



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**FRIJOL AYOCOTE (*Phaseolus coccineus* L.) EN
EL VALLE DE PUEBLA: VISITANTES
FLORALES, EXCLUSIÓN DE
POLINIZADORES Y CONOCIMIENTO DEL
AGRICULTOR SOBRE POLINIZACIÓN**

KARINA ALEJANDRA CUÉ HERNÁNDEZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORA EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2023



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **Frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en el Valle de Puebla: Visitantes florales, exclusión de polinizadores y conocimiento del agricultor sobre polinización**, realizada por la estudiante: Karina Alejandra Cué Hernández, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

DR. ABEL GIL MUÑOZ

ASESOR:

DR. OSWALDO REY TABOADA GAYTÁN

ASESOR:

DR. PEDRO ANTONIO LÓPEZ

ASESOR:

DR. ARMANDO AGUIRRE JAIMES

Puebla, Puebla, México, enero del 2023

**FRIJOL AYOCOTE (*Phaseolus coccineus* L.) EN EL VALLE DE PUEBLA:
VISITANTES FLORALES, EXCLUSIÓN DE POLINIZADORES Y CONOCIMIENTO
DEL AGRICULTOR SOBRE POLINIZACIÓN**

Karina Alejandra Cué Hernández, D. C.

Colegio de Postgraduados, 2023

RESUMEN

Phaseolus coccineus (frijol ayocote) es una especie importante en México, la cual presenta la peculiaridad de depender de polinizadores para su reproducción y mostrar polimorfismo floral. Se cultiva principalmente en el estado de Puebla bajo dos modalidades: una en la cual no se emplean agroquímicos para controlar arvenses y plagas (manejo tradicional) y otra en la que sí son empleados (manejo tecnificado). Aun cuando existen investigaciones sobre este cultivo, ninguna se ha orientado a evaluar el efecto del sistema de manejo agrícola y el color de flor sobre los visitantes florales de la especie, ni a explorar cómo estos factores, en combinación con el acceso/exclusión de polinizadores afectan los componentes del rendimiento y las características de semilla. Tampoco se ha precisado el nivel de conocimiento de los productores de ayocote sobre la polinización del cultivo. Para atender estos vacíos de conocimiento se diseñó la presente investigación. El trabajo se condujo en el Valle de Puebla, estableciendo parcelas con dos variedades de *P. coccineus* (de flor blanca o roja), cultivadas bajo los dos sistemas de manejo. En ellas se registró la riqueza, diversidad y número de visitas de visitantes florales. Adicionalmente, se evaluaron los componentes de rendimiento en plantas con y sin acceso a polinizadores y se aplicó un cuestionario a 51 productores. Se encontró que en el manejo tradicional hubo un mayor número efectivo de visitantes y de visitas de éstos, y que en las plantas donde se permitió la interacción con polinizadores, se tuvo un mayor número de frutos y semillas normales. La mayoría de los agricultores desconocen cómo ocurre la polinización en el cultivo y no tienen claro qué organismos participan en ello. Incentivar prácticas agrícolas menos intensivas e impulsar programas de divulgación y sensibilización sobre la importancia de la polinización y los polinizadores generaría múltiples beneficios.

Palabras clave: Ayocote, conocimiento tradicional, diversidad, manejo agronómico, polinizadores, rendimiento.

RUNNER BEAN (*Phaseolus coccineus* L.) IN THE PUEBLA VALLEY: FLORAL VISITORS, EXCLUSION OF POLLINATORS AND PEASANT'S KNOWLEDGE ON POLLINATION

Karina Alejandra Cué Hernández, D. C.

Colegio de Postgraduados, 2023

ABSTRACT

Phaseolus coccineus (runner bean) is an important plant species in Mexico which, among other distinctive traits, depends on pollinators to reproduce and shows floral polymorphism. In the state of Puebla, it is cultivated under two modalities: one in which agrochemicals are not used to control weeds and pests (traditional management), and another in which they are used (technified management). Even though research has been conducted on this crop, none has focused on the effect that the agricultural management system and the flower color have on the floral visitors of the species, neither on exploring how these factors, combined with the access/exclusion of pollinators, affect the yield components and seed traits. Another topic not explored is the degree of knowledge of producers of runner bean about the pollination of the crop. Therefore, to attend these knowledge gaps, we designed this study. The study was conducted in the Puebla Valley, sowing plots with two varieties of *P. coccineus* (white or red flowered), cultivated under the two management systems. In them, we recorded the richness, diversity and number of visits of floral visitors. In addition, we evaluated the yield components of plants with and without access to pollinators, and applied a questionnaire to 51 peasants. We found that in the traditional management there was a higher effective number of visitors and of visits, and that in those plants where the interaction with pollinators was allowed, there was a larger number of normal fruits and seeds. Most peasants do not know how pollination happens in the crop and they do not have a clear idea about which organisms participate in the process. Incentivizing less intensive agricultural practices and promoting outreach and awareness programs on the importance of pollination and pollinators would generate multiple benefits.

Keywords: Agronomic management, diversity, pollinators, runner bean, traditional knowledge, yield.

A mis padres:

Por enseñarme a trabajar para alcanzar mis objetivos y cumplir mis sueños con la responsabilidad y valentía que eso conlleva. Gracias por creer en mí.

A mi Nonna:

Por ser un ejemplo que me inspira a ser mejor cada día. Por todo el amor que dejaste sembrado mi corazón. Espero que estés orgullosa de mí.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por la beca otorgada para continuar con mis estudios de posgrado.

Al Colegio de Postgraduados *Campus* Puebla, por la oportunidad de ser estudiante de esta institución y por el apoyo económico que facilitó la realización de esta investigación.

A mi Profesor Consejero, Dr. Abel Gil Muñoz, por guiarme con rigurosidad durante todo el proceso de investigación y escritura, compartir su conocimiento y brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica para concretar este trabajo.

A los profesores que formaron parte de mi Consejo Particular, Dr. Armando Aguirre Jaimes, Dr. Pedro Antonio López y Dr. Oswaldo Rey Taboada Gaytán, quienes me apoyaron y orientaron en cada una de las etapas de la investigación y que, a través de sus comentarios, recomendaciones y contribuciones, ayudaron a mejorar el proyecto de investigación, el documento de tesis y el artículo publicado.

A los Ingenieros José Hernández Cortés, Hugo García Perea, Juan Morales Marcos, a la Ingeniera Rocío Meza Varela y a la M. en I. Sarahí Nocelo Rojas, por su colaboración en el proceso de siembra, cosecha y manejo del cultivo, por su ayuda en la colocación de estructuras excluyentes de polinizadores y en la aplicación de cuestionarios.

Al Dr. Nicolás Gutiérrez Rangel, por haberme facilitado el microscopio durante la etapa de contingencia sanitaria, sin su ayuda, la identificación del material biológico habría resultado en una tarea más complicada.

A las autoridades municipales y de las juntas auxiliares de las diferentes localidades que facilitaron los medios para la aplicación de cuestionarios.

A todas las personas de las distintas comunidades que desinteresadamente me brindaron su tiempo y compartieron sus saberes en las entrevistas.

Gracias infinitas a mis padres, por apoyarme y acompañarme cariñosamente en cada camino que decido recorrer, por su comprensión y solidaridad con este proyecto. Sin su apoyo este trabajo no se habría escrito.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTAS DE CUADROS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	7
OBJETIVOS	8
OBJETIVO GENERAL.....	8
OBJETIVOS PARTICULARES	8
HIPÓTESIS.....	9
CAPÍTULO I. VISITANTES FLORALES EN EL CULTIVO DE <i>Phaseolus coccineus</i> L. (FABACEAE) EN EL ALTIPLANO DE PUEBLA, MÉXICO: IMPORTANCIA DEL MANEJO AGRÍCOLA Y COLOR DE FLOR.....	10
1.1 RESUMEN.....	10
1.2 ABSTRACT.....	12
1.3 INTRODUCCIÓN.....	13
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS	15
1.4.1 Área de estudio.....	15
1.4.2 Parcelas de estudio	16
1.4.3 Manejo agronómico.....	16

1.4.4 Observación y muestreo de visitantes florales	16
1.4.5 Análisis de datos.....	17
1.5 RESULTADOS	18
1.6 DISCUSIÓN.....	28
1.6.1 La comunidad de visitantes florales asociados al cultivo de <i>P. coccineus</i> fue diversa.	28
1.6.2 La modalidad de manejo agronómico no influyó en la riqueza de especies, pero sí en el número de visitas por orden taxonómico	29
1.6.3 El manejo tradicional del cultivo aumentó la diversidad de visitantes florales	30
1.6.4 El color de la flor no influyó en la riqueza de especies ni mostró tendencias definidas en cuanto al número de visitas o el número efectivo de especies	31
1.7 CONCLUSIONES.....	32
 CAPÍTULO II. IMPORTANCIA DE LOS POLINIZADORES EN LA EXPRESIÓN DE COMPONENTES DEL RENDIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE SEMILLA DE <i>Phaseolus coccineus</i> L. EN EL CENTRO DE MÉXICO.....	
2.1 RESUMEN	34
2.2 ABSTRACT	35
2.3 INTRODUCCIÓN.....	36
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
2.4.1 Área de estudio	38
2.4.2 Parcelas de estudio	39
2.4.3 Manejo agronómico.....	39
2.4.4 Experimento de exclusión de polinizadores	39

2.4.5 Componentes del rendimiento y características de la semilla	40
2.4.6 Análisis de datos.....	40
2.5 RESULTADOS	41
2.5.1 Componentes del rendimiento y características de semillas entre plantas con acceso y sin acceso a polinizadores dentro de cada sistema de manejo y variedad de <i>P. coccineus</i>	41
2.5.2 Agrupamiento de sistemas de manejo agrícola, variedades y tratamiento de acceso o no a polinizadores.....	46
2. 6 DISCUSIÓN	51
2.7 CONCLUSIONES.....	54
CAPÍTULO III. CONOCIMIENTO Y OPINIONES DE LOS AGRICULTORES RESPECTO A LA POLINIZACIÓN Y LOS POLINIZADORES DE <i>Phaseolus coccineus</i>	
3.1 RESUMEN.....	55
3.2 ABSTRACT	56
3.3 INTRODUCCIÓN.....	57
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	59
3.4.1 Área de estudio.....	59
3.4.2 Población de estudio.....	60
3.4.3 Instrumento empleado	62
3.4.4 Análisis de datos.....	62
3.5 RESULTADOS	63
3.5.1 Características generales de la población y las parcelas de estudio	63

3.5.2 Manejo del cultivo de <i>P. coccineus</i>	63
3.5.3 Conocimientos sobre polinización y organismos polinizadores	68
3.5.4 Opiniones sobre polinizadores	73
3.5.5 Disposición para implementar prácticas que podrían beneficiar la producción de <i>P. coccineus</i>	73
3.6 DISCUSIÓN.....	74
3.7 CONCLUSIONES.....	82
CONCLUSIONES GENERALES.....	83
LITERATURA CITADA	85
ANEXOS	102
1. FLORES DE DISTINTAS ESPECIES DEL GÉNERO <i>PHASEOLUS</i>	102
2. CUESTIONARIO APLICADO A PRODUCTORAS Y PRODUCTORES DE <i>P. COCCINEUS</i>	103
3. MATERIAL DE APOYO VISUAL UTILIZADO EN LA APLICACIÓN DE CUESTIONARIO.	118
4. TRÍPTICO INFORMATIVO ENTREGADO A PRODUCTORES Y PRODUCTORAS DE <i>P. COCCINEUS</i>	122

LISTAS DE CUADROS

Cuadro 1.1 registro de especies y su frecuencia total de visitas en flores de dos variedades de <i>P. coccineus</i> bajo dos manejos agrícolas.....	19
Cuadro 2.1 Resultado de la prueba de Mann-Whitney (valores de Z y su nivel de significancia, <i>P</i>) para las comparaciones entre plantas con acceso y sin acceso a polinizadores en cada combinación de sistema de manejo-color de flor en <i>Phaseolus coccineus</i>	42
Cuadro 2.2 Componentes de rendimiento y dimensiones de la semilla de <i>Phaseolus coccineus</i> registrados en las diferentes combinaciones sistema de manejo –color de flor – acceso de polinizadores, organizadas con base en los grupos identificados en el dendrograma (promedio \pm desviación estándar).....	48
Cuadro 3.1 Municipios, localidades y número de agricultores entrevistados para el presente estudio en el Valle de Puebla.....	61
Cuadro 3.2 Aspectos de la polinización conocidos por los agricultores.....	69
Cuadro 3.3. Especies observadas en las parcelas de cultivo de <i>P. coccineus</i> consideradas como plagas o que causan daños.	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Registros por orden taxonómico y manejo agronómico del número de especies en (a) flores blancas y (b) flores rojas, y del número de visitas totales en flores blancas (c) y flores rojas (d) de <i>Phaseolus coccineus</i>	24
Figura 1.2. Análisis de correspondencias entre las combinaciones sistema de manejo – color de flor y las especies de visitantes florales en el cultivo de <i>Phaseolus coccineus</i>	26
Figura 1.3 Curvas de rango abundancia para visitantes florales de <i>Phaseolus coccineus</i> con flores blancas y manejo tradicional.....	27
Figura 2.1 Diagramas de cajas y ejes para los componentes del rendimiento de <i>Phaseolus coccineus</i> en los que hubo diferencias al comparar plantas con acceso y sin acceso a polinizadores dentro de cada combinación de sistema de manejo y color de flor.....	44
Figura 2.2 Diagramas de cajas y ejes para los atributos de semillas de <i>Phaseolus coccineus</i> en los que hubo diferencias al comparar plantas con acceso y sin acceso a polinizadores dentro de cada combinación de sistema de manejo y color de flor.	45
Figura. 2.3 Dendrograma obtenido con el método de Ward para los ocho tratamientos con base en distancia euclidianas y en el que se muestra la formación de dos grupos	46
Figura 2.4. Dispersión de los ocho tratamientos definidos por los tres primeros componentes principales (cp).....	50
Figura 3.1 Representatividad del tipo de matriz circundante a las parcelas de frijol ayocote en el Estado de Puebla.	64
Figura 3.2 Principales plagas detectadas por agricultores del Valle de Puebla en el cultivo de <i>P. coccineus</i>	65
Figura 3.3 Aspectos del manejo agronómico en el cultivo de <i>P. coccineus</i> empleados por agricultores del valle de Puebla.	66

Figura 3.4 Disposición de los agricultores a implementar prácticas que favorezcan la conservación de polinizadores. 74

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los agroecosistemas, definidos como unidades conceptuales y básicas de estudio y desarrollo de la agricultura, producto de la modificación de un ecosistema desarrollado por el ser humano (CP, sin año), presentan características propias de suelo, clima, diversidad, topografía, y disponibilidad de agua, las cuales definen o determinan su capacidad productiva (de acuerdo con la calidad de sus recursos naturales) (Sarandón y Flores, 2014). Al establecerse, los agroecosistemas ocasionan un cambio en la estructura y funcionamiento del ecosistema natural sobre el que se desarrollan (Stupino et al., 2008). El cambio estructural está asociado a la remoción de la vegetación espontánea para implantar un cultivo o para el pastoreo del ganado. Al generarse cambios en las condiciones ambientales, se modifica la composición y diversidad de las especies, predominando aquellas cuyas estrategias de vida les permiten sobrevivir en ambientes perturbados (estrategas r) (Sarandón y Flores, 2014).

Dado que las comunidades vegetales actúan como soporte para el resto de las cadenas tróficas (Altieri y Nicholls, 1994), en la etapa inicial de cambio de ecosistema a agroecosistema se produce una disminución de la diversidad total del sistema (especies vegetales y animales). Cuanto más intenso es el cambio realizado, mayor es la pérdida de biodiversidad, por lo que se requerirá de una mayor cantidad de insumos para mantener el funcionamiento adecuado de los procesos ecológicos clave (como la regulación biótica y el ciclo de nutrientes), ahora debilitados (Iermanó y Sarandón, 2009). Estos cambios no sólo ponen en peligro la biodiversidad directamente (Ashman et al., 2004), sino que también pueden amenazar la productividad, la diversidad y la estabilidad de los sistemas de producción de alimentos (Klein et al., 2007; Ricketts et al., 2008). Es por ello que se ha señalado que aquellos agroecosistemas que presentan una mayor diversidad, son fuente de recursos que benefician las redes tróficas (Rand et al., 2006).

Lo anterior cobra particular relevancia si se considera que los servicios ambientales [un beneficio económico que la naturaleza proporciona a las personas, entre los que se incluyen la biodiversidad, el ciclo de nutrientes, la formación de suelo, la provisión de alimento, materias primas, recursos genéticos, medicinales y ornamentales, la regulación del clima, el agua, el gas, la provisión de agua, de belleza escénica, la información cultural, artística, espiritual e histórica, por mencionar algunos (ONU, 2005)] están siendo afectados por el desarrollo de la agricultura convencional. La polinización biótica es también un servicio ambiental, ya que es un proceso ecológico fundamental

para el mantenimiento de la viabilidad y la diversidad de las plantas con flores (angiospermas), tanto silvestres como cultivadas (Klein et al., 2007). Tratándose de cultivos, se estima que un 35 % de las especies alimenticias más importantes dependen de los polinizadores (Klein et al., 2017). En estos casos, diversas investigaciones han demostrado que la producción de semillas y frutos se incrementa por la presencia de polinizadores, debido a que existe una relación positiva entre su diversidad y la deposición de polen (De Melo y Silva Neto et al., 2013; Chautá-Mellizo et al., 2012). Otros factores que también influyen son la dinámica poblacional de las especies de polinizadores, su eficiencia en el servicio de la polinización, la competitividad intra e interespecífica (Hoehn et al., 2008), la distancia entre parches florales, la disponibilidad de recursos y los sistemas de manejo utilizados (Vergara y Badano, 2009; Boreux et al., 2012).

Los animales polinizadores forman parte de un conjunto mayor, conocido como visitantes florales, organismos que pueden desempeñar distintos papeles en la flor y entre ellos destacan insectos, aves, mamíferos e incluso varias especies de arañas (Viejo-Montesinos y Ornos-Gallego, 1997; Wäckers et al., 2007). Aunque la mayoría son reconocidos como polinizadores, no todos tienen relación con el proceso reproductivo, a pesar de consumir néctar o polen (Wäckers et al., 2007). Los visitantes florales, además de encontrar alimento en las flores, también pueden obtener cobijo, camuflaje o un lugar esporádico de descanso (Viejo-Montesinos y Ornos-Gallego, 1997). Por lo anterior, en la medida en que los agroecosistemas provean refugio y recursos alimenticios suficientes a los visitantes florales, estos permanecerán en los paisajes agrícolas (Tschardt et al., 2012). El conocer la composición, abundancia y diversidad de visitantes florales es importante no sólo para comprender la relación evolutiva entre las plantas y sus visitantes (incluidos los polinizadores), sino también porque permite identificar sus efectos (en el caso de los que median la polinización) en el éxito reproductivo de las plantas (Waser et al., 1996; Badillo-Montaña, 2018).

Además de la transformación de hábitats debida a la actividad agrícola, el uso de plaguicidas (insecticidas, fungicidas, herbicidas, molusquicidas, nematocidas, reguladores de crecimiento y otros) se considera como una de las mayores amenazas para la conservación de la biodiversidad en los agroecosistemas. Los insectos polinizadores, particularmente, son muy susceptibles a la acción de ciertos agroquímicos (Brittain et al. 2010; Woodcock et al. 2016). Varios estudios científicos han señalado que el uso de insecticidas (principalmente neonicotinoides), constituyen

una amenaza para la salud de las abejas (Blacquièrè et al. 2012; Pisa et al. 2015). Estos compuestos neurotóxicos actúan contra una amplia diversidad de plagas de gran importancia económica, incluyendo áfidos (Aphidae), mosca blanca (Aleyrodidae), chicharras (Aleyrodidae), escarabajo de la patata (Chrysomelidae), gusano alambre (Elateridae) y ácaros fitófagos, entre otros (Jeschke et al. 2011). No obstante, pueden causar efectos no deseados en insectos que no sólo no son plagas, sino que en muchas ocasiones proporcionan servicios ecosistémicos muy valiosos, incluyendo la predación y la polinización. La estructura química de los neonicotinoides les confiere propiedades sistémicas que permiten una protección total de la planta tras la aplicación del ingrediente activo en el suelo o en semillas tratadas, ya que se distribuyen a través del sistema vascular por todas las partes de la planta. Es por ello que tanto el polen como el néctar de las plantas tratadas pueden contener pequeñas cantidades de estos insecticidas (Goulson 2013; Bonmatin et al. 2005). De aquí la importancia de desarrollar investigaciones tendientes a estudiar el impacto que pueden tener los sistemas de manejo agronómico en la dinámica de los polinizadores y visitantes florales en general.

Otro aspecto de gran importancia en lo que respecta al estudio de polinizadores y visitantes florales en el ámbito agrícola lo representa el comprender las percepciones de los agricultores acerca de la importancia de la polinización en la producción de cultivos, ya que ello puede ayudar a desarrollar estrategias que permitan reducir actitudes que impacten negativamente a los polinizadores, y a promover la adopción de prácticas agrícolas congruentes con el medio ambiente (Munyuli, 2011).

Investigaciones como las de Munyuli (2011), Misganaw et al. (2017) y Bhattacharyya et al. (2017), han explorado el nivel de conocimiento y percepción de polinizadores (principalmente insectos) entre campesinos de diferentes comunidades agrícolas de África y Asia. De forma general, sus resultados indican que los campesinos desconocen la importancia que tienen los polinizadores para la producción de diferentes cultivos, incluso, algunos de ellos los categorizan como plagas. En otro trabajo, Hanes et al. (2013) estudiaron la percepción de campesinos productores de arándanos respecto a las abejas silvestres que polinizan dicho cultivo en Estados Unidos y encontraron que la mayoría de ellos concordó en que, aunque los consideraban importantes, su susceptibilidad a los factores climáticos (como las bajas temperaturas y la lluvia) que coinciden con la temporada de floración de dicho cultivo, perjudicaban su eficiencia.

Uno de los cultivos originarios de Mesoamérica que sigue siendo un elemento importante para la alimentación de un sector de la población mexicana y para la economía de los agricultores que se

dedican a su producción es el frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). Para su polinización, esta especie requiere la intervención de animales, ya que presenta un sistema de reproducción mayoritariamente de polinización cruzada (Labuda, 2010). Se ha reportado que la especie a la cual pertenece este frijol es la única del género *Phaseolus* que se poliniza con ayuda de abejas, abejorros y colibríes (Búrquez y Sarukhán, 1980).

A la fecha se han realizado varios estudios sobre el papel que tienen los polinizadores en la producción de *P. coccineus* (Free, 1966; Blackwall, 1971; Williams y Free, 1975; Kendall y Smith, 1976; Pando et al., 2011 y Tekombo et al., 2012). Sin embargo, la mayoría de estos trabajos fueron realizados bajo condiciones controladas, ya sea en invernadero o en campo, y solo evaluaron variables climáticas o fenológicas para explicar la interacción planta-polinizador, sin considerar variables agronómicas ni de paisaje.

Con base en los elementos previamente expuestos es que se consideró conveniente desarrollar una investigación orientada a conocer la diversidad y composición de la comunidad de visitantes florales de *P. coccineus* bajo dos condiciones de manejo agronómico comúnmente empleadas por los agricultores que se dedican a su cultivo, a cuantificar la importancia de la presencia de polinizadores en la producción de frutos y semillas de la especie y a explorar el nivel de conocimiento y opiniones de los agricultores respecto a la polinización y los polinizadores. En las siguientes secciones se amplía más sobre este particular.

Planteamiento del problema

La polinización es un servicio ecosistémico de gran importancia para el ser humano, pues además de ser vital para la reproducción de muchas especies de plantas en entornos naturales, se estima que un 75% de los cultivos a nivel mundial y un 85% a nivel nacional se benefician de la polinización mediada por animales para la producción de semillas y frutos (Klein et al., 2007). No obstante lo anterior, se ha reportado que algunas prácticas de manejo agrícola, como la aplicación de pesticidas (Bonmatin et al., 2005; NRC, 2007; Lu et al., 2014, Barranco et al., 2015), así como algunas modificaciones a los entornos naturales, tales como el aumento del aislamiento entre parches y la reducción de diversidad orográfica y vegetal (Connor, et al., 2000; Biesmeijer et al., 2006), tienen un impacto negativo en las poblaciones de polinizadores. Además, se ha señalado

que una disminución en la cantidad de estos vectores biológicos puede tener efectos negativos en el rendimiento de los cultivos (Biesmeijer et al., 2006; Xiao et al., 2016).

Entre los géneros vegetales de importancia agronómica para el hombre se encuentra el género *Phaseolus*, el cual incluye cinco especies domesticadas: *P. vulgaris* (frijol común), *P. lunatus* (frijol lima), *P. acutifolius* (frijol tépari), *P. coccineus* (frijol ayocote) y *P. dumosus* = *P. polyanthus* (= *i* ssp. *darwinianus*) (frijol de año) (Freitag y Debouck, 2002) (Anexo 1). A diferencia del frijol común, *P. coccineus* es una especie que requiere de polinización cruzada en la cual, los vectores biológicos (mayoritariamente silvestres), entre los que se incluyen abejas, abejorros y colibríes, son claves para su reproducción (Burquez y Sarukán, 1984).

