



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD IZTAPALAPA

POSGRADO DE ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

“Efecto del pesticida malatión en visitantes florales de cultivos de guayaba (*Psidium guajava*) en el municipio de Calvillo, Aguascalientes y la valoración de servicios ecosistémicos por la polinización”

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS (ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE)

PRESENTA:

Biól. Laura Reyes Hernández

2213801099

laura.reyes.hernandez@gmail.com

DIRECTORA DE TESIS:

Dra. Beatriz Adriana Silva Torres.

JURADO

Presidente:

Dr. Johnattan Hernández Cumplido.

Secretario:

Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

Vocal:

Dra. Teresa Pérez Muñoz

Ciudad de México, 18 de diciembre de 2024

Agradecimientos

A la Maestría en Ciencias (Energía y Medio Ambiente) de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, que pertenece al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad del CONAHCYT y cuenta con apoyo del mismo Consejo con el convenio 003893, por lo que se agradece por la beca recibida, para el desarrollo de esta tesis, Así como gracias al apoyo recibido del proyecto PAPIIT, UNAM IN206422, titulado: “Relación de la domesticación de la guayaba (*Psidium guajava* L.) con niveles tróficos superiores”, otorgado al Dr. Johnattan Hernández Cumplido y la beca de “Ayudante de investigador Nacional Nivel 3 (SNII)”, otorgada por el Dr. José Raúl Montes de Oca Machorro del Departamento de Matemáticas (CBI, UAM-I).

Al Ing. Eugenio González Arenas, gerente de proyecto en Productores Organizados de Guayaba de Aguascalientes (PROGA) y a los productores Sr. Conrado Velasco y el Lic. Miguel Martínez Rubi por su ayuda, asesoramiento y permiso para trabajar en sus parcelas.

Al Sitio Experimental: Los Cañones, Zacatecas, por el uso del banco de germoplasma de guayaba a cargo del Dr. José Saúl Padilla Ramírez y Dr. Jorge A. Zegbe Domínguez.

A la Dra. Elizabeth Quintana Rodríguez por el apoyo con los análisis químicos realizados en el CIATEC.

A los Doctores: Johnattan Hernández Cumplido, Teresa Pérez Muñoz, Beatriz Adriana Silva Torres, José Alejandro Zavala Hurtado y Patricia Ramírez Romero por todo el apoyo y asesoramiento brindado para poder realizar este trabajo.

A mis compañeros del Laboratorio de Interacciones Ecológicas, perteneciente al Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM. Así como al Dr. José Ramírez Pulido, Dr. Noé González Ruiz, Biól. Juan Luis Patiño y Geo. Diana Irán López López pertenecientes a la colección de mamíferos ya que sin pertenecer a su equipo de trabajo, siempre me brindaron herramientas y un espacio para poder trabajar.

Te abrazaré en otra vida.

*“Never be cruel
Never be cowardly...
Remember
Hate is always foolish
Love is always wise
Always try to be nice
But never fail to be kind”.
-12th Doctor Who-*

Agradecimientos personales

Agradezco con todo mi corazón a mi madre Isidra Hernández Lira por ser la persona que siempre me apoyo en todos mis sueños, quien cuando veía que me desmotivaba, era quien más me motivaba, aún si no comprendía del todo lo que yo deseaba realizar. Gracias por no dejarme rendir y apoyarme para continuar en el camino de la Ciencia e Investigación. Espero que estés orgullosa de mí y desde el cielo puedas ver que lo logre. Te amare siempre, mi angelito que cuida mis sueños.

Agradezco a mi hermano Carlos Josué Reyes, a mi padre Prisciliano Reyes Jiménez, a mi hermano Juan Reyes, a mis cuñadas Cruz Santillan, Vianey Molina y mi familia por no soltarme, motivarme y apoyarme para poder concluir con esta etapa de mi vida.

Agradezco al Dr. Johnattan quien desde el primer momento en que nos conocimos me brindó su apoyo y fue en parte mi motivación para no dejar de intentar el ingresar a una maestría, gracias John por creer en mí, aun cuando yo a veces dudaba de lo mucho que estaba aprendiendo y creciendo profesionalmente, gracias por ser mi jefe, asesor y amigo. Así como a todas las personas que forman parte del laboratorio de Interacciones Ecológicas, pero en especial a Ara, Elo, Mich, Jaime, Irlanda y Bruno, quienes me apoyaron en campo y asesoraron con mis mil y un dudas... pero sobre todo gracias a Elo, Mich, Ara y Jaime quienes me hicieron sentir cómoda en el lab y después me brindaron su amistad, la cual valoro y atesorare siempre.

Gracias enormes a la Dra. Teresa por aceptar trabajar conmigo, aun sin conocernos con antelación, gracias por aceptar un tema que era nuevo para ambas, gracias por enseñarme tanto y hacer que mis conocimientos realmente crecieran. Quizás las palabras no sean suficientes para expresar realmente lo mucho que le puedo agradecer a usted y al Dr. Raúl por ser profesionistas y personas maravillosas, gracias de verdad por todo lo que hicieron por mí, Doctora gracias por no soltarme.

A la Dra. Beatriz por comprenderme y apoyarme cuando tuve que pasar por situaciones personales y familiares, pero aun así motivarme para continuar en el Posgrado. Al Dr. Alejandro Zavala por ser un ejemplo e inspiración desde la licenciatura, gracias porque siempre que hablo con usted, me lleno de motivación y me hace creer en mi potencial.

Gracias a Edini y Bety por ser más que mis amigas, gracias por su hermandad, por no dejarme, estar a mi lado en los momentos difíciles y en los bonitos también. Gracias porque aun con vidas muy distintas y distancias enormes, siguen siendo parte de mi vida, las amo.

Por último, pero no menos importante quiero agradecer a Cris, Ata, Eli, Ru, Bren, Clau, Sol Key, a mis monbebes y personas que hacen posible “Stranger Shop” quienes me motivaron siempre, fueron compañeros (a) de aventuras y son mi lugar seguro. Gracias a Monsta X, Seventeen, GOT7 y Ateez por musicalizar mi vida y darme amistades tan bonitas.

Un gracias especial a IM Changkyun y el Dr. Sin-Hyeog IM por ser inspiración y motivación.

Comité tutorial

Directora:

Beatriz Adriana Silva Torres

Departamento de Biología

Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

Co-director:

Dr. Johnattan Hernández Cumplido.

Universidad Nacional Autónoma de México

Asesora:

Dra. Teresa Pérez Muñoz

Departamento de Matemáticas

Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

El jurado designado por la
Comisión Académica del Posgrado en Energía y Medio Ambiente

de la Unidad Iztapalapa, aprobó la tesis que presentó

LAURA REYES HERNÁNDEZ

El día número de 18 de diciembre del año 2024

Miembros del Jurado

Dr. Johnattan Hernández Cumplido.

Presidente

Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

Secretario

Dra. Teresa Pérez Muñoz

Vocal

Índice general

1. Introducción	8
1.1. Guayaba (<i>Psidium guajava</i> L. 1753) generalidades y su producción en México (Calvillo, Aguascalientes).....	9
1.2. Calidad/caracterización de los frutos de guayaba.....	11
1.3. Visitantes florales, polinizadores y polinización.....	12
1.4. Diversidad de especies	14
1.5. Los pesticidas y su clasificación	16
1.6. Clasificación de los plaguicidas	17
1.7. Organofosforados, malatión y su efecto en visitantes florales.	19
1.8. La polinización como servicio ecosistémico	22
2. Antecedentes.....	29
3. Justificación.....	31
4. Pregunta de investigación	32
4.1. Objetivo general.....	32
4.2. Objetivos particulares	32
5. Diseño experimental	33
5.1. Sitio de Estudio	33
5.2. Selección de tratamientos de estudio.	34
5.3. Observaciones visitantes	35
5.4. Trazas de malatión	38
5.5. Eficiencia de la polinización en frutos de guayaba	39
5.5.1. Tiempo de visita.	39
5.5.2. Peso de frutos.....	39
5.5.3. Peso de cascotes	40
5.5.4. °Brix	40
5.5.5. Número de semillas	40
5.6. Medición de la biodiversidad.....	41
6. Análisis estadísticos	41
7. Resultados	42
7.1. Tiempo de visita.....	42

7.2.	Peso del fruto	43
7.3.	Diámetro polar.....	44
7.4.	Diámetro ecuatorial.....	45
7.5.	Diámetro cáliz.....	46
7.6.	Peso de cascos.	47
7.7.	Grosor de cascos	48
7.8.	°Brix.....	49
7.9.	Número de semillas	50
8.	Diversidad de especies.....	50
9.	Servicios ecosistémicos	56
10.	Modelo Lineal Generalizado	57
11.	Pesticidas	58
12.	Discusión.....	58
13.	Conclusiones.....	62
14.	Referencias	64

1. Introducción

El uso de tierras de cultivo en México ha ido evolucionando e incrementando a lo largo de los años. Debido a la demanda de ciertos cultivos, los productores se han ido adaptando a las condiciones económicas, sociales y tecnológicas para modificar sus procesos productivos y por tanto la producción agrícola (Sangerman *et al.*, 2013). Para la mejora de la producción, los agricultores han utilizado históricamente distintos tipos de pesticidas y fertilizantes.

Evidencia empírica apunta a que los pesticidas son uno de los causantes principales de la pérdida de biodiversidad. (Brittain *et al.*, 2019). En específico, los insectos polinizadores son susceptibles a la acción de ciertos compuestos fitosanitarios (Brittain *et al.* 2010; Woodcock *et al.* 2016). Uno de estos pesticidas es el malatión el cual pertenece al grupo de los organofosforados. Este grupo de compuestos actúa sobre el sistema nervioso de los insectos, inhibiendo la enzima que recicla la acetilcolina (Botías & Sánchez, 2018). Cuando el malatión es aplicado constantemente puede llegar a dañar a organismos no blanco, como abejas polinizadoras. En un estudio elaborado por Martin-Culma *et al.*, (2018) mencionan que éstas pueden sufrir déficits en su respuesta inmune y ciclo reproductivo, letalidad, reducción de la supervivencia de abejas reinas y larvas, reducción de áreas para forrajeo, entre otras. Debido a estos daños y/o impactos es que se ve reducida la presencia de polinizadores y por ende pueden verse afectados los servicios ecosistémicos que se obtienen de ellos, pudiendo ocasionar una pérdida tanto en los ecosistemas naturales como en los agroecosistemas que son vitales para la soberanía agroalimentaria de nuestro país.

El Municipio de Calvillo, Aguascalientes es considerado uno de los mayores productores de guayaba (*Psidium guajava*) en la República Mexicana. Durante los años 2012 y 2015 tuvo una producción promedio de 94.87 mil toneladas de guayaba con un valor comercial de 361.82 millones de pesos, equivalente al 27.9% del valor de la producción nacional de guayaba, y el 15.16% del valor de la producción del sector agrícola de la entidad (Borja, 2019).

En Calvillo se han realizado estudios sobre el uso del suelo de la tierra agrícola para saber las extensiones asignadas al cultivo de guayaba. Borja *et al.*, (2018) clasificaron tres tipos de productores de guayaba: los tradicionales, los intermedios y los empresariales, los cuales representan el 54%, 34% y 12%, respectivamente. Debido al tipo de productores, uso y

extensión de tierra utilizada para estos cultivos es que se utilizan los pesticidas para controlar la presencia de organismos que sean plaga de la guayaba, los cuales puedan ocasionar daños y/o afectar la producción. Así es como surge la necesidad de que los productores conozcan la importancia que tienen los polinizadores, el efecto de no seguir medidas fitosanitarias adecuadas en cuanto al uso de pesticidas que contengan malatión, las posibles pérdidas ambientales y económicas por este tipo de prácticas dentro de su producción.

1.1. Guayaba (*Psidium guajava* L. 1753) generalidades y su producción en México (Calvillo, Aguascalientes).

La guayaba (*Psidium guajava*) es un árbol o arbusto frutal perennifolio o caducifolio, de 3 a 20 m. de altura; su copa es irregular, con hojas decusadas simples, fragantes, oblongas o elípticas, verdes brillantes a verdes parduscas, en la Figura 1 se pueden observar estas características de los árboles en un cultivo de la localidad de La Mesa en Calvillo, Aguascalientes. El tronco es generalmente torcido y muy ramificado, las ramas gruesas, ascendentes y retorcidas. Las flores que presenta son solitarias o en cimas hasta de 8 cm, axilares, dulcemente perfumadas, actinomorfas; con 4 a 5 sépalos, verdes en el exterior y blancos en el interior, con 4 o 5 pétalos blancos. Los frutos son bayas de hasta 8 cm de diámetro, globosas a ovoides, cáliz persistente en el ápice, coloración de color crema amarillento a rosado, olor fragante y sabor agri dulce; en el exterior su cascara es fina de color amarillo. Este fruto puede contener numerosas semillas, las cuales son redondas de 3 a 5 mm, rodeadas de una pulpa amarillenta a rosada (Plantarum, sf).



Figura 1. Fotografía panorámica de la vista de los cultivos de guayaba en la localidad de La Mesa en el Municipio de Calvillo, Aguascalientes.

Psidium guajava pertenece a la familia Myrtaceae, que incluye a la tribu Myrteae que cuenta con 51 géneros y aproximadamente 2,500 especies, en el cual se encuentra el género *Psidium* como está descrito actualmente; contiene al menos 60 especies y quizás hasta unas 100 y es considerado como un género Neotropical (McVaugh, 1968; Wilson *et al.*, 2005; Lucas *et al.*, 2005 Landrum, 2017, Govaerts, 20019). Es una de las frutas más destacadas y apreciadas en gran parte del mundo, es valorada para el consumo en fresco por el aroma y sabor dulce de los frutos, pero también por los productos que se pueden adquirir con su pulpa y cáscara. Debido a sus propiedades medicinales la han convertido en la más importante entre las frutas tropicales menores (Altendorf *et al.*, 2019). Así como también sus propiedades químicas como las vitaminas C, A, B1 y B2, calcio, fósforo, licopeno y compuestos fenólicos, junto con los bajos costos de cultivo y la tolerancia a la salinidad del suelo (Gutiérrez *et al.*, 2008; Rajan y Hudedamani, 2019).

La producción del fruto es de aproximadamente 1.2 millones de toneladas, India y Pakistan aportan el 50%, México el 25% y el resto del aporte lo hacen países como Colombia, Egipto y Brasil (Yam Tzec *et al.*, 2010). Durante el año 2023, México se posiciono a nivel mundial como uno de los tres productores de aguacate, espárrago, guayaba, frambuesa, zarzamora, limón, mango y chile verde. Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), durante el año 2022 la producción de guayaba cerró en 321 mil toneladas, equivalentes a 22 mil 546 hectáreas de cultivo con un valor de dos mil 134 millones de pesos (SIAP, 2023).

En México la producción de guayaba se da en casi todo el país, como cultivo, silvestre, huertos familiares o de traspatio, siendo la región conocida como “Calvillo-Cañones” en los estados de Aguascalientes y Zacatecas una de las más importantes (Padilla *et al.*, 2007; Padilla *et al.*, 2014). Los principales Estados productores de este fruto son Michoacán, con 186 mil toneladas; Aguascalientes, 85 mil toneladas y Zacatecas con 31 mil toneladas (Rural, s/f).

La producción de guayaba en el municipio de Calvillo Aguascalientes es de gran importancia debido a que es una de las principales fuentes de empleo para su población ya sea por ser productores, trabajadores en los huertos, fabricantes de productos derivados de la pulpa, panaderos, entre otros, debido a que los cultivos de guayaba le han dado su propia identidad

a este poblado, hasta brindarle la clasificación de ser un pueblo mágico; sin olvidar que este municipio es conocido como la “cuna de la guayaba”.

1.2. Calidad/caracterización de los frutos de guayaba

La globalización ha generado gran cantidad de cambios en algunos sectores como son sociales, económicos y medios de producción de alimentos que han contribuido al incremento, acceso a estos y su disponibilidad (Burlingame, 2012). Dentro de la demanda de alimentos se encuentran algunos cultivos que poseen un alto contenido de nutrientes (Brklacich *et al.*, 1991; Gerbens *et al.*, 2003). La guayaba (*Psidium guajava*) es uno de ellos, teniendo una gran aceptación por su sabor, propiedades nutrimentales, medicinales y de gran valor comercial (Suarez *et al.*, 2022).

El cultivo de guayaba es caracterizado por su variabilidad genética y gran diversidad en las características físicas, morfológicas y biológicas de su fruto. Su producción depende también de factores exógenos como el manejo agronómico, época de cosecha y estado de madurez del fruto (Suarez *et al.*, 2022).

Debido a la comercialización en fresco y los productos derivados de este cultivo se necesita saber las características que describen los atributos del fruto y su pulpa los cuales son requeridos para definirlos como de buena calidad. En el mercado local la comercialización de la guayaba se suele basar en el peso del fruto, considerando una clasificación la cual es: extra (mayor de 90 g/fruto), primera (60 a 90 g/fruto) y segunda (menor de 60 g/fruto); brindándole el mayor costo monetario a la calidad “extra” (Padilla *et al.*, 2016). Asimismo, en el Codex Alimentarius (2007) se brinda una clasificación de los frutos por categorías, basada en su calibre, su peso o diámetro ecuatorial, °Brix, firmeza o textura, entre otros. También Hassan *et al.*, 2019 brinda algunas variables a considerar importantes para evaluar los frutos de la guayaba que son: tamaño del fruto (en ocasiones un fruto grande y pesado puede considerarse de mejor calidad), forma del fruto (una forma redonda y simétrica es considerado de mejor calidad que uno irregular), color de la pulpa (un color rosado o rojo intenso es considerado de mejor calidad, pero también debe considerarse la variedad a la que pertenezca el fruto), sabor (se prefieren sabores dulces), textura de la pulpa (una pulpa suave y jugosa se considera de mejor calidad), aroma (de preferencia agradable y fuerte) y cantidad de semillas.

1.3. Visitantes florales, polinizadores y polinización

La polinización es definida como la transferencia de polen entre partes masculinas y femeninas de las flores para llevar a cabo la fertilización y la reproducción vegetal (IPBES, 2016). También considerada como el proceso para que se lleve a cabo la reproducción de las plantas con flores, así como la producción de frutos y semillas (Ollerton *et al.*, 2011). El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) ha reconocido la polinización como un componente importante en el mantenimiento de la biodiversidad y desempeña un papel en los ecosistemas (Partap, 2011). Además, la polinización representa un proceso esencial para mantener la viabilidad y la diversidad genética de las plantas con flor, mejoras en la calidad y cantidad de semillas y frutos, así como las características de la descendencia (Vergara y Badano, 2009; Vilhena *et al.*, 2012).

La forma en que el polen puede ser transportado por el viento o el agua; sin embargo, en las regiones tropicales este es transportado con más frecuencia por diversos animales como insectos, aves y mamíferos (Meléndez *et al.*, 2020). Los insectos han recibido mayor atención y/o estudio, destacando a la abeja mielera europea (*Apis mellifera*) y los polinizadores o visitantes forales silvestres (abejas y abejorros), con relevancia en ocasiones también a los dípteros. Aunque también hay otros grupos que pueden llevar a cabo esta función (Figura 2). Dentro del grupo de los polinizadores silvestres, los géneros con más importancia son *Bombus* y *Xylocopa* para abejorros y *Megachile*, *Lasioglossum*, *Halictus*, *Andrena*, *Ceratina* y *Trigona* para abejas (García *et al.*, 2016).

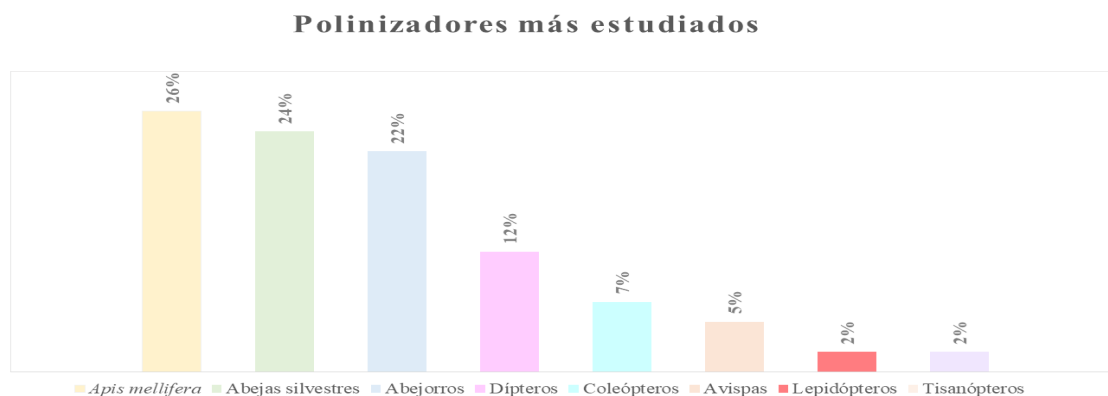


Figura 2. Polinizadores más estudiados, tomado de García *et al.*, 2016.

