>-05</sup>	ND	2.8951E <sup>-05</sup>

## VIII. DISCUSIÓN

### 8.1. Efecto de agroquímicos en la producción y calidad de frutos

Contrario a la hipótesis planteada, el tratamiento con el complemento nutricional y defensivo (plaguicida + licuado), y el tratamiento con solo el plaguicida resultaron tener el menor rendimiento en la producción de las tres estructuras reproductivas, es decir, no hubo sinergia entre estos dos tratamientos. Algo similar ocurrió con el tratamiento plaguicida. A pesar de que se ha reportado el aumento de la producción como uno de los beneficios principales del uso de plaguicidas (Aktar *et al.*, 2009), en este estudio las plantas a las que se les aplicó este tratamiento, tuvieron una baja producción. Así mismo, se esperaba que la adición de nutrientes en el suelo mejoraría la producción de fruta en los pitayos seleccionados, pero este no fue el caso.

Varios estudios han encontrado que los fertilizantes inorgánicos no son necesariamente beneficiosos para las plantas debido a la aparición de deficiencias de otros nutrientes, y al deterioro de las propiedades físicas del suelo (Bokhtiar *et al.*, 2008, Deore *et al.*, 2010). Por ejemplo, el uso del fertilizante inorgánico "Wuxal" no tuvo un efecto significativo en la altura de la planta, el número de ramas, el peso fresco y seco de dos variedades de *Salvia officinalis* (Lofty *et al.*, 2001). Por otro lado, se ha comprobado que los fertilizantes orgánicos tienen mejor rendimiento en los cultivos que aquellos formulados de manera sintética, debido a que estos promueven la calidad del suelo, la biomasa microbiana y fomentan enemigos naturales y la macrofauna edáfica benéfica, lo que fomenta un mejor ciclo de nutrientes y control de plagas (Pimentel *et al.*, 2005, Birkhofer *et al.*, 2008). En un estudio con *Salvia officinalis* y con una variedad de hinojo amargo

(*Foeniculum vulgare*) se encontró que la fertilización orgánica a base de composta aumentó significativamente todos los parámetros medidos en comparación con la fertilización inorgánica (Mona *et al.*, 2008).

En plantas suculentas, la mayoría de los estudios sobre la efectividad de fertilizantes se ha enfocado en su efecto en la propagación. Por ejemplo, Lessa *et al.* (2008) probaron la eficiencia de un fertilizante compuesto (NPK) en la propagación de la crasulácea *Kalanchoe luciae* y determinaron que la adición de la mezcla de fertilizante no presentó efecto significativo en el número de hojas ni en la altura de la planta, pero sí en el diámetro de la quinta hoja. En otro estudio con el cactus ornamental *Schlumbergera truncata*, probaron la eficiencia de un fertilizante conformado por los tres macronutrientes principales (nitrógeno, potasio, y fósforo), azufre, magnesio y tres micronutrientes (boro, cobre, y zinc), las plantas tratadas con el fertilizante tuvieron mayor peso seco y fresco, más cladodios, y mayor concentración de cloroplastos y proteínas por  $\text{mg.g}^{-1}$  (Rodrigues y Queires, 2015). Estos estudios muestran que el uso de fertilizantes puede mejorar ciertos caracteres de las cactáceas, en especial aquellos relacionados con su crecimiento y propagación; sin embargo, no hay evidencia que pruebe el efecto positivo de los fertilizantes sobre la producción de frutos.

Para el caso de los pitayos, los productores afirman que las plantas cultivadas muestran una respuesta negativa a la aplicación de fertilizante. Pimienta-Barrios y Nobel (1994) consideran que esta respuesta se debe a la baja tasa de absorción de los pitayos puesto que sus raíces muy cortas. Sin embargo, en este estudio la aplicación de los tratamientos se realizó con dos meses de anticipación a la fecha de producción de las pitayas, tiempo suficiente para que los

pitayos absorbieran todos los nutrientes añadidos al suelo. Otra explicación tiene que ver con el origen ecológico de la especie de estudio, debido a que *S. queretaroensis* ha evolucionado en suelo con muy pocos nutrientes (Pimienta-Barrios *et al.*, 1997), se podría comportar como algunas plantas silvestres perennes que crecen en suelos infértiles que tienden a durar mucho tiempo con un crecimiento lento y una baja capacidad de absorción de nutrientes (Chapin, 1980).