Los estudios desarrollados a la fecha sobre la polinización en el cultivo de frijol ayocote han explorado aspectos tales como el efecto de polinizadores en la producción de vainas y semillas (Free, 1966), la eficiencia de insectos polinizadores en el amarre de vainas y la identificación de visitantes florales (Blackwall, 1971), y el efecto de la autopolinización y la polinización cruzada en los primeros días de floración (Williams y Free, 1975). También se ha comparado el efecto que tienen diferentes especies de abejorros en la producción de vainas respecto al efecto generado por abejas, particularmente por *Apis mellifera* (Kendall y Smith, 1976). Adicionalmente se ha evaluado la actividad de pecoreo de abejas carpinteras y su influencia en la producción de vainas y semillas (Tekombo et al., 2012; Pando et al., 2011). Estas investigaciones han demostrado que el éxito reproductivo de ayocote se incrementa con la actividad de abejas y abejorros, que no solo la abeja melífera participa en la polinización de cultivo, sino que otras especies diferentes de abejas y abejorros silvestres son importantes y que, a pesar de que los insectos parecen no tener una participación activa durante los primeros días de floración, probablemente por la baja densidad de flores, en días posteriores aquélla se incrementa, por lo que la producción de vainas y semillas se normaliza e incluso aumenta. Un aspecto que es importante señalar es que la mayor parte de estos trabajos se han llevado a cabo bajo las mismas condiciones de manejo agronómico (riego constante, aplicación de la misma cantidad de fertilizantes) o bien en condiciones de invernadero. Ninguna se ha desarrollado en México ni bajo condiciones de campo, tomando en cuenta las variaciones en sistemas de producción existentes o la variación en el color de la flor, característica que en diversos estudios se ha mencionado está relacionada con la atracción de polinizadores y visitantes florales en lo general.

A pesar de la importancia del cultivo de *P. coccineus* en México, y en particular en el estado de Puebla (único productor a nivel nacional de esta especie, de acuerdo con información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2017)), han sido muy pocas las investigaciones sobre el mismo. Entre ellas pueden destacarse las siguientes: Búrquez y Sarukhán (1984), estudiaron la biología floral de poblaciones silvestres y cultivadas de *P. coccineus* en la cuenca de la región sur de México, Cuautla y Cuernavaca. Vargas-Vázquez e Irizar (2001) por su parte, estudiaron la distribución de materia seca en los órganos aéreos de frijol ayocote de la variedad “Blanco Tlaxcala”, sembrada en diferentes densidades poblacionales. En otro trabajo, González-Cruz et al. (2018) evaluaron la influencia de la colecta sobre la composición química del frijol ayocote, así como la capacidad citotóxica de los péptidos generados de la hidrólisis enzimática del aislado proteínico. En lo que respecta a estudios de diversidad, Vargas-Vázquez et al. (2011) caracterizaron 98 accesiones de frijol ayocote de la provincia fisiográfica Carso Huasteco de Puebla, con base en atributos fenológicos, del color y la dimensión de la semilla y Vargas-Vázquez et al. (2014) caracterizaron las semillas, los ciclos de cultivo y plasticidad fenológica de 231 variedades nativas de frijol ayocote de la colección del banco de germoplasma del INIFAP, correspondiente a las provincias fisiográficas del Eje Neovolcánico y La Sierra Madre Oriental.

En cuanto al manejo agronómico de *P. coccineus* en el Distrito de Desarrollo Rural (DDR) de Libres, Puebla, López (2018) plantea que aun cuando está sustentado en el conocimiento tradicional, se han incorporado diversas prácticas agrícolas más tecnificadas, como el uso de maquinaria, el control de malezas y la aplicación de agroquímicos, particularmente para el control de plagas y enfermedades. El uso de agroquímicos reportado y la expansión de las áreas agrícolas podrían estar incidiendo negativamente en las poblaciones de polinizadores y, consecuentemente, en el rendimiento agronómico del ayocote.

Los agricultores pueden jugar un papel importante en la conservación de los polinizadores si se les hace conscientes de la importancia que tienen para mejorar su sustento y la sostenibilidad de sus sistemas agrícolas (Munyuli, 2011). En este sentido, debería considerarse como parte del proceso de conservación la educación del agricultor y/o del consumidor acerca del proceso de polinización, puesto que ello podría representar un punto clave en la reducción de costos para la producción de alimentos en el camino hacia la seguridad alimentaria (Pérez-Balam et al., 2012; Mallinger y Gratton, 2015).

De lo antes expuesto es evidente que, si bien se han desarrollado investigaciones sobre el tema de polinización en frijol ayocote, a la fecha no se ha explorado el cambio que podría presentarse en el ensamble de visitantes florales a causa de los diferentes sistemas de producción del cultivo, ni a precisar qué tan importante es la participación de los polinizadores en la producción de vainas y semillas de esta especie. Por otra parte, tampoco se ha documentado el conocimiento que los agricultores tienen respecto a la polinización, los polinizadores y sus efectos, por lo que esta investigación propone estudiar el impacto que tienen los sistemas de producción de *P. coccineus* sobre la diversidad de visitantes florales, el efecto de los polinizadores en la producción de frutos y semillas de frijol ayocote y, finalmente recopilar el conocimiento y opiniones de los agricultores de dicho cultivo respecto a la polinización y los polinizadores. Todo ello constituye el problema de investigación a abordar.

Preguntas de investigación

1. ¿La riqueza, diversidad y número de visitas de visitantes florales se ven afectadas por el tipo de manejo agronómico y el color de las flores de dos variedades de *P. coccineus*?
2. ¿Cómo influye el acceso de polinizadores en el rendimiento y las características de frutos y semillas de *P. coccineus* bajo dos sistemas de manejo agronómico y considerando dos coloraciones de flor?
3. ¿Qué tanto conocen y qué opinan los agricultores, respecto al servicio ambiental de la polinización y la importancia que tienen los polinizadores en la producción de semillas de *P. coccineus*?
4. ¿Qué prácticas del manejo agronómico empleadas por agricultores del Valle de Puebla en el cultivo de *P. coccineus* podrían estar siendo perjudiciales para la salud y conservación de los polinizadores?
5. ¿Qué tan dispuestos están los agricultores a implementar prácticas que favorezcan la conservación de los polinizadores?

OBJETIVOS

Objetivo General

Caracterizar los visitantes florales de dos variedades de frijol ayocote bajo dos condiciones de manejo agrícola contrastante y evaluar las consecuencias sobre el rendimiento del cultivo, además de recopilar el conocimiento tradicional que los campesinos locales tienen sobre este cultivo.

Objetivos Particulares

1. Caracterizar la riqueza y diversidad de visitantes florales presentes en el cultivo de *P. coccineus* y cuantificar el número de visitas bajo dos sistemas de manejo agronómico (tradicional y tecnificado) y dos variedades con diferente color de flor (blanco y rojo).
2. Determinar la importancia de la polinización biótica sobre el rendimiento y las características de las semillas de *P. coccineus* manejado bajo dos sistemas distintos (tradicional y tecnificado) y utilizando dos variedades con diferente color de flor (blanco y rojo).
3. Recopilar el conocimiento y opiniones de los agricultores respecto a la polinización y los polinizadores, detectar algunas prácticas de manejo del cultivo que pudieran incidir de forma negativa en la salud y diversidad de polinizadores y conocer la disposición de los agricultores a implementar prácticas que favorezcan la conservación de los polinizadores.

HIPÓTESIS

1. La riqueza y diversidad de visitantes florales del frijol ayocote será mayor en el sistema de manejo tradicional, debido a que, al tener un menor impacto en los agroecosistemas puede propiciar la existencia de condiciones que favorezcan la presencia de visitantes en los cultivos.
2. El color de flor influirá en la riqueza, diversidad y actividad de los visitantes florales dado que los insectos y las aves (como los colibríes) perciben el color en rangos de longitudes de onda diferentes. Los insectos (especialmente las abejas) preferirán visitar flores blancas, mientras que los colibríes preferirán las flores rojas.
3. La producción de frutos y semillas será mayor en aquellas plantas cuyas flores tengan acceso a los polinizadores, particularmente bajo el manejo tradicional, pero independientemente de la variedad, debido a que se favorecerá una mayor presencia de polinizadores y a que el transporte de polen en *P. coccineus* depende en gran medida de la intervención de agentes bióticos, los cuales tendrán la posibilidad de acceder a las estructuras sexuales florales en aquellas plantas que permanezcan descubiertas.
4. Los frutos y semillas que provengan de plantas con flores expuestas a visitantes florales tendrán mejores características respecto de aquellos frutos y semillas que provengan de plantas con flores con exclusión de visitantes florales, ya que al permitir las visitas de polinizadores se mejora la calidad de tales estructuras, independientemente de la variedad y del sistema de manejo.
5. De acuerdo con la literatura consultada, se espera que la mayoría de los agricultores desconocerán qué es la polinización, su importancia, y el papel que desempeña en el desarrollo del cultivo de *P. coccineus*; sin embargo, se espera que lograrán identificar a los visitantes florales que suelen interactuar en el cultivo e incluso los diferenciarán de aquellas especies que son consideradas plagas del cultivo.

CAPÍTULO I. VISITANTES FLORALES EN EL CULTIVO DE *Phaseolus coccineus* (Fabaceae) EN EL ALTIPLANO DE PUEBLA, MÉXICO: IMPORTANCIA DEL MANEJO AGRÍCOLA Y COLOR DE FLOR¹

1.1 RESUMEN

Antecedentes y objetivos: *Phaseolus coccineus* es una planta alógama, con polimorfismo floral, que depende de polinizadores para su reproducción. La especie se cultiva bajo dos modalidades, una en la cual no se emplean agroquímicos para controlar arvenses y plagas (manejo tradicional) y otra en la que sí se usan (manejo tecnificado). No existen estudios que hayan evaluado la importancia del manejo agrícola y color de flor sobre los visitantes florales de esta especie, por lo que nuestro objetivo fue analizar cómo influyen estos factores en la diversidad y frecuencia de visitantes florales de *P. coccineus*.

Métodos: Se estudiaron dos variedades de *P. coccineus* (de flor blanca o roja), cultivadas bajo dos sistemas de manejo. En el pico de floración, durante ocho días, se realizaron observaciones simultáneas, contabilizando el número de visitantes y de visitas. Se calculó la riqueza específica y los números de especies efectivas como medida de diversidad, se aplicaron pruebas de chi-cuadrada, se practicó un análisis de correspondencias y se construyeron gráficos de rango-abundancia.

Resultados clave: Se registraron 42 morfoespecies, agrupadas en seis órdenes; predominaron *Apis mellifera* e *Hylocharis leucotis*. El número de visitas registradas fue de 1613 y 1105 en manejo tradicional de flores blancas y rojas, respectivamente, y de 1427 y 815 en el manejo tecnificado, existiendo diferencias estadísticas consistentes entre manejos, no así para color de flor. En flores blancas, el manejo tradicional fue dos veces más diverso que el tecnificado; en flores rojas, la diferencia fue de 1.26 veces.

Conclusiones: La diversidad y frecuencia de visitantes florales de *P. coccineus* se ven favorecidas por el manejo agrícola tradicional, ello fundamenta la conveniencia de fomentar esta modalidad de cultivo. Bajo las condiciones estudiadas, el color de flor no influyó en la riqueza de especies ni mostró tendencias definidas en la frecuencia de visitas.

¹ Una versión más elaborada de este escrito se ha publicado recientemente en la revista Acta Botánica Mexicana: Cúe-Hernández, K. A., A. Gil-Muñoz, A. Aguirre-Jaimes, P. A. López y O. R. Taboada-Gaytán. 2022. Floral visitors in the crop *Phaseolus coccineus* (Fabaceae) on the Altiplano of Puebla, Mexico: importance of agricultural management and flower color. Acta Botánica Mexicana 129: e2054.

Palabras clave: abejas, ayocote, colibríes, frijol, polinización, sistema agrícola

CHAPTER I: Floral visitors in the crop *Phaseolus coccineus* (Fabaceae) on the Altiplano of Puebla, Mexico: importance of agricultural management and flower color.

1.2 ABSTRACT

Background and Aims: *Phaseolus coccineus* is an allogamous plant, with variation in flower color, and reproduction that depends on pollinators. The species is cultivated under two approaches: one in which agrochemicals are not used to control weeds and pests (traditional management) and another in which they are (technified management). No studies have evaluated the influence of agricultural management system and flower color on the floral visitors of this species; our objective was therefore to analyze how these factors affect the diversity and frequency of the floral visitors of *P. coccineus*.

Methods: A study was conducted with two landraces of *P. coccineus* (white-flowered and red-flowered), cultivated under two different management systems. Simultaneous observations were conducted for a period of eight days during the peak of flowering, quantifying the number of floral visitors and visits. Species richness and the effective number of species were calculated, the latter was used as a measure of diversity. Chi-square tests were applied, a correspondence analysis performed, and rank abundance curves constructed.

Key results: Forty-two morphospecies were recorded, grouped into six orders. *Apis mellifera* and *Hylocharis leucotis* were the predominant species. The numbers of visits recorded under traditional management were 1613 and 1105 in white and red flowers, respectively. Under the technified management, these values were 1427 and 815, respectively. There were consistent statistical differences between management systems, but not for flower color. In the white flowers, the traditional management was twice more diverse than the technified management. In the red flowers, this difference was 1.26 times.

Conclusions: The diversity and frequency of floral visitors of *P. coccineus* are favored by the traditional agricultural management, demonstrating the desirability of promoting this type of cultivation. Under the conditions studied, flower color did not influence the species richness or demonstrate any defined tendencies on the frequency of visits.

Key words: agricultural system, bees, hummingbirds, pollination, runner bean.

1.3 INTRODUCCIÓN

La importancia que tiene la polinización mediada por animales en la agricultura es evidente, ya que la producción de 87 de los 124 cultivos que aportan el 99 % del volumen mundial de alimentos aumenta gracias a la polinización biótica y lo mismo ocurre en 91 de los 107 cultivos que se comercializan en el mundo (excluyendo los que se autofecundan, son polinizados por el aire o son partenocárpicos) y que son consumidos por el hombre (Klein et al., 2007).

A pesar de la relevancia de la polinización biótica, durante la última década, diversos estudios han alertado sobre la disminución de polinizadores alrededor del mundo (Biesmeijer et al., 2006; Potts et al., 2010; Burkle et al., 2013) y las graves consecuencias que ello podría provocar sobre la biodiversidad global (Lundgren et al., 2016), la producción agrícola (Aizen y Harder, 2009) y el suministro de alimentos para la población humana (Eilers et al., 2011).

Dentro de los principales factores que conducen a la pérdida o reducción de polinizadores se encuentran: a) el cambio de uso de suelo, el cual implica la modificación y pérdida del hábitat natural y seminatural (Potts et al., 2010) y b) la intensificación de la actividad agrícola (Garibaldi et al., 2013; Altieri y Nicholls, 2013). En lo que se refiere al cambio de uso del suelo, se ha encontrado que afecta no solamente a los polinizadores, sino también a los visitantes florales en general, como lo demostraron Deguines et al. (2012) quienes detectaron una afinidad negativa de los visitantes (excepto himenópteros) por las áreas urbanas y positiva por las agrícolas y las naturales.

En cuanto a la intensificación agrícola, se ha documentado que en cultivos de *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner, el empleo de prácticas menos intensivas, como el uso de una mayor diversidad de árboles de sombra, la poda de los mismos (para aumentar los niveles de luz y de herbáceas con flores), el aumento de sitios de anidamiento, un mínimo control de malezas y la disminución en la aplicación de herbicidas, pueden incrementar la diversidad de abejas (Klein et al., 2003). En *Theobroma cacao* L, la mayor cantidad de polinizadores se encontró en sistemas de producción tradicionales, seguidos por los sistemas de manejo intensivo convencional y el orgánico (Salazar-Díaz y Torres-Coto, 2017). En viñedos se observó que el manejo orgánico dio como resultado comunidades con mayor riqueza de especies herbáceas y lepidópteros, en comparación con los de manejo convencional (Puig-

Montserrat et al., 2017). Finalmente, en *Cajanus cajan* (L.) Millsp., el uso de plaguicidas afectó negativamente la abundancia de polinizadores mientras que la aplicación de fertilizantes aumentó la presencia de plagas, por lo que se recomendó recurrir a prácticas de manejo menos agresivas, como la reducción del uso de plaguicidas y de fertilizantes (Otieno et al., 2011).

Se ha demostrado que el uso de plaguicidas afecta la supervivencia y el éxito reproductivo de los polinizadores (Potts et al., 2010; Roulston y Goodell, 2011; Gill et al., 2012; Rundlöf et al., 2015) y que la aplicación de herbicidas conduce a la pérdida de sitios de anidamiento y recursos importantes para los polinizadores (por ejemplo, néctar, polen, aceites y compuestos aromáticos) (Holszschuh et al., 2008). Además, se ha documentado que los servicios de polinización aumentan cuando se incrementa la diversidad y abundancia de parches florales dentro de las parcelas, propiciando de esta manera, la presencia de polinizadores silvestres que son más eficientes que la abeja melífera (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) (Shuler et al., 2005; Norfolk et al., 2016; Lucas et al., 2017; Villamil et al., 2018; Eeraerts et al., 2019).

Para que el proceso de polinización se lleve a cabo, las plantas poseen rasgos florales que influyen en la atracción de uno o más grupos específicos de polinizadores (Olesen y Jordano, 2002). Uno de estos rasgos es el color de la flor, el cual actúa como una señal para la búsqueda de alimento por parte de los polinizadores, influyendo en su constancia, tasa de visitas y eventualmente en el éxito reproductivo de las plantas (Chittka et al., 1994). Dentro de los polinizadores que tienen capacidades visuales diferenciadas para la identificación de colores se encuentran las abejas y los colibríes (de Camargo et al., 2019). Las primeras poseen un sistema visual tricromático que es más sensible a longitudes de onda ultra violeta, azul y verde (Menzel y Backhaus, 1991), mientras que los segundos, exhiben un sistema tetracromático, sensible al rango de longitud de onda violeta y roja (Ödeen y Hastad, 2010), lo que sugiere que las flores que reflejan el color rojo, son visitadas preferentemente por colibríes y resulten ser menos atractivas para abejas (Cronk y Ojeda 2008).

Un buen modelo para evaluar la importancia del color de las flores, así como el tipo de manejo agrícola sobre los visitantes florales y potenciales polinizadores es *Phaseolus coccineus* L. (Fabaceae), conocido localmente como “frijol ayocote” (Fig. 1), especie originaria de México que presenta poblaciones silvestres y cultivadas (Burquez y Sarukhán, 1980). Estas últimas son de particular relevancia para los agricultores del centro-oriente de Puebla, principal región

productora de ayocote en México (López-Báez et al., 2018) y también son elementos importantes en la dieta de diversas regiones del país. A diferencia del frijol común (*P. vulgaris* L.), *P. coccineus* requiere de polinización cruzada, llevada a cabo principalmente por abejas, abejorros y colibríes, la mayoría de ellos silvestres (Burquez y Sarukhán, 1980; Labuda, 2010). Los estudios sobre polinización en este cultivo se han enfocado a la caracterización de visitantes florales (Burquez y Sarukhán, 1980), a los mecanismos de polinización (autopolinización y la polinización cruzada) en los primeros días de floración (Williams y Free, 1975), así como la eficiencia de diferentes especies de polinizadores sobre el éxito reproductivo (Free, 1966; Kendall y Smith, 1976; Pando *et al.*, 2011; Tchuengem Fohouo et al., 2014). Ello evidencia que no se han realizado estudios orientados a conocer si la comunidad de visitantes florales de *P. coccineus* y su actividad varía en función del tipo de manejo agrícola empleado y la coloración de las flores.

Con base en lo antes expuesto, nuestros objetivos fueron 1) caracterizar la diversidad de visitantes florales presentes en el cultivo de *P. coccineus* y 2) cuantificar el número de visitas bajo dos sistemas de manejo agrícola (tradicional y tecnificado) y en dos colores de flor (blanco y rojo).

Se predijo que: 1) la riqueza y diversidad de visitantes florales será mayor en el sistema de manejo tradicional, debido a que, al tener menor impacto ambiental, presentará condiciones que favorecerán la presencia de visitantes en los cultivos y 2) que el color de flor influirá en la riqueza, diversidad y actividad de visitantes florales, pues, debido a que los insectos y las aves -como los colibríes- perciben el color en rangos de longitudes de onda diferentes, los insectos (particularmente abejas) preferirán visitar flores blancas, en tanto que los colibríes preferirán las flores rojas.

1. 4 MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el estado de Puebla, México, en la localidad de San Andrés Calpan, ubicada a los 19° 06' 28" N, 98° 27' 33" O y 2430 msnm (INEGI, 2010). El clima predominante

es templado subhúmedo con lluvias en verano (C(w₂)), las cuales oscilan entre 900 y 1100 mm; la temperatura media anual varía entre los 12 y 18 °C (INEGI, 2019; 2010).

1.4.2 Parcelas de estudio

Se eligieron dos parcelas de cultivo, cada una de 1000 m², separadas 100 m entre sí por franjas de cultivos de avena (*Avena sativa* L.) y de maíz (*Zea mays* L.). En los bordes de cada parcela había árboles de manzana (*Malus domestica* Borkh.). En cada parcela se sembraron dos poblaciones nativas de *P. coccineus*, identificadas como Población 89 (semilla negra y flores rojas) y Población 46 (semilla y flores blancas). Cada parcela se dividió en ocho cuadrantes, permitiendo alternar las dos variedades de *P. coccineus*. De esta manera, se intercalaron parches de la población con flores rojas y parches de la población con flores blancas, obteniéndose un patrón de mosaico. Cada cuadrante estuvo formado por siete surcos de 22 m de largo y 0.75 m de ancho; en cada surco se sembraron dos semillas cada 50 cm. Los cuatro cuadrantes de cada población en cada parcela, se consideraron como repeticiones. La siembra se realizó el 30 de mayo del 2019.

1.4.3 Manejo agronómico

Una parcela recibió el manejo agronómico denominado como “Tecnificado” (TE), el cual consistió en la aplicación de agroquímicos para controlar malezas y plagas. Las malezas se controlaron a los 25 días después de siembra (dds) con un herbicida (bentazona), a una dosis de 2 l·ha⁻¹, en tanto que para las plagas se realizó una aplicación a los 61 dds, con un insecticida (lambda cyalotrina), a una dosis de 0.1 l·ha⁻¹. La segunda parcela, recibió el manejo agronómico denominado como “Tradicional” (TR), en el que las malezas se controlaron manualmente y no se realizó control de plagas. En ambas parcelas se fertilizó con la fórmula 60N-60P-00K (kg·ha⁻¹ de Nitrógeno, Fósforo y Potasio) en una sola ocasión, aplicada a los 34 dds, utilizando como fuentes fosfato diamónico y urea.

1.4.4 Observación y muestreo de visitantes florales

La observación y muestreo de visitantes florales en ambos sistemas de manejo y variedades se llevó a cabo durante el pico de floración (entre los 69 y 76 días, entre los meses de agosto y septiembre, 2019). En ese periodo, se realizaron observaciones en cada parcela, alternando los días de observación entre ellas. De este modo, se emplearon cuatro días para cada sistema de manejo.

Cada día se seleccionaron de forma aleatoria tres puntos de observación, ubicados en las intersecciones de los cuadros del mosaico, para tener la oportunidad de observar simultáneamente las dos variedades. En cada punto seleccionado, en cada variedad, se delimitó un área vertical de observación de las plantas de 250 cm² (50 cm de largo × 50 cm ancho) (Pinilla-Gallego y Nates-Parra, 2015), empleando para ello un cuadro de madera. Las observaciones de visitantes florales se efectuaron en esa área, en un horario que comprendió entre las 8:00 y las 17:00 h; se consideraron solamente flores en antesis.

La observación de insectos se realizó a las 8, 10, 12, 14 y 16 h, mientras que la de aves fue a las 9, 11, 13 y 15 h. En cada hora, en cada punto de observación, durante 10 minutos se registraron los visitantes que llegaron a las flores en antesis; transcurrido ese tiempo, se tomaron 10 minutos para el traslado y ubicación en el siguiente punto de observación y así sucesivamente. En cada período de observación se registró la frecuencia e identidad de los insectos o aves que visitaron las flores.

Para la identificación de los insectos, se realizaron colectas de uno o dos individuos por especie, con ayuda de una red entomológica, a través de recorridos en la parcela, esto durante los minutos de traslado a cada punto de observación. Los insectos capturados se colocaron en una cámara letal con acetato de etilo, y posteriormente en frascos con alcohol al 70 %, los cuales fueron etiquetados con el nombre de la localidad, la fecha y la hora, para su posterior identificación en laboratorio. En el laboratorio fueron montados e identificados al menor nivel taxonómico posible con ayuda de expertos en la taxonomía de los grupos y con claves taxonómicas. En el caso de los insectos de los órdenes Lepidóptera, Coleoptera y Hemiptera, se realizaron observaciones directas entre los traslados a cada punto de observación y se tomaron fotografías para posteriormente identificarlos al menor nivel taxonómico posible. En el caso de los colibríes, no se colectaron; solo se fotografiaron e identificaron *in situ* con ayuda de la guía especializada de Peterson y Chalif (2000).

1.4.5 Análisis de datos

Una vez identificados los visitantes florales, se procedió a calcular la riqueza específica y la frecuencia de visitas por especie y por orden, para cada tipo de manejo agrícola y color de flor. Se realizaron pruebas de Chi cuadrada para determinar diferencias en la riqueza de especies y el número total de visitas (a nivel taxonómico de orden), para las diferentes combinaciones de manejo

agrícola y color de flor. Los análisis se realizaron con el programa SAS University[®] (SAS Institute Inc., 2020).