La polinización tiene una relación directa con la diversidad funcional de los polinizadores, la cual se basa en las características especie-específicas de los recursos florales. Esto es que los polinizadores responden a conjuntos de estímulos y recompensas que caracterizan a las flores y su forrajeo se determina por rasgos como la morfología de la flor y su color; con esto son atraídos desde grandes distancias, siendo también un rasgo para destacar su olor, el cual predomina para atraerlos a distancias cortas y/o largas (Hoehn *et al.*, 2008; Ricou *et al.*, 2014).

Entre las interacciones biológicas típicamente mutualistas, las más trabajadas en los estudios de redes de interacción, son las relaciones entre las plantas y sus dispersores, ya sea de polen, como de frutos y semillas (Bascompte *et al.*, 2003). La relación planta-polinizador ha sido considerada una interacción mutualista, debido a que en la mayoría de los casos los visitantes florales obtienen una recompensa, usualmente alimento: néctar, polen, aceites, o a veces fragancias, y, por otra parte, las plantas aseguran su fecundación (Faegri y Van der Pijl, 1979; Proctor *et al.*, 1996).

Los dispersores de polen se denominan polinizadores y desempeñan un papel crucial en el éxito reproductivo de las plantas con flores y, por tanto, en la diversidad de las plantas (Bascompte & Jordano 2007; Ollerton *et al.*, 2011). Los visitantes buscan recursos en las flores y, entre ellos, los tenemos esporádicos, frecuentes, oportunistas, robadores, generalistas o especialistas (Alves *et al.*, 2016). No obstante, actualmente se sabe que los visitantes florales pueden tener distintos roles, ya que pueden ser desde polinizadores primarios, legítimos y eficientes, hasta ladrones de néctar o polen. El papel que cumplan los visitantes florales dependerá tanto de la naturaleza del visitante y su comportamiento, así como de las características de la flor que visitan (Eguiarte y Búrquez, 1987; Irwin y Brody, 1999; Navarro, 2000; Gómez, 2002; Fenster *et al.*, 2004). Existen algunos requisitos para que un visitante floral pueda ser considerado polinizador, tales como: realizar visitas legítimas, portar polen y tocar el estigma. Además, algunos otros criterios califican aún más la eficiencia de los polinizadores, como son: ser frecuentes, ser fieles a la planta, además de desarrollar una trayectoria de vuelo favorable entre flores de una misma especie (Alves *et al.*, 2016).

1.4. Diversidad de especies

La biodiversidad es considerada un resultado del proceso evolutivo que se manifiesta en la existencia de diferentes modos de ser para la vida. La diversidad biológica abarca toda la escala de organización de los seres vivos (Halffter, 1995). La diversidad de especies es un tema que ha generado gran relevancia en ecología de comunidades y biología de conservación, debido a una posible relación con el funcionamiento de los ecosistemas y sus modificaciones por las actividades humanas (MacLaurin y Sterelny, 2008).

Hoy en día debido al incremento poblacional y presión de la humanidad sobre la naturaleza, existe una gran preocupación en cuanto a la capacidad de los ecosistemas para brindar los servicios de los cuales dependemos. Debido a esta problemática de biodiversidad se necesita desarrollar estrategias para aminorar su impacto, por lo que es primordial el poder medir con claridad la diversidad biológica, así como realizar predicciones adecuadas sobre cómo y por qué la diversidad varía en el espacio y tiempo (Magurran, 2021). En cuanto a las investigaciones para conocer las tendencias de la biodiversidad, estas se llegan a basar en la distribución de las especies presentes en un muestreo (riqueza de especies), en la cuantificación de la abundancia total de especies dominantes o considerar una medición intermedia entre estas.

La diversidad biológica se define como la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas. Para comprender la importancia de la biodiversidad para el desarrollo humano, debemos evaluar los productos que se pueden utilizar (tanto a nivel de especies como de genes) y los servicios ecosistémicos que sustentan el desarrollo humano. Una valoración precisa de la biodiversidad debe tomar en cuenta los valores de su utilización directa (productos) y los valores indirectos (servicios) y combinar el uso consuntivo y no consuntivo. Además, debe tomar en cuenta el valor de los componentes de la biodiversidad que no se utilizan (Salas, 2023).

Es conveniente analizar la biodiversidad ante la acelerada transformación de los ecosistemas naturales, ya que un simple listado de especies para una región dada no es suficiente. Para monitorear el efecto de los cambios en el ambiente es necesario contar con información de

la diversidad biológica en comunidades naturales y modificadas (diversidad alfa) y también de la tasa de cambio en la biodiversidad entre distintas comunidades (diversidad beta), para conocer su contribución al nivel regional (diversidad gamma) y poder diseñar estrategias de conservación y llevar a cabo acciones concretas a escala local (Moreno, 2001).

El concepto de diversidad es ampliamente utilizado en el ámbito de la ecología, uno de los conceptos más simples de biodiversidad, es el que se refiere a ésta como la variedad de todas las formas de vida, a todo nivel de integración de los organismos, desde moléculas de ADN hasta ecosistemas (Kikkawa 1990).

Los indicadores de diversidad biológica cobran sentido si recordamos que el objetivo de medirla es aportar conocimientos a la teoría ecológica, contar con parámetros que permitan tomar decisiones o emitir recomendaciones en favor de la conservación de taxa o áreas amenazadas, o monitorear el efecto de las perturbaciones en el ambiente. Medir la abundancia relativa de cada especie permite identificar aquellas especies que por su escasa representatividad en la comunidad son más sensibles a las perturbaciones ambientales. Además, identificar un cambio en la diversidad, ya sea en el número de especies, en la distribución de la abundancia de las especies o en la dominancia, nos alerta acerca de procesos empobrecedores (Moreno, 2001).

Actualmente se cuenta con una considerable cantidad de índices, que están relacionados con la complejidad de lo que se pretende medir, pero también con el intento de encontrar un patrón de medida con validez universal capaz de ofrecer estimaciones comparables de la diversidad biológica. Generalmente, estas herramientas metodológicas eran y son utilizadas para el estudio de conjuntos de organismos similares, colectados en una serie de localidades que difieren en alguna característica ambiental. Son índices cuyos valores sirven para comparar agrupaciones biológicas de distintas localidades o fases temporales; dentro de los índices más frecuentemente utilizados se encuentra el de Shannon-Wiener, el de Simpson, el índice de equidad de Pielou y el coeficiente de Jaccard. (Villareal *et al.*, 2006).

La diversidad-alfa representa la diversidad de especies a lo largo de todas las subunidades (o escalas) locales relevantes, y por definición abarca dos variables importantes: 1) la riqueza de especies y 2) la abundancia relativa de especies. Existen muchos índices para calcular diversidad-alfa, como el índice alfa de Fisher (Fisher *et al.*, 1943); el índice de Simpson

(Simpson 1949), y el índice de Shannon-Weaver (Shannon 1948). La gran mayoría de estos índices de diversidad-alfa utilizan los valores de riqueza y abundancia relativa. Se cuenta con una clasificación de los métodos para medir la diversidad alfa (Moreno, 2001).

La mayoría de los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades, es decir la diversidad alfa (α). De acuerdo con las variables biológicas que miden los distintos métodos, se dividen en dos grupos:

- 1) Métodos basados en la cuantificación del número de especies presentes (riqueza específica)
- 2) Métodos basados en la estructura de la comunidad; la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie (abundancia relativa de los individuos, su biomasa, cobertura, productividad, etc.), estos pueden a su vez clasificarse según se basen en la dominancia o en la equidad de la comunidad (Moreno, 2001).

Hill (1973) expone que hay varias métricas de diversidad que pueden ubicarse en un mismo marco estadístico, por lo cual las medidas que dan diferente peso a la abundancia relativa pueden expresarse en unidades de medida comparables. A lo anterior se le conoce como “números de Hill”, en donde el cero (0) es la riqueza de especies, el uno (1) la forma exponencial de la diversidad de Shannon y el dos (2) la forma recíproca de la diversidad de Simpson, la cual refleja el grado en que un conjunto está dominado por una o unas pocas especies. Dentro de los desafíos para la medición de la biodiversidad se encuentra que la “cantidad” de la diversidad detectada tiende a aumentar con el esfuerzo de muestreo. Sin embargo, en la actualidad existen herramientas estadísticas que permiten realizar comparaciones justas en investigaciones donde el esfuerzo de muestreo varía. Para esto se utiliza una técnica llamada rarefacción/extrapolación, que permite estimar el valor de las métricas de diversidad en un esfuerzo de muestreo estandarizado (Chao *et al.*, 2014).

1.5. Los pesticidas y su clasificación

Los pesticidas son compuestos químicos que se utilizan para matar plagas, incluidos insectos, roedores, hongos y malezas. Se utilizan principalmente para obtener beneficios como la protección de cultivos, la conservación de productos alimentarios y la prevención de enfermedades transmitidas por vectores (Damalas & Eleftherohorinos, 2011). También son

utilizados en diferentes campos como la agricultura, la silvicultura, la acuicultura, la industria alimentaria, el transporte y el almacenamiento de madera y otros productos biológicos (Mieldazys *et al.*, 2015). Sin embargo, el uso excesivo de algunos plaguicidas, así como de una mala aplicación de estos puede ocasionar daños a la salud pública o a los ecosistemas (Botías & Sánchez-Bayo, 2018).

1.6. Clasificación de los plaguicidas

Debido a la amplia cantidad de sustancias y combinaciones de compuestos, los plaguicidas tienen diversas clasificaciones; una de estas se basa en su uso y comprende: insecticidas, acaricidas, herbicidas, bactericidas y fungicidas, (Tabla 1), siendo los más importantes los insecticidas, los herbicidas y los fungicidas (Rendón, 2017).

Tabla 1. Clasificación de plaguicidas por su uso (Martínez y Gómez, 2007). El guion indica que no hay información.

Organismos que controlan	Uso al que se destinan	Modo de acción	Composición química	Toxicidad	Vida Media
Insecticida	Agrícolas	Por contacto	Orgánicos	Clase IA extremadamente peligrosos	Permanentes
Acaricidas	Forestales	Por ingestión	Organofosforados	Clase IB Altamente peligrosos	Persistentes
Herbicidas	Agrícola	Contacto y sistémico	-	-	-
Fungicidas	Urbanos	Sistémicos	Carbonatos	Clase II Moderadamente peligrosos	Moderadamente
Bactericidas	Jardinería	Fumigante	Organoclorados	Clase III Ligeramente Peligrosos	No persistentes

Otra clasificación propuesta se basa en la toxicidad y fue postulada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) e incluye la toxicidad del producto técnico y de sus preparaciones. Sus bases principales son la toxicidad aguda por vía oral y dérmica para las ratas, ya que esas determinaciones son de uso corriente en toxicología (Tabla 2). La toxicidad en insectos se mide por los valores de toxicidad aguda tópica y oral, expresada como la dosis

letal media (DL_{50}), o como la cantidad que causa la muerte del 50% de los individuos que se exponen a los insecticidas en ensayos de laboratorio de 24 o 48 horas. En donde la dosis por debajo de la DL_{50} aguda del organismo se consideran sub-letales, pero también pueden causar mortalidad en cierta proporción (<50%) de individuos (Sánchez-Bayo *et al.* 2017).

Tabla 2. Clasificación de las dosis medias letales de plaguicidas emitida por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019).

Clase	D ₁₅₀ para la rata (mg/kg de peso corporal)	
	Oral	Dérmica
Ia Sumamente peligroso	<5	<50
Ib Muy peligroso	5 - 50	50 - 200
II Moderadamente peligroso	50 – 200	200 - 2000
III Poco peligroso	Más de 2000	Más de 2000
IV Poco probable que presente un peligro agudo.	5000 o más.	

Aunque existen diversas clasificaciones, la manera más frecuente de categorizarlo es con base en su estructura química, donde se identifican cuatro grupos principales: organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides (Tabla 3).

Tabla 3. Principales grupos de plaguicidas categorizados por su estructura química.

Estructura química	Características
Organoclorados	Compuestos estables, persistentes en el ambiente, tienden a acumularse en el tejido graso. Empleados en cultivos de uva, lechuga, jitomate, alfalfa, maíz, arroz, sorgo, algodón y sobre madera, para su preservación.
Organofosforados	Ésteres derivados del ácido fosfórico. Son los más utilizados en la agricultura. La mayoría son insecticidas y también acaricidas y su forma de acción es por ingestión y por contacto. Se utilizan en cultivos de hortalizas, árboles frutales, granos, algodón y caña de azúcar, entre otros. Los síntomas que causan son pérdida de reflejos, dolor de cabeza, mareos, náuseas, convulsiones, coma y hasta la muerte

Estructura química	Características
Carbamatos	Ésteres derivados de los ácidos N-metil o dimetil carbámico se emplean como insecticidas, herbicidas, fungicidas y nematocidas
Piretroides	Tienen su origen en insecticidas naturales derivados del extracto de piretro obtenido de las flores del crisantemo, conocidos como piretrinas. Su ingreso a los insectos es por contacto o ingestión.

1.7. Organofosforados, malatión y su efecto en visitantes florales.

Debido a la demanda en cuanto a la producción de algunos productos agrícolas, se ha hecho uso de pesticidas que controlen a las plagas que puedan ser dañinas para los cultivos, así como ocasionar pérdidas en los rendimientos de su producción. Entre algunos de estos plaguicidas se encuentran los organofosforados (OP), los cuales son usados en grandes cantidades alrededor del mundo (Abbas *et al.*, 2017; Leyva *et al.*, 2017; Hernández *et al.*, 2019). En México la importancia ambiental y sanitaria de los OP se debe principalmente a las aplicaciones como insecticidas, fungicidas y herbicidas para controlar plagas de insectos, malezas en cereales, hongos, leguminosas, frutales, pastos, hortalizas y cultivos de importancia comercial. Aunque con el uso de OPs se puede ver muy bien los rendimientos de las cosechas, también se han registrado efectos contaminantes sobre el ambiente (Flores *et al.*, 2018).

Los organofosforados suelen ser ésteres de ácido fosfórico, ácido fosfotioico o ácido carbámico. Entre ellos destacan los fosfatos, O-fosforotioatos o tionatos, fosforoamidatos, S-fosforotioatos o tionatos, fosfonatos y los fosforoditioatos o tiolotionatos. Existe una considerable diversidad estructural en las cadenas laterales entre los organofosforados. Las estructuras que poseen uniones $P=O$ son llamados oxones; por ejemplo, el glifosato y el diclorvos. Los que tienen enlaces $P=S$ son tiones, entre los que se encuentran el malatión, paratión, diazinón y clorpirifos, así como en sus estructuras se distinguen grupos alquilo y anillos aromáticos o nitrogenados (Moretto, 1998; Flores *et al.*, 2018). Debido a sus propiedades fisicoquímicas es que tienen ciertas acciones biológicas, como la persistencia ambiental, la bioacumulación y la biomagnificación (DOF - Diario Oficial de la Federación, 2014; Ko *et al.*, 2018).

Las presentaciones comerciales de los plaguicidas contienen un principio activo, al que se le adicionan coadyuvantes como adherentes, fluidificantes y estabilizantes que amplifican su acción. También, se emplean algunos vehículos que hacen más efectiva su entrada al organismo blanco. Sin embargo, los productos comerciales disponibles para ser aplicados contienen impurezas relacionadas con el principio activo, siendo en su mayoría peligrosas (Sánchez y Sánchez, 1948; Santos *et al.*, 1997; Flores *et al.*, 2018).

El malatión [ditiosfosfato de 0,0-dimetilo y S- (1-2-dicarboetoxi) etilo] debido a su baja toxicidad y rápida degradación es sugerido como un insecticida por la OMS que se puede utilizar para el control de plagas agrícolas. Gracias a sus características se ha permitido que el malatión incorporado en cebos tóxicos pueda ser usado contra las moscas de la fruta (Cira González *et al.*, 2008). Es una sustancia química manufacturada, por lo que no se encuentra en el ambiente como tal. Se puede adquirir en forma pura, como líquido incoloro y en forma de calidad técnica (líquido amarillo-pardo, olor a ajo), el cual contiene una concentración de malatión de más del 90% e impurezas en un solvente. La Administración de Drogas y Alimentos de EEUU (FDA, por sus siglas en inglés) y la agencia de protección al ambiente de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) permiten una cantidad de 8 partes por millón (ppm) de malatión por residuo en ciertas cosechas que se usan para alimentos. Cuando este pesticida es aplicado a las cosechas, permanece en las áreas donde se aplicó, pero a veces la lluvia, la neblina y el viento pueden movilizar cierta cantidad de éste hacia áreas lejos de donde se usó. El malatión permanece en el ambiente por días o meses, pero por lo general es degradado en pocas semanas por bacterias, lo cual no permite que se adhiera al suelo. En el agua es degradado por esta misma y bacterias; en el aire, es degradado a una sustancia más tóxica llamada malaoxón, debido a que reacciona con otros compuestos formados naturalmente en el aire por la luz solar (Resumen de Salud Pública, 2021).

Los organofosforados como el malatión, tienen propiedades electrofílicas y capacidad fosforilante de esterasas (Karunaratne y Hemingway, 2001). Estos compuestos inhiben a la enzima acetilcolinesterasa, la cual es encargada de degradar a la acetilcolina, este neurotransmisor cuando se acumula es responsable de las manifestaciones clínicas de intoxicación, tanto en animales como humanos (Bello *et al.*, 2000; Kwong, 2002; Joshi y Sharma, 2011, Hashjin *et al.*, 2013).

Los plaguicidas pueden ser tóxicos a su vez para las especies que comparten el sitio de fumigación y, dependiendo de la dosificación, su acción puede ser letal o subletal (Desneux *et al.*, 2007). Un claro ejemplo de los daños colaterales es la alteración en las poblaciones de visitantes florales, más específicamente el caso de las abejas, quienes podrían ser indicadores biológicos del efecto nocivo a nivel ecológico y ambiental. Siendo que las interacciones entre las abejas y el/los pesticidas no solo estarían ocasionando su muerte, sino que también ciertas cantidades traza pueden producir efectos subletales, como el deterioro de la salud de la colmena entera (Johnson *et al.*, 2010; Gill *et al.*, 2012; De Oliveira *et al.*, 2016; Simon-Delso *et al.*, 2017). En los artrópodos se ha visto que los pesticidas inducen alteraciones fisiológicas a nivel social, viéndose reflejado en el comportamiento, dificultades en la localización del alimento, comunicación y regreso al lugar que habitan (Desneux *et al.*, 2007). En la Figura 3 se describe por medio de cuatro categorías los efectos mencionados con anterioridad y también se puede resaltar al efecto inmediato que se tiene en algunas abejas, debido a que al instante de entrar en contacto con algunos pesticidas pueden morir. Por lo anterior se puede ver que el uso extensivo de insecticidas alta o medianamente tóxicos, y/o con diferentes blancos de acción en los monocultivos, podría estar generando daños alternos en las poblaciones benéficas de insectos/visitantes florales (Martin y Arenas, 2018).

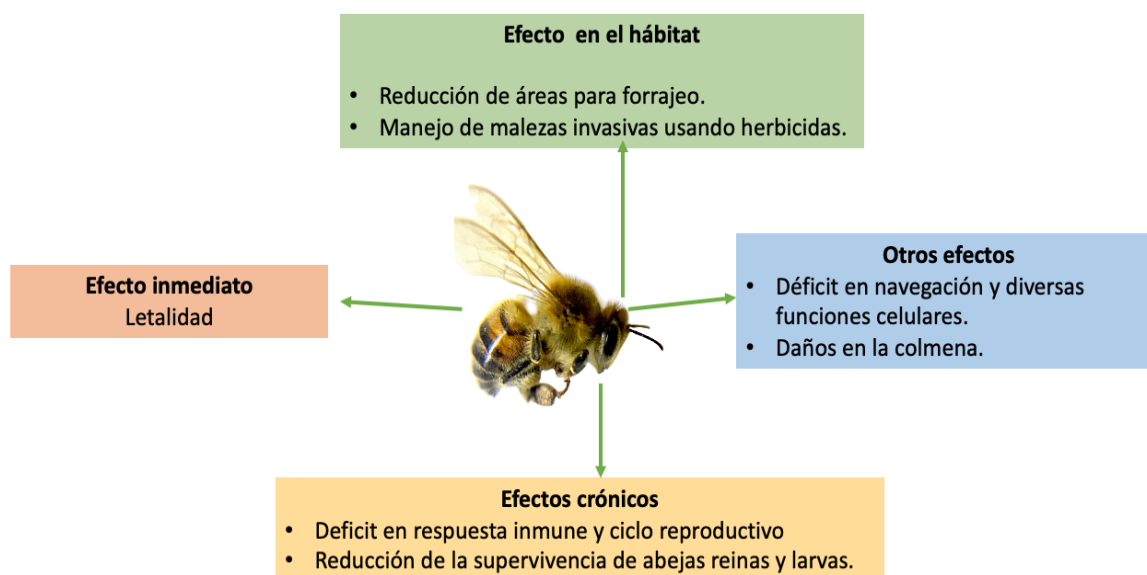


Figura 3. Efecto de los pesticidas en abejas. Esquema modificado de Martin-Culma *et al.*, (2018).