En cuanto al peso de los frutos, el tratamiento plaguicida + licuado produjo frutos significativamente más pesados al tratamiento licuado. Esto podría deberse a un *trade off* de cantidad-tamaño, dado que el tratamiento plaguicida + licuado tuvo una producción de frutos muy baja, pero tuvo frutos más pesados a comparación del tratamiento licuado cuya producción de frutos fue más alta. También sería importante tomar en cuenta el diámetro de los brazos del pitayo pues es una variable que va a influenciar el peso de los frutos, de tal manera que los brazos más delgados podrán tener una menor capacidad para sostener frutos muy pesados respecto a los brazos más gruesos; por lo cual se recomienda añadir esta variable para futuros estudios.

La adición de plaguicidas y/o fertilizantes tampoco mejoraron la concentración de azúcares en la pulpa de la pitaya. Esto es consistente con los hallazgos en tunas (*Opuntia ficus-indica*) donde el contenido de pulpa, el pH, los azúcares totales y los sólidos solubles de la fruta no se modificaron por la adición de fertilizantes inorgánicos; sin embargo, si hubo un aumento en la producción y el peso de las tunas (Arba *et al.*, 2017), lo que nos lleva a suponer que nuestro fertilizante no fue eficiente en nuestras plantas.

Los estudios con *Hylocereus undatus* ("pitahaya"), un cactus trepador perenne cuya fruta es muy parecida a la pulpa de las pitayas, muestran que el rendimiento y la calidad del cultivo aumentaron aplicando fertilizantes inorgánicos con diferentes formulaciones de NPK: 46-0-0, 24-24-0, 16-16-16 (Muchjajib y Muchjajib, 2012). Estos fertilizantes comerciales están específicamente formulados para cactus y suculentas cultivadas en condiciones controladas / de invernadero, como la formulación NPK 8-34-32 (Lessa *et al.*, 2008; Bell, 2001). En el presente estudio, la formulación utilizada (Speedfol NPK 17-0-22) no parece estar diseñada para el metabolismo de los cactus, nuevas formulaciones deben experimentarse en el futuro, especialmente aquellas mencionadas anteriormente.

## **8.2. ¿Murciélagos en riesgo?**

A pesar de que se esperaba encontrar una respuesta diferencial de la tasa de visitas de los murciélagos hacia los diferentes tratamientos, en especial a las plantas a las que se les aplicó plaguicida, no se encontraron diferencias significativas.

En un reciente estudio en cultivos de melón (*Cucumis melo*) en Brasil, se determinó el impacto de los plaguicidas botánicos (aquellos elaborados con aceites esenciales de plantas para repeler abejas que son plaga) y los plaguicidas sintéticos sobre la tasa de visitas de las abejas, donde se encontró que las especies *Apis mellifera* y *Halictus* sp tuvieron una reducción en su tasa de visitas posterior a la aplicación de ambos plaguicidas en las plantas de melón; mientras que en la tasa de visitas de las abejas del género *Plebeia* no se encontró ningún efecto (Tschoeke *et al.*, 2019). En otro estudio similar en cultivos de manzanos en Estados Unidos, se encontró que las colonias de abejorros expuestas al plaguicida

neonicotinoide “thiamethoxam” tuvieron tasas de visitas más bajas y recolectaron polen con menos frecuencia, lo que derivó en manzanas con muy pocas semillas demostrando una reducción en la eficiencia y servicios de polinización (Stanley *et al.*, 2015).

A diferencia de los estudios con insectos polinizadores, en el presente estudio, la tasa de visitas de los murciélagos no se vio afectada por los tratamientos, quizá porque los murciélagos no son tan sensibles como los insectos para detectar químicos. Los sistemas quimiosensoriales de insectos detectan una amplia gama de productos químicos volátiles y solubles y son importantes para encontrar y evaluar la calidad de las fuentes de alimentos (Dahanukar *et al.*, 2005), mientras que los murciélagos usan otros sentidos además del olfato como la ecolocalización para alimentarse (O'Neill y Suga 1979). La evidencia también sugiere que los murciélagos pueden aprender unos de otros a través de la transferencia de olores dónde o qué comer, sin embargo, los murciélagos no necesariamente examinan la calidad de los alimentos ingeridos (O'Mara *et al.*, 2014).

El hecho de que los murciélagos visitaron con la misma frecuencia los pitayos sin importar con que sustancias fueron tratados resulta preocupante ya que se están alimentando indiscriminadamente de flores y frutos contaminados con trazas químicas de sustancias altamente tóxicas y dañinas para ellos.