Para analizar la diversidad de visitantes florales en cada manejo agrícola combinado con el color de flor, se empleó el exponencial del índice de entropía de Shannon, el cual se expresa en unidades de especies efectivas y permite hacer comparaciones directas entre comunidades (Jost, 2006; Moreno et al., 2011). Estos valores se calcularon con el software SPADE[®] (Chao y Shen, 2019). También se elaboraron gráficas de rango-abundancia para analizar la frecuencia relativa y los cambios en la composición de especies visitantes en cada combinación de sistema de manejo y color de flor. Para ello se empleó el \log_{10} del número de visitas de cada especie por manejo agrícola para ambos colores de flor, lo que aportó información relativa a la distribución de las especies sin perder la identidad de estas y sus frecuencias de visita (Rocchini y Neteler, 2012). Para determinar si las especies tenían afinidad por cierto sistema de manejo y color de flor, con el número de visitas por especie se realizó un análisis de correspondencia simple, utilizando el procedimiento CORRESP de SAS University[®] (SAS Institute Inc., 2020).

La eficiencia de muestreo de las especies por sistema de manejo agrícola y color de flor se calculó a partir del estimador no paramétrico Chao 2, ya que éste no se ajusta a un modelo matemático paramétrico y considera las especies observadas en exactamente una y dos unidades de muestreo (Alfaro y Pizarro-Araya, 2017). Para obtener el estimador se utilizó el programa EstimateS[®] V. 9.1.0 (Colwell, 2013). Para eliminar el efecto del orden en que son agregadas las muestras se realizaron 100 aleatorizaciones (Pineda y Verdú, 2013), considerando los 12 puntos de observación como esfuerzo de muestreo.

1.5 RESULTADOS

Se registraron un total de 42 especies de visitantes florales, distribuidas en seis órdenes: Hymenoptera (14 especies), Lepidoptera (13 especies), Diptera (siete especies), Apodiformes (cinco especies), Coleoptera (dos especies) y Hemiptera (una especie). En el manejo tradicional con flores blancas, se registraron 1613 visitas, mientras que en flores rojas fueron 1105 visitas. En

el manejo tecnificado se registraron 1427 y 815 visitas en flores blancas y rojas, respectivamente (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1 Registro de especies y su frecuencia total de visitas en flores de dos variedades de *P. coccineus* bajo dos manejos agrícolas.

Orden	Especie	Manejo agrícola			
		Tradicional		Tecnificado	
		Color de flor		Color de flor	
		Blanca	Roja	Blanca	Roja
Hymenoptera	<i>Bombus</i> Latreille, 1802 sp. 1	32	20	25	8
	<i>Bombus ephippiatus</i> Say, 1837	4	0	0	0
	<i>Anthophora</i> Latreille, 1803 sp. 1	0	1	3	4
	<i>Anthophora</i> Latreille, 1803 sp. 2	0	0	0	1
	<i>Xylocopa</i> Latreille, 1802, 1802 sp. 1	0	0	0	2
	<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	780	668	1144	631
	<i>Vespula squamosa</i> Dury, 1773	0	0	1	0
	<i>Brachygastra mellifica</i> Say, 1837	14	11	30	16
	<i>Sphex</i> Linnaeus, 1758 sp. 1	0	0	2	0
	<i>Diadasia</i> Patton, 1879 sp. 1	0	0	2	3
	<i>Peponapis</i> Robertson, 1902 sp. 1	9	15	5	12
	<i>Peponapis</i> Robertson, 1902 sp. 2	0	0	0	4
	<i>Xylocopa</i> Latreille, 1802 sp. 2	3	0	0	1

Orden	Especie	Manejo agrícola			
		Tradicional		Tecnificado	
		Color de flor		Color de flor	
		Blanca	Roja	Blanca	Roja
	<i>Eucera</i> Scopoli, 1770 sp. 1	0	0	0	1
Coleoptera	<i>Hippodamia</i> Dejean, 1837 sp. 1	1	0	1	2
	<i>Macroductylus mexicanus</i> Burmeister, 1855	3	2	16	2
Hemiptera	<i>Euschistos</i> Dallas, 1851 sp. 1	0	1	0	0
Diptera	<i>Musca domestica</i> Linnaeus, 1758	2	1	9	8
	<i>Fannia canicularis</i> Linnaeus, 1761	0	0	1	0
	<i>Musca</i> Linnaeus, 1758 sp. 1	0	0	5	0
	<i>Culex</i> Linnaeus, 1758 sp. 1	2	1	4	5
	<i>Eristalis tenax</i> Linnaeus, 1758	2	0	0	0
	<i>Allograpta obliqua</i> Say, 1823	2	3	1	3
	<i>Allograpta</i> Osten Sacken, 1875 sp. 1	0	1	0	0
	<i>Urbanus dorantes</i> Stoll, 1790	8	0	4	0
Lepidoptera	<i>Lerema accius</i> Smith, 1797	1	0	0	0
	<i>Colias eurytheme</i> Boisduval, 1852	0	0	0	5
	<i>Nathalis iole</i> Boisduval, 1836	0	1	0	0

Orden	Especie	Manejo agrícola			
		Tradicional		Tecnificado	
		Color de flor		Color de flor	
		Blanca	Roja	Blanca	Roja
	<i>Autochton cellus</i> Boisduval y Leconte, 1834	0	0	1	0
	<i>Lon melane</i> Edwards, 1869	1	0	1	2
	<i>Hylephila phyleus</i> Drury, 1773	0	1	0	0
	<i>Piruna</i> Evans, 1955 sp. 1	0	1	2	0
	<i>Calephelis</i> Grote y Robinson, 1869 sp. 1	0	0	0	1
	<i>Hesperopsis alpheus</i> Edwards, 1876	0	4	6	4
	<i>Polites vibex</i> , Geyer, 1832	3	5	12	10
	<i>Eunica monima</i> Stoll, 1782	0	2	0	0
	<i>Vanessa cardui</i> Linnaeus, 1758	5	2	9	3
Apodiformes	<i>Amazilia beryllina</i> Deppe, 1830	82	7	0	0
	<i>Calothorax lucifer</i> Swainson, 1827	34	0	0	0
	<i>Selasphorus rufus</i> Gmelin, 1788	241	100	35	35
	<i>Colibri thalassinus</i> Swainson, 1827	112	49	0	0
	<i>Hylocharis leucotis</i> Bourcier y Mulsant, 1846	272	209	108	52

Los resultados de la riqueza de especies por tipo de manejo y color de flor mostraron que en el manejo tradicional (TR) con flores blancas se registraron los siguientes datos por orden:

Hymenoptera (seis especies), Apodiformes (cinco especies), Lepidoptera (cinco especies), Diptera (cuatro especies) y Coleoptera (dos especies); mientras que, en flores rojas se tuvo: Lepidoptera (siete especies), Hymenoptera (cinco especies), Apodiformes y Diptera (cuatro especies cada uno), Coleoptera y Hemiptera (una especie cada una). En el manejo tecnificado (TE) con flores blancas, los datos fueron: Hymenoptera (ocho especies), Lepidoptera (siete especies), Diptera (cinco especies), Coleoptera y Apodiformes (dos especies cada uno), y en las flores rojas: Hymenoptera (11 especies), Lepidoptera (seis especies), Diptera (tres especies), Coleoptera y Apodiformes (dos especies cada uno). En general, los órdenes con menor número de especies fueron Coleoptera y Hemiptera (Figs. 1.1A y 1.1B).

Los patrones mencionados anteriormente se mantuvieron para el número de visitas en manejo tradicional, tanto de flores blancas como rojas, donde existió una alta frecuencia de visita de los órdenes Hymenoptera y Apodiformes; mientras que, en manejo tecnificado, en ambos colores de flor, la frecuencia de visita por parte de los Apodiformes fue menor, en tanto que la frecuencia de visitas por parte de los órdenes Lepidoptera, Coleoptera y Diptera, fue mayor respecto al manejo tradicional.

La riqueza de especies fue similar en flores blancas de la parcela TR vs la TE ($X^2 = 1.93$, g.l.=4; $P = 0.760$); lo mismo ocurrió con las flores rojas ($X^2 = 4.39$, g.l.=5; $P = 0.536$), mostrando que el sistema de manejo no influyó en la riqueza de especies de visitantes florales encontrados en cada color de flor. Al comparar la riqueza de especies registradas en flores blancas vs flores rojas en TR ($X^2 = 1.87$, g.l.= 5; $P = 0.9678$) y en TE ($X^2 = 1.06$, g.l.= 4; $P = 0.955$), tampoco hubo diferencias, sugiriendo que, al interior de cada sistema de manejo, el color de flor no influyó en la riqueza de especies de visitantes florales.

Al comparar el número de visitas en flores blancas entre tipos de manejo (TR vs TE), se encontraron diferencias ($X^2 = 480.24$, g.l.=4; $P < 0.0001$); lo mismo ocurrió al comparar el número de visitas en flores rojas entre tipos de manejo ($X^2 = 139.28$, g.l.=5; $P < 0.0001$). Ello sugiere que el sistema de manejo sí afectó el número de visitas en ambos colores de flores. El análisis más detallado de los datos mostró que en el caso de flores blancas en TE, se registró un mayor número de visitas por parte de himenópteros, lepidópteros, dípteros y coleópteros, mientras que el número de visitas de colibríes en TR fue cinco veces mayor respecto a TE (Fig. 1C). En las flores rojas, en TE, se registraron más visitas de lepidópteros, dípteros y coleópteros respecto a TR, mientras que

la mayor cantidad de visitas de himenópteros y colibríes se registró en TR (Fig. 1D). El número de visitas entre flores blancas y flores rojas dentro del TR resultó diferente ($X^2= 49.95$, g.l.=5; $P<0.0001$), indicando un efecto del color de la flor en este sistema de manejo: en flores blancas, se registró un mayor número de visitas de los órdenes taxonómicos registrados, excepto del orden Hemiptera (Figs. 1C y 1D). La comparación entre flores blancas vs flores rojas dentro del TE, no resultó significativa ($X^2=4.76$, g.l.=4: $P=0.312$), por lo que, en este sistema, el color de flor no afectó el número de visitas.

Los resultados del análisis de correspondencias mostraron que algunas especies de visitantes florales tuvieron mayor afinidad por una determinada combinación de manejo agrícola y color de flor ($X^2 = 1040.01$, $P<0.0001$). Al graficar la información de las dos primeras dimensiones (las cuales explicaron el 89.7 % de la variación total) resaltó la separación entre sistemas de manejo a lo largo de la Dimensión 1, pues en un extremo estuvieron las combinaciones que involucraron manejo tradicional (TR) y en otro las de manejo tecnificado (TE) (Fig. 1.2), sugiriendo diferencias en la asociación de especies integrantes de la comunidad de visitantes florales.

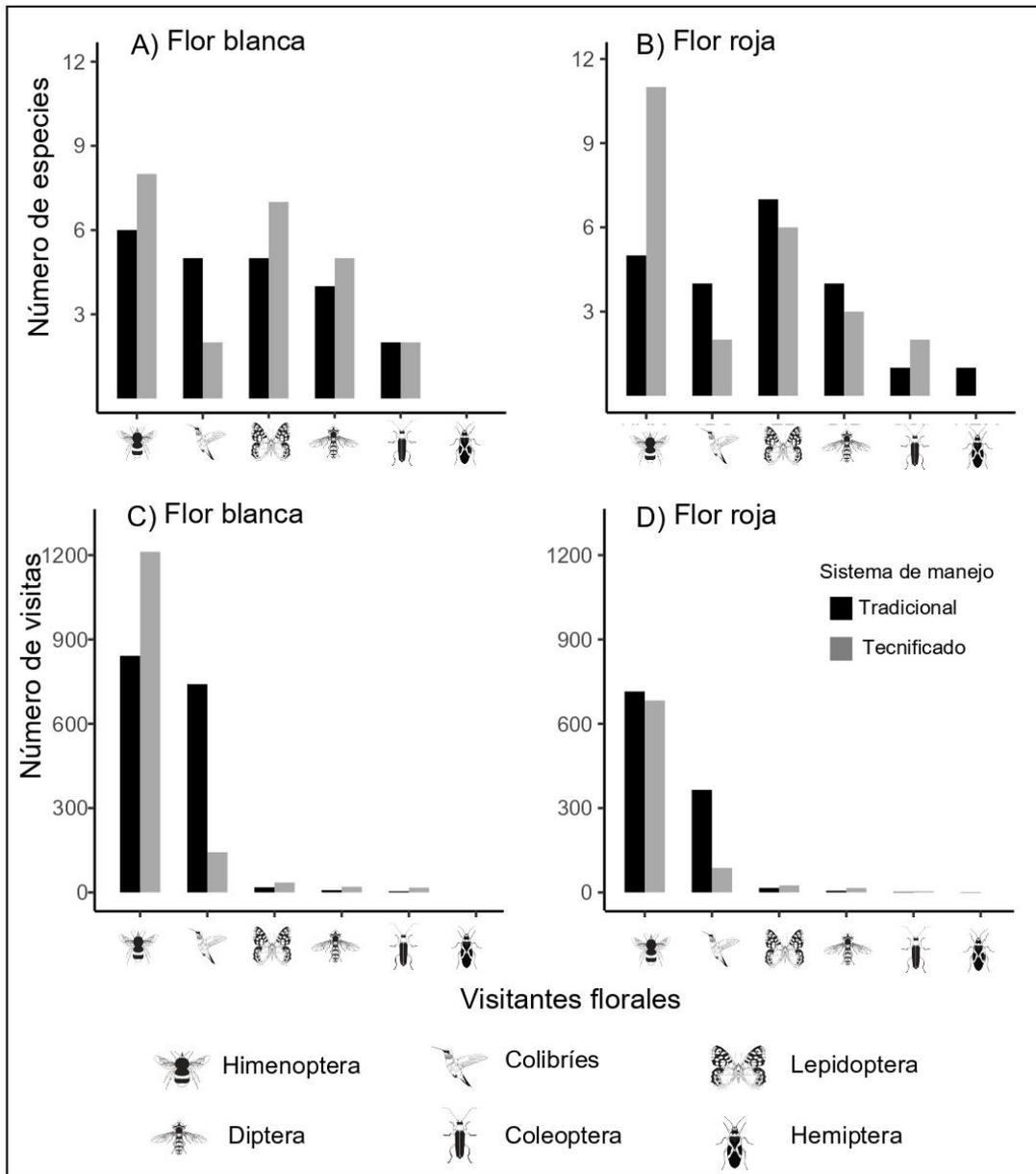


Figura 1.1 Registros por orden taxonómico y manejo agronómico del número de especies en (A) flores blancas y (B) flores rojas, y del número de visitas totales en flores blancas (C) y flores rojas (D) de *Phaseolus coccineus*.

Al analizar las relaciones de las diferentes especies de visitantes florales con cada una de las combinaciones sistema de manejo – color de flor, se encontró que *Selasphorus rufus* Gmelin, 1788, *Amazilia beryllina* Deppe, 1830 (Apodiformes) y *Urbanus dorantes* Stoll, 1790 (Lepidoptera) se

asociaron al TR con flores blancas; mientras que *Hylocharis leucotis* Bourcier y Mulsant, 1846 (Apodiformes) y *Bombus* Latreille, 1802 sp. 1 (Hymenoptera) lo hicieron con TR con flores rojas. Por otro lado, en el manejo TE se encontró que *Allograpta obliqua* Say, 1823, *Allograpta* Osten Sacken, 1875 sp. 1, *Musca domestica* Linnaeus, 1758, *Culex* Linnaeus, 1758 sp. 1 (Diptera), *Hylephila phyleus* Drury, 1773, *Vanessa cardui* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera) y *Brachygastra mellifica* Say, 1837 (Hymenoptera) tendieron a asociarse con flores rojas, mientras que *Peponapis* Robertson, 1902 sp. 1 (Hymenoptera), *Macroductylus mexicanus* Burmeister, 1855 (Coleoptera), *Hesperopsis alpheus* Edwards, 1876, *Piruna* Evans, 1955 sp. 1 (Lepidoptera) y *Fannia canicularis* Linnaeus, 1761 (Diptera), mostraron mayor afinidad con flores blancas. El resto de las especies no tuvieron una afinidad clara hacia algún sistema de manejo y color de flor. También se observó que las cinco especies de colibríes se asociaron únicamente al TR (Fig. 1.2).

Las especies dominantes en ambos sistemas de manejo y ambos colores de flores fueron *A. mellifera* y *H. leucotis* (Fig. 3). En el TR, independientemente del color de flor, la tercera y cuarta posición correspondieron a *S. rufus* y *Colibri thalassinus* Swainson, 1827 (Figs. 1.3A y 1.3C). Los cambios en la estructura de la comunidad y en el aporte a la abundancia total entre el TR con flores blancas y con flores rojas se presentaron solamente en la quinta especie dominante, la cual fue *A. beryllina* en el primer caso y *Bombus* sp1. en el segundo. En el manejo TE, las especies *S. rufus* y *B. mellifica*, ocuparon la tercera y cuarta posición (Figs. 3B y 3D). En ambos casos, la quinta especie dominante fue distinta, siendo *Bombus* sp1 en flores blancas y *Peponapis* sp1 en las rojas. Los resultados anteriores indican que, en todas las combinaciones de manejo y color de flor, las especies dominantes pertenecieron a Hymenoptera, y que en TR fue más notoria la presencia de especies de Apodiformes (Fig. 1.3).

Los resultados del número efectivo de especies mostraron que el TR con flores blancas (${}^1D=5.2$) fue más diverso que el TE con flores blancas (${}^1D=2.6$). Por otra parte, el TR con flores rojas (${}^1D=3.9$) fue también más diverso que el TE con flores rojas (${}^1D=3.1$). Es decir, en flores blancas

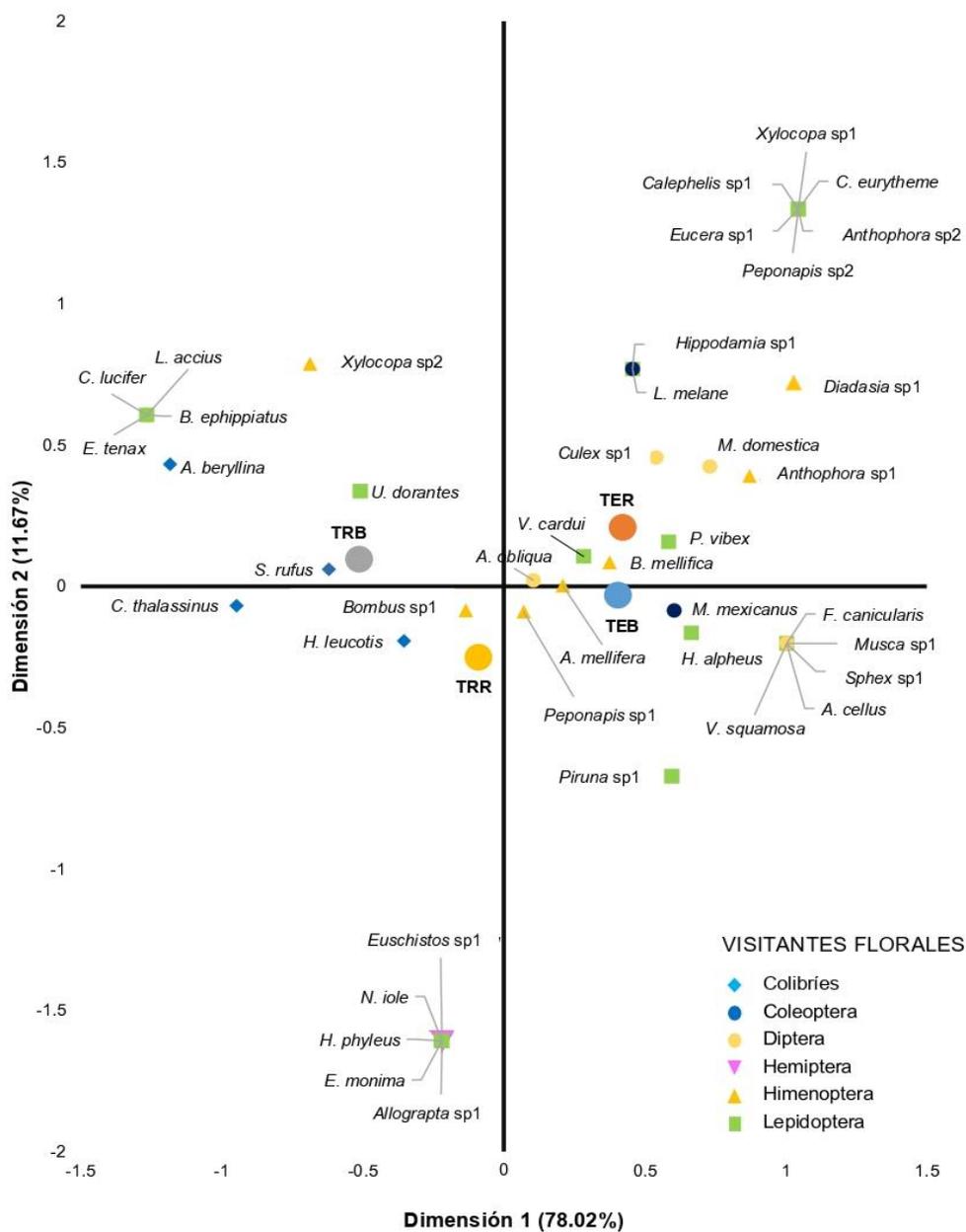


Figura 1.2. Análisis de correspondencias entre las combinaciones sistema de manejo – color de flor y las especies de visitantes florales en el cultivo de *Phaseolus coccineus*. TRADBCA = Manejo tradicional y flores blancas, TRADROJ = Manejo tradicional y flores rojas, TECBCA = Manejo tecnificado y flores blancas, TECROJ = Manejo tecnificado y flores rojas.

el TR fue dos veces más diverso en especies de visitantes florales que el TE; mientras que, en flores rojas, el TR fue 1.26 veces más diverso en especies que el TE. Al comparar los números efectivos de especies dentro de cada sistema de manejo, encontramos que el TR con flores blancas fue 1.33 veces más diverso que TR con flores rojas y en el caso del TE, los cuadrantes con flores rojas fueron 0.84 veces más diversos respecto a los de flores blancas.

Las eficiencias de muestreo obtenidas con el estimador Chao2 fueron: 83 % para el manejo tradicional con flores blancas, 60 % para el manejo tradicional con flores rojas, 30 % para el manejo tecnificado con flores blancas y 51 % para el manejo tecnificado con flores rojas. Los datos anteriores indican que es necesario realizar un mayor esfuerzo de muestreo para capturar el máximo de especies potenciales.

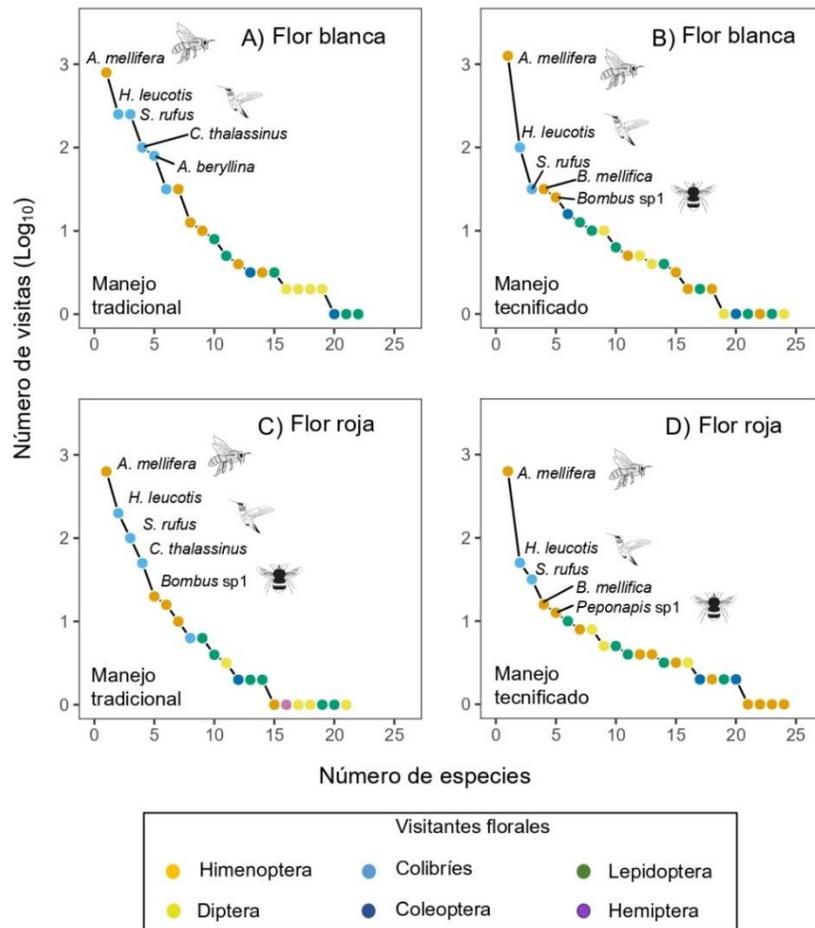


Figura 1.3 Curvas de rango abundancia para visitantes florales de *Phaseolus coccineus* con flores blancas y manejo tradicional (A) o tecnificado (B) y con flores rojas y manejo tradicional (C) o tecnificado (D).

1.6 DISCUSIÓN

1.6.1 La comunidad de visitantes florales asociados al cultivo de *P. coccineus* fue diversa.

La riqueza de especies reportada en este trabajo (42 morfoespecies), resultó mayor a la encontrada en estudios realizados fuera del área de distribución de *P. coccineus*, particularmente en cultivares de Inglaterra, como los de Free (1966), Blackwall (1971) y Kendall y Smith (1976), quienes hallaron dos, nueve y cinco especies, respectivamente. También fue mayor que lo observado en cultivares de México, pues superó lo reportado por Burquez y Sarukhán (1980) en el estado de Morelos (cinco especies reportadas, entre las que se incluyeron por primera vez a colibríes) y por Sousa-Peña (1992) en Chihuahua, donde se encontraron 16 especies de visitantes, incluidos colibríes. El mayor número de visitantes florales encontrados en nuestra investigación podría atribuirse a la combinación de flores presentes en las parcelas, así como a la diversidad de especies en co-floración alrededor de las parcelas (Badillo-Montaña et al., 2018). También puede deberse en parte a que el estudio se desarrolló en una localidad perteneciente a una región (estados de Puebla, Oaxaca y Chiapas) donde se concentra una alta diversidad de formas silvestres y domesticadas de *P. coccineus* (Delgado, 1988). Trabajos como el de Genung et al. (2010) han documentado que la diversidad genotípica de una planta puede tener una influencia indirecta en la abundancia y riqueza de visitantes florales.