1.8. La polinización como servicio ecosistémico

Los Servicios Ecosistémicos (SE) son definidos como aquel beneficio, tangible e intangible, que las personas pueden aprovechar de los ecosistemas naturales o modificados por el hombre (MEA, 2003). Los SE son los elementos más importantes para el desarrollo de las sociedades humanas y garantizan el bien común (GEF-UNEP, 1999). Una de las formas más conocidas sobre la clasificación que se les puede dar a los servicios ecosistémicos es la que se derivó de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2003), definiéndolos como “los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas”. Con esto se ofrece un sistema de clasificación con propósitos operacionales basado en cuatro líneas funcionales dentro de la Evaluación de los Ecosistemas, en ellas se incluyen los servicios de regulación que son los beneficios obtenidos de la regulación de los procesos del ecosistema; los de soporte los cuales son necesarios para la producción de todos los demás servicios; los de aprovechamiento que son los productos obtenidos del ecosistema y finalmente, los culturales que son los beneficios no materiales que la gente obtiene de los ecosistemas. En la Figura 4 se puede observar a detalle en que consiste la clasificación de los SE (MEA, 2003, 2005).

Servicios de aprovisionamiento	Servicios de regulación	Servicios culturales	Servicios de soporte
Productos obtenidos de los ecosistemas.	Beneficios obtenidos de la regulación de procesos de los ecosistemas.	Beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas.	Servicios necesarios para la producción de otros servicios de los ecosistemas
- Alimentos - Agua dulce - Leña - Fibras - Bioquímicos - Recursos genéticos	- Regulación de clima - Regulación de enfermedades - Regulación y saneamiento del agua - Polinización	- Espiritual y religioso - Recreativo y turístico - Estético - Inspirativo - Educativo - Identidad de sitio - Herencia cultural	- Formación de suelos - Reciclaje de nutrientes - Producción primaria

Figura 4. Clasificación de los servicios ecosistémicos, tomada de MEA, 2005

Considerando la clasificación anterior de los SE, en una revisión realizada por Brock *et al.*, (2021) se observó que los himenópteros llegan a brindar hasta 10 servicios ecosistémicos en las cuatro áreas clave de regulación, dentro de la clasificación mencionada con anterioridad y la cual se puede ver en el esquema de la Figura 5. Las avispas aculeatas brindan al menos 10 servicios ecosistémicos en las cuatro áreas clave de regulación, apoyo, aprovisionamiento y servicios culturales.



Figura 5. Descripción esquemática de los SE proporcionados por himenópteros. Modificado de Brock *et al.*, 2021.

Sin embargo, aunque la clasificación anterior tiene el fin de una buena toma de decisiones en cuanto a lo que provee cada servicio y cómo se administra en las sociedades, hay autores como Wallace (2017) que consideran que esta puede ser inadecuada debido a que se mezclan procesos (medios) para obtener los servicios ecosistémicos con los propios servicios ecosistémicos (fin o propósito). La clasificación de Wallace permite el análisis de opciones para mejorar el manejo de los recursos biológicos y otros recursos naturales, de manera que su contribución al bienestar humano puede ser tanto de conservación como de sustento (Camacho *et al.*, 2011) (Tabla 3)

Tabla 3. Categorías del valor humano y asociación con los servicios ecosistémicos. Modificado de Wallace 2007.

Categoría de valor humano	Servicios ecosistémicos experimentados a un nivel humano (individual)	Ejemplos de los procesos y bienes que requieren ser manejados para derivar en servicios ecosistémicos
Recursos suficientes Protección de depredadores/enfermedades/parásitos Condiciones ambientales propicias (físicas y químicas)	▪ Alimento ▪ Oxígeno ▪ Agua (potable) ▪ Energía ▪ Dispersión de enfermedades ▪ Protección de depredadores ▪ Protección de enfermedades y parásitos ▪ Temperatura ▪ Humedad ▪ Luz ▪ Química	Procesos del ecosistema ▪ Regulación biológica ▪ Regulación del clima ▪ Regulación del gas ▪ Manejo de la tierra para recreación ▪ Regulación de nutrientes ▪ Polinización ▪ Formación y retención de suelos
Cumplimiento sociocultural	▪ Satisfacción espiritual y filosófica ▪ Recreacional ▪ Estético ▪ Valores de oportunidad, capacidad para evolución biológica y cultural ▪ Conocimiento/recursos educativos ▪ Recursos genéticos	Elementos bióticos y abióticos Los procesos son manejados para proporcionar una composición y estructura particular de los elementos del ecosistema. Los elementos pueden ser descritos como bienes de los recursos naturales como, por ejemplo: ▪ Biodiversidad ▪ Tierra ▪ Agua ▪ Aire ▪ Energía

La polinización por animales es un servicio regulatorio de los ecosistemas que consiste en la contribución a la fertilización, germinación y propagación de la flora a través de abejas, insectos, mariposas, aves o murciélagos y otros métodos, que aumenta la cantidad y calidad de los cultivos agrícolas y ayuda a su preservación (Galindo y Basurto, 2021). Este puede ser realizado por métodos antropogénicos o de manera natural. La polinización natural es hecha por distintas clases de animales, entre las cuales destacan los insectos con una variedad estimada de 2.5 a 3.7 millones de especies. Entre las especies polinizadoras resaltan las abejas quienes representan más del 50% de todos los animales que polinizan los cultivos tropicales (Cavieres *et al.*, 1998; Hamilton, 2010). Estos insectos polinizadores son de vital importancia para que la mayoría de los ecosistemas terrestres, incluidos los agroecosistemas, funcionen de la mejor manera (Kevan, 1999; Díaz, 2001).

Los servicios brindados por los polinizadores favorecen la propagación y producción de más del 60% de todas las plantas cultivadas, y son esenciales para la producción de un 70% de los cultivos usados directamente para el consumo humano, también están vinculados al rendimiento de al menos 87 cultivos de entre los de mayor importancia para la alimentación en, el mundo, estando en este listado la guayaba (*Psidium guajava*) (Klein *et al.*, 2007; FAO, 2008). El valor de los servicios de polinización (SP) a la agricultura mundial se ha estimado en 153 mil millones de euros (Gallai *et al.*, 2009). Desde la perspectiva de la valoración sociocultural, la polinización le brinda a las personas múltiples beneficios, más allá de la producción alimentaria ya que tiene una contribución directa con la producción de medicinas, biocombustibles, fibras, madera y resinas, materiales de construcción, instrumentos musicales, objetos de arte, artesanías y hasta llegan a ser fuente de inspiración para la música, arte, literatura y tecnología (IPBES, 2016) (Figura 5).

A pesar de la importancia de estos organismos, actualmente hay una disminución generalizada de polinizadores en el mundo (IPBES, 2019). Y en datos reportados por Villanueva-G *et al.*, (2005), se menciona que las colonias de abejas sin aguijón (*Melipona beecheii*) disminuyeron hasta un 93% en el periodo de 1985 a 2004.

Se reconoce que son varios los insectos que pueden ser los polinizadores de la guayaba, Headstrom (1988) menciona a la abeja melífera (*Apis* spp.), abejas solitarias (*Lasioglossum*

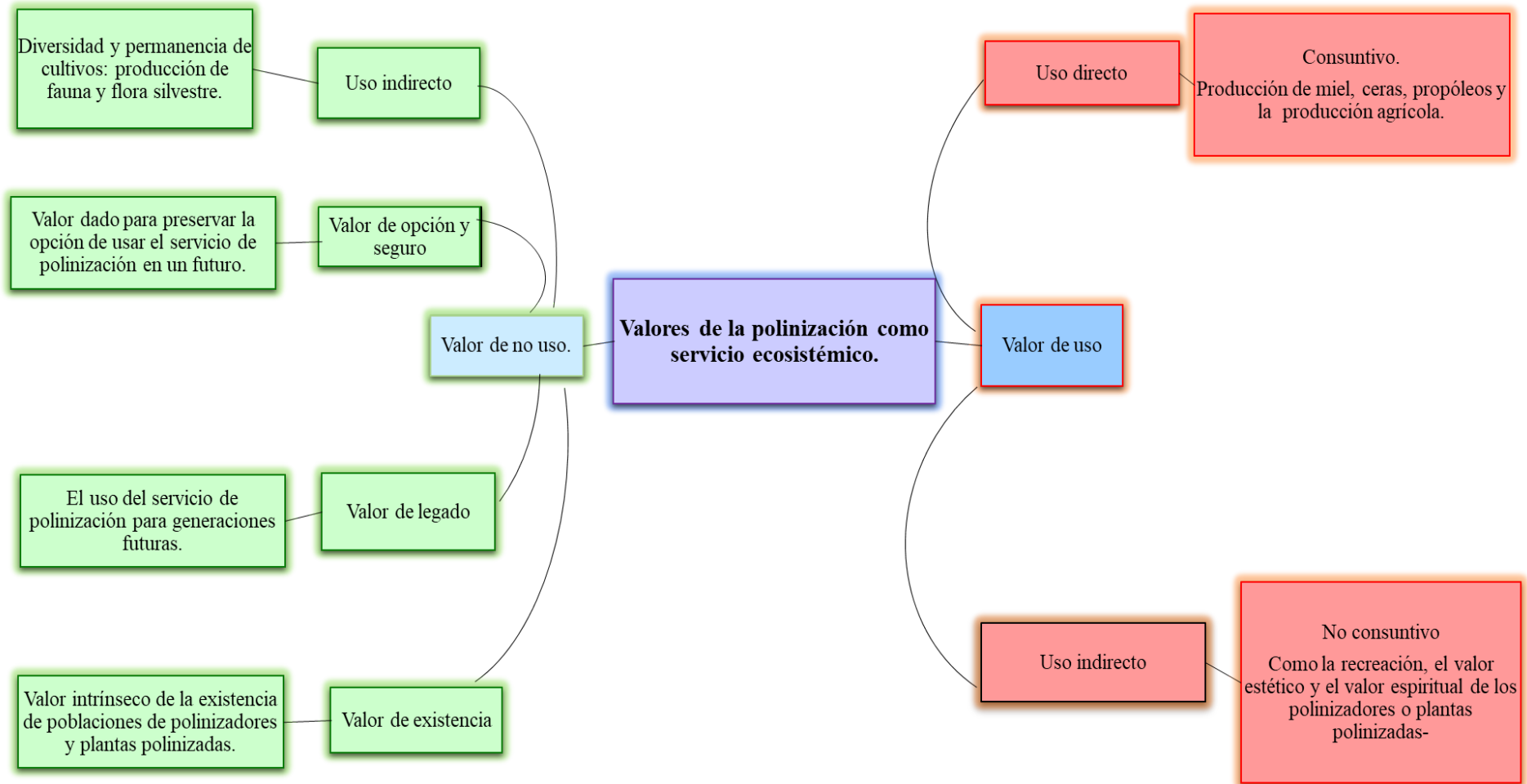
spp.), abejorros (*Bombus* spp.), y también incorpora a los géneros *Trigona*, *Bombus mexicanus* y *Xylocopa* sp.

Se tienen investigaciones que indican que la guayaba es capaz de autopolinizarse ya que el polen resulta compatible (Sarkar y Sarkar, 2022). De acuerdo con Alves y Freitas (2007) se obtienen mejores frutos de Guayaba cuando hay polinización cruzada. En el trabajo de Zaporí et al., (2007), calcularon que entre el 35 y 40% de las flores de guayaba son autopolinizadas, pero es importante destacar que más de la mitad son polinizadas por distintos visitantes.

Omar (2022), sugiere que el éxito de la polinización puede ser medido con base en el porcentaje de frutos y semillas producidos, y que se podría evaluar una mejor calidad de la producción de frutos mediante el estudio de las especies polinizadoras.

La pérdida de la diversidad y la abundancia de polinizadores ha sido una temática abordada por varios estudios (Gallai et al., 2019, Morales, 2013), donde se ha reportado la reducción en abejas silvestres, en abejas melíferas, en sírfidos y en mariposas, polillas, entre otros. La reducción en el servicio de polinización puede conducir a una formación inadecuada de semillas y reducir la calidad de las frutas que interrumpen el suministro de alimentos en las comunidades naturales. Esto supondría una enorme pérdida para los agricultores y crearía una brecha económica (Omar, 2022).

Figura 5. Valores totales que ofrece el servicio de polinización (modificado de IPBES, 2016).



Al servicio de polinización se le debe reconocer el papel que tiene como soporte funcional y estratégico para la productividad económica y viabilidad social de una nación, porque determina la disponibilidad permanente de alimentos (cultivos y forraje para ganado), lo cual es una condición necesaria para garantizar la seguridad alimentaria y nutricional del país (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural *et al.*, 2021). La apicultura es una actividad de gran importancia en México, teniendo como fines principales la producción de miel y el servicio de polinización, dando ingresos por más de 110 millones de dólares al año, con una producción anual de miel en México de entre el 40 y 50%, lo que le da nuestro país el octavo lugar como productor y exportador (FAO, 2008; Guzmán-Novoa *et al.*, Uribe *et al.*, 2015; De la Mora *et al.*, 2015; SIAP, 2020).

Algunos métodos para poder estimar el valor monetario del servicio de polinización son:

1. Método de mercado en el cual se estima el precio de mercado de la polinización, que ya es una práctica comercial establecida actualmente en países como Estados Unidos, Canadá y Nueva Zelanda, por medio de la compra o renta de colonias de abejas (Martin, 1975, Gallai, *et al.*, 2009). Aunque, este método utiliza un mercado aún segmentado e incompleto y que tiene aún precios muy heterogéneos.
2. Método del valor de remplazo del servicio de polinización, estima los costos considerando el remplazar este servicio, a través de polinización administrada o por otros medios (Allsopp *et al.*, 2008).
3. Método del valor monetario total, el valor monetario de la polinización es equiparable al valor total de los cultivos polinizados (Costanza *et al.*, 1997).
4. El método del valor monetario de la polinización basado en las razones de dependencia, que va de los cultivos al servicio de polinización, considerando que la polinización contribuye con una parte de la producción agrícola. Este método corresponde a la pérdida de producción agrícola debido a la carencia de polinización animal; tampoco incorpora ajustes potenciales y procesos de adaptación de los productores (Winfrey *et al.*, 2011, Galindo y Basurto, 2021).
5. Método de la función de producción, la contribución marginal que tiene el servicio de polinización animal sobre el producto representa el valor monetario de dicho servicio (Hanley *et al.*, 2015).

Aunque, si bien los métodos mencionados son más dirigidos a conocer el valor que tiene la producción agrícola de México, también se debe hacer una evaluación de la bioculturalidad del servicio. Desde el punto de vista económico, la importancia de la polinización animal varía entre cultivos, y por lo tanto entre economías agrícolas regionales. Muchos de los más importantes cultivos comerciales se benefician de la polinización animal en términos de rendimiento y/o calidad, proporcionando empleo e ingresos para millones de personas (IPBES, 2016). Además de los cultivos de interés humano, la polinización a plantas silvestres también debe evaluarse ya que éstas contribuyen al mantenimiento de diferentes ciclos de nutrientes y por tanto al mantenimiento de la biodiversidad (Saldaña *et al.*, SF).

2. Antecedentes

El uso de los pesticidas para el control de las especies que son plagas en algunos cultivos se ha incrementado ampliamente. A pesar del incremento de esta práctica en la actualidad aún no existen cifras, ni datos estadísticos o gubernamentales que expresen la cantidad o frecuencia con la que se realiza Silveira-Gramont *et al.*, 2018).

Debido a la necesidad de proteger los cultivos de las plagas es que los agricultores hacen uso de los pesticidas, pero muchas veces no suelen considerar la toxicidad del producto, el cual ocasiona contaminación en los cultivos (Castillo *et al.*, 2020). Regularmente por desconocimiento de sus componentes, se termina afectando la diversidad de insectos benéficos para los cultivos. Algunos de estos insectos están implicados en varias funciones de los agroecosistemas tales como ciclaje de nutrientes, detritiva y polinizadores, los cuales intervienen en los servicios ecosistémicos poco valorados o incluso ignorados por la población general.

Los insectos, al ser de los taxones más diversos en el reino animal, están implicados en profundos procesos de la dinámica de los ecosistemas lo cual para el humano se ve traducido en servicios (Losey y Vaughan, 2006; Noriega *et al.*, 2018). Se ha estimado que los servicios de polinización por insectos tienen un valor de más de \$250 billones de dólares al año en todo el mundo (IPBES, 2016). Actualmente, los servicios de polinización se han vinculado dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Dangles y Casas, 2019). Con esto es notoria la importancia de brindarles también un valor económico dentro de las zonas agrícolas donde suelen tener demandas en la producción de cultivos frutales o agrícolas en general.

Debido al incremento del uso de pesticidas surgieron legislaciones internacionales para la utilización de estos compuestos. El primer código fue adoptado por la FAO en 1985 y después por la OMS; este código llevaba por nombre “Código internacional de conducta para la distribución y utilización de los plaguicidas”. Este código establece normas de conducta de carácter voluntario que proporcionan un marco de referencia para la regulación gubernamental, el sector privado y la sociedad civil sobre las mejores prácticas en la gestión de los plaguicidas. El Código es complementario a otros instrumentos legales vinculantes y no vinculantes, así como a otras directrices de la FAO (World Health Organization, 2011).

González *et al.*, (2015) reportan que uno de los principales pesticidas ocupado en México es el malatión, el cual representa el 26% dentro de los pesticidas más ocupados por los productores de diferentes cultivos, desde hortalizas, hasta frutales. Este pesticida es usado ampliamente a veces sin saber siquiera a qué grupo de agroquímicos pertenece y por consiguiente, el grado de daño que puede tener en algunos insectos ajenos al objetivo que éste tiene.

El malatión pertenece al grupo de los organofosforados el cual ha mostrado que suele actuar sobre el sistema nervioso de los insectos, inhibiendo la enzima que recicla la acetilcolina (Botías y Sánchez, 2018). Si bien se han realizado experimentos en cuanto al daño que este tiene, estos registros han sido solo trabajados en las abejas y no en otros grupos de insectos polinizadores. En un estudio realizado por Riedl *et al.*, (2006) se encontró que el malatión es altamente tóxico para abejas, debido a que estas se inactivan temporalmente en cuanto entran en contacto con el pesticida y a su vez pueden producirse algunas muertes. En una revisión sobre daños colaterales de los pesticidas, como organofosforados en insectos, realizada por Martin-Culma *et al.*, (2018), mencionan que los organismos pueden sufrir déficit en respuesta inmune y ciclo reproductivo, letalidad, reducción de la supervivencia de abejas reinas y larvas, además de una reducción de áreas para forrajeo, entre otras. A pesar de que se han encontrado registros sobre el grado de toxicidad del malatión y su comparación con los daños ocasionados por el grupo de pesticidas al que pertenece, la evidencia de su verdadero efecto aún se encuentra en vías de desarrollo. Collantes, (2018) realizó un experimento para encontrar trazas de malatión en insectos presentes en cultivos de cacao en dos sistemas donde había residualidad de organofosforados, pero después de haber analizado por medio de cromatografía de gases sus muestras de suelo, no se encontró presencia de trazas de malatión. Así, se sugiere trabajar no solo con muestras de suelo, sino también de partes vegetales de los cultivos, que es donde suelen haber restos de pesticidas, al igual que con una amplia gama de taxones de insectos, para poder someterlas a diferentes dosis de malatión y

contrastar sus efectos con la toxicidad registrada. Según la dosis será la letalidad en los organismos por lo que en dosis por debajo de la dosis mediana aguda (dada según el interés del experimento) pueden considerarse sub-letales, pero también en ciertas proporciones pueden causar la muerte (Sánchez-Bayo *et al.*, 2017).

También se ha encontrado que los pesticidas no solo indican riesgos por su toxicidad sino también por su persistencia en el ambiente y sus mecanismos de acción. Algunos autores como Rondeau *et al.*, 2014 y Alkassab y Kirchner 2016 señalan que la toxicidad acumulativa en otros pesticidas puede causar la muerte de las neuronas que, al no regenerarse, van acumulando daños hasta que el organismo muere. Por esto, la exposición a dosis sub-letales durante ciertos periodos de tiempo puede también ocasionar la muerte en los organismos. El uso de pesticidas, si bien es importante para controlar las especies nocivas para los cultivos, también debe tener mejores prácticas para su elección, uso y manejo. Si bien los cultivos se ven beneficiados por el control de plagas, estos también se benefician de la polinización que se realiza por distintitos organismos polinizadores, por lo cual debería de existir un equilibrio entre ambos. De cierta forma, al haber un equilibrio en los sistemas agrícolas, también se dan beneficios sociales y económicos gracias a los servicios ecosistémicos que pueden ser brindados por la polinización. Algunos insectos como por ejemplo las avispas aculeatas llegan a tener roles como depredadores, indicadores biológicos, dispersores de semillas y polinizadores, brindando servicios regulatorios, de aprovisionamiento y culturales, entre otros (Brock *et al.*, 2021).