Existen muy pocos estudios que analicen la bioacumulación de residuos de plaguicidas en las cadenas alimenticias de murciélagos. Una excepción es el trabajo de Stahlschmidt *et al* (2012), en el cual los artrópodos del follaje presentes en cultivos de manzanas, alimento para murciélagos insectívoros, presentaron

concentraciones de hasta de 133.15 ppm del plaguicida no sistémico “Fenoxycarb” inmediatamente después de la aplicación, dicha concentración se reducía al día siguiente a 27.3 ppm y a los doce días de la aplicación desaparecía. Si comparamos nuestros resultados con los de Stahlschmidt *et al* (2012), la concentración de pesticida en el néctar es mucho menor, sin embargo, el pesticida utilizado en este estudio es sistémico, por lo que fue absorbido por la planta, retenido durante al menos tres meses, y bioacumulado en estructuras reproductivas (flores y néctar), por lo tanto, el carbofuran tiene una mayor duración dentro de la planta, lo que extiende el tiempo de riesgo para la fauna no blanco. Los murciélagos pueden visitar entre 80 y 100 flores por noche (Horner *et al.*, 1998), lo cual aumenta sustancialmente la exposición de los murciélagos a la acumulación de trazas de plaguicidas.

Los murciélagos son animales muy sensibles a los efectos negativos de los plaguicidas (Eidels *et al.*,2007). En un estudio con seis murciélagos de la especie *Hipposideros terasensis* se grabó su comportamiento de ecolocalización y rutas de vuelo. A tres de los murciélagos se les añadió 20 mg/kg de Imidacloprid (neonicotinoide sistémico) a su dieta por cinco días consecutivos, mientras que a los murciélagos restantes se les dio una dieta libre de plaguicida. Encontraron que los murciélagos alimentados con Imidacloprid tenían patrones de vuelo diferentes y erráticos respecto a los patrones registrados para los murciélagos alimentados con el tratamiento control. Una vez realizados estos experimentos, los animales fueron sacrificados para realizar análisis histológicos con los que determinaron que el plaguicida Imidacloprid causa apoptosis neuronal en el hipocampo CA1 y

etorrinal medial (áreas MEC); con lo cual concluyen que el plaguicida debe afectar la memoria espacial de ecolocalización de los murciélagos (Hsiao *et al.*, 2016).

Estudios realizados en ratas de laboratorio (*Mus musculus*) y ratones de laboratorio con dos carbamatos (carbofuran y carboxyl) demostraron que ambos plaguicidas disminuyen la producción de anticuerpos de estos, decreciendo las respuestas de las células T y con ello la resistencia a ciertas bacterias como *E. coli* y *Staphylococcus* (Fairbrother, 1994, Badii *et al.*, 2009), este podría ser uno de los efectos negativos que los residuos de carbamatos provoquen en los murciélagos que polinizan los cultivos de pitayos; sin embargo, se requieren estudios específicos sobre el daño específico del Carbofuran en murciélagos.

Utilizar plaguicidas en este cultivo puede representar una trampa ecológica para sus polinizadores, pues cada visita a las flores es una exposición a los residuos químicos de los plaguicidas. El riesgo no es solo para los murciélagos polinizadores, al encontrar residuos similares de 0.01 ppm en la pulpa de pitaya también están en riesgo los murciélagos que dispersan las semillas, los demás polinizadores y dispersores, e incluso los seres humanos que consumen esos frutos, dado que es un plaguicida de amplio espectro.

Respecto al método de fototrampeo, en este estudio se implementaron dos técnicas para obtener el número de visitas, cada una con ventajas y desventajas. La técnica de grabación por video presentó dos grandes desventajas: la duración de la grabación y la falta de simultaneidad en las grabaciones. Esto pudo generar una subestimación de la tasa de visitas; por otro lado, debido a que solo contábamos con una cámara, se tuvo que grabar el número de visitas por tratamiento en distintas noches lo que provoca mayores factores de confusión en

el estudio. La ventaja de esta técnica es que la cámara se podía colocar a grandes alturas y brindaba un rango de visión de hasta tres pitayos, por lo cual se obtenía una mayor cantidad de datos de visitas aun cuando no grababa durante todo el horario de muestreo. Respecto a la técnica por fotografías, parece brindar información más certera debido a que se colocaban simultáneamente en cada tratamiento y se encontraban activas durante todas las horas del muestreo; sin embargo, al colocarse de manera focal, solo se pudieron registrar las visitas de una o dos flores por noche por lo cual se obtuvieron menor número de datos.