Las especies dominantes pertenecieron a los órdenes Hymenoptera y Apodiformes. Este resultado coincide con lo reportado por Burquez y Sarukhán (1980) y Sousa-Peña (1992). *Apis mellifera* (Hymenoptera) fue la especie más dominante en ambos sistemas de manejo agrícola y colores de flor, lo cual coincide con lo reportado por Free (1966) y Koltowski (2004) y difiere de lo hallado por Pando et al. (2011) y Tchuengem et al. (2014), en cuyos trabajos, realizados en Polonia y África, respectivamente, reportan abejas carpinteras del género *Xylocopa* como las especies más dominantes. *Apis mellifera* es una abeja de hábitos alimentarios generalistas y es la especie más utilizada para la producción de miel y polinización de cultivos por su facilidad de manejo (Nates-Parra, 2005), por lo que posiblemente a ello se debió su dominancia. Es una especie que en múltiples estudios se ha reportado como asociada a *P. coccineus*, con funciones de polinizador, aunque en ocasiones también puede ser un robador de néctar (Free y Racey, 1968; Blackwall, 1971; Sousa-Peña, 1992; Koltowski, 2004).

En lo que respecta a los colibríes, *Hylocharis leucotis* fue la especie dominante. Búrquez y Sarukhán (1980) mencionan a esta especie como un polinizador eficiente en cultivares de *P. coccineus* en los Valles de Cuautla y el Estado de México, con altitudes mayores a los 2500 m. *H. leucotis* ha sido considerada como una especie generalista, debido a que sus características fenotípicas, como el peso corporal (entre 3.2-3.6 g) y el tamaño del pico (corto), pueden proporcionarle una gran movilidad, así como la posibilidad de alimentarse de una gran variedad de flores que usualmente son polinizadas por insectos (Maruyama et al. 2012; Rodríguez-Femat, 2014), además, estas características hacen posible que participe en la polinización del cultivo, pues al acceder a la cámara de néctar, localizada en la parte basal de las estructuras florales, se adhieren granos de polen, los cuales pueden ser transferidos de una flor a otra (Sousa-Peña, 1992). La presencia de otras cuatro especies de colibríes no mencionadas en otros trabajos fuera de México como visitantes florales de *P. coccineus* se debe a que la familia a la que pertenecen (Trochillidae) es endémica del continente americano (Arizmendi y Berlanga, 2014).

1.6.2 La modalidad de manejo agronómico no influyó en la riqueza de especies, pero sí en el número de visitas por orden taxonómico

El sistema de manejo no tuvo un impacto en la composición de la comunidad de visitantes florales, pero sí en la frecuencia de visitas por orden taxonómico. En el manejo tradicional, independientemente del color de flor, se registraron más visitas que en su contraparte tecnificada, particularmente del orden Apodiformes (flores blancas) y de himenópteros y Apodiformes (flores rojas). Esto pudo deberse a que los sistemas más intensivos en cuanto a la aplicación de tecnologías ejercen un impacto negativo mayor sobre el hábitat y la vida silvestre (Viglizzo et al., 2002). Se ha reportado que la aplicación de herbicidas resulta en la pérdida de herbáceas que proporcionan sitios de abrigo (por ejemplo, nidos) y recursos alimenticios (néctar, polen, aceites y compuestos aromáticos) importantes para los polinizadores (Holzschuh et al., 2008) y que el uso de insecticidas, si bien permite controlar las plagas del cultivo, puede contener agentes químicos que reducen la abundancia de otras especies, como polinizadores y enemigos naturales (Otieno et al., 2011).

El menor número de visitas de colibríes en los manejos tecnificados sugiere que estos animales mostraron mayor sensibilidad al sistema de manejo, ya sea por la aplicación de agroquímicos, o bien, por la presencia de otros órdenes taxonómicos que aprovecharon los mismos recursos

florales, incrementando la competencia y reduciendo la oferta de néctar disponible. Aun cuando se sabe que muchas especies de colibríes parecen ser resistentes a la transformación del hábitat, debido a su capacidad de vuelo (MacGregor-Fors y Schondube 2011; Bustamante-Castillo et al., 2018), todavía se desconoce el impacto de las prácticas agrícolas, particularmente el uso de pesticidas, en aves polinizadoras a lo largo del tiempo. Se ha reportado que en colibríes (*Selasphorus rufus* -encontrado en nuestra investigación- y *Calypte anna* Lesson, 1829), asociados al cultivo de arándanos y expuestos a plaguicidas neonicotinoides, se hallaron residuos de éstos en el líquido cloacal y gránulos fecales (Bishop et al., 2018). No se conoce el efecto que ello pudiera tener en dichas aves, pero estudios realizados en gorriones que consumieron semillas de canola tratadas con imidacloprid, mostraron que perdieron apetito y peso, retrasaron su migración y presentaron problemas de orientación durante ésta, aumentando el riesgo de mortalidad y comprometiendo potencialmente las oportunidades de reproducción (Eng et al. 2017).

Dado que el insecticida empleado (un piretroide) en el manejo tecnificado está identificado como peligroso para abejas y otros insectos, se esperaba una reducción en el número de visitas de los diversos órdenes de insectos. Ello ocurrió particularmente en himenópteros, en la variedad de *P. coccineus* de flores rojas, no así en la de flores blancas. Esto quizá podría atribuirse a que, para el momento en que se realizaron las observaciones, ya habían transcurrido ocho días de la aplicación, por lo que probablemente su efecto ya había disminuido, a causa de una menor concentración del insecticida en la planta. En un estudio hecho en maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* O. Deg.) se encontró que después de la aplicación de lambda cyalotrina, su concentración en pulpa y fruto disminuyó progresivamente, encontrándose trazas hasta 14 días después (Romero y González, 2012). No se descarta el que ciertas especies de lepidópteros, coleópteros y dípteros encontrados en los sistemas tecnificados hayan sido especies asociadas a condiciones de perturbación, pues cuando se generan cambios en las condiciones ambientales, se modifica la composición y diversidad de especies y predominan aquellas cuyas estrategias de vida les permiten sobrevivir en ambientes perturbados (Sarandón y Flores, 2014).

1.6.3 El manejo tradicional del cultivo aumentó la diversidad de visitantes florales

Este hallazgo coincide con lo reportado en cultivos de café (Vergara y Bandano, 2009), donde los manejos más especializados, tanto en sombra como en sol, fueron menos diversos en términos de polinizadores respecto a los manejos tradicionales, y en cultivos de almendro (Norfolk et al.,

2016), donde la abundancia de polinizadores silvestres fue mayor en cultivos donde no se emplearon agroquímicos y no se introdujeron abejas melíferas, debido a la abundancia y riqueza de especies vegetales con floración simultánea a la de los almendros, situación que también pudo haberse presentado en los sistemas de manejo tradicional aquí estudiados. Se sabe que comunidades florísticas más diversas están asociadas a la oferta de una mayor diversidad de recursos (e.g., néctar, polen) (Ghazoul, 2006) y que los sistemas agrícolas diversificados sustentan mayores servicios ecosistémicos, como los de biodiversidad y polinización (Kremen y Miles, 2012), además de que mantienen la sostenibilidad del hábitat (Altieri y Nicholls 2013).

Si bien se detectó la presencia y visita de lepidópteros, dípteros y coleópteros en los sistemas tecnificados de flores blancas y rojas, es importante señalar que dichos grupos taxonómicos parecen tener poco impacto en la polinización de *P. coccineus*, debido a su conducta de forrajeo (acople con la flor y extracción del néctar), la cual hace difícil que el polen se adhiera a su cuerpo y lo transfieran a otras flores (Búrquez y Sarukhán, 1980). De acuerdo con Sousa-Peña (1992), en el caso específico de los lepidópteros, por su bajo peso, la posición en la que se posan sobre la flor y las características de su probóscide, no logran tocar la abertura por donde se expone el estigma y la brocha polínica, por lo que se consideran robadores de néctar. Considerando estas características, es probable que las especies de dípteros y otros himenópteros (que no son abejas o abejorros), puedan considerarse también como robadores de néctar, debido a que no tienen un contacto directo con las estructuras reproductivas de las flores.

1.6.4 El color de la flor no influyó en la riqueza de especies ni mostró tendencias definidas en cuanto al número de visitas o el número efectivo de especies

El color de flor es una de las características asociadas a los síndromes de polinización. En la literatura se menciona que las flores de color rojo frecuentemente son ornitófilas y que además presentan una producción copiosa de néctar diluido y corolas tubulares largas y angostas (Cronk y Ojeda, 2008). También se reporta que las flores de color amarillo, azul o morado, con labio ancho y tubos florales cortos, generalmente corresponden con el síndrome de polinización por abejas o melitofílico (Fenster et al. 2004). Por tanto, se esperaba que el color de la flor podría estar relacionado de alguna manera con el número de visitantes florales o el número de visitas. Sin embargo, nuestros hallazgos mostraron que la riqueza de especies dentro de cada modalidad de manejo agronómico fue estadísticamente igual en ambos colores y el número efectivo de especies

en función del color de flor varió dependiendo del sistema de manejo. Algo similar ocurrió con el número de visitas, pues de manera particular, se esperaba una mayor afinidad de las especies de colibríes por flores rojas y de las abejas por las blancas; pero todas las especies de colibríes visitaron más las flores blancas que las rojas. En el caso de las abejas, aun cuando tendieron a visitar más las flores blancas, no mostraron una marcada afinidad por algún color.

Lo anterior pudo deberse a que el color de flor no es la única característica involucrada en la atracción de polinizadores (y visitantes florales para este caso). De acuerdo con Rosas-Guerrero et al. (2014), los síndromes florales incluyen, además, la morfología, el olor, el tamaño, las recompensas y la fenología de la flor entre otros atributos. Por otra parte, se ha encontrado que, en los síndromes de polinización, no todas las características son igualmente importantes, a lo cual se agrega el hecho de que, en diversas investigaciones, el color de flor ha resultado ser un atributo poco informativo o que contradice las expectativas de los síndromes tradicionales (Dellinger, 2020). Tratándose del color rojo de las flores, Cronk y Ojeda (2008) precisan dos aspectos: i) que no es necesario para atraer a las aves (hay ejemplos de que son polinizadores efectivos de especies con flores naranjas, amarillas y blancas) y ii) que las abejas pueden percibir (y visitar) algunas flores que los humanos perciben como rojas, si es que también tienen alguna reflectancia en las longitudes de onda más cortas. Otras posibles explicaciones pueden ser la posibilidad de que haya existido una oferta de néctar diferencial entre morfos florales, lo cual podría generar tasas diferenciales de visita y de deposición de polen (Valois-Cuesta et al., 2011) y el hecho de que, bajo condiciones naturales, la elección de flores puede estar influenciada por la presencia y abundancia de otros co-polinizadores que potencialmente compiten por los recursos florales (Lázaro et al. 2009).

1.7 CONCLUSIONES

Nuestro estudio muestra que hay una diversidad considerable de visitantes florales asociados al cultivo de frijol ayocote, y que entre ellos predominan abejas y colibríes. También muestra que el sistema de manejo tradicional, en el cual se excluye la aplicación de herbicida e insecticida, propicia una mayor diversidad de visitantes florales y favorece una mayor frecuencia de visitas. Lo anterior indica que los sistemas de manejo menos tecnificados contribuyen al mantenimiento

de la salud del agroecosistema y muy posiblemente a los servicios de polinización. Los resultados también sugieren que el color de la flor no modificó la riqueza de especies ni tuvo algún efecto consistente en el número de visitas o la estructura de la comunidad de visitantes florales. Con la finalidad de valorar la contribución de cada visitante floral y dilucidar a los potenciales polinizadores de *P. coccineus* en la región de estudio, consideramos necesario realizar más estudios para evaluar las cargas polínicas, además de estudiar el acople morfológico entre las especies de colibríes y las flores de *P. coccineus*, ya que ello permitirá conocer la relación entre las formas de visita y sus efectos sobre la polinización. Finalmente, también creemos conveniente realizar más estudios acerca del impacto de las prácticas agrícolas sobre la polinización biótica de otros cultivos cuyo centro de origen sea México, pues de esta manera se aportarán elementos para contribuir a la conservación tanto de especies agrícolas relevantes para la seguridad alimentaria como de sus respectivos vectores biológicos.

CAPÍTULO II. IMPORTANCIA DE LOS POLINIZADORES EN LA EXPRESIÓN DE COMPONENTES DEL RENDIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE SEMILLA DE *Phaseolus coccineus* L. EN EL CENTRO DE MÉXICO

2.1 RESUMEN

Antecedentes y objetivos: La polinización llevada a cabo por agentes bióticos mejora los rendimientos de muchos cultivos que dependen de aquélla, entre ellos el de *P. coccineus*. Aun cuando existen algunos trabajos que han evaluado la exclusión de polinizadores en los componentes del rendimiento de esta especie, no se ha explorado si además de la exclusión, el sistema de manejo agronómico o la variedad cultivada podrían tener algún efecto adicional, por lo que el objetivo de nuestra investigación fue determinar la importancia de la polinización biótica en los componentes del rendimiento y las características de semilla de *P. coccineus*, cultivadas en dos sistemas de manejo agronómico distintos y utilizando dos poblaciones nativas.

Métodos: En dos variedades de *P. coccineus* (una de flor blanca y otra de flor roja) cultivadas bajo dos sistemas agronómicos diferentes (tecnificado y tradicional), se midieron y compararon 14 componentes del rendimiento entre plantas con y sin acceso a polinizadores, empleando para ello la prueba de rangos de Mann-Whitney, un análisis de conglomerados y un análisis de componentes principales.

Resultados clave: En los dos sistemas de manejo, las plantas de ambas variedades que permanecieron con acceso a polinizadores desarrollaron un mayor número de frutos y semillas normales, los cuales resultaron tener también un mayor peso respecto al registrado en plantas sin acceso a polinizadores. Atributos tales como la longitud y el ancho de semillas procedentes de plantas sin acceso a polinizadores en ambas variedades y sistemas agronómicos resultaron tener valores de medianas mayores que los de plantas que permanecieron con acceso.

Conclusiones: En ambas variedades y sistemas de manejo agrícola, la interacción entre las plantas y sus polinizadores produjo efectos benéficos en los componentes de rendimiento. Ello resalta la importancia de la polinización biótica en este cultivo y la necesidad de implementar prácticas agrícolas que permitan conservar este servicio ecosistémico y aprovecharlo de manera sustentable.

Palabras clave: ayocote, polinización, rendimiento, sistemas agronómicos, variedades.

CHAPTER II. IMPORTANCE OF POLLINATORS IN THE EXPRESSION OF YIELD COMPONENTS AND SEED TRAITS OF *Phaseolus coccineus* L. IN CENTRAL MEXICO

2.2 ABSTRACT

Background and Aims: Pollination carried out by biotic agents improves the yields of many crops that depend on it, including *P. coccineus*. Even though there are some studies that have evaluated the effect of pollinator exclusion in the yield components of this species, it has not been explored if, besides the exclusion, the agronomic management system and the variety cultivated could have any additional effect. Therefore, the objective of our research was to determine the importance of biotic pollination in the yield components and seed traits of *P. coccineus*, cultivated under two different agronomic management systems and using two landraces.

Methods: In two landraces of *P. coccineus* (one white-flowered and another red-flowered) cultivated under two different agronomic systems (technified and traditional), 14 yield components were measured. Comparisons were made between plants with and without access to pollinators, using Mann-Whitney rank tests, cluster and principal components analyses.

Key results: Under the two management systems, plants of both landraces that remained accessible to pollinators developed a higher number of normal fruits and seeds, which also had a higher weight in comparison to plants without access to pollinators. In both landraces and agronomic systems, traits such as seed length and width from plants without access to pollinators had higher medians than those from plants with access.

Conclusions: In both landraces and agricultural management systems, the interaction between plants and their pollinators resulted in positive effects on yield components. This highlights the importance of biotic pollination in this crop and the need to foster agricultural practices that allow the conservation and sustainable use of this ecosystem service.

Key words: agronomic systems, landraces, pollination, runner bean, yield.

2.3 INTRODUCCIÓN

La forma en la cual ocurre la polinización en los cultivos de interés humano es variada, por ejemplo, especies como el arroz, trigo, avena, frijol y soya no requieren de vectores para llevar a cabo la polinización, ya que son esencialmente autógamos, mientras que otras, como el maíz, caña de azúcar y varios pastos, dependen del viento para polinizar sus flores (Fehr y Hadley, 1993). Por otro lado, existen especies que requieren de vectores animales (polinización biótica) para transportar los granos de polen, como insectos (abejas, avispas, mariposas, escarabajos y moscas, entre otros) y/o vertebrados (colibríes, reptiles, murciélagos y otros mamíferos) (Mayer et al., 2011, Potts et al., 2016). En esta modalidad de polinización quedan incluidas una gran diversidad de especies vegetales que proporcionan nutrientes para una dieta saludable (Klein et al., 2007; Eilers et al., 2011). Datos obtenidos para México por Ashworth et al. (2009), señalan que de 171 especies cultivadas para el consumo humano de frutas y semillas, el 85% depende de polinizadores para obtener una producción exitosa de frutos y semillas.

La polinización biótica afecta sustancialmente a los mercados agrícolas mundiales, debido a que los cultivos polinizados de esta manera, suelen tener precios de venta más altos que aquellos que no dependen de los polinizadores (Potts et al., 2016). El valor económico estimado de la polinización mediada por abejas y otros insectos, a nivel internacional y considerando los principales cultivos alimenticios, fue de 153 billones de euros en el año 2005 (Gallai et al., 2009). En el caso específico de México, se calcula que dicho valor podría ser de 63 mil millones de pesos (Sarukhán et al., 2009).

Para los cultivos que dependen de polinizadores, la presencia de éstos es fundamental no sólo para garantizar que se mantenga la variabilidad genética, sino también para asegurar su reproducción sexual y un mayor rendimiento (Stein et al., 2017). Los trabajos de exclusión de polinizadores han demostrado la magnitud de su importancia. Por ejemplo, en *Helianthus annuus* (girasol), Perrot et al. (2019) encontraron que la presencia de polinizadores incrementó el rendimiento (número de semillas) en 31.3 % a nivel de planta y en 40 % a nivel parcela. En cultivos de *Malus domestica* (manzanas) y *Pyrus communis* (peras), la exclusión de polinizadores redujo considerablemente el promedio de amarre de frutos, en *P. communis* en un 50 % y de *M. domestica* hasta en un 92 % (Hünicken et al., 2021). En fincas de *Persea americana* (aguacate), el número de frutos en inflorescencias expuestas a insectos polinizadores fue siete veces mayor respecto a aquellas

inflorescencias que permanecieron excluidas de polinizadores (Carabalí-Banguero et al., 2018). En cultivos de fresa (*Fragraria x ananassa*), Wietzke et al. (2018) encontraron que la polinización por insectos aumentó no sólo la producción de frutos, sino también la calidad de los mismos (mayor tamaño y peso, menor número de frutos con formas irregulares y de infestación por patógenos, como hongos) y con ello el valor comercial promedio, en un 92 %.

La abundancia y diversidad de polinizadores se han reducido de manera importante en diferentes partes del mundo debido a factores como la destrucción del hábitat, la intensificación agrícola, el uso de pesticidas, la introducción de especies exóticas, enfermedades y el cambio climático, (González-Varo et al., 2013), situación que impacta negativamente a los cultivos que de ellos dependen (Potts et al., 2010; Carvalheiro et al., 2013). Si bien se han desarrollado investigaciones para evaluar y entender el impacto de estos factores a nivel mundial, se sabe poco de lo que ocurre en Latinoamérica y particularmente en México, donde varios de los cultivos dependen de organismos vivos como polinizadores, por lo que resulta relevante generar información respecto a las consecuencias de las modificaciones del ambiente sobre la polinización de plantas cultivadas en estos territorios (Sosenski y Domínguez, 2018).

Dentro de las especies que forman parte importante de la dieta en México destacan las del género *Phaseolus*. En el país se domesticaron cinco de ellas, específicamente *P. acutifolius* A. Gray, *P. dumosus* Macfady, *P. lunatus* L., *P. vulgaris* L. y *P. coccineus* L. (Schwember et al., 2017). Esta última especie es la segunda del género en importancia económica y constituye una fuente de proteína de calidad a bajo costo (Svetleva et al., 2003; Ruíz-Salazar et al., 2019). *Phaseolus coccineus* se cultiva principalmente en el altiplano central de Puebla (López-Báez et al., 2018), bajo sistemas con diferente nivel de uso de agroquímicos. *P. coccineus* presenta varias peculiaridades en comparación con las otras especies del género, siendo el sistema de apareamiento una de ellas, el cual se ha clasificado como mixto (entre autógamo y alógamo), con predominio del entrecruzamiento (Escalante et al., 1994). Se han reportado porcentajes de alogamia de entre 20 y 50 % para un cultivar en Gran Bretaña (Blackwell, 1971), de entre 64 y 87 % en una población cultivada de Morelos, México, y de 45 al 90 % en una población silvestre (Búrquez, 1984). Entre los principales polinizadores de la especie se han citado a abejas, abejorros y colibríes (Burquez y Sarukhán, 1980).

Trabajos desarrollados en Gran Bretaña y Polonia encontraron que las flores de *P. coccineus* producen menos semillas por vaina en ausencia de polinizadores eficientes (Kendall y Smith, 1976; Koltowski, 2004). Investigaciones hechas en Camerún, orientadas a valorar la contribución de algunas especies de abejas carpinteras en el rendimiento de distintas variedades de *P. coccineus*, encontraron que la producción de frutos y el número de semillas normales por fruto aumentó entre el 25.8 y el 27.6 % en el primer caso, y entre el 14.9 y el 18.4 % en el segundo, con las visitas de *Xylocopa calens* respecto a las de otras abejas silvestres y *Apis mellifera* (Pando et al., 2011). En cuanto al efecto de *X. olivacea*, se encontró que la participación de este insecto resultó en incrementos del 27.5 al 56.14 % en la tasa de fructificación, de 45.43 al 74.44 % en el número de semillas por fruto y de 66.3 al 89.4 % en el porcentaje de semillas normales (Tchuenguem et al., 2014).

Aun cuando en los trabajos previamente mencionados se estudió el efecto de la exclusión de polinizadores en los componentes del rendimiento de *P. coccineus*, en ninguno de ellos se exploró si los resultados podían ser afectados por el sistema de manejo agronómico o la variedad de frijol empleada. Con base en estos antecedentes, se plantea la presente investigación, la cual tuvo por objetivo determinar la importancia de la polinización biótica sobre los componentes del rendimiento y las características de las semillas de *P. coccineus*, utilizando dos variedades nativas con diferente color de flor, bajo dos sistemas de manejo agronómico distintos. La hipótesis de trabajo fue que el nivel de expresión de todos los componentes de rendimiento estudiados sería mayor en el sistema de manejo menos tecnificado y con acceso a polinizadores, independientemente del tipo de variedad, y que las características de frutos y semillas se verían favorecidas con las visitas de polinizadores.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Área de estudio

La investigación se desarrolló en la localidad de San Andrés Calpan, localizada en el centro oeste del estado de Puebla, México. La comunidad se ubica en los 19° 06' 28'' N y 98° 27' 33'' O, a 2430 msnm. El clima preponderante es el templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw₂), con precipitaciones de 900 a 1000 mm (Plan Municipal de Desarrollo, 2021; INEGI, 2010).

2.4.2 Parcelas de estudio

Se eligieron dos parcelas de cultivo con una superficie de 1000 m², separadas 100 metros entre sí por franjas de avena (*Avena sativa*) y maíz (*Zea mays*). En cada parcela se sembraron, bajo condiciones de temporal, dos variedades nativas de *P. coccineus*, colectadas y seleccionadas como parte de un programa de fitomejoramiento que se desarrolla en el Altiplano Central de Puebla: Población 89 (flor roja y semilla negra) y Población 46 (flor y semilla blanca). Cada parcela se dividió en dos cuadrantes a lo ancho y cuatro a lo largo. Cada cuadrante estuvo formado por siete surcos de 22 m de largo y 0.75 m de ancho. La siembra se realizó de forma tal que las dos variedades quedaran alternadas a lo largo y ancho de la parcela. Así, quedaron intercalados cuadrantes de la Población 89 con los de la Población 46, a manera de tablero de ajedrez. En todos los casos, a la siembra se depositaron dos semillas por mata, cada 50 cm.

2.4.3 Manejo agronómico

Ambas parcelas se fertilizaron a los 34 días después de siembra (dds), utilizando la fórmula 60N-60P-00P, empleando como fuentes fosfato diamónico y urea. En una de las parcelas se dio un manejo agronómico tecnificado (TE), consistente en la aplicación de un herbicida (bentazona), a una dosis de 2 l·ha⁻¹ a los 25 dds, para el control de malezas y también de un insecticida (lambda cialotrina), a una dosis de 0.1 l·ha⁻¹, a los 61 y 100 dds para el control de plagas. En la otra parcela, se dio un manejo agronómico tradicional (TR), consistente en controlar las malezas manualmente y no aplicar insecticidas.