Aunque se les ha dado valor a los insectos polinizadores, en su mayoría estos valores han surgido por los estudios realizados solo con ciertas especies, existiendo un gran sesgo taxonómico para comprender qué servicios brindan los diferentes taxones de insectos (Donaldson *et al.*, 2017). Durante aproximadamente 50 años la mayoría de los estudios han estado enfocados en trabajar solo con los himenópteros, al cual pertenecen abejas y hormigas (Noriega *et al.*, 2018) y se ha dejado de lado a otros grupos que también pueden ser polinizadores, como los lepidópteros coleópteros y dípteros (Larson *et al.*, 2001; Ollerton *et al.*, 2009; Orford *et al.*, 2015 y Wardhaugh, 2015).

3. Justificación

El municipio de Calvillo es uno de los municipios que tienen una de las mayores producciones de guayaba (*Psidium guajava*) por lo que da pie a que Aguascalientes sea uno de los mayores estados que usa su producción para venta nacional y exportación. Sin embargo, debido a las demandas que

se tienen para potencializar la comercialización de los frutos y cumplir con los estándares solicitados de las exportaciones, los productores se ven en la necesidad de usar algunos plaguicidas para evitar las plagas que son una constante en los cultivos como es el caso de los picudos de la guayaba (*Conotrachelus dimidiatus*) que afectan la producción de la fruta de este cultivo. El malatión es uno de los plaguicidas más usados en estos cultivos, si bien está regulado su uso para no ocasionar daño al consumo humano, se dejan de lado los efectos que podrían estar teniendo sobre los visitantes florales y/o para insectos polinizadores que son esenciales para el proceso de polinización de los cultivos de guayaba y con esto tener efectos en la efectividad de la producción de los frutos.

Debido a la necesidad de conocer cuáles son los efectos que tiene el uso del pesticida malatión, se busca con este trabajo conocer si hay efectos en el tiempo de visita (calidad de la visita) o el tipo de visitantes presentes en los cultivos de guayaba (preferencia) y a su vez si esto está afectando de alguna forma al proceso de polinización y los servicios ecosistémicos que se desprenden de él, ya que los beneficios que obtiene el municipio de Calvillo por este servicio van desde lo económico a lo biocultural.

4. Pregunta de investigación

¿Cuál es el efecto del malatión sobre los visitantes florales, presentes en cultivos de guayaba (*Psidium guajava*) y su impacto en los servicios ecosistémicos de la polinización?

4.1. Objetivo general

Evaluar e interpretar los efectos del malatión para visitantes florales, así como la valoración de los servicios ecosistémicos de la polinización en la guayaba (*Psidium guajava*).

4.2. Objetivos particulares

1. Evaluar el efecto del malatión sobre la eficiencia, diversidad y tiempo de visita de los polinizadores.
2. Evaluar el efecto de los pesticidas sobre la calidad de los frutos de guayaba.
3. Analizar el efecto del malatión sobre la diversidad de visitantes florales.

4. Determinar la presencia y/o cantidad de trazas de malatión en los cultivos de guayaba (*Psidium guajava*).
5. Analizar el valor y distribución de los servicios ecosistémicos por la polinización de insectos en la producción de guayaba (*Psidium guajava*).

5. Diseño experimental

5.1. Sitio de Estudio

Se eligieron dos sitios de estudio con la misma variedad (media china) de frutos de guayaba , el primer cultivo de guayaba se ubicó en el Campo Experimental Los Cañones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (21°44'41.6"N 102°58'02.5"W), el cual fue asignado como tratamiento control (sin aplicación de malatión) y nuestro segundo sitio ubicado en el municipio de Calvillo en el estado de Aguascalientes, en este sitio se buscaron tres huertos en diferentes localidades, definidos como: La Mesa (21°49'13.6"N 102°43'35.2"W), Las Cabras (21°48'59.0"N 102°42'57.9"W) y Jaltiche (21°46'20.1"N 102°47'38.4"W) con aplicación continua del pesticida malatión, los tres huertos con presencia de cultivos de guayaba (*P. guajava*) de la variedad más comercial, media china. En la Figura 6 se puede observar la ubicación de los sitios de estudio. Cabe mencionar que se intentó ubicar sitios sin aplicación de malatión en Calvillo, sin embargo no hubo disponibilidad y los huertos abandonados pierden los estados fenológicos y por ende la producción de la planta muy rápidamente.

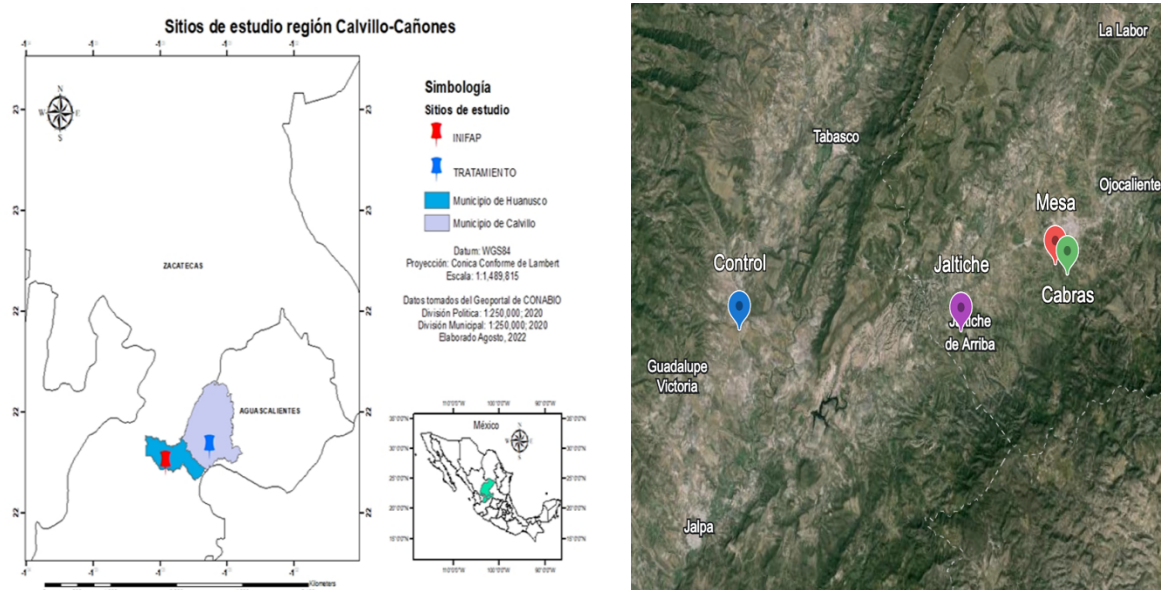


Figura 6. Mapa de la ubicación de los sitios de estudio y vista satelital de la distancia entre sitios.

5.2. Selección de tratamientos de estudio.

A finales del mes de junio del año 2022 se realizó la búsqueda de localidades en Calvillo Aguascalientes para usarse como nuestros tratamientos de estudio, las cuales fueron elegidas con la ayuda y asesoramiento del Ing, Eugenio González Arenas, gerente de proyecto en Productores Organizados de Guayaba de Aguascalientes (PROGA), así como de la disponibilidad que tenían los productores para mostrarnos sus cultivos y el permiso de ellos para poder realizar observaciones y desarrollar nuestro diseño experimental. Una vez que se creó una relación con los productores (Conrado Velasco y el Lic. Miguel Martínez Rubio), se seleccionaron dentro de sus terrenos (aproximadamente 2.9 a 4 hectáreas), huertos de 1 a 2 hectáreas de cultivo de guayaba con una edad de 51 años para el tratamiento de La Mesa, 41 años para Las Cabras y 52 años para Jaltiche, los tratamientos tuvieron distintas distancias entre sí, para poder observar si había variación en los visitantes florales. En la tabla 4 se puede observar las distancias que hay entre cada sitio de estudio elegido para la realización de este trabajo.

	Control	Mesa	Cabras	Jaltiche
Control	0	27.14 km	26.37 km	17.51 km
Mesa	27.14 km	0	1.14 km	8.17 km
Cabras	26.3 km	1.14 km	0	9.02 km
Jaltiche	1.51 km	8.17 km	9.02 km	0

Tabla 4. Matriz con las distancias entre los diferentes sitios de estudios que fueron usados para este trabajo.

Los árboles cuentan con una aplicación constante del pesticida malatión 1000 (marca ANAJALSA), para el control de la plaga del picudo de la guayaba (*Conotrachelus sp.*), pero para efectos de nuestra investigación debían de tener al menos un mes desde la última aplicación del plaguicida, ya que esto es lo recomendado para no afectar a polinizadores una vez que se producen los primeros botones florales. La selección de árboles en floración fue necesaria, debido a que nuestra investigación tenía como objetivo la observación de los visitantes flores que están presentes en los cultivos y que a su vez pueden ser polinizadores potenciales para pasar de la etapa de floración a la del cuaje de fruto. En el caso de nuestra localidad que fungió como tratamiento Control se eligió debido a que en el Campo Experimental los Cañones, no se estaba realizando

aplicación de malatión 1000 en las plantas de guayaba en el último año, los árboles de este sitio tienen una edad aproximada de 13 años y el área seleccionada para la parcela de observación fue de aproximadamente una hectárea, la cual también se encontraba en etapa de floración como en los tratamientos que contenían malatión en Calvillo Aguascalientes, la Figura 7 muestra las zonas elegidas y la selección de los árboles (al menos nueve arboles por zona) en floración para realizar las observaciones de nuestro estudio. La elección de los árboles era considera solo si estos tenían más de cinco flores en ellos y si no excedían los tres metros de altura, ya que se necesitaba que las flores estuvieran al alcance de la vista de los observadores, para poder diferenciar al visitante floral.

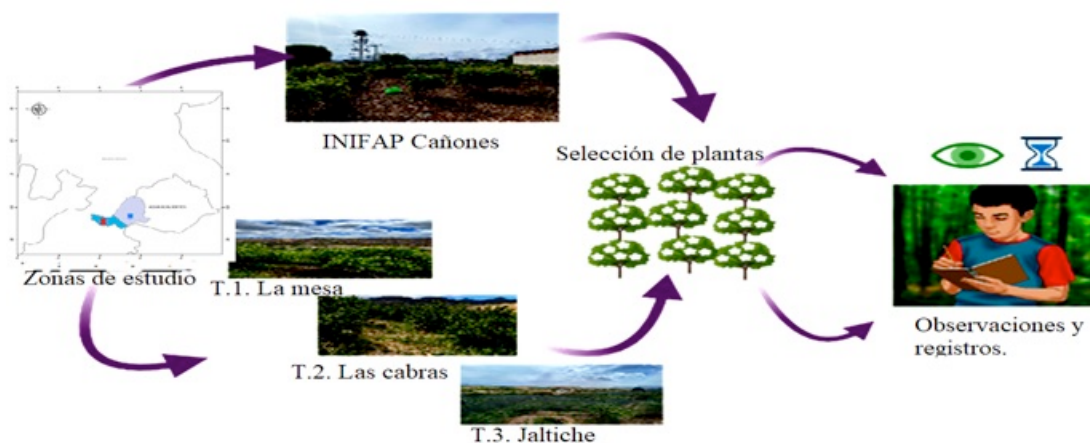


Figura 7. Zona de estudio, en el cual se observa al tratamiento control (INIFAP) que no contenía aplicación de malatión y los tratamientos de La Mesa, Las Cabras y Jaltiche que habían tenido aplicación del pesticida. Así como los nueve árboles que estaban en floración por tratamiento y en los cuales se llevaron a cabo las observaciones para nuestras variables a analizar.

5.3. Observaciones visitantes

Una vez que se aseguró que todos los huertos de guayaba de cada tratamiento tenían árboles en proceso de floración, se seleccionaron un mínimo de nueve arboles de guayaba por cada tratamiento para realizar observaciones en ellas. Las observaciones se realizaron durante un período de cuatro a cinco horas con descansos de diez minutos entre cada hora, iniciando las observaciones por las mañanas (08:00 a 13:00 hrs) y finalizándolas aproximadamente a medio día o inicio de la tarde, con un tiempo total de observaciones de 60 hrs. La elección del horario de observación se debió a que era cuando los visitantes florales y/o polinizadores de *Psidium guajava* se encuentran más activos en los cultivos (Reyes obs. pers.).

Las observaciones se realizaron por día para cada tratamiento para poder observar adecuadamente las interacciones insecto-planta, así como considerar el horario total en que realizan las visitas florales o polinización. Las observaciones consistían en que al menos una persona eligiera un árbol con varias flores, para poder observar a los diferentes visitantes florales, las observaciones podían enfocarse en un solo visitante floral o si la capacidad del observador lo permitía se realizaban observaciones de dos insectos, cada persona anotaba en una tabla las siguientes variables:

Hora: La hora/horario en que se realizaba una observación.

Tratamiento: Nombre del tratamiento en el que se estaba trabajando (la Mesa, las Cabras, Jaltiche y Control).

Árbol: A cada individuo elegido para realizar las observaciones se le dio un número (del 1 al 19) según la cantidad de plantas seleccionadas u observadas dentro del horario de nuestras observaciones. Los árboles seleccionados tenían que estar al menos a una distancia mínima de dos metros entre cada uno para evitar autocorrelación de datos y para evitar que se pudieran mezclar las ramas de un árbol con otro o mezclas de los frutos cuando existiera cuaje y esto pudiera representar sesgos en las observaciones.

Flor: Se le dio un número (1 al 5 por árbol en su mayoría) a cada flor donde se veía una interacción de visita, por cada árbol se esperó al menos la visita a cinco flores, teniendo hasta un máximo de siete flores visitadas, la elección de ese número de flores se debió a que podíamos tener un buen margen de observaciones a evaluar. La asignación del número de las flores solo se le dio a aquellas en donde el visitante floral permaneció más de tres segundos, seguido a confirmar el tiempo de visita. Se trató de coleccionar por medio de captura directa con botes pequeños, transparentes y de boquilla ancha al insecto que tuvo la interacción y cuando se daba el caso de que se lograba la captura, los insectos se colocaron en botes con alcohol al 70% y fueron etiquetados con el nombre del tratamiento, número de planta y número de flor. Después de haber coleccionado al visitante o haber anotado una visita de diez segundos, las ramas donde estaban ubicadas estas flores fueron cubiertas con una bolsa de tul de 20 x 10 cm, esto para hacer exclusión de otros visitantes que pudieran polinizar a la flor (Carabalí-Banguero *et al.*, 2018), replicando lo anterior por al menos cinco flores en nueve plantas de guayaba por cada tratamiento con o sin malatión; en la Figura 8 se muestra de forma esquemática desde el proceso de elección de los árboles, hasta la exclusión de los flores donde se observó la presencia de visitantes florales por más de 10 segundos.

Polinizador: Se anotaba el nombre común del insecto que visitaba a la flor o el orden taxonómico al que pertenecía.

Tiempo de visita: Se empezaba a contar el tiempo de un visitante floral, en cuanto este se posaba sobre la flor y se dejaba de tomar el tiempo cuando el visitante se retiraba de la flor, el tiempo fue contabilizado en segundos.

Tipo de visita: Cuando el visitante floral se posaba en la flor por menos de 10 segundos se consideraba una visita general (V) y cuando interactuaba por más de 10 segundos con la flor, se consideraba un potencial visitante/polinizador efectivo (VE).

Observaciones: En este espacio se colocaban anotaciones sobre si se capturó o no el insecto, si se cubrió la flor con bolsa de tul o hasta características del visitante floral, así como interacciones específicas que se hayan notado con el insecto y la flor.

Observador: Se colocaba el nombre de la persona que estuvo a cargo de las observaciones. Durante el tiempo de observaciones por cada tratamiento participaron cuatro personas y cada una observó al menos tres árboles por cultivo.

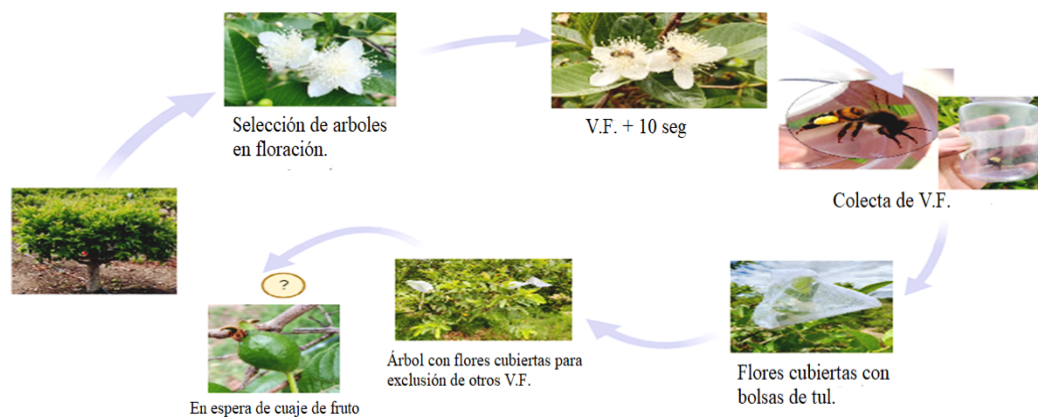


Figura 8. Esquematización del proceso de selección de árboles en floración para llevar a cabo las observaciones sobre los visitantes florales.

5.4. Trazas de malatión

Durante los horarios en los que se realizaban las observaciones para cada tratamiento también se realizaron colectas de barrido de flores de guayaba. La colecta de barrido consistió en que una persona o dos, durante los horarios de observaciones fueran colectando en bolsas ziploc chicas, flores de guayaba de los arboles observados, ya que existe la posibilidad de que tras aplicar malatión a los cultivos, puedan quedar rastros del pesticida en los botones florales. Estas fueron guardadas en una hielera para su posterior tratamiento en el laboratorio. Mientras se terminaba un día de observaciones las flores se mantuvieron en un refrigerador de casa a una temperatura de 3°C. Una vez que se terminaron los días de observaciones, las bolsas colectadas con flores y abejas fueron colocados en una hielera y llevados a un laboratorio del Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC) en León Guanajuato, los análisis de las muestras, confirmarían si había o no presencia de trazas de malatión en flores y en el caso de que se confirmase la presencia de malatión, conocer la cantidad de trazas presentes. En la Figura 9 se expone un esquema donde se resume la forma en la que se hizo el muestreo de barrido para obtener las flores, también se puede observar algunas muestras de insectos que fueron colectados para conocer si mostraban trazas, pero debido a la poca cantidad de ellos no se pudieron realizar análisis químicos y por último se hace referencia al CIATEC que fue quien analizo las muestras de las flores colectadas.



Figura 9. Esquema sobre las colectas para la evaluación de trazas de malatión.

5.5. Eficiencia de la polinización en frutos de guayaba

En el mes de noviembre del 2022 se realizó la segunda parte de nuestro experimento en campo, el cual consistió en la revisión del cuaje de los que fueron excluidos con las bolsas de tul en su etapa anterior a la fructificación. Se visitó cada uno de los huertos, se revisó cada bolsa de tul, en caso de tener frutos, se colectaron, etiquetaron, se guardaron en bolsas ziploc y se mantuvieron en refrigeración a 3°C para que los frutos se pudieran conservar hasta ser analizados. Durante la revisión de los frutos algunas plantas no llegaron a tener todas las bolsas de tul, esto debido a algunos factores externos como la caída de estas con el aire, por el consumo de animales como lagartijas u otros insectos que perforaron las bolsas, entre otras. En cuanto al cuaje esperado no todas las plantas de guayaba llegaron a tener frutos.

Una vez colectados todos los frutos de cada tratamiento/localidad se llevaron al Laboratorio de Interacciones y Procesos Ecológicos, del Departamento de Ecología y Recursos Naturales en la Facultad de Ciencias, UNAM para analizar variables relacionadas con la eficiencia de la polinización, las cuales fueron: tiempo de visita, peso de frutos (diámetro polar, diámetro ecuatorial, diámetro de cáliz y grosor de cascós), peso de cascós, °Brix y número de semillas, el análisis y procesamiento de las variables se puede observar en la Figura 10 y en que consistió cada una se desarrolla a continuación:

5.5.1. Tiempo de visita.

Para nuestra variable de tiempo de visita se utilizaron las anotaciones obtenidas de nuestras observaciones de la primera etapa de nuestra investigación, considerando el tiempo de visita solo el de los visitantes florales que duraron más de diez segundos posados en cada flor. También se colectaron individuos representativos de las visitas más abundantes.

5.5.2. Peso de frutos

Los frutos fueron pesados individualmente con báscula gramera (Mitsu Mbd-3010), para esto se colocó directamente cada fruto sobre la báscula y durante el pesado también se realizaron mediciones por medio de un vernier (INOX A024, 152Mm/0-6, análogo) de las variables, diámetro polar, diámetro ecuatorial, diámetro de cáliz y del grosor de cascós (parte de la cascara del fruto que contiene la pulpa de este).

5.5.3. Peso de cascós

Una vez medidos y pesados los frutos se cortaron por la mitad, se les extrajo la pulpa y semillas que contenían y fueron pesados los cascós en basculas grameras.