Es importante destacar que la mayoría de los estudios en los que se evalúan los efectos de plaguicidas sobre la vida silvestre, se toma principalmente como sistema de estudio a las abejas, debido a que la llamada “crisis de polinizadores” hace referencia únicamente a las abejas, pero sabemos que estas no son el único grupo de polinizadores y por tanto, no son las únicas en estar expuestas al envenenamiento secundario a partir del uso de plaguicidas en los cultivos. Los murciélagos son vulnerables al envenenamiento por plaguicidas, generalmente se hace referencia a murciélagos insectívoros debido a su contacto directo como controladores de plagas, sin embargo, es necesario tener este mismo enfoque para los murciélagos nectarívoros los cuáles siguen estando en contacto con los cultivos y, gracias a este estudio, sabemos que están en contacto con los residuos de los plaguicidas, volviéndose extremadamente vulnerables al envenenamiento secundario. Se recomienda ampliar los estudios respecto al efecto de los plaguicidas utilizados en varios cultivos de plantas frutales y tomando en cuenta todos los polinizadores posibles, en especial a los murciélagos nectarívoros.

### **8.3. Perspectivas - Cultivo de pitayas**

La relevancia del presente trabajo es aportar y divulgar la información generada hacia a los agricultores para compartir recomendaciones pertinentes sobre la aplicación de mejoradores de producción y generar propuestas que les beneficien a ellos sin perjudicar el ambiente. Es importante tomar en cuenta que en la mayoría de los estudios anteriormente descritos, los fertilizantes utilizados son mezclas hechas de forma exclusiva para los cultivos que se pretenden mejorar tomando en cuenta los requerimientos nutricionales de las plantas; en el caso de este estudio se utilizaron las sustancias agroquímicas utilizadas por los agricultores de Techaluta de Montenegro con formulaciones de fábrica que no cubren completamente las necesidades nutricionales de los pitayos porque se enfocan a otros tipos de plantas frutales o vegetales como las de plátano, uva, caña de azúcar, maíz, sorgo, papa, jitomate, sandía, melón, entre otros. En este trabajo se demostró que es innecesario usar agroquímicos estándares debido a que se ha corroborado su ineficiencia en la mejora de la producción de los cultivos de pitayos. El pitayo es un cultivo en vías de tecnificación, por lo cual es necesario desarrollar nuevas investigaciones para comprender las maneras de mejorar la producción y protección contra las plagas.

El hecho de que el fruto del pitayo bioacumula residuos de plaguicida podría afectar los estándares de salud para permitir su consumo y exportación, lo que generaría grandes pérdidas económicas para la región pitayera de Jalisco. Según los límites máximos de residuos (MRLs) de la comisión Europea, frutos como las manzanas, peras, jitomates, entre otros, deben tener como mínimo 0.001 ppm de carbofuran para ser seguros, mientras que otros frutos como naranjas, mangos,

maracuyá, tunas y otros frutos de cactus tienen un límite mayor de 0.01 ppm, que es justo lo que presentan las pitayas. Esto significa que las pitayas están en el límite para ser consideradas seguras y exportables a otros países.

Dado que las sustancias agroquímicas utilizadas en este estudio parecen no ser efectivas en los cultivos de pitaya, se deben explorar nuevas opciones que garanticen frutos libres de residuos y seguridad para la fauna beneficiosa del cultivo como:

- La implementación del Manejo Integrado de Plagas (MIP) que proporciona una metodología de trabajo para el manejo de plagas en sistemas agrícolas sostenibles (Akhtar, 1997) y se puede ajustar para proteger la salud de los polinizadores al igual que se ajusta para proteger otros beneficios organismos como depredadores y parasitoides (Biddinger y Rajotte, 2015).

- Mejorar la calidad del hábitat para aumentar la abundancia de presas de insectos a través de la diversificación vegetativa y / o aplicaciones de pesticidas menos frecuentes promueven la actividad de los murciélagos insectívoros (Olimpi y Philpott, 2018) que tienen impactos positivos en la calidad de los cultivos mediante la supresión de las poblaciones de insectos (Maas *et al.*, 2015).

- La aplicación de fertilizantes orgánicos como la composta y el estiércol es una práctica prometedora para suprimir plagas y / o mejorar el control biológico; además de tener un bajo riesgo y costos económicos (Murrell, 2017).