2.4.4 Experimento de exclusión de polinizadores

Para evaluar el efecto de la dependencia de polinizadores en las variedades de *P. coccineus*, se diseñó un experimento en el cual, a los 36 dds, en cada una de las cuatro combinaciones de sistema de manejo – variedad (tecnificado – flor blanca, tecnificado – flor roja, tradicional – flor blanca, tradicional – flor roja) se eligieron al azar 30 pares de plantas contiguas y sanas, cuidando que los individuos tuvieran un tamaño y desarrollo fenológico similar, además de que no presentaran flores abiertas. Los 30 pares de plantas se distribuyeron entre los cuadrantes correspondientes a cada combinación. En este diseño pareado, a una planta se le colocó una estructura cilíndrica de malla metálica galvanizada (de 1.2 m de altura), cubierta totalmente con tela de tul (1 mm x 1 mm), para excluir la acción de los polinizadores; mientras que la otra planta quedó expuesta

libremente a los polinizadores. Esto se mantuvo hasta la cosecha (122 dds) momento en el cual se procedió a retirarlas.

2.4.5 Componentes del rendimiento y características de la semilla

En el diseño pareado, en cada planta, tanto cubierta como descubierta, se registró el número de frutos (llamados vainas en la familia Leguminosae (Moreno, 1984), identificando los frutos normales (vainas bien desarrolladas, sin deformaciones y sin semillas abortadas, de acuerdo con Aguilar-Benítez et al., 2012), los vanos (frutos en la que las semillas no llenaron adecuadamente y que presentaban deformaciones, según Domínguez y Bello, 2015) y los frutos verdes (frutos que al momento de la cosecha aún no habían madurado). A partir de la suma de estas tres categorías de desarrollo, se obtuvo el número de frutos totales. Posteriormente, de cada planta, se tomó una muestra al azar de 10 frutos normales, los cuales se abrieron para cuantificar el número de semillas normales (aquellas que, de acuerdo con Escalante y Kohashi (1993), presentaron características de un desarrollo completo: testa lisa, color y tamaño típicos de la variedad; además de un color brillante y llenado total) y el de semillas no desarrolladas, es decir, aquellas que presentaron llenado deficiente, deformidades o testa manchada y testa con arrugas (Madriz et al., 2008). Con estos datos se obtuvieron los promedios por fruto para cada categoría de desarrollo. Adicionalmente, se registró el peso total de frutos normales (pericarpio más semilla) y vanos, de semillas normales (el cual se consideró equivalente al rendimiento por planta) y de semillas no desarrolladas, también se calculó el cociente del peso de semillas normales entre el peso de frutos normales (factor de desgrane). Por último, en una muestra de 10 semillas normales por planta, tomadas al azar, se midió la longitud, ancho y espesor de semilla (mm) para obtener el promedio.

2.4.6 Análisis de datos

Con los datos obtenidos, se construyó una base que contuvo 240 observaciones (60 por cada combinación sistema de manejo – variedad, compuesta a su vez por 30 observaciones correspondientes a plantas descubiertas y 30 a plantas cubiertas) y 14 variables. Para determinar si las variables cumplían con los supuestos del análisis de varianza, se aplicaron las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas de Levene. Al no cumplirse los supuestos anteriores, para determinar diferencias entre las variables de rendimiento y las

características de la semilla entre los tratamientos con y sin acceso a polinizadores dentro de cada combinación de sistema de manejo y variedad, se realizaron análisis no paramétricos, empleando la prueba de rangos de Mann-Whitney, con un nivel de significancia del 5 %, utilizando el software SAS® On Demand for Academics (SAS, 2022).

Para precisar si existían patrones de agrupamiento entre las combinaciones de sistema de manejo-variedad-acceso a polinizadores, se realizó un análisis de conglomerados utilizando el software InfoStat® (InfoStat versión 2020). Para este análisis, se emplearon nueve variables que, de acuerdo al análisis no paramétrico, mostraron diferencias estadísticas entre plantas con y sin acceso a polinizadores. Con los promedios por sistema de manejo-variedad-acceso, se calcularon las distancias euclidianas, para posteriormente elaborar un dendrograma utilizando el método de agrupamiento de mínima varianza dentro de grupos de Ward. Adicionalmente, para precisar cuáles variables explicaban en mayor medida la variación total observada, se realizó un análisis de componentes principales (SAS® On Demand for Academics, SAS, 2022).

2.5 RESULTADOS

2.5.1 Componentes del rendimiento y características de semillas entre plantas con acceso y sin acceso a polinizadores dentro de cada sistema de manejo y variedad de *P. coccineus*

Los resultados mostraron que en las cuatro combinaciones (tradicional-flor blanca; tradicional-flor roja, tecnificado-flor blanca, tecnificado-flor roja), se presentaron diferencias al comparar plantas con y sin acceso a polinizadores en el número de frutos totales, normales y vanos y pesos de frutos normales, vanos, de semillas normales y no desarrolladas (Cuadro 2.1). En promedio, todas las variables antes mencionadas fueron mayores en las plantas con acceso a polinizadores que en aquellas sin acceso a éstos (Fig. 2.1). En relación al número de frutos verdes por planta, número de semillas normales por fruto y factor de desgrane, no hubo diferencias para la comparación entre plantas con y sin acceso a polinizadores en cada una de las combinaciones manejo-color de flor (Cuadro 1). En el número de semillas no desarrolladas por fruto, sólo se presentaron diferencias en una de las cuatro combinaciones (tradicional-flor roja; $P=0.0073$). Los valores promedio de las variables donde no hubo diferencias fueron: el número de frutos verdes: 0.025 (± 0.203) en plantas sin acceso y 0 con acceso; número de semillas normales por vaina: 2.146 (± 1.091) sin acceso y

2.467 (± 0.0601) con acceso y factor de desgrane: 0.414 (± 0.029) sin acceso y 0.432 (± 0.035) con acceso (promedio \pm error estándar).

En lo que respecta al tamaño de las semillas, la comparación entre plantas con y sin acceso fue diferente en la longitud de semilla en tres de las cuatro combinaciones (tradicional-flor roja, $P=0.0146$; tecnificado-flor blanca, $P=0.004$ y tecnificado-flor roja, $P=0.03$) y en el ancho de semilla en dos combinaciones (tradicional-flor roja, $P=0.003$ y tecnificado-flor roja, $P=0.01$) (Cuadro 2.1). En lo que respecta al espesor de semilla, sólo se detectaron diferencias en la combinación tradicional-flor blanca ($P=0.04$). En este grupo de atributos de semilla, en todos los casos donde hubo diferencias, los valores de las medianas fueron mayores en aquellas plantas sin acceso a polinizadores que en las que sí interactuaron con éstos (Fig. 2.2).

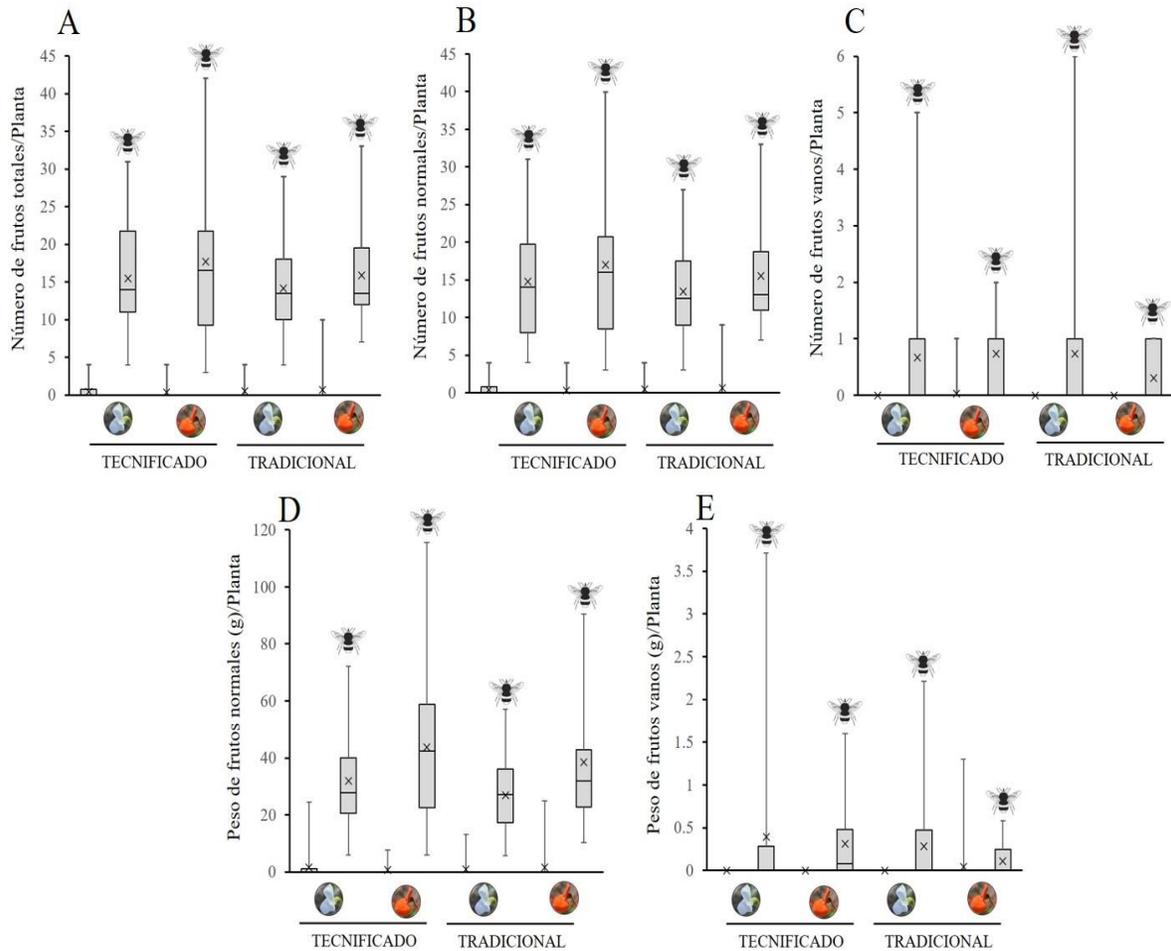
Cuadro 2.1 Resultado de la prueba de Mann-Whitney (valores de Z y su nivel de significancia, P) para las comparaciones entre plantas con acceso y sin acceso a polinizadores en cada combinación de sistema de manejo-color de flor en *Phaseolus coccineus*.

COMBINACIONES MANEJO-VARIEDAD								
	TRADBCA		TRADROJ		TECBCA		TECROJ	
	Con acceso vs		Con acceso vs		Con acceso vs		Con acceso vs	
	Sin acceso		Sin acceso		Sin acceso		Sin acceso	
	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
FRUTOT	-6.835	<0.0001	-6.83	<0.0001	-6.816	<0.0001	-6.886	<0.0001
FRUNOR	-6.848	<0.0001	-6.845	<0.0001	-6.814	<0.0001	-6.888	<0.0001
FRUVANO	-4.196	<0.0001	-3.214	0.0021	-3.610	0.0006	-4.254	<0.0001
FRUVER	0.966	0.3337	0.0966	0.3377	0	1	0	1
PFRUVANO	-4.364	<0.0001	2.679	0.0096	-3.603	0.0006	-4.549	<0.0001
PFRUNORM	-6.807	<0.0001	-6.731	<0.0001	-6.633	<0.0001	-6.868	<0.0001

COMBINACIONES MANEJO-VARIEDAD								
	TRADBCA		TRADROJ		TECBCA		TECROJ	
	Con acceso <i>vs</i>		Con acceso <i>vs</i>		Con acceso <i>vs</i>		Con acceso <i>vs</i>	
	Sin acceso		Sin acceso		Sin acceso		Sin acceso	
	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
PSEMNORM	-6.792	<0.0001	-6.761	<0.0001	-6.603	<0.0001	-6.876	<0.0001
PSEMNOB	-5.137	<0.0001	-6.283	<0.0001	-4.860	<0.0001	-6.130	<0.0001
FDESG	-1.634	0.1112	-1.591	0.1204	-1.306	0.1993	-1.579	0.1235
SEMNOB	-1.841	0.0744	-1.575	0.1242	1.025	0.311	-1.912	0.0642
SEMNOB	-0.836	0.4089	-2.850	0.0073	-0.271	0.787	-0.8611	0.3952
LONGSEM	1.862	0.0712	2.568	0.0146	3.025	0.0045	2.192	0.0353
ANCHOSEM	1.8155	0.0783	3.119	0.0036	1.665	0.1043	2.569	0.0147
ESPESEM	2.098	0.0434	1.125	0.2682	-0.698	0.4893	1.768	0.086

TRADBCA= Sistema tradicional con flores blancas; TRADROJ= Sistema tradicional con flores rojas; TECBCA= Sistema tecnificado con flores blancas; TECROJ= Sistema tecnificado con flores rojas. FRUTOT= Número de frutos totales; FRUNOR= Número de frutos normales; FRUVANO= Número de frutos vanos; FRUVER= Número de frutos verdes; PFRUVANO= Peso de frutos vanos; PFRUNORM= Peso de frutos normales; PSEMNORM= Peso de semillas normales;

PSEMNOD= Peso de semillas no desarrolladas; FDESG= Factor de desgrane; SEMNORV=Número de semillas normales por vaina; SEMNODV= Número de semillas no desarrolladas por vaina; LONGSEM= Longitud de semillas; ANCHOSEM= Ancho de semillas y ESPESEM= Espesor de semillas.



 =Plantas con acceso a polinizadores

Figura 2.1. Diagramas de cajas y ejes para los componentes del rendimiento de *Phaseolus coccineus* en los que hubo diferencias al comparar plantas con acceso y sin acceso a polinizadores dentro de cada combinación de sistema de manejo y color de flor. El símbolo X representa el valor promedio. A= Número de frutos totales, B= Número de frutos normales, C= Número de frutos vanos, D= Peso de frutos normales, E= Peso de frutos vanos.

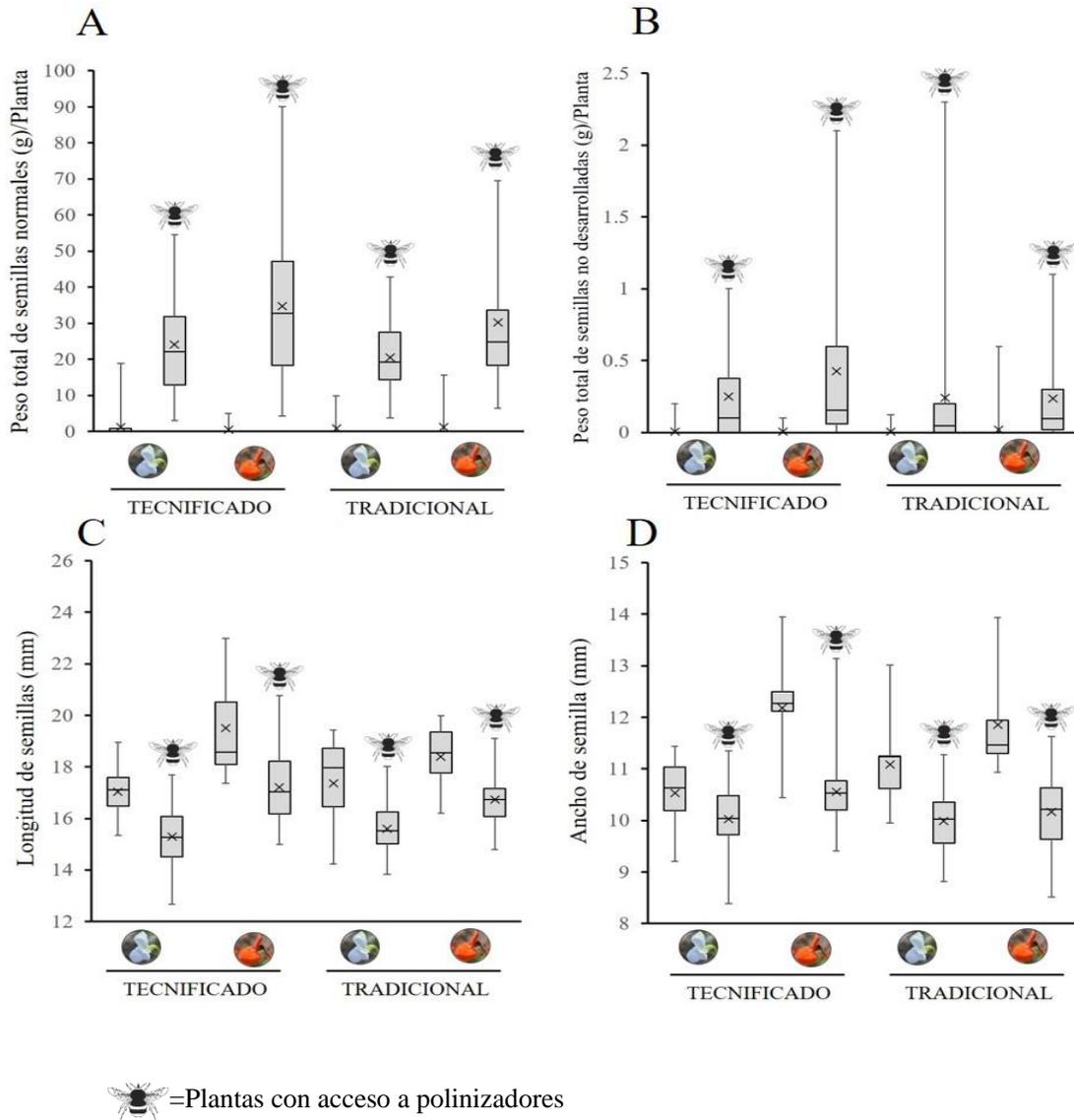


Fig. 2.2 Diagramas de cajas y ejes para los atributos de semillas de *Phaseolus coccineus* en los que hubo diferencias al comparar plantas con acceso y sin acceso a polinizadores dentro de cada combinación de sistema de manejo y color de flor. El símbolo X representa el valor promedio. A= Peso de semillas normales, B= Peso de semillas no desarrolladas; C=Longitud de semilla; D= Ancho de semilla.

2.5.2 Agrupamiento de sistemas de manejo agrícola, variedades y tratamiento de acceso o no a polinizadores

En el dendrograma se observa la formación de dos grupos, los cuales se distinguen por el acceso o no acceso de polinizadores a las flores. El primer grupo estuvo conformado por aquellos sistemas de manejo agrícola y variedades que estuvieron expuestos a la interacción con polinizadores, mientras que el segundo grupo, estuvo compuesto por aquellos sistemas y variedades en los que se excluyó la interacción con tales organismos (Fig. 2.3).

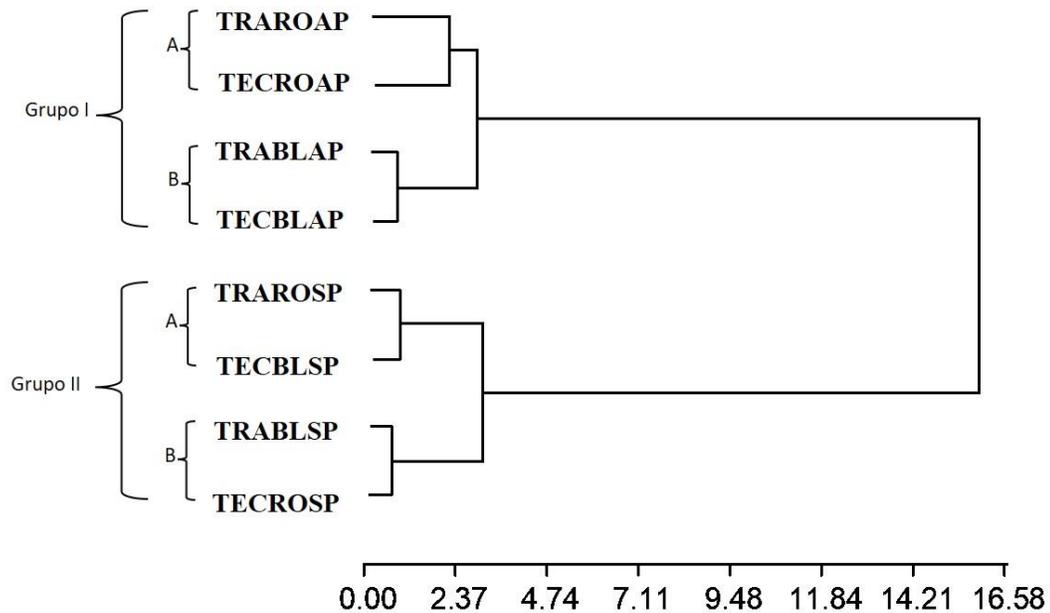


Figura. 2.3 Dendrograma obtenido con el método de Ward para los ocho tratamientos con base en distancia euclidiana y en el que se muestra la formación de dos grupos. TRAROAP= Sistema tradicional con flores rojas y acceso a polinizadores; TECROAP= Sistema tecnificado con flores rojas y acceso a polinizadores; TRABLAP= Sistema tradicional con flores blancas y acceso a polinizadores; TECBLAP= Sistema tecnificado con flores blancas y acceso a polinizadores; TRAROSP= Sistema tradicional con flores rojas sin acceso a polinizadores; TECBLSP= Sistema tecnificado con flores blancas sin acceso a polinizadores; TRABLSP= Sistema tradicional con flores blancas sin acceso a polinizadores; TECROSP= Sistema tecnificado con flores rojas sin acceso a polinizador

Las plantas del primer grupo (en el que se permitió el acceso de polinizadores) se caracterizaron por presentar una mayor cantidad de frutos totales (97%), de frutos normales (97.2 % más) y mayor peso de los frutos (96.9% más) y semillas normales (96.7% más) respecto a plantas sin acceso a polinizadores (segundo grupo). Esta misma tendencia se observó para el número y peso de frutos vanos y el peso de semillas no desarrolladas por planta (Cuadro 2.2). Por su parte, las plantas del segundo grupo (donde se excluyó a los polinizadores) se distinguieron por no presentar frutos vanos y porque sus semillas fueron más largas (10.3% más) y anchas (10.7% más) que las del primer grupo (Cuadro 2.2).

Con el propósito de precisar cuáles variables fueron las más importantes para explicar la variación observada, se condujo un análisis de componentes principales. Éste reveló que los tres primeros componentes principales explicaron, en conjunto, el 99.06% de la variación total. El primer componente (CP1) contribuyó individualmente con 85.42%, el segundo (CP2) con 9.63% y el tercero (CP3) con 4.00%. El primer componente presentó asociaciones principalmente con el número total de frutos (vector propio: 0.355), el número de frutos normales (0.355), el peso de frutos normales (0.347), el peso de semillas normales (0.345) y el peso de semillas no desarrolladas (0.344), lo cual indica que estas variables fueron las más relevantes para explicar la variación total existente. El segundo componente estuvo asociado con atributos de la semilla, particularmente con el largo (0.682) y el ancho (0.562). En el tercer componente, las variables que más influyeron fueron el número de frutos vanos (0.492) y el peso de éstos (0.653). La distribución espacial de los tratamientos con base en los tres componentes principales muestra que, en concordancia con lo encontrado en el dendrograma, las combinaciones estudiadas se separaron en dos grandes grupos a lo largo del CP1, donde aquellas plantas que tuvieron acceso a polinizadores presentaron valores más altos de número total de frutos y de frutos normales, un mayor peso de frutos normales, de semillas normales y de semillas no desarrolladas que las plantas sin acceso a polinizadores (Fig. 2.4).

Cuadro 2.2 Componentes de rendimiento y dimensiones de la semilla de *Phaseolus coccineus* registrados en las diferentes combinaciones sistema de manejo –color de flor – acceso de polinizadores, organizadas con base en los grupos identificados en el dendrograma (Promedio \pm desviación estándar).