5.5.4. °Brix

Para la medición de azúcar en cada fruto se hizo uso de un refractómetro portable (ERMA Inc., ERB-32) en el cual se colocaba una pequeña cantidad del jugo contenido en los cascós del fruto y se observaba a contraluz la cantidad que marcaba los grados (°Brix).

5.5.5. Número de semillas

Una vez que la pulpa fue extraída de los cascós de cada fruto, ésta se colocó en un recipiente con agua para poder limpiar las semillas que estaban presentes en la pulpa, se lavaron y se colaron. Una vez limpias las semillas, se dejaron secar a temperatura ambiente utilizando papel absorbente, ya secas se contabilizó el número de semillas por fruto, fueron etiquetadas y almacenadas en bolsitas de papel estraza..



Figura 10. Esquema de los procesos de revisión colecta y procesado de las variables analizadas para los frutos de guayaba.

5.6. Medición de la biodiversidad

Para la medición de la diversidad se tomaron datos de los visitantes a las flores, considerando aquellos que duran más de 10 segundos, que se reconocerán como visitantes efectivos. Se usaron los números de Hill (q_0 , q_1 y q_2) y se elaboraron curvas de interpolación y extrapolación.

Caracterización de los Servicios ecosistémicos

La caracterización de servicios ecosistémicos se realizó utilizando los datos de observación de la polinización, integrando la información obtenida en la bibliografía.

6. Análisis estadísticos

Para evaluar el efecto del malatión sobre los visitantes florales, así como su tiempo de visita y eficiencia en los diferentes tratamientos (Control, Mesa, Cabras y Jaltiche) en los cultivos de guayaba, se realizó una prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos en todas las variables. Los datos que no se ajustaron a una distribución normal fueron: el tiempo de visita, peso del fruto, peso del casco, diámetro polar, diámetro ecuatorial, diámetro de cáliz (centímetros), grosor del casco y °Brix. Las variables no paramétricas analizaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis, que en nuestro caso fue la variable del número de semillas. Posteriormente se usó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para cada par de tratamientos como pruebas *post hoc*, con un intervalo de confianza del 95%.

La única variable que se ajustó a la normalidad de los datos fue el número de semillas, por lo tanto, se procedió a hacer una ANOVA de una vía y HSD de Tukey. Todos los análisis fueron realizados en los programas estadísticos JMP® Pro 11.0.0 (SAS Institute Inc., 2023) y el software R V.2023.06.0+42 (R Core Team, 2023).

Para poder comparar la riqueza y diversidad de visitantes florales entre los cuatro tratamientos se hizo uso de curvas de interpolación y extrapolación, usando los números de Hill o número efectivo de especies. Considerando solo la diversidad de orden 0 (0D) el cual hace referencia a la riqueza de especies, la diversidad de orden 1 (1D) que se puede interpretar como la diversidad de especies, la cual está basada en la riqueza y equidad de todas las especies observadas (exponencial del índice de Shannon) y la diversidad de orden 2 (2D), la cual considera tanto el número de especies presentes en un ecosistema como su abundancia relativa (índice de Simpson), Hsieh *et al.*, 2016.

Finalmente, para identificar las variables significativas que están relacionadas con el número de semillas, se utilizó un Modelo Lineal Generalizado, propuesto por John Nelder y Richard Wedderburn en un artículo, titulado “Generalized Linear Models” (Nelder y Wedderburn, 1972). El Modelo Lineal Generalizado (GLM) es una extensión del modelo lineal clásico que permite modelar respuestas que no se distribuyen normalmente, combinan la flexibilidad de los modelos lineales con la capacidad de manejar diferentes distribuciones de la variable dependiente (como binomial, Poisson, etc.) y utilizan una función de enlace para relacionar la media de la variable dependiente con los predictores.

7. Resultados

7.1. Tiempo de visita

En el análisis de datos para el tiempo de visita de los visitantes florales no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con malatión (Mesa, Cabras y Jaltiche) y el tratamiento control el cual no tiene aplicación de malatión ($\chi^2 = 7.16$, g.l. = 3, $P = 0.066$), Figura 11.

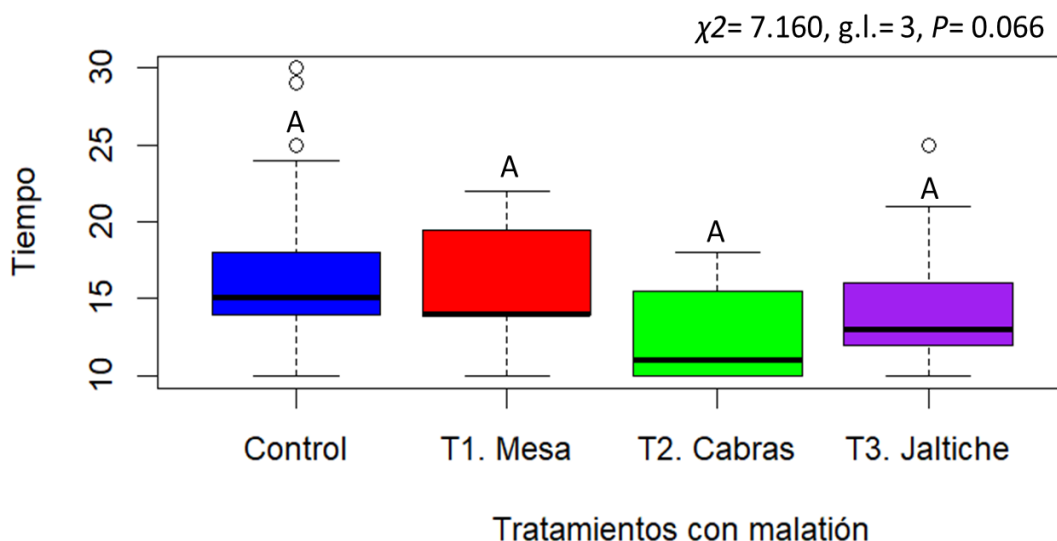


Figura 11. Gráfico en donde se pueden ver expresados los tiempos de visita para tratamientos con y sin malatión. . En el que cada una de las letras se usa para denotar diferencias significativas. Así, letras diferentes indican diferencias y letras iguales indican la ausencia de diferencias.

7.2. Peso del fruto

Para el análisis del peso de cada fruto se encontraron diferencias significativas entre tratamientos con $\chi^2=23.72$, g.l.= 3 y $P<0.001$. El tratamiento que tuvo los frutos más pesados fue el tratamiento control, los tratamientos de Jaltiche y Mesa tuvieron los frutos con pesos medios. Mientras que el tratamiento con los menores pesos fue el de Cabras, los valores se pueden observar en la Tabla 4 y se representa por medio de una gráfica en la Figura 12.

Tabla 4. Valores de la media y la desviación estándar para cada tratamiento evaluado.

Tratamiento	Media $\pm$ Desv. estándar
Control	43.148 $\pm$ 3.261
Jaltiche	28.019 $\pm$ 3.720
Mesa	22.248 $\pm$ 4.814
Cabras	14.206 $\pm$ 4.330

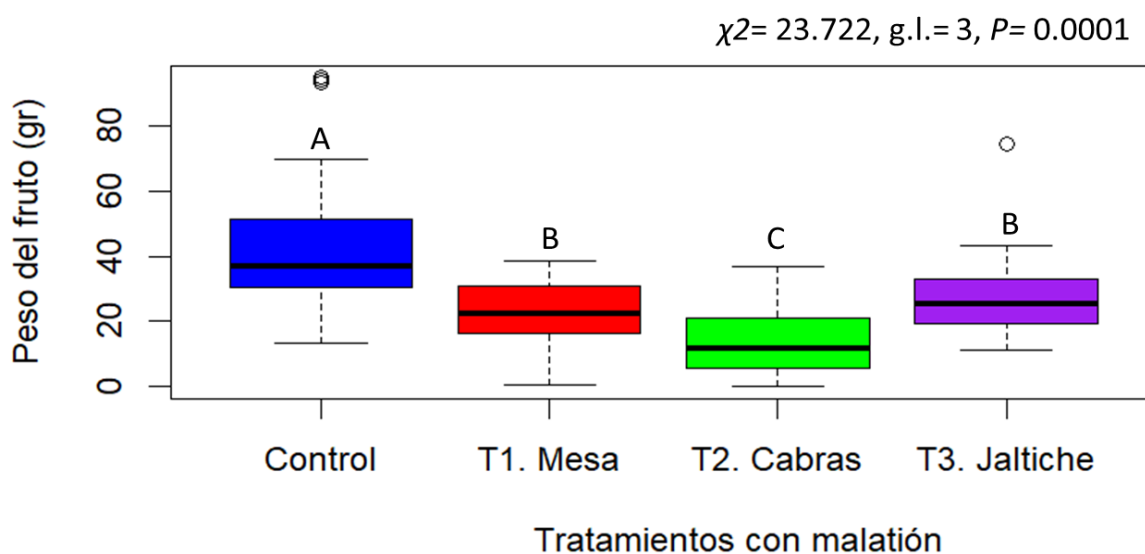


Figura 12. Gráfico en donde se compara el peso del fruto (gr.) para tratamientos con y sin malatión. En el que cada una de las letras se usa para denotar diferencias significativas. Así, letras diferentes indican diferencias y letras iguales indican la ausencia de diferencias.

7.3. Diámetro polar

Los valores obtenidos del análisis estadístico del diámetro polar medido en centímetros para el fruto de guayaba, mostró diferencias significativas con $\chi^2=22.407$, g.l.= 3 y $P<0.001$, entre los diámetros que se analizaron del tratamiento control y los tratamientos sin malatión. Siendo Jaltiche y Mesa quienes presentaron una diferencia significativa después de Control y siendo el tratamiento Cabras el que presentó los menores diámetros polares, los valores se pueden observar en la Tabla 5 y se representa por medio de grafica en la Figura 13.

Tabla 5. Valores de la media y la desviación estándar para cada tratamiento evaluado.

Tratamiento	Media $\pm$ Desv. estándar
Control	5.173 $\pm$ 0.136
Jaltiche	4.345 $\pm$ 0.206
Mesa	4.197 $\pm$ 0.514
Cabras	3.230 $\pm$ 0.503

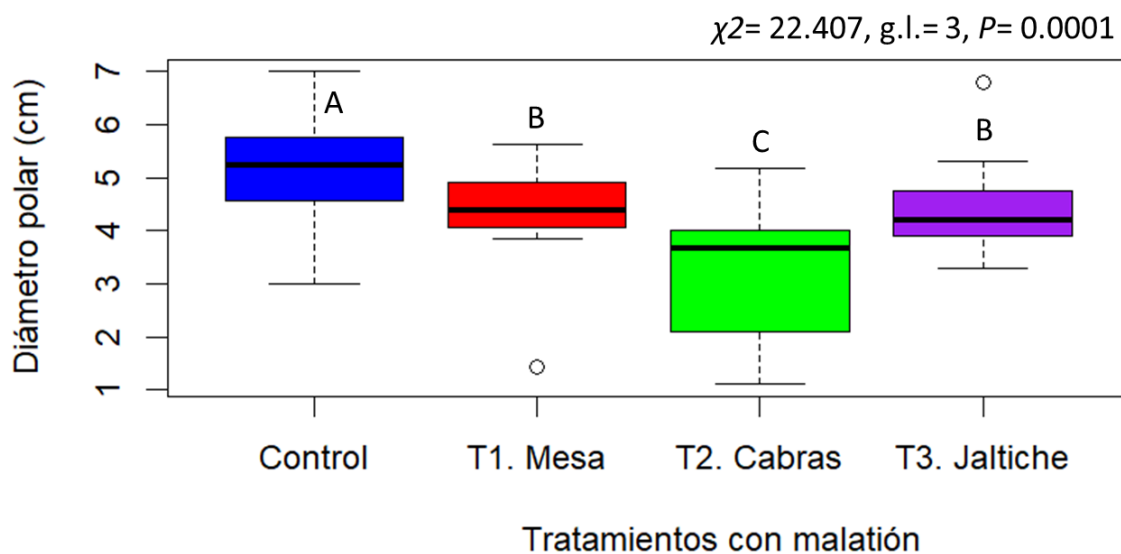


Figura 13. Gráfico en donde se expresan los diámetros polares (cm) para cada tratamiento con y sin malatión. En el que cada una de las letras se usa para denotar diferencias significativas. Así, letras diferentes indican diferencias y letras iguales indican la ausencia de diferencias.

7.4. Diámetro ecuatorial

Los análisis estadísticos arrojaron que para el diámetro ecuatorial de los frutos, se mostraron diferencias significativas entre tratamientos con y sin malatión con $\chi^2 = 21.48$, g.l. = 3 y $P < 0.001$, siendo el tratamiento control el de mayor diámetro registrado, seguido de Jaltiche y Mesa, siendo el tratamiento de Cabras el de menor diámetro ecuatorial en los frutos muestreados, los valores se pueden observar en la Tabla 6 y se representa por medio de grafica en la Figura 14.

Tabla 6. Valores de la media y la desviación estándar para cada tratamiento evaluado.

Tratamiento	Media $\pm$ Desv. estándar
Control	3.941 $\pm$ 0.109
Jaltiche	3.195 $\pm$ 0.249
Mesa	2.807 $\pm$ 0.424
Cabras	2.376 $\pm$ 0.470

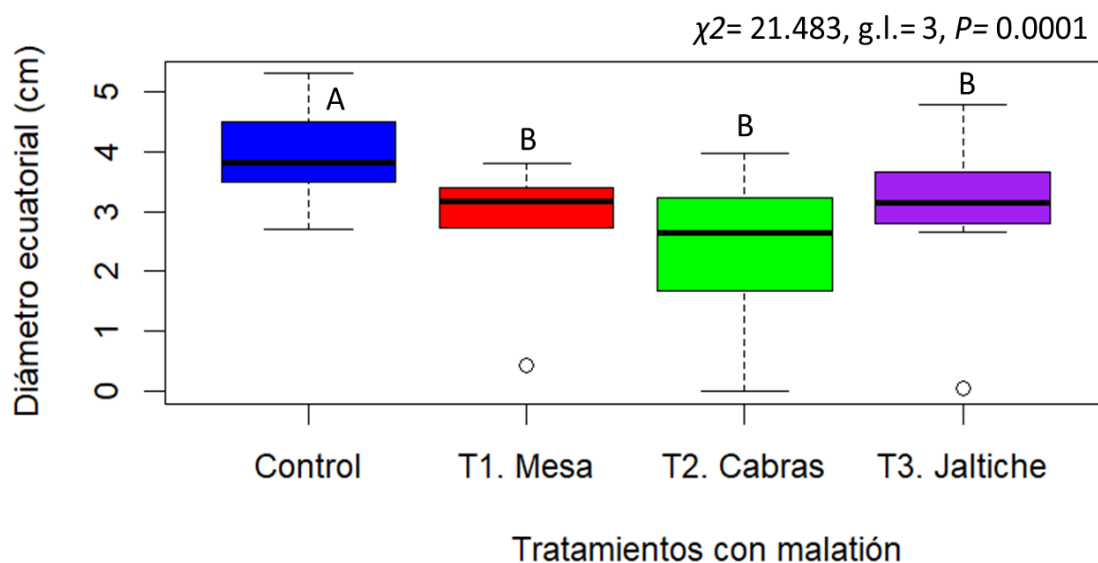


Figura14. Gráfico en donde se expresan los diámetros ecuatoriales (cm) para tratamientos con y sin malatión. En el que cada una de las letras se usa para denotar diferencias significativas. Así, letras diferentes indican diferencias y letras iguales indican la ausencia de diferencias.

7.5. Diámetro cáliz

El análisis estadístico de los datos del diámetro del cáliz de los frutos de guayaba, arrojó diferencias significativas entre tratamientos con $\chi^2=9.99$, g.l.= 3 y $P=0.0187$. El tratamiento de Mesa presentó un mayor diámetro de cáliz en los frutos de guayaba, seguido de los tratamientos Control y Jaltiche), siendo el tratamiento con menor diámetro del cáliz en los frutos el de Cabras, los valores se pueden observar en la Tabla 7 y se representan por medio de grafica en la Figura 15.

Tabla 7. Valores de la media y la desviación estándar para cada tratamiento evaluado.

Tratamiento	Media $\pm$ Desv. estándar
Mesa	1 ± 0.0785
Control	0.971 ± 0.133
Jaltiche	0.905 ± 0.026
Cabras	0.75 ± 0.038

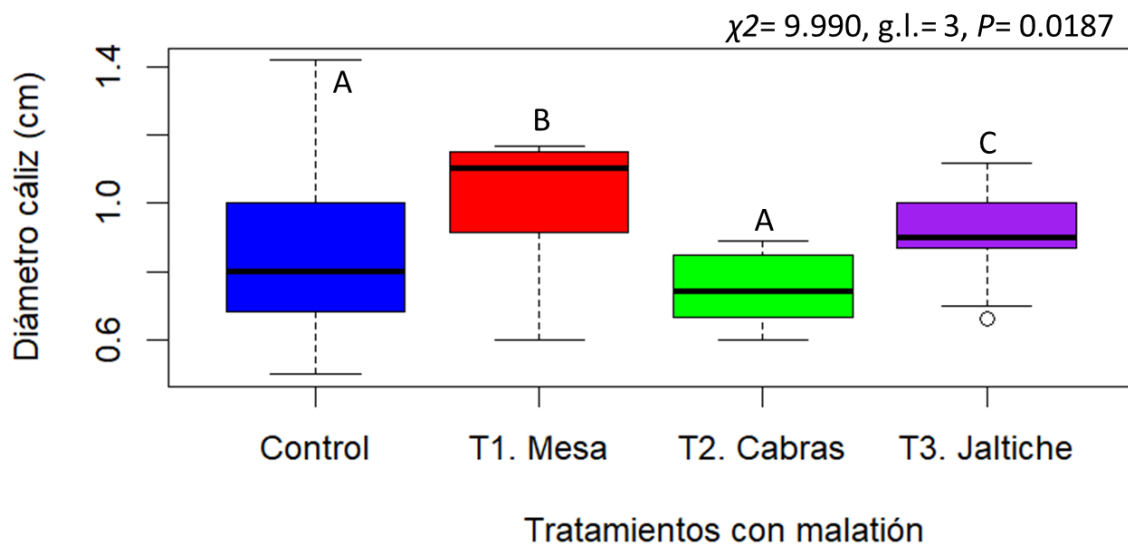


Figura 15. Gráfico en donde se expresan los diámetros del cáliz (cm) para tratamientos con y sin malatión. En el que cada una de las letras se usa para denotar diferencias significativas. Así, letras diferentes indican diferencias y letras iguales indican la ausencia de diferencias.

7.6. Peso de cascos.

Los valores para el peso del casco (gr) de los frutos mostró diferencias significativas con $\chi^2=20.449$, g.l.= 3 y $P<0.001$, tanto en tratamientos con malatión, así como sin, el tratamiento en donde se encontraron los mayores pesos de los cascos de los frutos fue en el tratamiento Control, seguido de Jaltiche y Mesa, siendo el tratamiento de Cabras el que tuvo menor peso de cascos en los frutos, los valores se pueden observar en la Tabla 8 y se representa por medio de grafica en la Figura 15.

Tabla 8. Valores de la media y la desviación estándar para cada tratamiento evaluado.

Tratamiento	Media $\pm$ Desv. estándar
Control	28.345 $\pm$ 2.415
Jaltiche	18.004 $\pm$ 2.640
Mesa	15.33 $\pm$ 3.388
Cabras	9.127 $\pm$ 2.865)

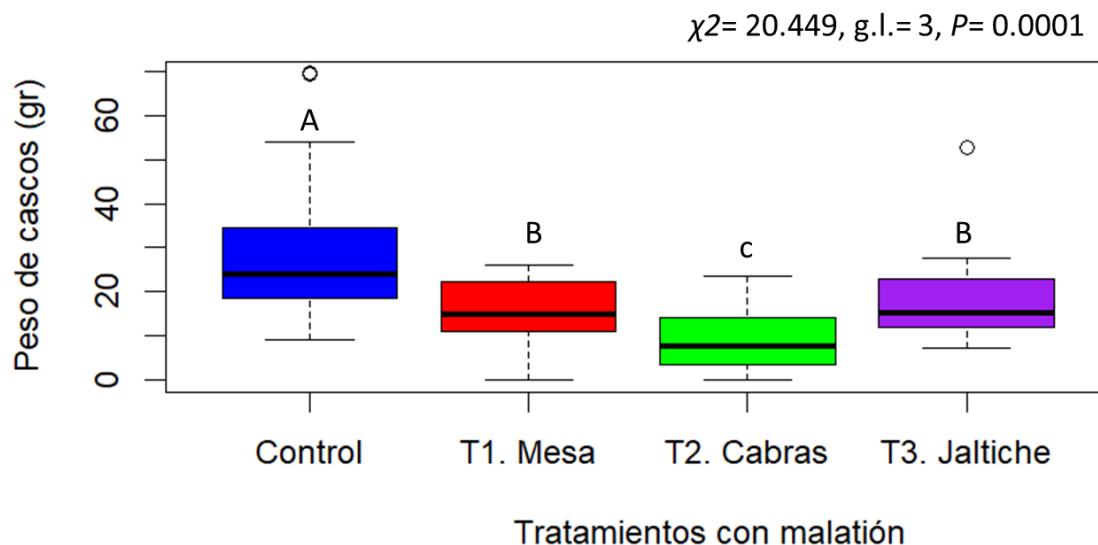


Figura16. Gráfico en donde se expresa el peso de cascos (gr) para tratamientos con y sin malatión. En el que cada una de las letras se usa para denotar diferencias significativas. Así, letras diferentes indican diferencias y letras iguales indican la ausencia de diferencias.