## **VI. CONCLUSIONES**

En el cultivo de pitaya el uso de sustancias agroquímicas tales como fertilizantes y plaguicidas resultaron no tener efecto positivo sobre la producción y calidad de los

frutos. Con base en este estudio se recomienda evitar el uso de los agroquímicos aquí analizados porque representan un gasto monetario grande, que puede ir de los \$1,000 a \$1,500 anuales, que no se verá reflejado en el rendimiento de los cultivos, además de comprometer la seguridad de la producción con frutos que tienen residuos de carbofuran al límite requerido para ser exportados.

El plaguicida carbofuran, aparentemente, no tiene un efecto sobre la tasa de visitas de los murciélagos; sin embargo, hay un riesgo muy alto de envenenamiento secundario ya que se encontraron residuos del plaguicida en el néctar y la pulpa de pitaya. Los murciélagos nos son capaces de detectar los residuos en su alimento y cada visita a los pitayos aumenta del riesgo de intoxicación.

Debido al enfoque agroecológico de este estudio, es muy importante generar respuestas y soluciones a los agricultores del Municipio de Techaluta de Montenegro acerca del correcto uso de agroquímicos; así como orientarlos a mejorar sus cultivos. Por ello, es importante que los estudios posteriores puedan determinar cuáles son las plagas de los cultivos y sus densidades, para llevar a cabo medidas que permitan su control natural en los cultivos sin la necesidad de dañar la vida silvestre. Además, necesitamos más estudios que implementen el uso de fertilizantes orgánicos en cultivos de pitayas para analizar si pueden mejorar el rendimiento y la calidad del cultivo.

## **X. BIBLIOGRAFÍA**

- Akhtar, M. (1997). *Current options in integrated management of plant-parasitic nematodes*. *Integrated Pest Management Reviews*, 2(4), 187-197.

- Aktar, M. W., Sengupta, D. & Chowdhury, A. (2009). *Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards*. Interdisciplinary toxicology, 2(1), 1-12.
- Arba, M., Falisse, A., Choukr-Allah, R., & Sindic, M. (2017). *Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on fruit yield and quality of cactus pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.* Fruits. 72: 212-220.
- Augspurger, T., Smith, M. R., Meteyer, C. U., & Converse, K. A. (1996). *Mortality of passerines adjacent to a North Carolina corn field treated with granular carbofuran*. Journal of wildlife diseases, 32(1), 113-116.
- Badii, M. H., Hernández, S. & Guerrero, S. (2009). *Efecto de los plaguicidas en pequeños mamíferos*. Cultura Científica y Tecnológica, 30: 5–16.
- Baker, H. G. 1961. *The adaptations of flowering plants to nocturnal and crepuscular pollinators*. Quarterly Review of Biology 36: 64–73.
- Bejarano-González, F. (2017). *Los plaguicidas altamente peligrosos en México*. México: Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, AC. Anexo II, pp. 344.
- Bell, S. A. (2001). *Growing cacti and other succulents in the conservatory and indoors*. United Kingdom: GMC.
- Berny, P. (2007). *Pesticides and the intoxication of wild animals*. Journal of veterinary pharmacology and therapeutics, 30(2), 93-100.
- Biddinger, D. J., & Rajotte, E. G. (2015). *Integrated pest and pollinator management—adding a new dimension to an accepted paradigm*. Current opinion in insect science, 10: 204-209.

- Bokhtiar, S. M., Paul, G. C., & Alam, K. M. (2008). *Effects of Organic and Inorganic Fertilizer on Growth, Yield, and Juice Quality and Residual Effects on Ratoon Crops of Sugarcane*. *Journal of Plant Nutrition*, 31(10), 1832–1843
- Bravo-Avilés, D., B. Rendón-Aguilar, J.A. Zavala-Hurtado y J. Fornoni  
lonombres de los autores van al frente (2014). *Primer registro de Cactophagus spinolae (Coleoptera: Curculionidae) sobre dos especies de Stenocereus (Cactaceae) en el centro de México*. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 972-974
- Clark, D.R. Jr., V.A. Moreno & M.A. Mora. (1995). *Organochlorine residues in bat guano from nine Mexican caves, 1991*. *Ecotoxicology* 4: 258-265.
- CEDRSSA. (2018). *Fertilizantes*. Revisado el 22 de noviembre de 2019 de: <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/9/59NOTAS%20SOBRE%20FERTILIZANTES.pdf>
- CONAGUA. (2017). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2015-2016*. México: Ciudad de México. Pp. 41.
- Curtis, J. E., & Horne, P. A. (1995). *Effect of Chlorpyrifos and Cypermethrin Applications on Non-Target Invertebrates in a Conservation-Tillage Crop*. *Australian Journal of Entomology*, 34(3), 229-231.
- Dahanukar, A., Hallem, E. A., & Carlson, J. R. (2005). *Insect chemoreception*. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(4), 423–430.
- De la Barrera, E., & Nobel, P. S. (2003). *Physiological ecology of seed germination for the columnar cactus Stenocereus queretaroensis*. *Journal of Arid Environments*, 53(3), 297-306.