COMBINACIONES MANEJO-VARIEDAD								
	GRUPO I				GRUPO II			
	TRARO	TECRO	TRABL	TECBL	TRARO	TECRO	TRABL	TECBL
	Acceso a polinizadores				Sin acceso a polinizadores			
FRUTOT	15.83 \pm 6.64	17.73 \pm 9.81	14.16 \pm 6.23	15.43 \pm 7.30	0.63 \pm 1.92	0.56 \pm 1.36	0.5 \pm 1.04	0.4 \pm 0.85
FRUNOR	15.53 \pm 6.71	17.00 \pm 9.57	13.43 \pm 6.19	14.76 \pm 7.32	0.6 \pm 1.75	0.003 \pm 0.01	0.43 \pm 1.00	0.4 \pm 0.85
FRUVANO	0.3 \pm 0.46	0.73 \pm 0.78	0.73 \pm 1.20	0.66 \pm 1.18	0 \pm 0	0.03 \pm 0.18	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
PFRUVANO	0.11 \pm 0.18	0.31 \pm 0.42	0.28 \pm 0.46	0.39 \pm 0.84	0.04 \pm 0.23	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
PFRUNORM	38.45 \pm 21.9	43.75 \pm 26.9	27.03 \pm 11.9	31.92 \pm 17.9	1.68 \pm 4.94	0.82 \pm 2.02	1.028 \pm 2.69	1.63 \pm 4.61
PSEMNorm	30.19 \pm 17.6	34.66 \pm 21.2	20.42 \pm 9.14	24.1 \pm 14.54	1.17 \pm 3.26	0.56 \pm 1.36	0.76 \pm 2.03	1.19 \pm 3.50
PSEMnod	0.23 \pm 0.32	0.42 \pm 0.58	0.24 \pm 0.47	0.25 \pm 0.31	0.02 \pm 0.10	0.003 \pm 0.01	0.004 \pm 0.02	0.007 \pm 0.03

COMBINACIONES MANEJO-VARIEDAD

GRUPO I

GRUPO II

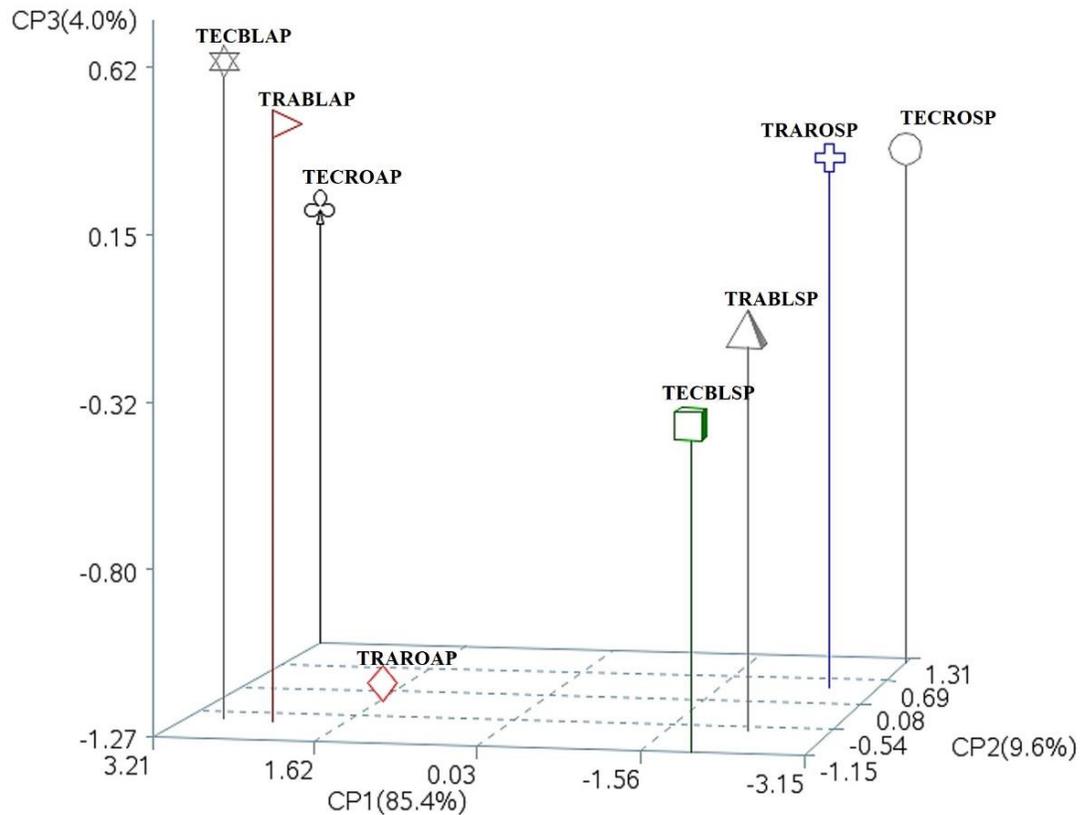
	TRARO	TECRO	TRABL	TECBL	TRARO	TECRO	TRABL	TECBL
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Acceso a polinizadores

Sin acceso a polinizadores

LONGSEM	16.73±0.98	17.20±1.38	15.60±1.00	15.29±1.13	18.4±1.36	19.50±2.27	17.36±2.06	17.02±1.13
ANCHOSEM	10.16±0.85	10.56±0.69	9.91±0.57	10.02±0.73	11.86±1.08	12.18±1.26	11.08±.25	10.53±0.71

TRARO= Sistema tradicional con flores rojas; TECRO= Sistema tecnificado con flores rojas; TRABL= Sistema tradicional con flores blancas; TECBL= Sistema tecnificado con flores blancas. FRUTOT= Número de frutos totales; FRUNOR= Número de frutos normales; FRUVANO= Número de frutos vanos; PFRUVANO= Peso de frutos vanos; PFRUNORM= Peso de frutos normales; PSEMNorm= Peso de semillas normales; PSEMNOd= Peso de semillas no desarrolladas; LONGSEM= Longitud de semillas; ANCHOSEM= Ancho de semillas.



TECBLAP= Sistema de manejo tecnificado con flores blancas y acceso a polinizadores
TRABLAP= Sistema de manejo tradicional con flores blancas y acceso a polinizadores
TECROAP= Sistema de manejo tecnificado con flores rojas y acceso a polinizadores
TRAROAP= Sistema de manejo tradicional con flores rojas y acceso a polinizadores

TECROSP= Sistema de manejo tecnificado con flores rojas sin acceso a polinizadores
TRAROSP= Sistema de manejo tradicional con flores rojas sin acceso a polinizadores
TRABLSP= Sistema de manejo tradicional con flores blancas sin acceso a polinizadores
TECBLSP= Sistema de manejo tecnificado con flores blancas sin acceso a polinizadores

Figura 2.4. Dispersión de los ocho tratamientos definidos por los tres primeros componentes principales (CP).

2. 6 DISCUSIÓN

En las plantas cultivadas que dependen de la polinización biótica, la presencia de los polinizadores es fundamental. Por tal motivo, el empleo de sistemas de manejo poco intensivos puede ser una medida que favorezca el mantenimiento de los procesos que sustentan la biodiversidad presente en los ecosistemas actuales (Tscharntke et al., 2005). A diferencia de las prácticas de agricultura intensiva, donde se promueve la disminución de la diversidad vegetal y se incrementa la aplicación de agentes químicos, especialmente de plaguicidas, las prácticas no intensivas y fundamentadas en saberes culturales y tradicionales, propician sistemas agrícolas productivos y que albergan una gran biodiversidad, incluidos polinizadores silvestres (Altieri, 2004; Potts et al., 2010). Por tal motivo, se esperaba que la exclusión de polinizadores hubiera tenido efectos negativos en las combinaciones que incluyeron el sistema de manejo tecnificado; sin embargo, no ocurrió, pues la afectación en la expresión de las diferentes variables medidas se presentó por igual tanto en el manejo tecnificado como en el tradicional. Esto implica que, en el contexto de esta investigación, cualquier efecto que pudiera haber tenido el sistema de manejo se vio ampliamente superado por el acceso o no acceso de polinizadores a las flores.

Como parte de la diversidad morfológica intraespecífica que exhibe *P. coccineus*, se ha reportado la presencia de flores blancas y flores rojas dentro de esta especie (Vargas-Vázquez et al. 2011; López-Báez et al. 2018), por lo tanto, otro factor que podría influir sobre el acceso de polinizadores a las flores, es el color de la flor de las variedades empleadas. Al respecto, Chittka et al. (1994) mencionan que la coloración de las flores influye en la constancia, la tasa de visitas y eventualmente en el éxito reproductivo de las plantas, debido a que el color actúa como una señal para la búsqueda de alimento por parte de los polinizadores, los cuales poseen sistemas visuales diferentes que les permiten ser más sensibles a determinadas longitudes de onda (Menzel y Backhaus, 1991).

Se ha documentado que las flores rojas que exhiben algunas variedades de *P. coccineus*, resultan ser más atractivas para insectos polinizadores respecto a las flores blancas, azules o rosas que exhiben otras especies del género *Phaseolus* (Duke, 1981). Sin embargo, en nuestro trabajo encontramos que el color de flor tampoco resultó ser una variable que modificara los resultados de haber permitido o excluido a los polinizadores.

En la presente investigación encontramos que, en *Phaseolus coccineus*, de las variables analizadas relacionadas con el rendimiento, el número total de frutos y de frutos normales, el peso de frutos y semillas normales, número y peso de frutos vanos y peso de semillas no desarrolladas, fueron afectadas negativamente al excluir los polinizadores de las flores. En este sentido, Blackwell (1971), encontró que el porcentaje de alogamia en *P. coccineus* oscila entre el 20 y 50 %. Búrquez (1984) reporta valores entre el 64 y 87 % para poblaciones cultivadas y del 45 al 90 % en poblaciones silvestres de México, en tanto que Muruaga et al. (1992) señalan un 14.7 % para cultivares en el valle de México. Resulta interesante que las dos variedades empleadas en este estudio respondieran de forma similar ante la interacción o exclusión de polinizadores, pues ello evidencia que en ambas existe una alta dependencia de la polinización cruzada, mediada en este caso por vectores bióticos.

En las especies cultivadas en las cuales la estructura de interés es la semilla, el rendimiento de esta estructura, a nivel morfológico, es el resultado de los denominados componentes del rendimiento, específicamente de los relacionados con el número de unidades reproductivas (espigas, mazorcas, vainas, etc.), número de semillas por unidad reproductiva, así como el peso promedio por semilla (Gardner et al., 1985). Aun cuando no se cuenta con información específica de *P. coccineus*, se puede poner en contexto lo encontrado para *P. vulgaris*, especie para la cual Fageria y Santos (2008) listan como componentes del rendimiento al número de fruto (vainas) por unidad de área o por planta, el número de semillas por fruto y el peso de 100 semillas. Se infiere que, en todos los casos, se hace referencia a estructuras normales.

La importancia de la polinización biótica y sus consecuencias en el amarre de frutos de *P. coccineus* se documenta en Kendal y Smith (1976) en Inglaterra e Ibarra-Perez et al. (1999) en Estados Unidos. En ambas investigaciones se registró una menor producción de frutos y semillas en ausencia de polinizadores eficientes. En otro trabajo de exclusión de polinizadores desarrollado en Polonia, se encontró que hubo una disminución en el amarre de entre 0 y 0.93 % de los frutos en comparación con plantas con acceso (Wróblewska, 1991); mientras que Tchuenguem-Fohouo et al. (2014) encontraron que en *P. coccineus* cultivado en Camerún, el 53.52 % de la producción de frutos era atribuible a la influencia de polinizadores. Con estos antecedentes se muestra como la exclusión o limitación de polinizadores tiene consecuencias directas negativas sobre el número de frutos por planta. Esta misma tendencia fue la que obtuvimos en el presente estudio, en el cuál,

en las plantas donde no se permitió el acceso a polinizadores, la cantidad de frutos totales y normales fue significativamente menor, además de que en ellas se presentó un menor peso de frutos y semillas normales por planta en comparación con aquéllas donde sí ocurrió la interacción con polinizadores. En las plantas donde se permitió el acceso a polinizadores también hubo una mayor cantidad de frutos vanos (y, por tanto, un mayor peso de estos y de semillas no desarrolladas). Ello es un comportamiento reportado en las leguminosas, como el caso de *Glycine max* (soya), donde entre un 60 y un 75 % del total de flores producida por la planta aborta y no contribuye al rendimiento. Se estima que aproximadamente la mitad de esa aborción ocurre antes de que las flores desarrollen en frutos jóvenes y la otra mitad, se debe a la aborción de frutos (Ritchie et al., 1992). De acuerdo con Quagliotti y Marletto (1987), en *P. coccineus*, aun cuando la floración es copiosa, un porcentaje alto de flores no cuaja en frutos.

Un aspecto interesante, coincidente con lo reportado por Quagliotti y Marletto (1987), fue el hecho de que variables como el número de semillas normales y de semillas no desarrolladas por fruto se mantuvieron constantes, independientemente del acceso o no de polinizadores. Una posible explicación de ello es que el número de semillas por fruto es una característica con alta heredabilidad (78.2 % en *P. vulgaris*), esto es, que su expresión fenotípica está determinada mayormente por el componente genético (Fageria y Santos, 2008; Checa et al., 2011). Esto significa que son características muy estables en cuanto a su nivel de expresión y que, por tanto, una vez que ocurre la fertilización, independientemente de si esta fue por la acción de los polinizadores o es el resultado de una autofecundación, el número de semillas que se desarrollará será el mismo. En relación con esto último, Ramírez-Vallejo y Acosta-Gallegos (1995) encontraron que en *Phaseolus vulgaris* hay tres etapas críticas durante la fase reproductiva: la iniciación floral y el desarrollo de las flores o inflorescencias, cuando se determina el número potencial de semillas; la antesis y fertilización, cuando se fija el grado de ese potencial, y el desarrollo de la semilla.

Otro resultado, no reportado en trabajos previos, debido a que no se había cuantificado, fue el relacionado con el tamaño de las semillas normales que se formaron en cada caso. Si bien la cantidad de éstas por fruto fue igual en plantas con o sin acceso a polinizadores, las de las plantas cubiertas tendieron a ser más largas y anchas que las de las plantas con libre acceso a polinizadores. El espesor de las semillas se mantuvo sin cambios. Una posible explicación de lo anterior podría

ser un mecanismo conocido como compensación de componentes de rendimiento, el cual se expresa ante condiciones de estrés y que consiste en que ante una reducción en uno o más componentes de rendimiento, la planta compensa tal disminución con un aumento en otros componentes (Ritchie et al., 1992).

Nuestros resultados muestran la importante contribución de la polinización biótica al rendimiento de las dos variedades de *P. coccineus* incluidas en este estudio y evidencian que *P. coccineus* es una especie que, de acuerdo con Klein et al. (2007), pertenece a la categoría de dependencia esencial de los polinizadores para su producción, en la cual quedan incluidos los cultivos cuya producción se reduce en un 90 % o más ante la ausencia de tales agentes.

2.7 CONCLUSIONES

La exclusión de polinizadores causó una disminución significativa en variables asociadas al rendimiento, particularmente en el número de frutos totales y normales y, consecuentemente, del peso de semillas normales. No modificó el número de semillas normales y no desarrolladas por fruto, ni el factor de desgrane. Las semillas producidas en plantas que no interactuaron con polinizadores fueron escasas, sin embargo, resultaron más largas y anchas respecto de aquellas que permanecieron con libre acceso a la interacción de polinizadores. Estos resultados fueron consistentes en ambos sistemas de manejo agronómico y en ambos colores de flor. Los resultados obtenidos, resaltan la importancia que tiene la polinización biótica en el rendimiento de este cultivo y la necesidad de implementar prácticas agrícolas que permitan aprovecharla de manera sustentable y conservar este servicio ecosistémico.

CAPÍTULO III. CONOCIMIENTO Y OPINIONES DE LOS AGRICULTORES RESPECTO A LA POLINIZACIÓN Y LOS POLINIZADORES DE *Phaseolus coccineus*

3.1 RESUMEN

Antecedentes y objetivos: *Phaseolus coccineus* es un cultivo que depende de animales silvestres para su reproducción. La actividad humana es determinante en la dinámica y salud de los polinizadores de la especie, por tanto, el conocimiento que sobre la polinización y sobre los organismos involucrados tengan quienes se dedican a la producción de cultivos es útil para su preservación. Por lo anterior, se diseñó una investigación cuyos objetivos fueron recopilar el conocimiento y opiniones de los agricultores sobre la polinización y los polinizadores del cultivo, detectar prácticas agrícolas perjudiciales para ellos y conocer su disposición para implementar prácticas para su conservación.

Métodos: Se entrevistó a 51 productores de *P. coccineus* del Valle de Puebla, distribuidos en ocho localidades. Se empleó un cuestionario e imágenes de apoyo para recopilar el conocimiento y opiniones sobre la polinización y polinizadores, conocer el manejo agronómico del cultivo y la disposición para implementar prácticas para su conservación. Las respuestas obtenidas se analizaron con técnicas estadísticas descriptivas, gráficos y cuadros de frecuencias.

Resultados clave: Más de la mitad de los agricultores desconocen el proceso de polinización en el cultivo. Aun cuando alrededor del 20 % consideraron a ciertos polinizadores como plagas, más de la mitad creen que son necesarios para el amarre de frutos. Aproximadamente el 80 % emplean insecticidas que son perjudiciales para polinizadores, un 94 % realiza un exhaustivo control de arvenses, disminuyendo los recursos florales y la nidificación para animales polinizadores. La mayoría están dispuestos a emplear productos para controlar plagas sin dañar a los polinizadores y conservar áreas naturales cercanas a sus cultivos.

Conclusiones: Se requiere impulsar acciones de divulgación entre los productores de *P. coccineus* en el Valle de Puebla acerca del proceso de polinización y los polinizadores del cultivo e informarles que algunas prácticas de manejo comprometen la salud y conservación de los polinizadores y el servicio ecosistémico que éstos proporcionan.

Palabras clave: ayocote, conocimiento tradicional, polinización, polinizadores.

CHAPTER III. FARMERS'S KNOWLEDGE AND OPINIONS REGARDING POLLINATION AND POLLINATORS OF *Phaseolus coccineus*

3.2 ABSTRACT

Background and Aims: *Phaseolus coccineus* is a crop that depends on wild animals for its reproduction. Human activity is determinant in the dynamics and health of the pollinators of the species, therefore, the knowledge that on pollination and the organisms involved have those who are dedicated to crop production is useful for the preservation of pollinators. Therefore, a study was designed with the objectives of collecting the knowledge and opinions that peasants have on pollination and crop pollinators, of detecting harmful agricultural practices and of knowing their willingness to implement practices for the conservation of pollinators.

Methods: We interviewed a total of 51 peasants, producers of *P. coccineus*, distributed across eight localities in the Puebla Valley. We used a questionnaire as well as photographs to collect the knowledge and opinions about pollination and pollinators, to know the agronomic management of the crop and the willingness to implement practices for conservation of pollinators. The answers were analyzed with descriptive statistical techniques, graphs and frequency charts.

Key results: More than half of the peasants are unaware of the pollination process in the crop. Even though around 20 % of them classified certain pollinators as pests, more than half believed that those organisms are necessary for fruit set. Nearly 80 % use insecticides that are harmful to pollinators, around 94 % carry out an exhaustive control of weeds, reducing floral resources and nesting sites for pollinators. Most peasants are willing to use products to control pests without harming pollinators and to preserve natural areas near their crops.

Conclusions: It is necessary to promote outreach actions among the producers of *P. coccineus* in the Puebla Valley about the pollination process and crop pollinators, and to inform them that some management practices compromise the health and conservation of pollinators and the ecosystem service they provide.

Key words: pollination, pollinators, runner bean, traditional knowledge.

3.3 INTRODUCCIÓN

El frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*) es, probablemente, la tercera especie domesticada del género *Phaseolus* (después de *P. vulgaris* y *P. lunatus*) más importante a nivel mundial en términos económicos y de superficie cultivada (Santalla et al., 2004). Es posible encontrarlo cultivado con fines alimenticios en América Central, América del Sur, África y Europa (Vargas-Vázquez et al., 2007; Giurca, 2009) y ornamentales (Schwember et al., 2017).

Es una especie originaria de Mesoamérica (lo que actualmente conforma la mitad meridional de México, Guatemala, Belice, El Salvador y Honduras) (Delgado, 1998). Aunque el conocimiento sobre el proceso de su domesticación aún está incompleto, se tienen registros de su consumo humano en estado silvestre que datan de hace más de 7,000 años en México (Smartt, 1990). En cuanto al uso alimenticio de la forma domesticada, éste tiene una fecha más reciente, alrededor de 2,200 años, en el Valle de Tehuacán, Puebla, México (Vargas-Vázquez et al., 2012).

En México, las formas domesticadas de *P. coccineus* actualmente se cultivan en los estados de México, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Chihuahua, Chiapas, Durango y Zacatecas (Vargas-Vázquez et al., 2007; Ruíz-Salazar, 2009), siendo Puebla, el estado que concentra la mayor superficie cultivada a nivel nacional (particularmente la región centro-oriente) (López-Báez et al., 2018).

Debido a que las flores de *P. coccineus* poseen características anatómicas que limitan la autofecundación, la especie es considerada predominantemente alógama (Webster et al., 1980; Labuda, 2010). El abundante néctar y polen que secretan las flores de *P. coccineus* las hacen atractivas para insectos, como abejorros y abejas, así como algunos vertebrados como los colibríes (Burquez y Sarukhán, 1984). Todos ellos favorecen el transporte de polen a través de las visitas que realizan (Burquez y Sarukhán, 1984; Kotowski, 2004) y, en última instancia, resultan fundamentales para la producción de frutos y semillas en este cultivo (Pando et al., 2011; Tchuenguem et al., 2014).

Si bien los visitantes florales, entendidos como cualquier organismo animal que toca físicamente las flores o inflorescencias (Hernández-Villa et al., 2020), pueden o no desempeñar un papel en el proceso reproductivo de la planta, profundizar en su conocimiento, comprender su rol y las interacciones que cada uno tienen a lo largo de la red trófica, representa beneficios para los sistemas agrícolas y el ecosistema en general (Wackers et al., 2007). Conocer su comportamiento

en las flores de determinada especie, puede representar un primer acercamiento a sus potenciales polinizadores.

A pesar de la importancia que tienen los polinizadores en *P. coccineus* y otras especies, su abundancia, diversidad y salud están siendo amenazados por diversos factores entre los que destacan: 1) el cambio climático, el cual modifica los patrones de distribución y la fenología de las plantas de las cuales se alimentan. Dicho desajuste espacial y temporal puede causar una disponibilidad limitada de polen y brechas en el suministro de alimento para los polinizadores, siendo las especies especialistas las más perjudicadas (González-Varo et al., 2013; Memmott et al., 2007); 2) la fragmentación o alteración del paisaje natural, ya que implica la reducción de los recursos florales, de anidación, el aislamiento de las poblaciones y por ende cambios en las interacciones bióticas, resultando en la disminución de la riqueza de especies y abundancia de polinizadores, situaciones que, a su vez, tienen efectos negativos sobre la polinización y fertilización de las plantas (González-Varo et al., 2013; Williams et al., 2010); 3) la intensificación agrícola, pues el uso constante de herbicidas, pesticidas y fertilizantes inorgánicos, dan como resultado la pérdida de márgenes de herbáceas que proporcionan sitios de anidamiento y recursos de forraje para los polinizadores; además, afectan directamente el comportamiento y la salud de los polinizadores y homogenizan las comunidades silvestres (Gill et al., 2012; González-Varo et al., 2013); 4) La introducción de especies no nativas, tanto de plantas como de especies polinizadoras, ya que pueden propiciar interacciones como la competencia (Bjerknes et al., 2007; González-Varo et al., 2013) y 5) la transmisión de enfermedades y patógenos que afecten negativamente a los polinizadores (González-Varo et al., 2013).

Lo antes expuesto evidencia que la actividad humana es determinante en la dinámica y futuro de los polinizadores, por lo que los estudios orientados a precisar el nivel de conocimiento, percepciones y opiniones que sobre estos animales tiene el ser humano resulta ser un elemento de gran importancia para instrumentar acciones tendientes a su mantenimiento y conservación (Ali et al., 2020).

Recientemente se han llevado a cabo estudios de percepción con agricultores, debido a que se asume que son quienes tienen un contacto más directo y cotidiano con las especies polinizadoras. De esta forma, a partir de cuestionarios y entrevistas a agricultores que trabajan con cultivos en los que intervienen agentes bióticos para su polinización, se ha documentado su conocimiento y

percepciones sobre la contribución de los polinizadores a la producción de sus cultivos. Ejemplos de ello son los trabajos de Hanes et al. (2013) en *Vaccinium angustifolium* (una especie de arándano silvestre), Ali et al. (2020) en *Cucurbita* (diversas especies de calabazas) y Park et al. (2018) en *Malus domestica* (manzana). En *P. coccineus*, aun cuando es un cultivo que depende en gran medida de polinizadores para su reproducción, a la fecha no se han realizado estudios que permitan recopilar información como la antes mencionada, motivo por el cual se planteó la presente investigación. Los objetivos son recopilar el conocimiento y opiniones de los agricultores respecto a la polinización y los polinizadores, detectar algunas prácticas de manejo del cultivo que pudieran incidir de forma negativa en la salud y diversidad de polinizadores y conocer la disposición de los agricultores a implementar prácticas que favorezcan la conservación de los polinizadores.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en cinco municipios ubicados en el Valle de Puebla, Puebla: Huejotzingo, Calpan, San Nicolás de los Ranchos, San Felipe Teotlalcingo y Chiautzingo, los cuales pertenecen al Distrito de Desarrollo Rural (DDR) de Cholula, donde se cultiva *P. coccineus* en pequeña escala. Los suelos predominantes en los municipios incluyen los de tipo Regosol, Cambisol y Fluvisol; el clima más extendido es el templado subhúmedo con lluvias en verano (C(w₂)) (INAFED, 2022).

Al interior de cada municipio, con base en las sugerencias de investigadores y técnicos que laboraban en ellos, se seleccionaron localidades donde se habían observado parcelas sembradas con la especie de interés. De esa relación de localidades, se eligieron aquellas donde las autoridades municipales estuvieron dispuestas a colaborar y en donde acudieron productores de *P. coccineus* (ayocote) después de la convocatoria hecha por perifoneo. De este modo, las localidades consideradas fueron las siguientes: en Huejotzingo, San Luis Coyotzingo y Santa María Atexcac; en Calpan, San Andrés Calpan, San Lucas Atzala y San Mateo Ozolco; en San Nicolás de los Ranchos, San Pedro Yancuitlalpan; en San Felipe Teotlalcingo, el poblado del mismo nombre y en Chiautzingo, San Lorenzo Chiautzingo.

3.4.2 Población de estudio

Debido a que no existe un padrón de productores de *P. coccineus* en el DDR de Cholula, en cada localidad se aplicó una técnica de muestreo no probabilístico conocida como “bola de nieve” o muestreo en “cadena” o “referencia”, en donde se identifican los casos de interés a partir de alguien que conozca a alguien que puede resultar un buen candidato para participar (Martínez-Salgado, 2012). Para ello, se contactó a informantes clave o integrantes de los Comisariados Ejidales, a quienes se les solicitó proporcionaran el primer contacto con algún agricultor productor de frijol ayocote. Una vez establecida la comunicación, a este agricultor se le solicitó proporcionara el nombre de otro(s) agricultor(es) que sembraran ayocote y así, sucesivamente, hasta agotar las posibilidades.