7.7. Grosor de cascos

Los resultados del análisis estadístico para el grosor de cascos en el fruto de guayaba, expresó significancias entre los diferentes tratamientos con $\chi^2 = 12.54$, g.l.= 3 y $P = 0.005$, donde el grosor de los cascos de guayaba fueron mayores en el tratamiento Control, mientras que los tratamientos Mesa y Jaltiche tuvieron grosores menores al Control, pero de tamaño medio en comparación al tratamiento Cabras el cual presento el tamaño más pequeño de grosor de los cascos, los valores se pueden observar en la Tabla 9 y se representa por medio de grafica en la Figura 15.

Tabla 9. Valores de la media y la desviación estándar para cada tratamiento evaluado.

Tratamiento	Media $\pm$ Desv. estándar
Control	0.582 $\pm$ 0.309
Mesa	0.497 $\pm$ 0.877
Jaltiche	0.454 $\pm$ 0.344
Cabras	0.342 $\pm$ 0.829

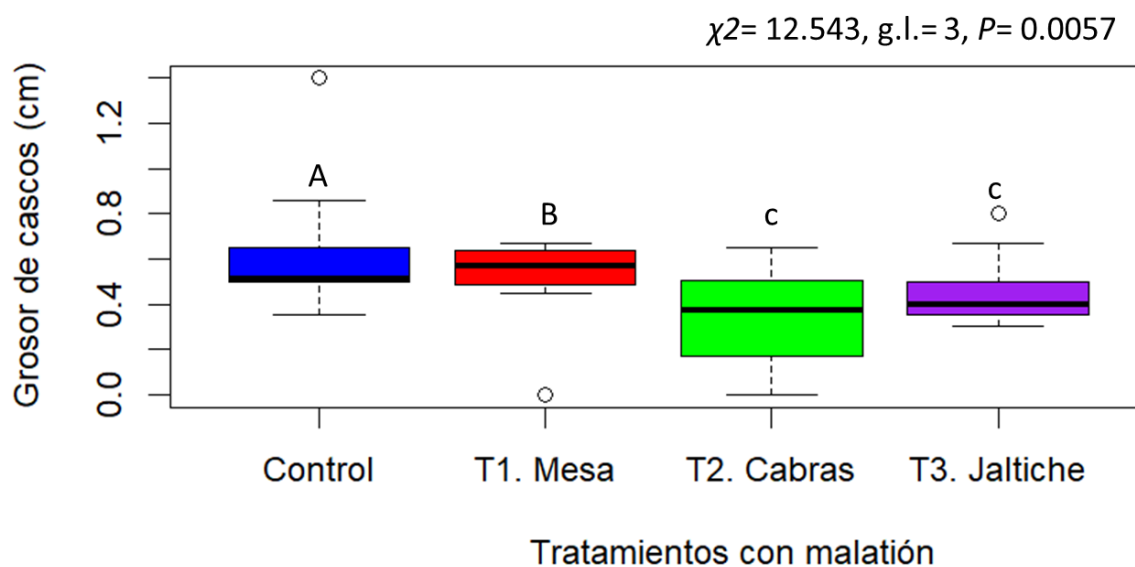


Figura 17. Gráfico en donde se expresan el grosor de los cascos (cm) para tratamientos con y sin malatión. En el que cada una de las letras se usa para denotar diferencias significativas. Así, letras diferentes indican diferencias y letras iguales indican la ausencia de diferencias.

7.8. °Brix

Los valores arrojados con los análisis estadísticos no mostraron significancias del contenido de Sólidos Solubles Totales (°Brix o SST) entre tratamientos con y sin malatión ($\chi^2 = 5.736$, g.l. = 3, $P = 0.125$), en la Figura 18, se puede observar a detalle los °Brix de cada tratamiento.

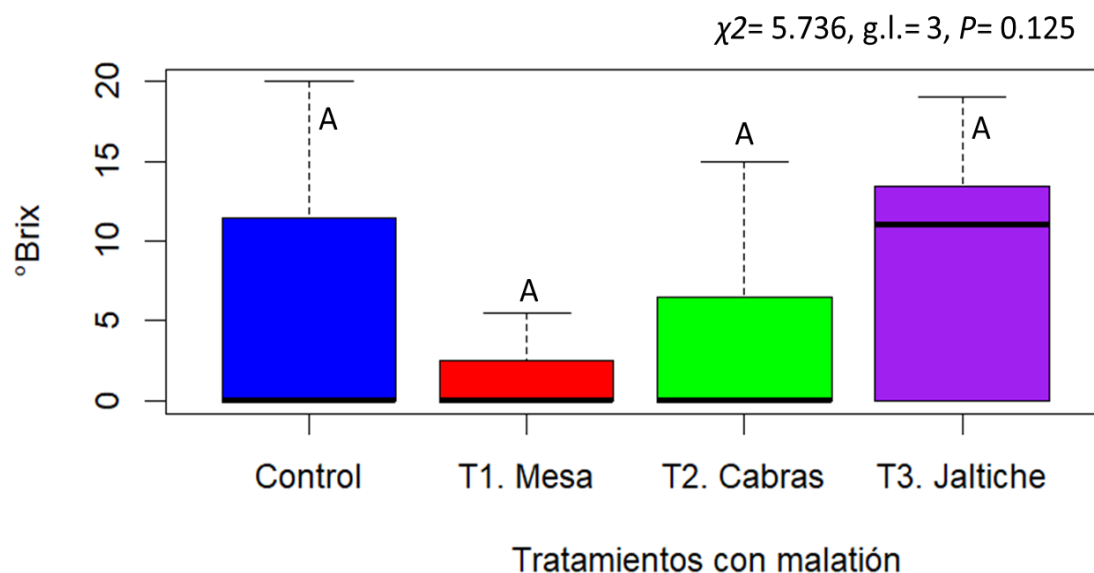


Figura 18. Gráfico en donde se expresan los °Brix para tratamientos con y sin malatión. En el que cada una de las letras se usa para denotar diferencias significativas. Así, letras diferentes indican diferencias y letras iguales indican la ausencia de diferencias.

7.9. Número de semillas

En cuanto a los resultados de los análisis estadísticos del número de semillas presentes en los frutos, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos con y sin malatión ($F_{(3,69)}=1.722$, $P=0.170$). En la Figura 19 estos valores han sido representados gráficamente.

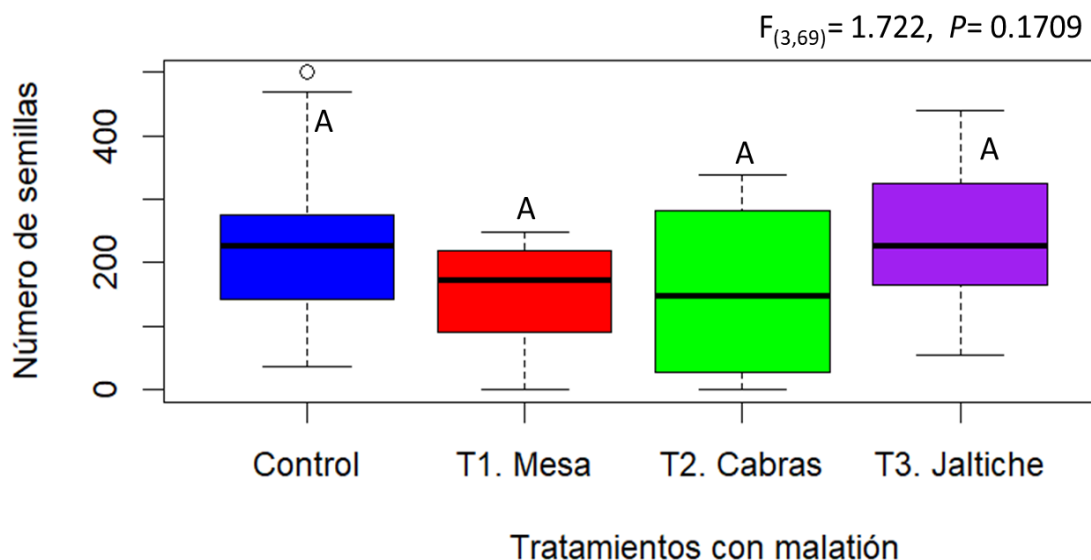


Figura19. Gráfico en donde se expresa el número de semillas para tratamientos con y sin malatión. En el que cada una de las letras se usa para denotar diferencias significativas. Así, letras diferentes indican diferencias y letras iguales indican la ausencia de diferencias.

8. Diversidad de especies

Con las observaciones realizadas en los diferentes tratamientos, se elaboró una tabla con la abundancia en los tratamientos y en el control, se reportan 7 polinizadores, siendo que solamente uno de ellos se pudo identificar a nivel de género. En la Tabla 5 se presenta la taxonomía de algunos de los visitantes florales que se posaron sobre la flores, solo se llegó a niveles de ordenes debido a que para algunos visitantes como las avispas, a veces se necesitan tener ambos sexos, así como que no se contó con todos los organismos en físico para observación en laboratorio ya que al ser potenciales polinizadores existe el riesgo a aminorar su presencia en los cultivos, por lo que no fueron colectados y en la Tabla 6 se reportan aquellos que se mantuvieron por más de 10 segundos en la flor y se consideran como potenciales polinizadores.

Tabla 5. Abundancia de todos los visitantes florales observados en la zona de estudio

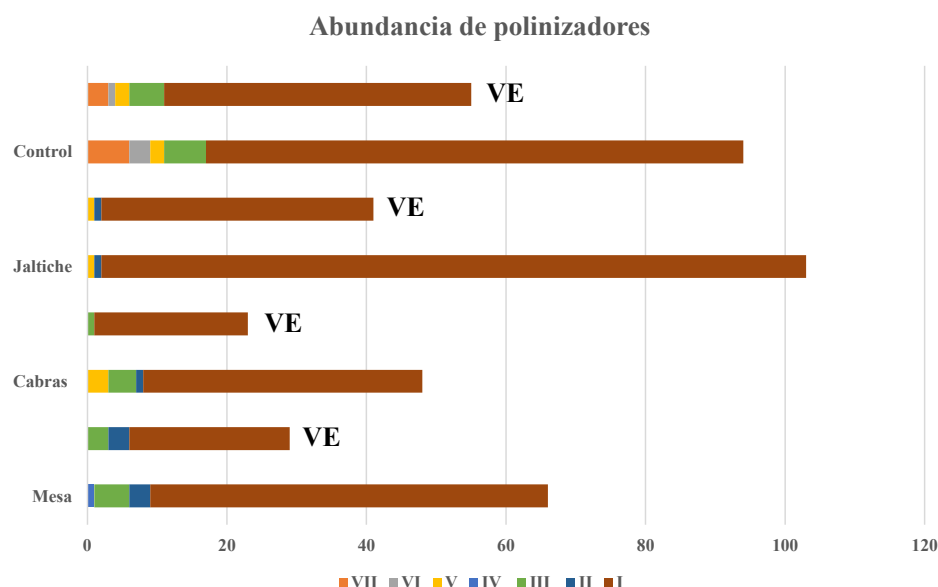
Polinizador	Tratamiento 1 Mesa	Tratamiento 2 Cabras	Tratamiento 3 Jaltiche	Control	Total
I (<i>Apis</i> sp)	57	40	101	77	275
II (abejas)	3	1	1	0	5
III (Coleóptero)	5	4	0	6	15
IV (Lepidóptero)	1	0	0	0	1
V (Díptero)	0	3	1	2	6
VI (Avispa)	0	0	0	3	3
VII (Abejorro)	0	0	0	6	6
Total	66	48	103	94	311

Tabla 6.. Abundancia de los visitantes florales efectivos y/o potenciales polinizadores.

Polinizador	Tratamiento 1 Mesa	Tratamiento 2 Cabras	Tratamiento 3 Jaltiche	Control	Total
I (<i>Apis</i> sp)	23	22	39	44	128
II (abejas)	3	0	1	0	4
III (Coleóptero)	3	1	0	5	4
IV (Lepidóptero)	0	0	0	0	0
V (Díptero)	0	0	1	2	3
VI (Avispa)	0	0	0	1	1
VII (Abejorro)	0	0	0	3	3
Total	29	23	41	55	143

En el Grafico 2 se presenta de forma comparativa la abundancia de visitantes florales, tanto los efímeros como los efectivos.

Grafico 2. Comparación de la abundancia de potenciales polinizadores efectivos y no efectivos



Podemos observar que, para todos los tratamientos y el control, la especie más abundante es la abeja melífera; en el control encontramos que tanto en los polinizadores totales y los efectivos (VE) se tiene la presencia de las siete especies, para Jaltiche se tiene una gran abundancia de la abeja melífera, pero la diversidad disminuye, siendo la menor de los cuatro tratamientos; para cabras se tiene la menor abundancia de polinizadoras.

Para la cobertura de especies (Complejidad $\hat{c}$) o esfuerzo de muestreo se obtuvieron (por medio del estimador online iNext) valores mayores al 95% en todos los tratamientos de cultivos de *Psidium guajava* (Tabla 7). El tratamiento Control fue el que obtuvo el menor valor con el 97.6% de cobertura muestreada con 38 individuos y 5 morfoespecies observadas. Los que obtuvieron los valores más altos fueron los tratamientos de Jaltiche, Cabras y Mesa con un 100% de cobertura para cada uno. Jaltiche con 17 individuos y 2 morfoespecies observadas, Cabras con 8 individuos y dos morfoespecies observadas, para el tratamiento de Mesa 7 individuos y 2 morfoespecies observadas.

Mientras que para el parámetro comunitario de riqueza (S) se encontró que el tratamiento control, obtuvo la mayor riqueza total con 5 morfoespecies.

Tabla 7. Valores generales de todos los tratamientos con y sin malatión, cantidad de individuos colectados, órdenes y completitud de la muestra. N: Número de individuos; S.obs: ordenes observados y $\hat{c}$: Cobertura de la muestra, mayor al 95% en todas las zonas.

	Mesa	Cabras	Jaltiche	Control
N.	7	8	17	38
S.obs.	2	2	2	5
$\hat{c}$	1.0000	1.0000	1.0000	0.9763

Teniendo un valor de 2.75 para las especies esperadas para los cuatro tratamientos.

Se realizó un análisis utilizando los números de Hill, para la diversidad efectiva de especies, se tiene que el tratamiento con los valores más altos en los dos órdenes de diversidad (0D y 1D) fue el de “Control” (Figura 20). En cuanto a la riqueza de ordenes observados (0D), extrapolando los datos de las zonas con menor riqueza a un tamaño de muestra común (70), se observaron diferencias significativas únicamente entre el tratamiento Control y los otros tres tratamientos (Tabla 7, Figura 20a). Siendo Control el que presenta la mayor riqueza de especies teniendo casi el doble de riqueza de los ordenes observados, mientras que para la riqueza de especies entre Mesa, Cabras y Jaltiche fue similar entre sí.

En cuanto a la diversidad de los ordenes observados (1D) mostro diferencias entre el tratamiento Control (${}^1D=2.454$) y los tratamientos con malatión, siendo el tratamiento de Mesa el que obtuvo mayores valores (${}^1D= 1.980$) en comparación a la diversidad de ordenes entre Cabras (${}^1D= 1.451$) y Jaltiche (${}^1D= 1.251$) (Tabla 8, Figura 20 b). Para la equidad de la comunidad (2D) se observa (Figura 20 c) que el tratamiento de Mesa (${}^2D=1.90$) es el que muestra diferencias en comparación a los demás tratamientos, seguido de Control (${}^2D=1.765$) y tanto Cabras (${}^2D=1.280$) como Jaltiche (${}^2D=1.124$) presentan una baja dominancia de especies.

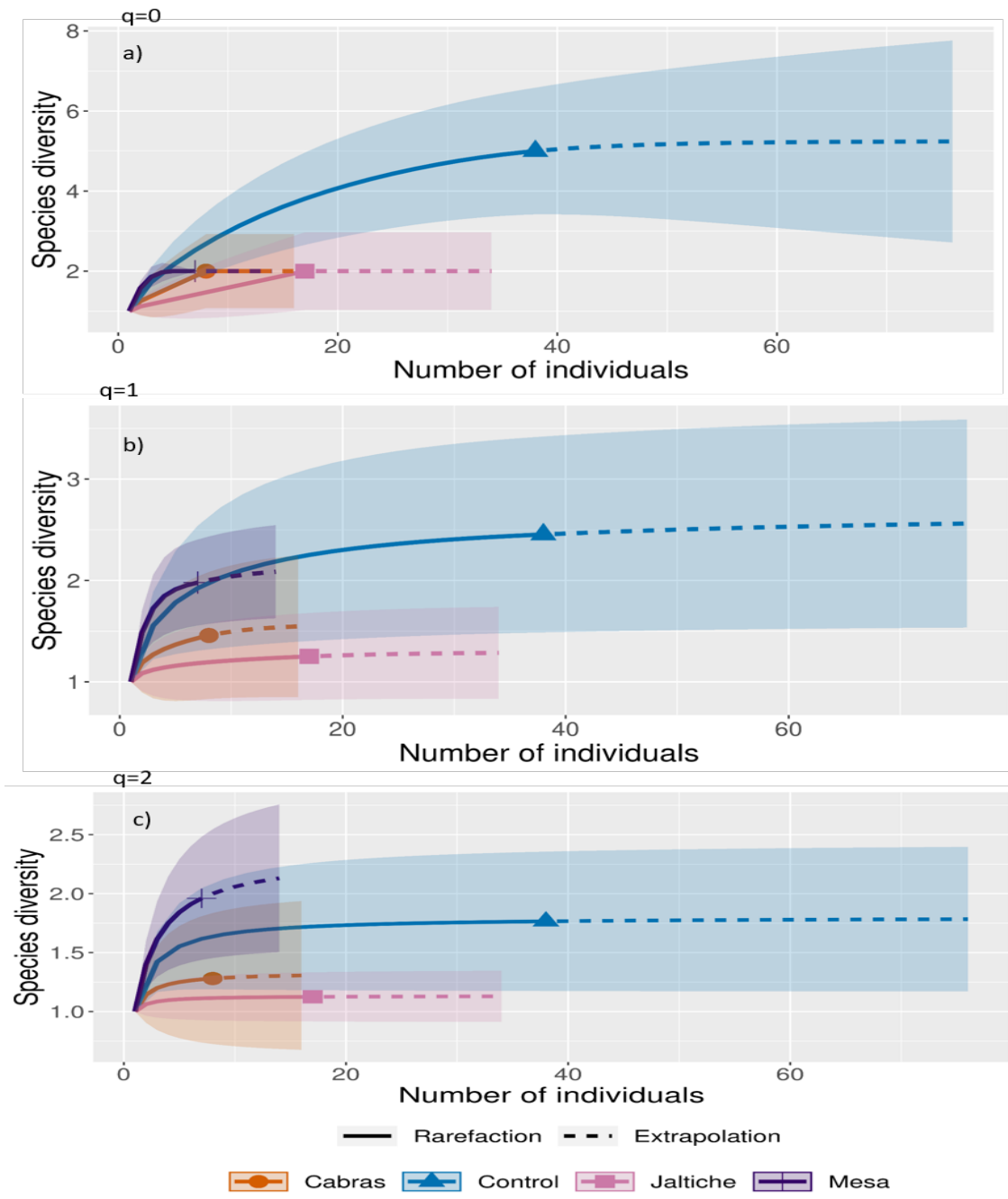


Figura 20: Curvas de interpolación y extrapolación de la riqueza y diversidad de visitantes florales en los cuatro tratamientos de las dos zonas con cultivos de guayaba. La línea continua de cada curva corresponde a la proporción interpolada, el símbolo marca la diversidad observada y la línea punteada representa la porción extrapolada. Las bandas en marca de agua representan los intervalos de confianza del 95%. Se muestra el orden q de la diversidad expresada como número efectivo de especies: 0D corresponde a la riqueza de especies (a) y 1D corresponde a la diversidad de Shannon (b) y 2D corresponde a la diversidad de Simpson (c).

Tabla 8. Valores de los dos ordenes de diversidad (0D , 1D y 2D) para los cuatro tratamientos (Control, Mesa, Cabras y Jaltiche).