- Deore, G. B., Limaye, A. S., Shinde, B. M., & Laware, S. L. (2010). *Effect of novel organic liquid fertilizer on growth and yield in chilli (Capsicum annum L.)*. Asian Journal of Experimental Biological Sciences (2010 Spl issue), 15-19
- EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR), Hernández-Jerez, A., Adriaanse, P., Aldrich, A., Berny, P., Coja, T., Duquesne, S., Gimsing, A. L., Marina, M., Millet, M., Pelkonen, O., Pieper, S., Tiktak, A., Tzoulaki, I., Widenfalk, A., Wolterink, G., Russo, D., Streissl F., Topping, C. (2019). Scientific statement on the coverage of bats by the current pesticide risk assessment for birds and mammals. EFSA Journal, 17(7): 5758.
- Eidels, R. R., Whitaker Jr, J. O. & Sparks, D. W. (2015). *Insecticide residues in bats and guano from Indiana*. Proc. Indiana Acad. Sci. 116, 50–57.
- Elbert A., Beckert B., Hartwig J., Erdelen C. (1991). *Imidacloprid – a new systemic insecticide*. Pflanzenschutz-Nachr Bayer 44, 113-136.
- FAO. (1991). *Manual on fertilizer statistics*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.
- Fremark, C. K. (1995) Boutin, Agric. Ecosyst. Environ. 52, 67-91.
- Fujita, M. S., & Tuttle, M. D. (1991). Flying foxes (Chiroptera: Pteropodidae): threatened animals of key ecological and economic importance. Conservation Biology, 5(4), 455-463.
- Gibbons, D., Morrissey, C. & Mineau, P. (2015). *A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife*. Environmental Science and Pollution Research, 22(1), 103-118.

- Gill, R. J., Ramos-Rodríguez, O., & Raine, N. E. (2012). *Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees*. *Nature*, 491(7422), 105–108.
- Guzmán, U., Arias, S., & Dávila, P. (2007). *Catálogo de cactáceas mexicanas*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 1ra reimpresión. D. F., México. pp. 224.
- Hsiao, C. J., Lin, C. L., Lin, T. Y., Wang, S. E., & Wu, C. H. (2016). *Imidacloprid toxicity impairs spatial memory of echolocation bats through neural apoptosis in hippocampal CA1 and medial entorhinal cortex areas*. *Neuroreport*, 27(6), 462-468.
- Hoffman, D. J., B, A., Rattner, I. Scheunert & F. Korte. (2001). *Environmental contaminants*. Pp 1-48, In *Ecotoxicology of Wild Animals* (R. F Shore & B.A Rattner).
- Horner, M. A., Fleming, T. H., & Sahey, C. T. (1998). *Foraging behaviour and energetics of a nectar-feeding bat, *Leptonycteris curasoae* (Chiroptera: Phyllostomidae)*. *Journal of Zoology*, 244(4), 575–586
- Horne, P. A., & Edward, C. L. (1998). *Effects of tillage on pest and beneficial beetles in the Wimmera region of Victoria, Australia*. *Australian Journal of Entomology*, 37(1), 60-63.
- Ibarra-Cerdeña, C. N., Iñiguez-Dávalos, L. I. & Sánchez-Cordero, V. (2005). *Pollination ecology of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae), a chiropterophilous columnar cactus, in a tropical dry forest of Mexico*. *Am. J. Bot.* 92, 503–509.