De esta manera, se entrevistó a un total de 51 agricultores que cultivan frijol ayocote, quienes estuvieron dispuestos a participar voluntariamente en el estudio (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1 Municipios, localidades y número de agricultores entrevistados para el presente estudio en el Valle de Puebla

Municipio	Ubicación geográfica	Altitud (msnm)	Localidad	No. de productores participantes
Huejotzingo	19° 13' 32'' y 19° 06' 36'' N 98° 20' 18'' y 98° 39' 00'' O	2550	San Luis	1
			Coyotzingo	
			Santa María	10
			Atexcac	
Calpan	19° 06' 36'' y 19° 41' 12'' N 98° 23' 54'' y 98° 32' 24'' O	2540	San Andrés	8
			Calpan	
			San Lucas Atzala	7
San Mateo			Ozolco	12
San Nicolás de los Ranchos	19° 01' 24'' y 19° 08' 30'' N 98° 28' 24'' y 98° 39' 00'' O	2650	San Pedro Yancuitlalpan	3
San Felipe Teotlalcingo	19° 11' 24'' y 19° 15' 36'' N 98° 28' 06'' y 98° 33' 18'' O	2700	San Felipe Teotlalcingo	5
Chiautzingo	19° 10' 24'' y 19° 13' 42'' N 98° 26' 24'' y 98° 33' 36'' O	2700	San Lorenzo Chiautzingo	5
			Total	51

3.4.3 Instrumento empleado

Para recabar la información, a cada agricultor se le aplicó un cuestionario integrado por 32 preguntas y organizado en cinco secciones: 1) datos generales del entrevistado, 2) actividades agropecuarias, 3) manejo agronómico del cultivo de *P. coccineus*, 4) conocimiento y opiniones sobre la polinización y los polinizadores y 5) disposición a implementar prácticas para la conservación de polinizadores.

En la sección de polinización y polinizadores, nos apoyamos de 13 imágenes impresas en calidad fotográfica, en las que se incluyeron cinco especies plaga (*Anticarsia gemmatalis*, *Epilachna varivestis*, *Bemisia tabaci*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Dichroplus morosus*) y ocho visitantes florales (*Bombus* sp, *Colias eurytheme*, *Amazilia beryllina*, *Brachygastra mellifica*, *Selasphorus rufus*, *Xylocopa* sp, *Allograpta obliqua*, *Apis mellifera*) de *P. coccineus*, que han sido reportados previamente como visitantes frecuentes de dicho cultivo en la zona de estudio (Cué-Hernández et al., 2022), esto con la finalidad de determinar el nivel de conocimiento que los agricultores tienen respecto a discernir entre plagas y potenciales polinizadores. Una vez finalizada la aplicación del cuestionario, las y los productores recibieron un tríptico con información respecto a la polinización en ayocote, factores que afectan a los polinizadores y recomendaciones para fomentar y aumentar la presencia de éstos en el cultivo. Los cuestionarios se aplicaron durante los meses de junio, julio y agosto de 2021.

3.4.4 Análisis de datos

Se realizaron análisis preliminares empleando la prueba de Chi-cuadrada para detectar diferencias en el conocimiento y opiniones sobre la polinización, polinizadores y la disposición a implementar prácticas para la conservación de polinizadores entre grupos de agricultores que se formaron con base en edad, localidad y años de experiencia en el cultivo de *P. coccineus*, con ayuda del software InfoStat® (InfoStat versión 2020). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas, motivo por el cual se optó por analizar el conjunto de informantes como un grupo homogéneo. De este modo, las respuestas obtenidas, fueron analizadas mediante técnicas estadísticas descriptivas (promedios, porcentajes), utilizando el paquete estadístico SAS® OnDemand for Academics (2012-2018) y se elaboraron gráficos (columnas, barras y sectoriales) y cuadros de frecuencias absolutas y relativas de datos en Excel 2021®.

3.5 RESULTADOS

3.5.1 Características generales de la población y las parcelas de estudio

De los 51 agricultores entrevistados, el 19.61% fueron mujeres y 80.39 % fueron hombres. Su edad promedio fue de 53 años (± 14.78 años) (\pm Desviación estandar). El 56.86 % tuvo algún grado de estudios en primaria, el 23.52 % en secundaria, el 11.76 % en preparatoria, y sólo el 7.84 % cursó al menos un año de educación universitaria.

En promedio, los agricultores siembran una superficie de 2.75 ± 2.56 ha (promedio hectáreas \pm DE), de las cuales destinan un 16.57 % al cultivo de *P. coccineus*. Además de producir ayocote, el 98.03 % de los agricultores siembra maíz, el 88.23 % cultiva alguna variedad de frijol común, el 84.31 % produce haba, el 82.35 % frutales y el resto reporta menores proporciones de cucurbitáceas (calabazas y chilacayote), otras leguminosas (chícharo y haba), solanáceas (chile) y opuntias (nopales).

3.5.2 Manejo del cultivo de *P. coccineus*

Los agricultores tienen en promedio 25.2 ± 17.11 años (promedio años \pm DE) cultivando *P. coccineus* y visitan su parcela, en promedio, 2.7 ± 1.8 días a la semana (promedio \pm DE). Las parcelas donde producen ayocote se encuentran rodeadas, en su mayoría (51 %), por áreas destinadas a otros cultivos (frutales como duraznos, peras, manzanas, capulín, maíz, calabazas, chícharos, haba, chile, nopal), por remanentes de bosque de coníferas (27 %) y, en menor proporción, por terrenos baldíos y construcciones urbanas (Fig. 3.1).

El 88.23 % de los agricultores encuestados aplica algún tipo de fertilizante químico, el 9.81 % no aplica fertilizantes químicos y el 1.96 % restante no proporcionó información. De aquellos agricultores que aplican fertilizantes químicos, un 82.22 % emplea fertilizantes nitrogenados y el resto usa mezclas de N-P-K y foliares. El 76.47 % de los agricultores aplica abonos orgánicos (bovino, vacuno, equino, porcino, aves de corral y composta) después de realizar las actividades de cosecha y previo a la preparación del terreno.

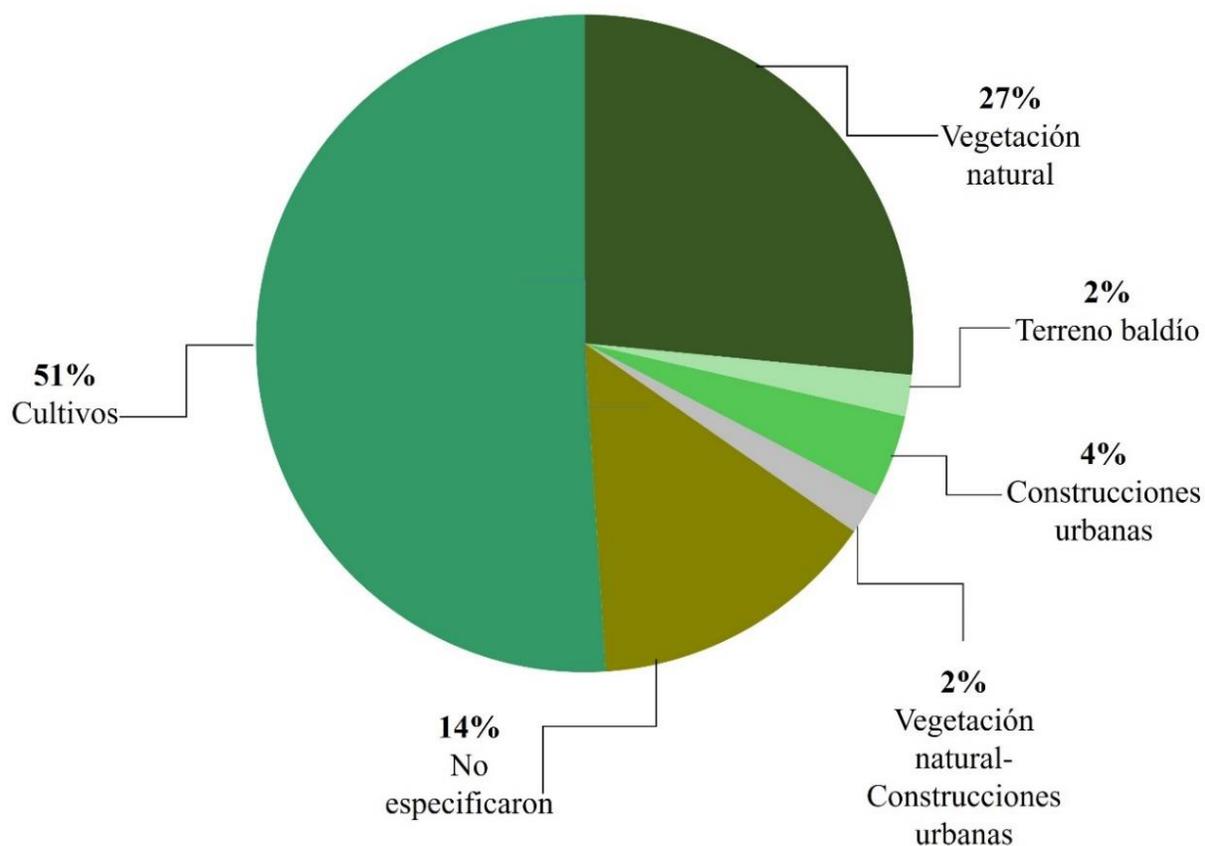


Figura 3.1. Representatividad del tipo de matriz circundante a las parcelas de frijol ayocote en el estado de Puebla.

Entre las plagas más comúnmente observadas por los agricultores en el cultivo de ayocote, destacan Coleópteros (picudo, conchuela, frailecillo, gorgojo), Ortópteros (chapulines), Hemípteros (mosca blanca), Homópteros (pulgones) y Lepidópteros (en estados tempranos de su ciclo de desarrollo) y mamíferos del orden Rodentia (tuzas) (Fig. 3.2).

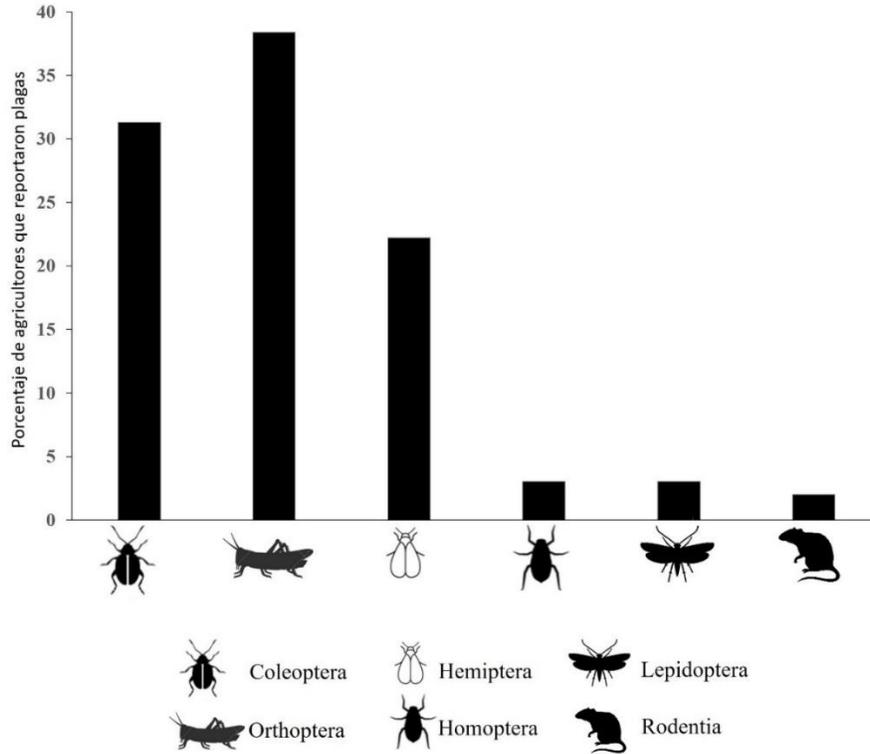


Figura 3.2. Principales plagas detectadas por agricultores del Valle de Puebla en el cultivo de *P. coccineus*.

Del 76.4 % de los agricultores que controlan las plagas antes mencionadas (particularmente insectos), el 84.6 % lo hacen utilizando insecticidas químicos (Fig. 3), el 5.12 % mediante productos orgánicos y el resto (10.27 %) no recuerda los productos que emplean para su manejo. Los insecticidas químicos más utilizados pertenecen a los grupos químicos de organofosforados (15.15 %), piretroides (21.21 %) y una combinación de organofosforados y piretroides (63.64 %). Respecto al control de plagas mediante insumos orgánicos, los agricultores emplean cenizas o el líquido resultante de la cocción de cebollas, ajos, semillas de chile y jabón (Fig. 3.3). El 58.98 % de los agricultores que controlan plagas, lo hacen durante las etapas fenológicas de prefloración y floración, el 38.46 % lo realizan en otras etapas fenológicas del cultivo (aparición de plántula, durante el crecimiento vegetativo o la maduración de vainas) y el 2.56 % no proporcionaron información al respecto. El 94.88 % de los entrevistados aplica los productos ya sea químicos u orgánicos en algún momento entre las 7:00 y las 14:00 horas, el 2.56 % de las 14:00 horas en adelante y el 2.56 % restante en horarios indistintos.

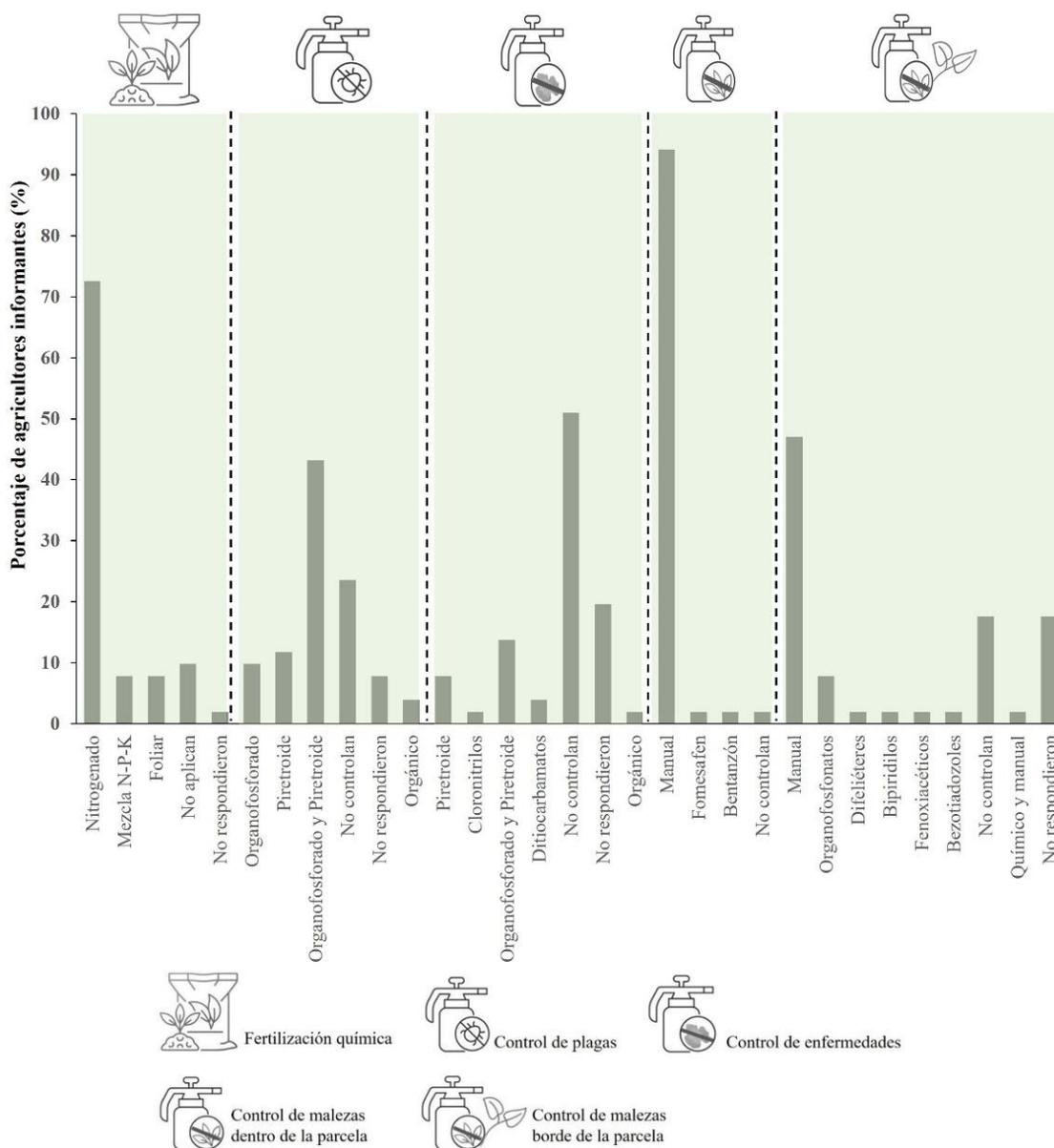


Figura 3.3. Aspectos del manejo agronómico en el cultivo de *P. coccineus* empleados por agricultores del Valle de Puebla.

Las enfermedades que más comúnmente identificaron los agricultores en el cultivo de *P. coccineus* fueron: “roya” (causada por el hongo *Uromyces phaseoli*) (53.84 %), “cenicilla” (causada por el hongo *Erysiphe polygoni*) (26.92 %), las virosis (arrugamiento foliar) (15.38 %) y los mosaicos causados por virus (3.86 %). El 50.98 % de los entrevistados no controlan las enfermedades, el 45.09 % si las controlan, y el 3.93 % restante no proporcionó información al respecto. De aquellos que sí controlan las enfermedades, el 60.86 % emplearon agentes químicos, el 4.34 % insumos

orgánicos y el resto no recordó el tipo de insumo empleado (34.8 %) (Fig. 3.3). Los productos utilizados fueron insecticidas piretroides y organofosforados y fungicidas de los grupos químicos ditiocarbamatos y cloronitrilos (Fig. 3.3). Los insumos orgánicos empleados para el control fueron cocciones de ajo, cebolla y chiles, además de detergentes. El 57.14 % de los agricultores realiza el control de las enfermedades durante las etapas fenológicas de prefloración y floración y el resto (42.86 %) en otras etapas de desarrollo del cultivo (aparición de plántula, durante el crecimiento vegetativo o la maduración de vainas). La mayoría de los informantes (85.71 %) destinan tiempos comprendidos entre las 7:00 y las 14:00 horas para la aplicación de productos para el control de las enfermedades y el resto (14.29 %), de las 14:00 horas en adelante.

Un alto porcentaje de los agricultores (94.11 %) controla las plantas arvenses que crecen dentro de la parcela de cultivo utilizando herramientas manuales, como azadones, machetes, palas y hoces (Fig. 3.3). Los deshierbes se realizan en la etapa fenológica de prefloración y floración (58.33 %), en otras etapas del cultivo (35.41 %) y durante todo el ciclo del cultivo (6.26 %). Del total de entrevistados, sólo una pequeña proporción (3.92 %) realizan el control de arvenses con herbicidas. Estos pertenecen a los grupos químicos organofosforados, benzotiadizoles y difeniléteres, principalmente, los cuales se aplican a los pocos días de emergencia de las plántulas de *P. coccineus* (Fig. 3.3). El resto de los informantes (1.96 %) no realizan actividades de control de malezas dentro de la parcela.

En cuanto al control de arvenses que se encuentran en el borde de la parcela de cultivo, el 47.05 % de los agricultores dijo emplear las mismas herramientas anteriormente mencionadas; el 17.64 % declaró no eliminarlas, el 19.60 % las controló utilizando herbicidas y el 15.71 % restante, no respondió (Fig. 3.3). Los grupos químicos más comúnmente empleados fueron los organofosfonatos, difeniléteres, bupiridilos, benzotiadizoles y fenoxiacéticos (Fig. 3.3). Un 45.45 % de aquellos que controlan las arvenses en el borde de la parcela tanto manual como químicamente, lo hacen en las etapas de prefloración y floración, el 27.27 % en otras etapas fenológicas del cultivo (aparición de plántula, durante el crecimiento vegetativo, la maduración de vainas y durante todo el ciclo del cultivo); el 21.21 % no proporcionó información y el 6.07 % lo hace durante todo el ciclo del cultivo. De quienes realizan tanto control manual como químico de arvenses en los bordes, la mayoría (61.78 %) lo llevan a cabo durante las primeras horas del día,

es decir, de las 7:00 a las 12:00 horas, el resto lo realizan en horarios posteriores al medio día (14.70 %) y el 23.52 % no proporcionaron información al respecto.

3.5.3 Conocimientos sobre polinización y organismos polinizadores

El 50.98 % de los agricultores encuestados ha escuchado el término “polinización”; sin embargo, el 19.23 % no sabe a qué se refiere, el 3.86 % no proporcionó información y el resto (76.91 %) dieron diversas respuestas, entre las que destacaron, “la transferencia de polen” y que el término “polinización” está “relacionado con mejores rendimientos y amarre de frutos”. Los agricultores que han oído la palabra “polinización” consideraron que el aspecto en el que más influye ésta es, en primer lugar, el amarre de frutos, en segundo lugar, en la calidad de las semillas, en tercer lugar, en el rendimiento y, en cuarto lugar, en la caída de las flores (Cuadro 3.2).

Al preguntar a los entrevistados si habían escuchado el término “néctar”, el 68.62 % de los agricultores respondieron afirmativamente; sin embargo, el 74.28 % de ellos dijo no saber a qué se refería dicho término, el 11.43 % mencionó que es una “sustancia que atrae a los polinizadores”, mientras que el resto de los informantes asoció el término con “alimento para abejas y colibríes” (5.72 %), “sustancia necesaria para la producción de miel” (5.72 %) y “sustancia necesaria para polinizar las flores” (2.85 %) (Cuadro 3.2).

En cuanto al término “polen”, un 92.15 % de los agricultores lo han escuchado, pero el 53.19 % de ellos no sabe a qué se refiere o cuál podría ser la función que tiene para las plantas; el 21.27 % mencionaron que es un “polvo fino que se encuentra en la flor para polinizarla”, 14.89 % lo definieron como “células sexuales masculinas para fecundar la flor y producir semillas” y un 4.26 % dijo que era alimento para las abejas. El porcentaje restante (6.39 %) correspondió a respuestas tales como “atrae abejas”, “es parte de la planta” o a personas que no respondieron (Cuadro 3.2).

Al interrogar a los agricultores sobre si sabían cómo es que las flores se convierten en vainas, se encontró que un 70.59 % respondieron negativamente. Del 29.41 % que respondió afirmativamente, el 73.33 % mencionó que “la vaina crece a partir de aquellas flores que están secas”, el 6.67 % dijo que “primero el insecto poliniza la flor y posteriormente crece la vaina”, otro 6.67 % señaló que “se forma una vez fecundado el óvulo de la flor” y el 13.33 % restante, no proporcionaron información (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2 Aspectos de la polinización conocidos por los agricultores.

Pregunta y clasificación de respuesta	Frecuencia	
	Absoluta	Relativa (%)
Han escuchado hablar del término “polinización” (n=51)		
No	25	49.02
Si	26	50.98
<i>No saben</i>	5	19.23
<i>Transferencia de polen de una flora a otra para fecundarla y obtener frutos</i>	6	23.07
<i>Relacionado con mejores rendimientos y amarre de frutos</i>	6	23.07
<i>Relacionado con las visitas de abejas a las flores</i>	4	15.38
<i>Relacionado con el polen</i>	3	11.53
<i>Transformación de sustancias inorgánicas a orgánicas</i>	1	3.86
<i>No proporcionaron información</i>	1	3.86
Han escuchado hablar del término “néctar” (n=51)		
No	16	31.38
Si	35	68.62
<i>No saben</i>	26	74.28
<i>Sustancia que atrae polinizadores</i>	4	11.43
<i>Alimento para abejas y colibríes</i>	2	5.72

Pregunta y clasificación de respuesta	Frecuencia	
	Absoluta	Relativa (%)
<i>Sustancia necesaria para producir miel</i>	2	5.72
<i>Sustancia necesaria para que se puedan polinizar las flores</i>	1	2.85
Han escuchado hablar del término “polen” (n=51)		
No	4	7.85
Si	47	92.15
<i>No saben</i>	25	53.19
<i>Polvo para polinizar</i>	10	21.27
<i>Células sexuales masculinas para fecundar la flor y producir semillas</i>	7	14.89
<i>Alimento para abejas</i>	2	4.26
<i>Atrae abejas</i>	1	2.13
<i>Es parte de la planta</i>	1	2.13
No proporcionó información	1	2.13
Saben cómo las flores se convierten en vainas (n=51)		
No	36	70.59
Si	15	29.41
<i>Crecen a partir de las flores secas</i>	11	73.33
<i>Primero el insecto poliniza la flor y posteriormente crece la vaina</i>	1	6.67

Pregunta y clasificación de respuesta	Frecuencia	
	Absoluta	Relativa (%)
<i>Se forma una vez fecundado el óvulo de la flor</i>	1	6.67
<i>No proporcionaron información</i>	2	13.33
Aspectos en los que más influye la polinización en el cultivo (n=51)		
<i>Caída de las flores</i>	11	21.56
<i>Amarre de vainas</i>	14	27.46
<i>Rendimiento</i>	13	25.49
<i>Calidad de semilla</i>	13	25.49

De las fotografías mostradas a los agricultores como parte de la entrevista, cinco correspondían a especies que se han reportado como plagas del cultivo. Un 87.83 % de los entrevistados mencionaron haberlas observado en sus parcelas de *P. coccineus* y 82.03 % las consideraron plagas. En el caso de los visitantes florales (ocho fotografías), han sido observados por una proporción importante de los agricultores: un 90.19 % ha visto a *C. eurytheme* (mariposa), un 78.43 % a *B. mellifica* (avispa), un 74.14 % a *A. beryllina* y *S. rufus* (colibríes) un 73.19 % a *Bombus* sp., *Xylocopa* sp. y *A. mellifera* (abejorro y abejas, respectivamente) y un 66.66 % a *A. obliqua* (sífido-mosca). Al preguntar si consideraban que alguno de estos organismos era una plaga del cultivo se encontró que, en promedio, 13.04 %, 12.5 %, 9.92 % y 41.17 % de los agricultores opinaron que la mariposa, la avispa, los colibríes, las abejas y el sífido, respectivamente, eran plagas del cultivo. Cabe destacar que tanto la mosca polinizadora (sífido), como la abeja representante del género *Xylocopa*, fueron los visitantes florales más comúnmente considerados como plagas o insectos que dañan el cultivo (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Especies observadas en las parcelas de cultivo de *P. coccineus* consideradas como plagas o que causan daños.