Orden	Mesa	Cabras	Jaltiche	Control
0D	2	2	2	5
1D	1.980	1.458	1.251	2.454
2D	1.960	1.280	1.124	1.765

9. Servicios ecosistémicos

Para la evaluación de los servicios ecosistémicos se identificaron los organismos que visitan las flores y que de acuerdo con la literatura se reconocen como polinizadores, y particularmente como polinizadores de la Guayaba en general. En la tabla 10 se colocaron los ordenes y/o especies que se han reportado en la bibliografía como polinizadores de algunas variedades de guayaba y se usaron solo para conocer/comparar con los potenciales polinizadores que se observaron en nuestro trabajo para poder considerar los aportes de estos polinizadores al servicio ecosistémico de la polinización.

Tabla 10. Comparación de los polinizadores que suelen estar presentes en los cultivos de Guayaba.

Polinizador	Tratamiento 1 Mesa		Tratamiento 2 Cabras		Tratamiento 3 Jaltiche		Control		Total	Reportado en la literatura como Polinizador de guayaba
	No efectivos	Efectivos	No efectivos	Efectivos	No efectivos	Efectivos	No efectivos	Efectivos		
<i>Apis</i> sp	34	23	18	22	62	39	33	44	275	<i>Apis mellifera</i> , ⁵ <i>Apis</i> spp. ¹
Abeja	0	3	0	0	0	1	0	0	5	<i>Partamona mellifera</i> , ⁵ <i>Melipona</i> , ⁵
Coleóptero	2	3	3	1	0	0	1	5	15	Coleoptera, ⁴
Lepidóptero	1	0	0	0	0	0	0	0	1	Lepidoptera, ³
Díptero	0	0	3	0	0	1	0	2	6	Diptera, ^{3,4}
Avispa	0	0	0	0	0	0	2	1	3	Hymenoptera, ^{3,4} <i>Trigona spinipes</i> ⁵
Abejorro	0	0	0	0	0	0	3	3	6	<i>Bombus</i> spp. ¹ <i>Bombus mexicana</i> , ² <i>Xylocopa</i> sp. ² <i>Xylocopa frontalis</i> ⁵
Total	37	29	24	23	62	41	39	55	255	

¹ Sarkar, T y K. Sarkar, 2022

² Hedstrom, 1988

³ Vinod, 2018

⁴ Kadam, 2012

⁵ Alves y Freitas, 2007

10. Modelo Lineal Generalizado

Para determinar si existe relación entre las variables: tiempo de visita, peso de fruto, diámetro polar, diámetro ecuatorial, diámetro cáliz, peso de cascotes, grosor de cascotes y °Brix con el número de semillas, se realizó mediante un Modelo Lineal Generalizado.

Si el número medio del número de semillas es μ , la probabilidad de observar y número de semillas es:

$$P(y) = \frac{e^{-\mu} \mu^y}{y!}$$

En general estamos interesados en la relación media de nuestra variable de respuesta (número de semillas) con las demás variables, es decir:

$$\mu = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \beta_8 x_8$$

En donde x_1 representa el tiempo de visita, x_2 peso de fruto, x_3 el diámetro polar, x_4 diámetro ecuatorial, x_5 diámetro cáliz, x_6 peso de cascotes, x_7 grosor de cascotes y x_8 °Brix.

La función de vínculo se encarga de linealizar la relación entre la variable dependiente y las variables independientes mediante la transformación de la variable respuesta.

Considerando la distribución de Poisson y la función de vínculo la función logarítmica, los resultados del modelo lineal generalizado son los siguientes:

<i>Variable</i>	<i>Valor estimado</i>	<i>p-value</i>
<i>Número de semillas</i>	3.8813	0.000
<i>Diámetro ecuatorial</i>	0.1139	0.000
<i>Diámetro polar</i>	0.2589	0.000
<i>Grosor casco</i>	0.0688	0.037
<i>Peso del fruto (gr)</i>	0.0277	0.000
<i>Peso de cascotes (gr)</i>	-0.0519	0.000

El modelo considerado tuvo un AIC (criterio de información de Akaike) de 403.677 en el que se encontró un efecto significativo de seis factores: peso de fruto, peso de cascotes, diámetro polar, diámetro ecuatorial, diámetro de cáliz y °Brix.

11. Pesticidas

En cuanto a los resultados para la evolución de pesticidas presentes en las muestras colectadas de flores de cada tratamiento (5 gr) de los árboles de guayaba, que realizó el CIATEC por medio de cromatografía de gases masas. En estos análisis no se encontró presencia de trazas de malatión. Sin embargo en el tratamiento de “Cabras” se encontraron trazas de Prothiofos por debajo del límite de detección ($<LD$, 0.0019 g/kg), en el tratamiento de “Jaltiche” se encontró Tebuconazole ($<LD$, 0.0019 g/kg), así como este último estuvo presente en “control” por debajo del límite de cuantificación ($<LC$, 0.0061).

12. Discusión

El uso de pesticidas, y en este trabajo del malatión, puede tener efectos negativos en la diversidad de insectos polinizadores, lo que puede tener consecuencias graves para la producción de alimentos y la salud del ecosistema en general, en la bibliografía se reportan algunos trabajos en donde se indican disminuciones importantes en la producción de frutos, en su tamaño (Omar, 2021, Sarkar, 2022), por lo que es necesario considerar alternativas más seguras y sostenibles para el control de plagas en la agricultura.

En nuestro trabajo se puede observar que el sitio/tratamiento donde no hubo aplicación de malatión, obtuvo una diversidad de ordenes insectos polinizadores mayor, así como destacar que en este tratamiento las características predominantes para clasificar a un fruto de guayaba como de buena calidad, fueron los que tuvieron mayores significancias. En la mayoría de las regiones del mundo y para la mayoría de los taxones de polinizadores silvestres, no se tienen datos sobre si realmente ha habido disminuciones de estos. Las mejores estimaciones que se tienen en cuanto esto, corresponden al número de colonias de abejas melíferas domesticadas, que pueden obtenerse para muchos países con distinta fiabilidad (Ghazoul, 2005; Potts *et al* 2010).

En cuanto a nuestro modelo lineal generalizado se puede observar como algunas de las variables evaluadas pueden estar teniendo una relación en cuanto al contenido de número de semillas, lo cual se ha visto reportado en algunas variedades que son cultivadas en la India donde se ha demostrado que la cantidad de semillas puede afectar la calidad de la fruta fresca de guayaba y existe una considerable variabilidad genética (Phadnis, 1970 , Rajan et al., 1996). Sin embargo muchas veces

esta característica en los frutos de guayaba dependiendo del uso que se le dé a los cultivos es que los productores buscan un mayor o número de semillas.

Durante los últimos 50 años, las poblaciones mundiales de abejas melíferas han aumentado, mientras que las abejas silvestres han disminuido sustancialmente, esto se ve reflejado en los datos sobre los abejorros y muy escasamente en los de otras especies de abejas (Apícola, 2020). Aunque todavía no hay una crisis importante de polinización, hay evidencias sobre la limitación del rendimiento de los cultivos como resultado de una polinización inadecuada.

Dentro de los resultados de esta investigación se muestran los efectos de la aplicación del malatión en la efectividad de los visitantes florales en los cultivos de *Psidium guajava*. Donde se encontró que en los tratamientos donde no hay aplicación de malatión (Control) la diversidad de visitantes florales es mayor a los cultivos donde se aplica el malatión (Mesa, Jaltiche y Cabras). El orden más abundante en todos los tratamientos fue el de Himenóptera con 61 individuos representando el 88.4% de la muestra, siendo particularmente *Apis mellifera* la que más visitó las flores de *P. guajava* con un 79.7% del total de visitantes florales, abejas nativas con el 5.7% y abejorros con 2.8%. En cuanto a los demás ordenes, los que le siguieron a los Himenópteros fueron los Coleóptera con el 8.6% de las visitas florales y el orden de menor presencia fue Díptera con el 2.8% de las visitas.

En este estudio se puede ver la importancia que tienen los visitantes florales para una óptima polinización de las flores de guayaba y el cuajamiento de sus frutos. Así como ver de forma general por medio del modelo lineal generalizado las variables que afectan al número de semillas contenidos en los frutos y los cuales fueron el peso de fruto, peso de cascós, diámetro polar, diámetro ecuatorial, diámetro de cáliz y °Brix. Sin embargo hasta no realizarse más estudios donde el objetivo específico sea evaluar las características de cada variable del fruto en relación con el polinizador específico no podremos saber con exactitud el porcentaje total que tiene la polinización para la producción de frutos.

Los insectos pueden ser afectados por diferentes condiciones bióticas y abióticas; por ejemplo los insectos en el cuajamiento de los frutos del café, pueden verse afectados por variables climáticas (Munyuli 2011), aspectos fenológicos de la flor y la abundancia de la floración (Peters y Carroll 2012, Munyuli 2011).

Dentro de los análisis estadísticos se puede observar que para el tiempo de visita no hay diferencias significativas entre tratamientos, pero se debe considerar que esto es debido a que los visitantes

florales que fueron analizados para esta variable fueron aquellos que se posaron en las flores por más de 10 segundos, teniendo una mayor interacción con las flores a comparación que solo llegaban a durar de 1 a 5 segundos, por lo cual para nuestro trabajo son los que se consideran como visitas efectivas y potenciales polinizadores. Siendo importante el resaltar que todos los frutos que tuvieron visitas con este mínimo de tiempo, tuvieron en su totalidad cuaje del fruto y fueron estos con lo que se pudieron analizar las demás variables.

En cuanto a la determinación de la presencia de malatión, los análisis químicos no nos arrojaron trazas de este en los tratamientos estudiados, pero se debe considerar que nuestros muestreos se realizaron con aproximadamente un mes antes de la última aplicación del pesticida y antes de la etapa floral. Si bien no hay presencia, como se expuso con anterior esto no deja de lado las preferencias, así como la abundancia y diversidad que se da entre sitios donde por largo tiempo no se ha usado el malatión. A pesar de no haber trazas de malatión en los análisis se encontró presencia por debajo del límite de detección del pesticida “prothiofos” en el tratamiento de “Cabras”. Este pesticida pertenece al grupo de los organofosforados y aunque no hay tanta información sobre sus efectos en otros organismos no blanco, en nuestra investigación se observó como en nuestro tratamiento donde fue identificado, las variables evaluadas para la calidad del fruto son las que tienen menores significancias y en cuanto a la riqueza y diversidad es la que muestra menores extrapolaciones.

Dentro de los trazas que se encontraron en las flores colectadas de la guayaba, se identificó por debajo del límite de detección “tebuconazole” el cual es un fungicida sistémico y fue identificado en los tratamientos de “Jaltiche” y “Control”, pero no hay registro de que este tipo de fungicida pueda estar afectando a nivel sistémico a los visitantes florales y en nuestro trabajo también se puede ver esto, debido a que nuestro tratamiento de Control es el que presenta las mejores características de las variables evaluadas de los frutos, siendo estas las que se consideran para decir que un fruto es de buena calidad, los tratamientos de Jaltiche, junto con el tratamiento de Mesa son los que tienen mejor calidad en frutos dentro de los tratamientos donde hubo aplicación de malatión.

En esta investigación se ha observado y analizado la importancia de la polinización, la preocupación de la función que tienen los visitantes florales, así como la diversidad de los polinizadores en los sistemas de producción agrícola como es el caso de los cultivos de *p. guajava*. Aunque aún se tienen que desarrollar investigaciones para conocer más sobre los roles de los

visitantes florales y la relación que pueden estar teniendo en los servicios ecosistémicos, así como el verdadero valor de uso, que a su vez puede verse reflejado en sus usos culturales, sociales y económicos, este último debido a que la zona de estudio es uno de los principales productores y exportadores de guayaba a nivel nacional.

Dentro del estado del conocimiento de la polinización como servicio ecosistémico en México realizada a partir de literatura científica publicada, indica que se ha profundizado en el estudio de las abejas nativas, así como en la especie introducida *Apis mellifera*, mientras que otros grupos de animales como escarabajos, dípteros, mariposas nocturnas, abejorros, avispas, hormigas y aves distintas de los colibríes han sido poco estudiados (SADR, s/f)

Los estudios que evalúan el efecto de las abejas nativas sobre el éxito reproductivo de especies de plantas demuestran que proveen un servicio eficiente de polinización. También se ha demostrado que *A. mellifera* provee un servicio eficiente de polinización en especies de plantas nativas que son cultivadas fuera de temporada, cuando los polinizadores nativos no están presentes debido a que su ciclo de vida ha concluido (Delgado-Carrillo et al., 2018).

Estudios recientes reportaron que los polinizadores que visitaron las flores de guayaba consistían en insectos que pertenecen a Himenóptera, Díptera y Lepidóptera (Vinod, 2028), aunado a esto Kadam, 2112 incluye también a Coleóptera. Un estudio realizado en un huerto de mango tropical encontró que los servicios de insectos polinizadores contribuyeron con alrededor del 53% de la producción total de frutos de mango (Huda, 2015).

Acorde con lo indicado por Das et al, (2018), los servicios de polinización podrían aportar cantidades importante (en millones de dólares) a la productividad mundial de los cultivos y contribuirían en gran medida a la seguridad alimentaria.

La intensificación de la producción de alimentos conduce a uso de plaguicidas, en particular herbicidas e insecticidas, que pueden parecer inminentes amenazas para los polinizadores (Potts, 2010). Los plaguicidas y herbicidas utilizados para controlar plagas y malezas podrían tener efectos directos e indirectos no deseados sobre los polinizadores benéficos. El uso de insecticidas también puede eliminar polinizadores por envenenamiento directo (Alston, 2007), teniendo efectos importantes en la diversidad y abundancia (Brittain, 2010).

Alves y Freitas (2007), reportan que la cosecha de guayaba es mayor cuando se tiene polinización abierta, en donde varias especies de abejas visitan las flores de guayaba favoreciendo la

polinización cruzada, asimismo mencionan a *Apis mellifera*, *Trigona spinipes*, *Xylocopa frontalis*, *Melipona subnitida* y *Partamona cupira* como importantes visitantes florales.

13. Conclusiones

- El uso de ciertos plaguicidas puede afectar la presencia, abundancia y riqueza de visitantes florales, que pueden ser polinizadores potenciales para los cultivos de *Psidium guajava*.
- Cuando hay presencia de malatión la cantidad de visitantes florales es menor en comparación a cuando no está presente.
- *A. mellifera* tiene una alta abundancia en los tratamientos, por lo que podría tener implicaciones importantes en la producción de *P. guajava*.
- *A. mellifera* pudiera estar limitando el rol de polinizadores de otras especies, debido al alto número de individuos presentes en los cultivos, así como afectar su presencia por la competencia de recursos.
- Las variables evaluadas sobre las características de los frutos mostraron que cuando no se usa malatión estas, son de mejor calidad a cuando hay presencia de pesticidas.
- Se requiere mayor conocimiento sobre la participación efectiva de los polinizadores en los procesos productivos del sector primario y su aporte a la producción agropecuaria sostenible.
- Establecer estrategias locales para el adecuado uso y manejo de las abejas melíferas nativas e introducidas.
- Incentivar la investigación para el mantenimiento de comunidades vegetales de especies florales nativas que permitan la fuente de alimento y refugio para los polinizadores.
- Se requiere investigación sobre polinizadores no nativos y la problemática que podría surgir del desplazamiento de las especies nativas.
- Identificar de manera participativa los esquemas más adecuados de monitoreo de poblaciones de polinizadores a nivel local.
- integración de grupos con personal estratégico con conocimiento en polinizadores para difundir su importancia y fomentar la participación social a todos los niveles educativos y sociales.

- Comunicar la importancia estratégica que tiene la polinización para la seguridad alimentaria, social y ambiental, y promover el uso y manejo adecuado y responsable de plaguicidas y agroquímicos en el campo y destacar la importancia de los factores de riesgo para los polinizadores

14. Referencias

- Abbas, Q., Yousaf, B., Liu, G., Zia-Ur-Rehman, M., Ali, M. U., Munir, M. A. M., & Hussain, S. A. (2017). Evaluating the health risks of potentially toxic elements through wheat consumption in multi-industrial metropolis of Faisalabad, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(34), 26646-26657.
- Alkassab, A. T. & Kirchner, W. H. (2016). Impacts of chronic sublethal exposure to clothianidin on winter honeybees. *Ecotoxicology*, 25, 1000-1010.
- Alston, D.G., et al. (2007). Effects of the Insecticide Phosmet on Solitary Bee Foraging and Nesting in Orchards of Capitol Reef National Park, Utah. *Environmental Entomology*. 36: p. 811–816.
- Altendorf, S. (2018). Minor Tropical Fruits: Mainstreaming a niche market in Food Outlook Biannual Report on Global Food Markets. Rome: *Food and Agriculture Organization*, 67–74.
- Alves-dos-Santos, I., Silva, C. I. D., Pinheiro, M., & Kleinert, A. D. M. P. (2016). Quando um visitante floral é um polinizador? *Rodriguésia*, 67, 295-307.
- Alves, J.E. & B.M. Freitas. (2007). Pollination requirements of guava. *Ciencia Rural*. 37(5): 1281-1286.
- Antonio Yam Tzec, J., Villaseñor Perea, C. A., Romantchik Kriuchkova, E., Soto Escobar, M., y Peña Peralta, M. Á. (2010). Una revisión sobre la importancia del fruto de Guayaba (*Psidium guajava* L.) y sus principales características en la postcosecha. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(4), 74–82.
- Apícola, P. (2020, septiembre 17). La disminución de abejas impulsada por el estrés combinado de parásitos, pesticidas y falta de flores. *Portal Apícola*. <https://api-portal.com.ar/la-disminucion-de-abejas-impulsada-por-el-estres-combinado-de-parasitos-pesticidas-y-falta-de-flores/>
- Bascompte, J., Jordano, P., Melian, C.J. & Olesen, J.M. (2003). The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100: 9383-9387.
- Bello-Ramírez, A. M., Carreón-Garabito, B.Y., & Nava-Ocampo, A. A. (2000). A theoretical approach to the mechanism of biological oxidation of organophosphorus pesticides. *Toxicology* 149, 63-68.

- Borja Bravo, M., Vélez Izquierdo, A., y Ramos González, J.L. (2018). Tipología y diferenciación de productores de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Calvillo, Aguascalientes, México. *Región y sociedad*, 30(71) <https://doi.org/10.22198/rys.2018.71.a402>
- Borja-Bravo, M., García-Salazar, J. A., Cuevas-Reyes, V., Arciniega, S. A., & Almeraya Quintero, S. X. (2019). Competitiveness and economic efficiency of guava production systems in Calvillo, Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1551–1563.
- Botías, C., & Sánchez-Bayo, F. (2018). Papel de los plaguicidas en la pérdida de polinizadores.. *Ecosistemas*, 27(2), 34–41. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1314>
- Brittain, C.A., et al., (2011). Impacts of a pesticide on pollinator species richness at different spatial scales. *Basic and Applied Ecology* 11: p. 106–115.
- Brittain, C. A., Vighi, M., Bommarco, R., Settele, J., & Potts, S. G. (2010). Impacts of a pesticide on pollinator species richness at different spatial scales. *Basic and Applied Ecology*, 11(2), 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.11.007>
- Brklacich, M.; Bryant, C. R. y Smit, B. A. 1991. Revisión y evaluación del concepto de sistemas sostenibles de producción de alimentos. *Gestión Ambiental*. 15(1):1-14.
- Brock, R. E., Cini, A., & Sumner, S. (2021). Ecosystem services provided by aculeate wasps. *Biological Reviews*, 96(4), 1645-1675.
- Burlingame, B.; Charrondiere, U. R.; Dernini, S.; Stadlmayr, B. & Mondovì, S. 2012. Food biodiversity and sustainable diets: implications of applications for food production and processing. In: green technologies in food production and processing. Springer, Boston, MA. 643-657 pp.
- Camacho Valdez, V., y Ruiz Luna, A. (2011). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. CONACYT. <http://revistabiociencias.uan.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/19/17>. <https://doi.org/10.15741/revbio.01.04.02>
- Carabalí-Banguero, D., Montoya-Lerma, J., Carabalí-Muñoz, A., Carabalí-Banguero, D., Montoya-Lerma, J., y Carabalí-Muñoz, A. (2018). Efecto de la exclusión de insectos visitantes florales en el cuajado de frutos de *Persea americana* (Lauraceae) cv. Hass. *Acta Zoológica mexicana*, 34. <https://doi.org/10.21829/azm.2018.3412121>

- Castillo, B.; Ruiz, J. O.; Manrique, M. A. y Pozo, C. 2020. Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú). *Espacios*. 41(10):1-20.
- Cavieres, L., Peñaloza, A. P., y Arroyo, M. T. (1998). Efectos del tamaño floral y densidad de flores en la visita de insectos polinizadores en *Alstroemeria pallida* Graham (Amaryllidaceae). *Gayana Botánica*, 55, 1-10.
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., & 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. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>.
- Cira González, A., González, E., y Cásares, R. (2008). Detección de materiales extraños y residuos de malatión en pulpa de guayaba. *Investigación y Postgrado*, 23(3), 359–372.
- Codex Alimentarius (2007). Frutas y Hortalizas. Organización Mundial de la Salud (OMS). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1ra Ed. Roma, Italia. Pp. 42-46.
- Collantes Cevallos, K. E. (2018). Insectos polinizadores de *Theobroma cacao* L., en dos sistemas de cultivos relacionados con la residualidad de organofosforados, en la provincia de Los Ríos. 2018 (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ).
- Dangles, O., & Casas, J. (2019). Ecosystem services provided by insects for achieving sustainable development goals. *Ecosystem services*, 35, 109-115.
- Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International journal of environmental research and public health*, 8(5), 1402-1419. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051402>
- Das, A., et al., (2018). A review on: Importance of pollinators in fruit and vegetable production and their collateral jeopardy from agro-chemicals. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 6: p.1586–1591.
- De La Mora Peña A., Uribe-Rubio J.L., Guzmán-Nova E., Espinoza-Montaña L.G. (2015). Efectos de la interacción de un insecticida neonicotinoide y el acaro Varroa destructor sobre el comportamiento defensivo de las abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) LI Reunión Nacional de Investigación Pecuaria, Memoria. 2015. Toluca de Lerdo, Estado de México. Vol.1, Año 1. 2015.