- IFA. (1992). *Los fertilizantes y su uso*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.
- IIEG. (2017). *Techaluta de Montenegro. Diagnóstico del Municipio noviembre 2017*. Inst. de Información Estadística y Geográfica.
- INECC. *Datos de identificación de Carbofuran*. Revisado el 29/03/2020 en: <http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/pdf/carbofuran.pdf>.
- INECC. (2019). Martínez Arroyo A., Gavilán García A, Mendoza Cantú A. *Diagnóstico sobre la Contaminación por Plaguicidas en Agua Superficial, Agua Subterránea y Suelo*. pp. 37.
- INEGI. (2014). *El sector alimentario en México 2014: serie estadísticas sectoriales*. Inst. Nac. Estadística y Geog. 304.
- INEGI. (2019). *Estimación oportuna del Producto Interno Bruto en México durante el tercer trimestre de 2019*. Comunicado de prensa Núm. 534/19.
- Jenkins, S., Hoffmann, A. A., Mccoll, S., Tsitsilas, A., & Umina, P. A. (2013). Synthetic pesticides in agro-ecosystems: are they as detrimental to nontarget invertebrate fauna as we suspect?. *Journal of Economic Entomology*, 106(2), 756-775.
- Jiménez, Sierra. L. C. (2011). *Las cactáceas mexicanas y Los riesgos que enfrentan*. *Revista Digital Universitaria*, 12 (1), 2-23.
- Jones, G., Jacobs, D. S., Kunz, T. H., Willig, M. R. & Racey, P. A. 2009. *Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators*. *Endangered Species Research*, 8: 93-115.
- Kasso, M., & Balakrishnan, M. (2013). *Ecological and economic importance of bats (Order Chiroptera)*. ISRN Biodiversity, 2013

- Köhler, H. R. & Triebkorn, R. (2013). *Population Level and Beyond? Wildlife Ecotoxicology of Pesticides: Can We Track Effects to the Wildlife Ecotoxicology of Pesticides: Can We Track Effects to the Population Level and Beyond?* Sci. 341 759, 759–765.
- Lessa, M. A., Paiva, P. D. D. O., Alves, C. M. L., & Resende, M. L. (2009). *Application of different fertilizers in substrate for Kalanchoe luciae Raym.-Hamet cultivation.* Ciência e Agrotecnologia, 33(4), 950-955.
- Lotfy, A.B. and Y.N. Naguib, 2001. *Effect of wuxal and phosphorus as a fertilizer on vegetative growth, yield chemical analysis and anatomy of Salvia officinalis L.* J. Agric. Sci.Mansoura Univ., 26(7): 4219-4242.
- Luna-Morales, C. (2004). *Recolección, cultivo y domesticación de Cactáceas columnares en la Mixteca Baja, México.* Revista Chapingo serie horticultura, 10(2), 95-102.
- Maas, B., Karp, D. S., Bumrungsri, S., Darras, K., Gonthier, D., Huang, J. C. C., Lindell, C. A., Maine, J. J., Mestre, L., Michael, N. L., Morrison, E. B., Perfecto, I., Philpott, S. M., Sekercioglu, C. H., Silva, R. M., Taylor, P. J., Tscharrntke, T., Van Bael, S. A., Whelan, C. J., & Williams-Guillén, K. (2016). *Bird and bat predation services in tropical forests and agroforestry landscapes.* Biological Reviews, 91(4), 1081-1101.
- Mateo-Sagasta, J., Zadeh, S. M., Turrall, H., & Burke, J. (2017). *Water pollution from agriculture: a global review.* Food and Agriculture Organization of the United Nations and the International Water Management Institute, Rome.

- Medina, J. A. y Kondo T. (2012) *Listado taxonómico de organismos que afectan la pitaya amarilla, Selenicereus megalanthus (K. Schum. Ex Vaupel) Moran (Cactaceae) en Colombia*. Revista Corpoica 13(1): 41-46.
- Molina-Freaner, F. & Eguiarte, L. E. (2003). *The pollination biology of two paniculate agaves (Agavaceae) from northwestern Mexico: Contrasting roles of bats as pollinators*. Am. J. Bot. 90, 1016–1024.
- Mona, Y., Kandil, A. M., & Swaefy Hend, M. F. (2008). *Effect of three different compost levels on fennel and Salvia growth character and their essential oils*. Biological Sciences, 4, 34-39.
- Muchjajib, S., & Muchjajib, U. (2012). *Application of fertilizer for pitaya (Hylocereus undatus) under clay soil condition*. Acta Horticulturae, (928), 151–154.
- Murrell, E. G. (2017). *Can agricultural practices that mitigate or improve crop resilience to climate change also manage crop pests?*. Current opinion in insect science, 23, 81-88.
- Nakai, M., Hess, R. A., Moore, B. J., Guttroff, R. F., Strader, L. F., & Linder, R. E. (1992). *Acute and Long-term Effects of a Single Dose of the Fungicide Carbendazim (Methyl 2-Benzimidazole Carbamate) on the Male Reproductive System in the Rat*. Journal of andrology, 13(6), 507-518.
- Ogada, D. L. (2014). *The power of poison: Pesticide poisoning of Africa's wildlife*. Ann. N. Y. Acad. Sci. 1322, 1–20.
- Olimpi, E. M., & Philpott, S. M. (2018). *Agroecological farming practices promote bats*. Agriculture, ecosystems & environment, 265, 282-291.

- O'Mara, M. T., Dechmann, D. K., & Page, R. A. (2014). *Frugivorous bats evaluate the quality of social information when choosing novel foods*. Behavioral Ecology, 25(5), 1233-1239.
- O'Neill, W., & Suga, N. (1979). *Target range-sensitive neurons in the auditory cortex of the mustache bat*. Science, 203(4375), 69–73.
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., & Seidel, R. (2005). *Environmental, Energetic, and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems*. BioScience, 55(7), 573.
- Pimienta-Barrios, E., & P. Nobel. (1994). *Pitaya (Stenocereus spp. Cactaceae) an ancient and modern fruit crop of Mexico*. Economic Botany 48: 76–83.
- Pimienta-Barrios, E., S. Nobel, Park., Robles-Murguía, Celia., Mendez-Moran, Lucila., Pimienta-Barrios, Enrique., & Yopez-Gonzalez, Enrico. (1997). *Ethnobotany, productivity, and ecophysiology of pitaya (Stenocereus queretaroensis)*. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 2, 29-47.
- Podlutzky A. J., Khritankov A. M., Ovodov N. D., & Austad, S. N. (2005). *A new field record for bat longevity*. The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 60, 1366–1368.
- Rodrigues, L. E. A., & Queires, L. C. S. (2015). *A new mineral fertilizer for cacti and other succulents cultivated in restricted artificial environments*. Ornamental Horticulture, 21(1), 99-104.
- Salcedo, P. E. & Arreola. (1991). *El cultivo del pitayo en Techaluta, Jalisco*. Revista de la Sociedad Mexicana de Cactología, 36:84-91.

- Stahlschmidt, P. & Brühl, C. A. (2012). *Bats at risk? Bat activity and insecticide residue analysis of food items in an apple orchard.* Environmental Toxicology and Chemistry, 31(7), 1556-1563.
- Stanley, D. A., Garratt, M. P., Wickens, J. B., Wickens, V. J., Potts, S. G., & Raine, N. E. (2015). *Neonicotinoid pesticide exposure impairs crop pollination services provided by bumblebees.* Nature, 528 (7583), 548.
- SEMARNAT. (2019). *Producción insecticidas y plaguicidas de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (Toneladas).* Revisado el 06 de marzo de 2020 de: [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D2\\_AG RIGAN05\\_06&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce&NOMBREAN IO=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_AG RIGAN05_06&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREAN IO=*)
- Stinson, E. R., Hayes, L. E., Bush, P. B., & White, D. H. (1994). *Carbofuran affects wildlife on Virginia corn fields.* Wildlife Society Bulletin (1973-2006), 22(4), 566-575.
- Tremlett, C. J., Moore, M., Chapman, M. A., Zamora-Gutierrez, V., & Peh, K. S. H. (2019). *Pollination by bats enhances both quality and yield of a major cash crop in Mexico.* Journal of Applied Ecology. 2020; 57:450–459.
- Tschoeke, P. H., Oliveira, E. E., Dalcin, M. S., Silveira-Tschoeke, M. C. A., Sarmiento, R. A., & Santos, G. R. (2019). *Botanical and synthetic pesticides alter the flower visitation rates of pollinator bees in Neotropical melon fields.* Environmental Pollution 251 (2019), 591-599.

- Valencia, J. (2002). *Effect of fertilizers on fruit quality of processing tomatoes*. In VIII International Symposium on the Processing Tomato 613 (pp. 89-93).
- Valiente, B. A., Arizmendi, M. C., Rojas, M. A. & Domínguez, C.L. (1996). *Ecological relationship between columnar cacti and nectar-feeding bats in Mexico*. *Journal of Tropical Ecology*, 12(1), 103-119.