- De Oliveira, R. C., do Nascimento Queiroz, S. C., da Luz, C. F. P., Porto, R. S., & Rath, S. (2016). Bee pollen as a bioindicator of environmental pesticide contamination. *Chemosphere*, 163, 525-534. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.022>
- Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J.-M. (2007). The Sublethal Effects of Pesticides on Beneficial Arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52(1), 81–106. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>
- Díaz, I. (2001). Reseña de “Los insectos polinizadores y sus perspectivas de utilización en agroecosistemas”. *Fitosanidad*, 5(2), 49 - 62.
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2014). Recuperado el 18 de octubre de 2023, de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5330750&fecha=24/01/2014#gsc.tab=0
- Eguiarte, L., & Búrquez, A. (1987). Reproductive ecology of *Manfreda brachystachya*, an iteroparous species of Agavaceae. *The Southwestern Naturalist*, 169-178.
- FAO. (2008). Pollination services for sustainable agriculture. Un Program on Global action on Pollination Services for Sustainable Agriculture.
- Fenster, C. B., Armbruster, W. S., Wilson, P., Dudash, M. R., & Thomson, J. D. (2004). Pollination syndromes and floral specialization. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35(1), 375-403.
- Flores, G. P., Orozco, J. O., Zelaya, F. P., y Ángeles, G. A. (2018). Naturaleza y acciones de los plaguicidas organofosforados sobre el ambiente y la salud. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*. (35), 151-179.
- Galindo, L.M y S. Basurto (2021). Valoración monetaria del servicio de polinización en Mexico. Informe del proyecto NCAVES. División de Estadística de las Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Nueva York.
- Gallai, N., et al., (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* 68: p. 810–821.
- Gallai, N., Salles, J.M. , Settele, J., & Vaissière, B.E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological economics*, 68(3), 810-821..

- García García, M., Ríos Osorio, L. A., y Álvarez del Castillo, J. (2016). La polinización en los sistemas de producción agrícola: Revisión sistemática de la literatura. *Idesia (Arica)*, 34(3), 53–68. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300008>.
- Ghazoul, J. (2005). Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in ecology & evolution*, 20(7), 367-373.
- GEF-UNEP. 1999. Technical advisory panel of the Global Environment Facility-United Nations Environment Program. Report of Biodiversity Conservation in Managed Forest, México.
- Gerbens, L. P. W.; Moll, H. C. & Uiterkamp, A. S. 2003. Design and development of a measuring method for environmental sustainability in food production systems. *Ecological economics*. 46(2):231-248.
- Gill, R. J., Ramos-Rodriguez, O., & Raine, N. E. (2012). Combined pesticide exposure severely affects individual-and colony-level traits in bees. *Nature*, 491(7422), 105-108.
- Govaerts, R. (2019). World Checklist of Selected Plant Families in the Catalogue of Life.
- Gutiérrez, R. M. P., Mitchell, S., & Solis, R. V. (2008). *Psidium guajava*: A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Journal of ethnopharmacology*, 117(1), 1-27.
- Guzmán-Novoa, E., Benítez, A. C., Montaña, L. G. E., y Novoa, G. G. (2011). Colonización, impacto y control de las abejas melíferas africanizadas en México. *Veterinaria México*, 42(2), 149-178.
- Halfpeter, G. (1995). ¿Qué es la biodiversidad?. Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural, 5-14.
- Hamilton, A. (2010). Quantifying Uncertainty in Estimation of Tropical Arthropod Species Richness.
- Hashjin, G. S., Dizaj, F. S., Attaran, H., & Koohi, M. K. (2013). Experimental research Malathion induces anxiety in the male adult mouse. *Archives of Medical Science*, 9(2), 368-371.
- Hedstrom, I. (1988). Pollen carriers and fruit development of *Psidium guajava* L. (Myrtaceae) in the Neotropical region. *J. Trop. Bio.*, 36: 551-553.

- Hernández, H. U. B., Aguilar, H. T., Cruz, G. S., Velasco, L. R., y Martínez, A. Z. (2019). Uso de plaguicidas en el cultivo de maíz en zonas rurales del Estado de Oaxaca, México. *Revista de Salud Ambiental*, 19(1), 23-31.
- Hoehn, P., Tschardtke, T., Tylianakis, J. M., & Steffan-Dewenter, I. (2008). Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1648), 2283-2291
- IPBS (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G.
- IPBES. (2019). Resumen para los encargados de la formulación de políticas del informe de la evaluación mundial de la IPBES sobre la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas. Diaz, S., et. Al. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pp.
https://ipbes.net/sites/default/files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_es.pdf
- Irwin, R. E., & Brody, A. K. (1999). Nectar-robbing bumble bees reduce the fitness of *Ipomopsis aggregata* (Polemoniaceae). *Ecology*, 80(5), 1703-1712. <https://doi.org/10.2307/176558>
- Jeyaratnam, J. (1990). Acute pesticide poisoning: a major global health problem. *World health statistics quarterly* 1990; 43 (3): 139-144.
- JMP®, Version 11.0.0. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989–2023.
- Johnson, Reed M et al. Review article pesticides and honey bee toxicity – USA. In: *Apidologie*. 2010. vol. 41. no. 3. p. 312–331. <https://doi.org/10.1051/apido/2010018>
- Joshi S, Sharma P (2011) Male reproductive toxicity of organophosphorous compounds: A review. *Toxicol. Environ. Chem.* 93: 1486-1507.
- Kadam, D.M., Kaushik P., and Kumar R., Evaluation of Guava Products Quality. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 2012. 2: p. 7-11.
- Kevan G. (1999). Pollinators as bioindicators of the state of the environment: species, activity and diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 373 - 393.
- Kikkawa, J. (1990). Biological diversity of tropical forest ecosystems. In *IUFRO, IXX World Congress. Montreal. Vol. B* (pp. 173-184).

- Klein, A.M., B.E. Vaissiere, J.H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S.A. Cunningham, C. Kremen, and T. Tscharntke. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 274-303-313.
- Ko, C. et al., 2018, “Persistent organic pollutants in Antarctic notothenioid fish and invertebrates associated with trophic levels”, en *PLoS One*, 13(4): e0194147- e0194157.
- Kwong T (2002) Organophosphate pesticides: Biochemistry and clinical toxicology. *Therap. Drug. Monit.* 24: 144-149.
- Landrum, L. R. (2017). The genus *Psidium* (*Myrtaceae*) in the state of Bahia, Brazil. *Canotia* 13, 1–101.
- Larson, B. M. H., Kevan, P. G., & Inouye, D. W. (2001). Flies and flowers: taxonomic diversity of anthophiles and pollinators. *The Canadian Entomologist*, 133(4), 439-465.
- Leyva, M. J. B., Martínez, R. I. E., Bastidas, B. P. J., y Betancourt, L. M. (2017). Plaguicidas altamente peligrosos utilizados en el valle de Culiacán, Sinaloa. In G. F. Bejarano (Ed.), *Los plaguicidas altamente peligrosos en México*. RAPAM, CIAD, UCCS, INIFAP, IPEN, PNUD (pp. 197-207). Ciudad de México, México: Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México A. C.
- Losey, J. E., & Vaughan, M. (2006). The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience*, 56(4), 311-323.
- Lucas, E. J., Belsham, S. R., Nic Lughadha, E. M., Orlovich, D. A., Sakuragui, C. M., Chase, M. W., et al. (2005). Phylogenetic patterns in the fleshy-fruited Pommer, C., & Murakami, K. (2009). “Breeding guava (*Psidium guajava* L.),” in *Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species*, eds S. M. Jain and P. M. Priyadarshan (Berlin: Springer Science+Business Media), 83–120. doi: 10.1007/978-0-387-71201-7_3.
- MacLaurin, J. & K. Sterelny. 2008. What is biodiversity? The University of Chicago Press, Chicago. 224 p.
- Magurran, A. E. (2021). Measuring biological diversity. *Current Biology*, 31(19), R1174-R1177.
- Martin-Culma, Nazly Yolieth y Arenas-Suárez, Nelson Enrique. (2018). Daño colateral en abejas por la exposición a pesticidas de uso agrícola. *Entramado*, 14(1), 232-240. <https://doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27113>

- Martínez-Valenzuela, C., & Gómez-Arroyo, S. (2007). Riesgo genotóxico por exposición a plaguicidas en trabajadores agrícolas. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 23(4), 185-200.
- Mc Vaugh, R. (1968). The Genera of American *Myrtaceae*: an Interim. *Taxon* 17, 354–418. doi: 10.2307/1217393.
- Meléndez, V., Santos, J. B. C., y Salas, C. I. S. (2020). Polinización y polinizadores amenazados en desaparecer. *Bioagrobiencias*, 13(2).
- Mieldazys, A., Mieldazys, R., Vilkevicius, G., & Stulginskis, A. (2015). Agriculture-Use of pesticides/plant protection products. *EU-OSHA*.
- Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems & Human Well-Being: A Framework for Assessment. Washington, DC: Island Press, 2003. 49-70
- Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems & Human Well-being: Biodiversity Synthesis. Washington, DC: World Resources Institute, 2005.82
- Morales, C.L., et al., (2013). Rapid ecological replacement of a native bumble bee by invasive species. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11: p. 529–534.
- Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Vol. 1. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe de UNESCO y Sociedad Entomológica Aragonesa. Serie Manuales y Tesis SEA. 86 pp.
- Moretto, A. (1998). Experimental and clinical toxicology of anticholinesterase agents. *Toxicology letters*, 102, 509-513.
- Navarro, L. (2000). Pollination ecology of *Anthyllis vulneraria* subsp. *vulgaris* (Fabaceae): nectar robbers as pollinators. *American Journal of Botany*, 87(7), 980-985.
- Nelder, J & Wedderburn, R. (1972) Generalized Linear Models, *Journal of the Royal Statistical Society* (A), 1,35, pp. 370-384.
- Noriega, J. A., Hortal, J., Azcárate, F. M., Berg, M. P., Bonada, N., Briones, M. J., & Santos, A. M. (2018). Research trends in ecosystem services provided by insects. *Basic and applied ecology*, 26, 8-23.

- Nurul Huda, A., et al., (2015). Pollination Services of Mango Flower Pollinators. *Journal of Insect Science* 15: p. 113.
- Ollerton, J., Masinde, S., Meve, U., Picker, M., & Whittington, A. (2009). Fly pollination in *Ceropegia* (Apocynaceae: Asclepiadoideae): biogeographic and phylogenetic perspectives. *Annals of Botany*, 103(9), 1501-1514.
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321–326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
- Omar, N.A., N.A. Zariman, & A.N. Huda. (2022). Pollination in the Tropics: Role of Pollinator in Guava Production. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4(3): p. 623-639.
- Orford, K. A., Vaughan, I. P., & Memmott, J. (2015). The forgotten flies: the importance of non-syrphid Diptera as pollinators. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*, 282(1805), 20142934.
- Padilla R. J. S., E. González G., M. A. Perales C., H. R. Reyes P., y E. S. Osuna C. 2007. Variabilidad del fruto de la guayaba (*Psidium guajava* L.) mexicana. INIFAP. Campo Experimental Pabellón. México. 61 p.
- Padilla R. J. S., E. González G., V. M. Rodríguez M., C. J. Cortés P., y T. Sánchez R. 2014. Caracterización morfológica y bioquímica de frutos de guayaba. INIFAP. Campo Experimental Pabellón. México. 32 p.
- Partap, U. (2011). The Pollination Role of Honeybees. En H. R. Hepburn y S. E. Radloff (Eds.), *Honeybees of Asia* (pp. 227–255). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16422-4_11
- Plantarum, P. E. S. (s/f). *Psidium guajava* L. (1753). — MYRTACEAE —. Gob.mx. Recuperado el 09 de octubre de 2023, de http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/52-myrta3m.pdf
- Pommer, C. V. & Murakami, K.R.N. (2009)., Breeding guava (*Psidium guajava* L.). Breeding Plantation Tree Crops. *Tropical Species* p. 83–120.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution*, 25(6), 345-353.

- Potts, S.G., et al., (2010). Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends Ecology and Evolution* 25: p. 345–353.
- Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, & H. T. Ngo (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 552 pages.
- Rajan, S., & Hudedamani, U. (2019). “Genetic Resources of Guava: importance, Uses and Prospects,” in *Conservation and Utilization of Horticultural Genetic Resources*, eds P. E. Rajasekharan, V. R. Rao (Singapore: Springer) 363–383. doi:10.1007/978-981-13-3669-0_11.
- Ratti, C. M. 2006. Bee abundance and diversity in berry agriculture. Master's Thesis, Simon Fraser University, British Columbia. Canada. 87 p.
- Ratti, C. M., Higo, H. A., Griswold, T. L., & Winston, M. L. (2008). Bumble bees influence berry size in commercial *Vaccinium* spp. cultivation in British Columbia. *The Canadian Entomologist*, 140(3), 348-363.
- R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- Rendón, J. (2017). Uso de plaguicidas altamente peligrosos en Campeche. En *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México*. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A. C. (RAPAM).
- Resumen de Salud Pública: Malatión (Malathion) | PHS | ATSDR. (2021, enero 26). Recuperado el 18 de octubre de 2023 de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs154.html.
- Ricou, C., Schneller, C., Amiaud, B., Plantureux, S., & Bockstaller, C. (2014). A vegetation-based indicator to assess the pollination value of field margin flora. *Ecological Indicators*, 45, 320-331.
- Riedl, H. W., Johansen, E., Brewer, L. J., & Barbour, J. (2006). How to reduce bee poisoning from pesticides.
- Rondeau, G., Sánchez-Bayo, F., Tennekes, H. A., Decourtye, A., Ramírez-Romero, R., & Desneux, N. (2014). Delayed and time-cumulative toxicity of imidacloprid in bees, ants and termites. *Scientific reports*, 4(1), 5566.
- Rural, S. de A. y D. (s/f). México, entre los tres principales productores mundiales de aguacate, guayaba, mango y chile verde. gob.mx. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de

<http://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-entre-los-tres-principales-productores-mundiales-de-aguacate-guayaba-mango-y-chile-verde?idiom=es>

Sachman-Ruiz, B., Narváez-Padilla, V., & Reynaud, E. (2015). Commercial *Bombus impatiens* as reservoirs of emerging infectious diseases in central México. *Biological Invasions*, 17(7).

SADR. s/a. Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sustentable de los Polinizadores (Encusp). Mexico. 122 pags

Saldaña-Vázquez, R. A., Ortega-García, S., y Cornejo-Latorre, C. Capítulo “Servicios Ecosistémicos: La polinización en el estado de Puebla”.

Sánchez-Bayo, F., Belzunces, L., & Bonmatin, J. M. (2017). Lethal and sublethal effects, and incomplete clearance of ingested imidacloprid in honey bees (*Apis mellifera*). *Ecotoxicology*, 26, 1199-1206.

Sánchez, M. J. & M. C. Sánchez, 1984, “Aspects of the Adsorption of Azinphos-methyl by Smectites”, en *J Agric Food Chem*, 32(4): 720-725.

Sangerman-Jarquín, Dora Ma., Larqué Saavedra, Bertha Sofia, Navarro Bravo, Agustín, Schwentesius de Rindermann, Rita, Damián Huato, Miguel Ángel, y Cuevas Sánchez, Jesús Axayacatl. (2013). Producción de guayaba [*Psidium guajava* (L.) Burm.] en el Estado de México, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(7), 1081-1093. Recuperado en 25 de marzo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000700009&lng=es&tlng=es.

Santos, J.J., Pratt, L., y Pérez, J.M. (1997), Uso de los plaguicidas en la agroindustria de Costa Rica. Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible, San José., Recuperado el 16 de octubre de 2023, de <http://www.incae.edu/ES/clacds/publicaciones/pdf/cen708.pdf>.

Sarkar, T & K. Sarkar. (2022). Pollination characteristics and intervarietal hybridization of *Psidium guajava*. *Journal of Crop and Weed*, 18(1): 96-103.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (AGRICULTURA), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MEDIO AMBIENTE), Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

(2021). Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sustentable de los Polinizadores. Primera edición. Gobierno de México.

SIAP. (2020). Panorama Agroalimentario 2020. Servicio de Información agroalimentaria y Pesquera. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2020/Atlas-Agroalimentario-2020.

SIAP, 2023 SAGARPA, México. Consulta 05/10/2023. <http://www.gob.mx/siap/>

Silveira-Gramont, M. I., Aldana-Madrid, M. L., Piri-Santana, J., Valenzuela-Quintanar, A. I., Jasa-Silveira, G., y Rodríguez-Olibarria, G. (2018). Plaguicidas agrícolas: un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de Sonora, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(1), 7-21.

Simon-Delso, N., San Martin, G., Bruneau, E., Delcourt, C., & Hautier, L. (2017). The challenges of predicting pesticide exposure of honey bees at landscape level. *Scientific Reports*, 7(1), 3801

Suárez-Toledo, J. R., Hernández-Aguilar, C., Domínguez-Pacheco, F. A., y Aceves-Hernandez, F. J. (2022). Caracterización de la guayaba cultivada en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(7), 1233-1245.

Uribe-Rubio J.L., De la Mora Peña A., Guzmán-Novoa E., Espinoza Montaña I. (2015). Efecto de la varroasis y un Insecticida neonicotinoide sobre la cantidad de hemocitos presentes en las abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) bajo condiciones de laboratorio. LI Reunión Nacional de Investigación Pecuaria, Memoria.2015. Toluca de Lerdo, Estado de México. Vol.1, Año 1. 2015

Vilhena, A. M.G. F., Rabelo, L. Bastos, E. M. A. F., y Augusto, S.C. 2012. Acerola pollinators in the savanna of Central Brazil: temporal variations in oil-collecting bee richness and a mutualistic network. *Apidologie*, 43, 51-62.

Villanueva-G, R., Roubik, D. W., & Colli-Ucán, W. (2005). Extinction of *Melipona beecheii* and traditional beekeeping in the Yucatán peninsula. In *Bee World* (Vol. 86, Issue 2).

Villareal H., Álvarez, M. Córdoba, S. Escobar, F. Fagua, G. Mendoza, Gast F. Mendoza, H. Ospina, M y Umaña, A. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de investigaciones de recursos biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá Colombia. 236 pp.

Vinod, M. & Sattagi, H.N., Pollinator Fauna and Their Relative Abundance in Guava. *Journal of Experimental Zoology*, 2018. 21: p. 1173–1179.

Wardhaugh, C. W. (2015). How many species of arthropods visit flowers?. *Arthropod-Plant Interactions*, 9(6), 547-565.

Wojcik, V. A., Frankie, G. W., Thorp, R. W., & Hernandez, J. L. (2008). Seasonality in bees and their floral resource plants at a constructed urban bee habitat in Berkeley, California. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 81(1), 15-28.

World Health Organization. (2011). Código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas: directrices para el control de calidad de plaguicidas (No. WHO/HTM/NTD/WHOPES/2011.4). Organización Mundial de la Salud.

Zapori I., Shekhar S., Dag A., & Tomer, E. (2007). Guava breeding in Israel. *Acta Hort.*, 735: 39-47.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00117

Matrícula: 2213801099

Efecto del pesticida malatión en visitantes florales de cultivos de guayaba (*Psidium guajava*) en el municipio de Calvillo, Aguascalientes y la valoración de servicios ecosistémicos por la polinización.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 10:00 horas del día 18 del mes de diciembre del año 2024 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. JOHNATTAN HERNANDEZ CUMPLIDO
DRA. TERESA PEREZ MUÑOZ
DR. JOSE ALEJANDRO ZAVALA HURTADO

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretario el último, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS (ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE)

DE: LAURA REYES HERNÁNDEZ

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

APROBAR

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

REVISÓ

MTRA. ROSALÍA SERRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CBI

Roman Linares Romero
DR. ROMAN LINARES ROMERO

PRESIDENTE

Johnattan Hernandez Cumplido
DR. JOHNATTAN HERNANDEZ CUMPLIDO

VOCAL

Teresa Perez Muñoz
DRA. TERESA PEREZ MUÑOZ

SECRETARIO

Jose Alejandro Zavala Hurtado
DR. JOSE ALEJANDRO ZAVALA HURTADO