Especies	Observado en el cultivo		Considerada plaga	
	Frecuencia		Frecuencia	
	Absoluta	Relativa (%)	Absoluta	Relativa (%)
<i>Anticarsia gemmatalis</i>	44	86.27	37	84.09
<i>Epilachna varivestis</i>	40	78.43	27	67.5
Plagas <i>Bemisia tabaci</i>	48	94.11	47	97.91
<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	34	82.35	28	66.66
<i>Brachystola</i> sp.	50	98.03	47	94.00
<i>Bombus</i> sp.	46	90.19	7	15.21
Abejas <i>Xylocopa</i> sp.	17	33.33	4	23.52
<i>Apis mellifera</i>	49	96.07	5	10.20
Avispa <i>Brachygastra mellifica</i>	40	78.43	5	12.5
Mariposa <i>Colias eurytheme</i>	46	90.19	6	13.04
Colibríes <i>Amazilia beryllina</i>	46	90.16	3	6.52
<i>Selasphorus rufus</i>	30	58.82	4	13.33
Sírfido <i>Allograpta</i> sp.	34	66.66	14	41.17

3.5.4 Opiniones sobre polinizadores

El 74.50 % de los informantes consideró que las abejas no son animales peligrosos, precisaron que son polinizadores y que sólo atacan cuando son molestadas. Del porcentaje restante, un 21.56 % de los agricultores consideró que las abejas sí son peligrosas porque atacan al ser humano y un 3.94 % no proporcionó información.

Respecto a la importancia que tienen las visitas de abejas, abejorros y colibríes a las flores de *P. coccineus* en el rendimiento del cultivo, un 50.98 % de los agricultores opinó que son muy importantes y un 15.68 % que son importantes. Un 11.76 % clasificó las visitas como poco importantes, 11.76 % nada importantes y 9.82 % moderadamente importantes.

Al preguntar sobre las razones o motivos por los cuales las abejas, abejorros y colibríes visitan las flores de *P. coccineus*, un 43.57 % indicó que lo hacen porque colectan polen y néctar, el 31.68 % porque polinizan flores, el 13.86 % porque colectan agua de los pétalos, el 5.94 % porque comen hojas, el 2.97 % porque así propagan enfermedades y el 1.98 % porque su finalidad es la de comer insectos.

De la población encuestada, un 90.19 % cree que los agroquímicos que se aplican durante las diferentes actividades que se desarrollan en el manejo del cultivo afectan negativamente a abejas, abejorros y colibríes, ya que están implicados en la mortalidad de dichos organismos (52.17 %) y porque son sustancias venenosas (47.83 %).

3.5.5 Disposición para implementar prácticas que podrían beneficiar la producción de *P. coccineus*

De las cinco prácticas que contribuirían a la conservación de polinizadores y que se pusieron a consideración de los agricultores, se encontró que la que tuvo un mayor porcentaje de disposición a ser implementada fue la de aplicar agroquímicos que no sean dañinos para abejas y colibríes, pero que sí sean funcionales para el control de plagas y enfermedades comunes del cultivo (84.31 %), seguida por conservar o restaurar los remanentes de bosques cercanos a su parcela (72.54 %) y cambiar el horario de aplicación de agroquímicos (70.58 %), particularmente de insecticidas y herbicidas, moviéndolos a periodos donde el cultivo no se encuentre en floración y en horarios vespertinos (Después de las 5:00 p.m.). Hubo menor disposición a dejar troncos, plantar árboles o

colocar estructuras rústicas elaboradas con materiales locales en la parcela, que favorezcan el anidamiento de abejas silvestres (58.82 %) y a dejar herbáceas en los bordes de la parcela que florezcan al mismo tiempo que el frijol ayocote y árboles en el borde de la parcela de cultivo, para atraer abejas, abejorros y colibríes (49.01 %), aunque en ambos casos, poco más del 20 % de los entrevistados consideraría esas opciones (Fig. 3.4).

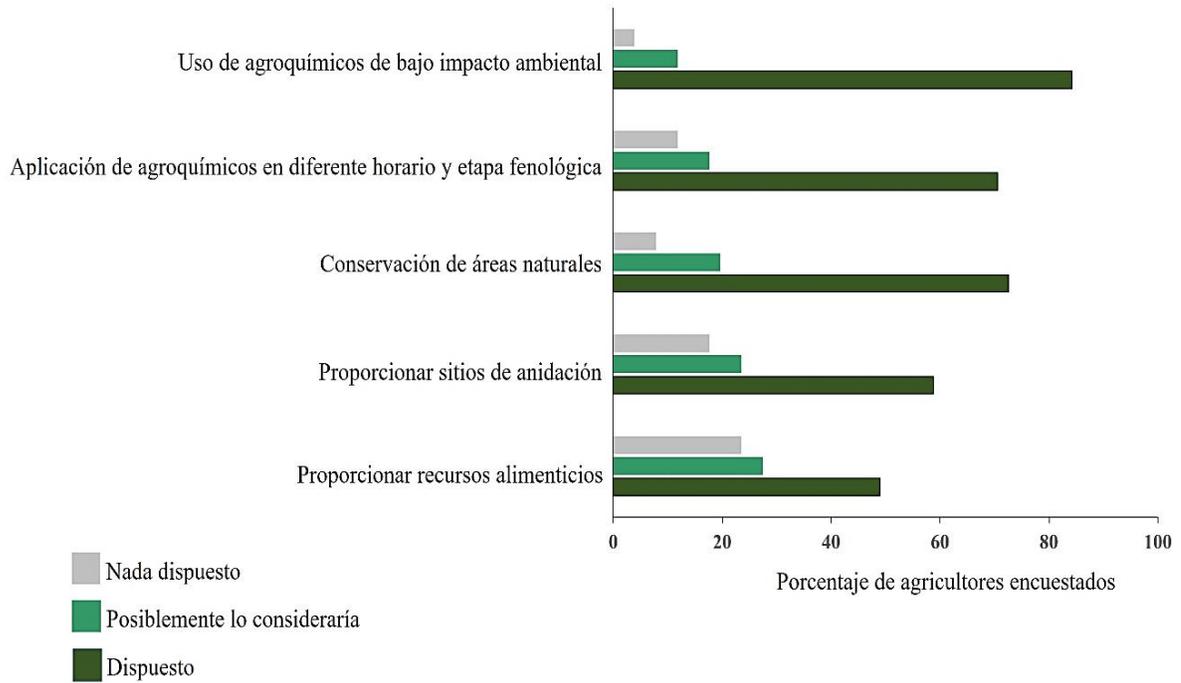


Figura 3.4 Disposición de los agricultores a implementar prácticas que favorezcan la conservación de polinizadores.

3.6 DISCUSIÓN

Se detectaron algunas prácticas de manejo en el cultivo de *P. coccineus* que podrían influir negativamente en la interacción planta-polinizador. Así como en la salud y conservación de los polinizadores, destacando entre ellas el uso de fertilizantes nitrogenados, de insecticidas y herbicidas, aplicados éstos dos últimos durante la etapa de despliegue floral y en horarios de mayor actividad de los potenciales polinizadores del cultivo de estudio.

Una de las prácticas agrícolas comúnmente empleadas para incrementar la producción en los cultivos es la aplicación de fertilizantes químicos, pues al haber disponibilidad de nutrientes en el suelo, los organismos vegetales asignan mayores recursos para la producción de frutos y semillas (Gerdol et al., 2000), o a la maduración de frutos existentes (Stephenson, 1981). Sin embargo, la presencia en exceso de nutrientes como el nitrógeno, puede afectar la cantidad y calidad de los recursos florales como el néctar (en la concentración de azúcares, especialmente la glucosa) y el polen (concentración de ciertos aminoácidos) (Ceulemans et al., 2017), también puede aumentar la abundancia, duración y tamaño de las flores (Muñoz et al., 2004) y probablemente modificar el comportamiento, la abundancia y diversidad de visitantes florales, especialmente de polinizadores (Wesche et al., 2012). Al respecto, Martini et al. (2005), encontraron que en cultivares de canola (*Brassica napus*) en Italia, donde se manipuló la fertilización en las parcelas de cultivo con nitrógeno inorgánico, la dependencia de la polinización biótica en el rendimiento difirió entre el cultivar de polinización abierta y los cultivares híbridos, donde en el primer caso la respuesta de los polinizadores en el rendimiento aumentó con la disminución de los niveles de nitrógeno, mientras que en los cultivares híbridos, el rendimiento no dependió de polinizadores, más bien de una mayor cantidad de nitrógeno en el suelo. En Brasil, Ramos et al. (2018), encontraron que en cultivos de *Phaseolus vulgaris* en sabanas brasileñas, los efectos positivos en el rendimiento del cultivo a través de polinizadores nativos, se acentúan con aportes más bajos de nitrógeno. Hoover et al. (2012), reportaron que el néctar de flores de calabaza (*Cucurbita maxima*) fertilizadas con nitrógeno, fue consumido en mayor cantidad por individuos de *Bombus terrestris* respecto a aquel cuyas plantas no recibieron dosis del fertilizante, sin embargo, dicho consumo redujo la supervivencia de los individuos de *B. terrestris* en un 22 %.

A pesar de que en el presente estudio no se documentaron las dosis de fertilizante que los agricultores aplican durante la práctica de manejo del cultivo, se registró que el 82.22 % de agricultores usan fertilizantes químicos nitrogenados, por lo que es conveniente además de registrar las dosis, monitorear el efecto en aspectos fisiológicos de los organismos vegetales y fisiológicos y conductuales de los polinizadores, con la finalidad de evitar la aplicación de dosis altamente innecesarias que más que un beneficio, podrían alterar de manera negativa la relación planta-polinizador.

El uso de productos químicos para el control de plagas que afectan los cultivos, juega un papel importante para alcanzar y mantener altos niveles de productividad y rentabilidad (Villacrés, 2014). Sin embargo, de la misma manera que su uso puede traer beneficios para la agricultura, pueden ser tóxicos para las especies que comparten el sitio de fumigación y dependiendo de la dosis, pueden tener una acción letal o subletal y, a la par, permanecer residualmente en el medio ambiente (Desneux et al., 2007). Tal es el caso de los insecticidas, los cuales al estar diseñados para controlar las poblaciones de insectos que constituyen plagas, suponen un riesgo para insectos benéficos como polinizadores y enemigos naturales de plagas (Devine, 2008). En el caso particular de los polinizadores, la exposición a los plaguicidas puede darse a través del contacto directo con aerosoles y partículas suspendidas en el aire o en superficies de plantas tratadas, por la ingestión de polen, néctar o agua contaminada con los compuestos químicos o por inhalación de plaguicidas volátiles (Botías y Sánchez-Bayo, 2018).

Si consideramos que el 84.6 % de los agricultores informantes emplean productos químicos para controlar insectos que podrían potencialmente dañar el cultivo, que el 58.97 % los aplican durante las etapas fenológicas de prefloración y floración y que además el 94.87 % de ellos, llevan a cabo dicha actividad en el transcurso de las 7:00 a las 14:00 horas, existe una alta probabilidad de exposición para los potenciales polinizadores del cultivo a dichas sustancias químicas a través de los tres mecanismos descritos anteriormente, resaltando entre éstos el horario de aplicación, el cual coincide con los periodos de mayor actividad por parte de abejas (8:00-13:00 horas) (Rodríguez-Parilli y Velásquez, 2011) y colibríes (6:00-11:30 horas) (Blake y Loiselle, 1991). La toxicidad por vía tópica o de contacto de algunos plaguicidas suele ser igualmente tóxica que por vía oral, sobre todo si se considera que la cutícula de los insectos es lo suficientemente permeable para que dichas sustancias entren en contacto con el interior del organismo (Arena y Sgolastra, 2014). Las interacciones o sinergias que pueden darse entre los compuestos químicos provenientes de diferentes plaguicidas, son capaces de multiplicar sus efectos dañinos en los polinizadores (Botías y Sánchez-Bayo, 2018), si consideramos que el 63.64 % de los agricultores aplican en conjunto una mezcla de ingredientes activos como organofosforados y piretroides, es posible que sus efectos nocivos se acentúen en la salud de los polinizadores al aplicarse de forma simultánea, dado que las abejas y colibríes a menudo se alimentan en las mismas áreas, pueden estar expuestos a los mismos contaminantes.

Introducidos al mercado como una opción más ecológica y menos persistente en el ambiente respecto a los insecticidas organoclorados, los plaguicidas organofosforados son más tóxicos para organismos vertebrados (Badii y Varela, 2008). La acción general de los plaguicidas organofosforados consiste en interrumpir la transmisión de impulsos entre las células nerviosas, mediante el bloqueo de la acción de la enzima acetilcolinesterasa (Devine et al., 2008). Sin embargo, sustancias activas como malatión, diazinon, dimetoato (todas pertenecientes al grupo químico de los organofosforados), son altamente tóxicas para abejas (García-Hernández, et al., 2017). A diferencia de los plaguicidas organofosforados, la acción metabólica de los piretroides, consiste en la alteración de los canales de sodio situados en la membrana de las células nerviosas, interrumpen la transferencia de iones y la transmisión de señales eléctricas ente dichas células (Rinkevich, et al., 2015; Devine et al., 2008). Si bien derivan de las piretrinas naturales del *Chrysanthemum cinerariaefolium*, varios compuestos activos de esta familia química como la cipermetrina y la lambdacialotrina, resultan ser muy tóxicos para abejas, reduciendo el ciclo de vida de las obreras y afectan el rendimiento del aprendizaje y de la memoria y son ligeramente tóxicos para aves (Anguiano y Ferrari, 2019). Sin embargo, las aves pequeñas son generalmente más sensibles a los productos químicos tóxicos que las aves de mayor tamaño (Mineau et al., 1996), por lo que la salud de los colibríes puede ser afectada por dichos componentes.

Otra práctica frecuente entre los agricultores encuestados es el control de arvenses en los bordes de la parcela de cultivo. La mayoría realizada a través de métodos manuales; sin embargo, el uso de herbicidas químicos también es recurrente. Los herbicidas suelen afectar tanto directa como indirectamente a los polinizadores debido a que eliminan numerosas plantas silvestres, que además de constituir una fuente de alimento en dichos hábitats para polinizadores, evitan la erosión del suelo, son refugio y sitio de anidación de diferentes especies benéficas (Hyvönen y Salonen 2002; Bohnenblust et al. 2016). También se ha documentado que especies de abejas como *Apis mellifera* y *Tetragonisca angustula* expuestas a la mitad de la concentración comercial de glifosato (178g/L) en Chiapas, México, tienden a morir rápidamente: a partir de los 44 minutos se contabilizaron algunas abejas muertas y transcurridas 12 horas, el 100 % de las abejas expuestas a dicha sustancia se encontraron muertas, por lo que es importante monitorear las concentraciones de dicho herbicida en campo (Ruíz-Toledo y Sánchez-Guillén, 2014).

A partir de nuestros resultados, también descubrimos que existe la necesidad de fortalecer el conocimiento que poseen los agricultores en cuanto al proceso de polinización de *P. coccineus*, así como también al papel tan importante que tienen los polinizadores en dicho proceso.

El 82.03 % de los agricultores identificaron como plagas a aquellas imágenes fotográficas que representaban diferentes especies que han sido reportadas como organismos que dañan el cultivo, por lo que se puede suponer que la mayoría reconocen a dichos organismos que interactúan de manera negativa con el cultivo. En el caso de las imágenes que representaron a diferentes especies de abejas, el 16.31 % de los informantes las identificaron como plagas, una minoría (9.92 %) también identificó como plagas a colibríes y el 41.17 % identificó al sírfido como un organismo que daña el cultivo. A pesar de las confusiones anteriores, el 66.67 % de los agricultores consideraron que las visitas de organismos reconocidos como polinizadores de *P. coccineus* son importantes y entre su gama de respuestas dejaron entrever que las visitas permiten, por un lado, la alimentación de tales animales, pero por otro, que contribuyen a la polinización.

Los resultados anteriores coinciden con lo reportado por Misganaw et al. (2017), en el distrito de Gozamin, Etiopía y por Munyuli (2011) en Lago Victoria, Uganda donde, en el primer caso, el 77 % de los agricultores que entrevistaron no tienen conocimiento respecto al proceso de polinización biótica que ocurre en áreas agrícolas del distrito y los insectos polinizadores (con excepción de la abeja *A. mellifera*) que interactúan en diferentes cultivos de dicho distrito. En el segundo caso se registró que los pequeños productores de café desconocen la importancia que tienen los polinizadores para la producción de dicho cultivo y que además muchos de ellos agrupan a los polinizadores junto con otros insectos considerados como plagas. Incluso, los agricultores mencionaron que no es necesario realizar acciones (particularmente en torno al uso de plaguicidas químicos) para proteger a los polinizadores debido a que asumen que siempre estarán ahí y que su ausencia en las flores de café no impedirá que se produzcan frutos. Sin embargo, a diferencia de lo que reporta este último autor, el 90.19 % de los agricultores de *P. coccineus* del valle de Puebla, consideran que la aplicación de agroquímicos daña la salud de los polinizadores debido a que son sustancias tóxicas o venenosas y el 66.67 % de ellos, consideran que las visitas de polinizadores son importantes en el rendimiento del cultivo.

Hanes et al. (2013) al aplicar entrevistas a productores de *Vaccinium angustifolium* (una especie de arándano silvestre que requiere de la polinización mediada principalmente por abejas), en

Maine, Estados Unidos, registraron que la mayoría de ellos (94 %), consideran que las abejas nativas son importantes en la polinización del arándano en el estado. Sin embargo, aquellos productores que rentan o compran colmenas de *A. mellifera* y *Bombus impatiens* (especies comerciales), creen que las especies de abejas silvestres tienen una menor incidencia en la producción de frutos porque son más susceptibles a factores climáticos (bajas temperaturas y precipitaciones) perjudicando su eficiencia en la polinización del cultivo. En el caso de la información recabada en nuestra investigación, no se documentó que los agricultores compraran o rentaran colmenas para incrementar la polinización en el cultivo, por lo que resultaría interesante, ahondar en investigaciones que involucren colmenas cerca de las parcelas de *P. coccineus* y documentar el efecto que dicha actividad tendría en el rendimiento del mismo y en la opinión de los agricultores.

Autores como Munyuli (2011) han señalado que si a los agricultores se les hace conscientes de la importancia que tienen los polinizadores para mejorar su sustento y la sostenibilidad de sus sistemas agrícolas, pueden jugar un papel importante en la conservación de tales organismos. En concordancia con lo anterior, Pérez-Balam et al. (2012) y Mallinger y Gratton (2015) plantean que, como parte del proceso de conservación de polinizadores, se debería considerar la educación del agricultor y/o del consumidor acerca del proceso de polinización, puesto que ello podría representar un punto clave en la reducción de costos para la producción de alimentos en el camino hacia la seguridad alimentaria. En concordancia con lo anterior, Bhattacharyya et al. (2017), encontraron que el nivel de conocimiento sobre abejas nativas en una comunidad rural agrícola, en el distrito de Midnapore, al este de India se incrementó a través de la capacitación y divulgación de información taxonómica y ecológica de las abejas, por lo que consideran que cuanto mayor sea el nivel educativo, se facilita la identificación de abejas nativas y que a través de campañas de sensibilización y educación adecuadas, es posible lograr la participación de locatarios para el manejo y conservación de abejas nativas.

Nuestros resultados también indican que entre los agricultores existe disposición para implementar prácticas que contribuyan al mantenimiento y conservación del servicio de polinización llevado a cabo principalmente por abejas y colibríes en el cultivo de *P. coccineus*. Una de las prácticas que se distinguió por tener mayor disposición por parte de los agricultores es la de implementar la aplicación de agroquímicos que no perjudiquen a los potenciales polinizadores del cultivo pero

que sean efectivos en el manejo de plagas y enfermedades. En este sentido, como parte de las medidas que pueden incentivar la conservación de polinizadores silvestres, se encuentran el reemplazo del uso de plaguicidas sintéticos por métodos alternativos de bajo impacto ambiental (Furlan y Kreutzweiser, 2015), limitar su uso a aquellos casos estrictamente necesarios (Douglas y Tooker 2016), establecer sistemas de contención para limitar la exposición de los polinizadores a los compuestos químicos y evitar la aplicación de plaguicidas con larga persistencia y solubilidad en agua (Botías et al. 2015). Otra alternativa que ha llamado la atención por su baja toxicidad y su rápida degradación en el ambiente, es el uso de plaguicidas botánicos, cuyos extractos o compuestos pueden manifestarse en toxicidad, mortalidad, inhibición en el crecimiento, supresión en el comportamiento reproductivo, reducción de la fertilidad y fecundidad en insectos (Schmutter, 1990; Jannet et al., 2001). Luna-Cruz et al. (2018), evaluaron la toxicidad aguda de un insecticida-acaricida botánico comercial elaborado a partir de extractos vegetales de *Argemone mexicana*, *Berberis* sp, *Ricinus communis* y α -Terthienyl (metabolito secundario que se encuentra en la raíz de especies del género *Tagetes* (Nivsarkar et al., 2001)) sobre dos polinizadores (*A. mellifera* y *B. impatiens*) y dos depredadores (*Chrysoperla carnea* y *Orius insidiosus*) mediante tres métodos de exposición: contacto directo, contacto residual y toxicidad oral. Sus resultados indicaron que, durante los tiempos de evaluación, no se presentó mortalidad en individuos de *B. impatiens*, en el caso de *A. mellifera*, existió mortalidad de individuos en las tres formas de exposición sin rebasar el 25 % de mortalidad en dicha especie, en el caso de larvas de *C. carnea* no superó el 11 % y en adultos de *O. insidiosus*, la mortalidad fue menor o igual al 13 % en cualquier tratamiento, por lo que este bioplaguicida, se categoriza como “ligeramente tóxico” para insectos benéficos de acuerdo a lo sugerido por la Organización Internacional de Control Biológico, al no superar el 25% de mortalidad de los individuos, sugiriendo que este producto representa riesgos bajos para organismos no blanco en su implementación en el manejo integrado de plagas.

Los extractos botánicos pueden representar una posible alternativa a los plaguicidas sintéticos. No obstante, se necesitan ensayos de toxicidad sobre los insectos plaga y organismos no blancos (Römbke et al., 2006), con la finalidad de mostrar los efectos del tóxico a nivel individual, y así inferir en los efectos a nivel poblacional de éstos (Iannacone y Alvariano, 2005).

Otra de las prácticas que los agricultores estarían dispuestos a implementar es cambiar los horarios y la fase fenológica en la que aplican los plaguicidas en el cultivo, debido a que se incrementa la

exposición de organismos benéficos a los compuestos tóxicos. La recomendación al respecto es que la aplicación de aerosoles no se lleve a cabo en la época de floración tanto de las plantas cultivadas como de las silvestres que crecen en las proximidades. También se recomienda limitar el uso de plaguicidas a horas en las que el riesgo de contacto con polinizadores sea menor, preferentemente en la noche, en caso de polinizadores con actividad diurna (Eidels et al. 2016). Si las plagas presentes en la época de floración tuviesen que ser controladas, sería conveniente la aplicación de extractos botánicos como el de *Azadirachta indica* (neem), el cual ha sido utilizado en cultivos florecientes en los que intervienen abejas para su polinización (Melatophoulus et al., 2000), o bien una combinación entre métodos de control que impliquen también labores culturales.

La conservación y reforestación del paisaje forestal es otra acción que la mayoría de los agricultores están dispuestos a efectuar. Dicha medida contribuiría al aumento de la abundancia y riqueza de polinizadores tanto en paisajes agrícolas como silvestres (Steffan-Dewenter et al. 2002). La conectividad entre mosaicos de áreas con cultivos y áreas de vegetación natural es capaz de proporcionar una variedad de opciones en sitios de refugio y áreas de alimentación contribuyendo a la persistencia de servicios ecosistémicos como la polinización y el control biológico (Benton et al., 2003; Tscharrntke et al., 2005; Bianchi et al., 2006).

Alrededor del 54 % de los agricultores, estarían dispuestos a proporcionar sitios de anidación y más recursos florales en los bordes de la parcela de cultivo. Para fomentar la presencia de insectos polinizadores nativos en los ecosistemas de las áreas agrícolas, silvestres y las ciudades, se debe atender a la premisa básica de que un aumento en la disponibilidad de flores autóctonas supone un incremento en la abundancia y diversidad de polinizadores (Vrdoljak et al. 2016). También se ha documentado que el tamaño y la densidad de los parches florales de extensión considerable, pueden actuar como señales de larga distancia para los insectos que las visitan y se alimentan de ellas, hecho que probablemente aumentaría las visitas de potenciales polinizadores (Dauber et al., 2010). En el caso de incrementar los sitios de anidación, esta acción permitiría asentar comunidades de polinizadores silvestres, ya que muchas especies de abejas silvestres de hábitos solitarios anidan en el suelo o bien en cavidades preexistentes como huecos de árboles (madera) o en tallos de plantas lo suficientemente resistentes (Sardiñas y Kremen 2014; Vicens et al. 1993). Por lo que también es importante tomar en cuenta la implementación de dichas acciones.

Por último, es conveniente señalar que se han generado instrumentos de política pública, tanto a nivel internacional como nacional, orientados a la conservación y uso sustentable de los polinizadores. Ejemplo de ello en México fue la elaboración en 2019 de la Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sustentable de los Polinizadores (ENCUSP, 2021), cuyo objetivo es el de orientar las políticas y el trabajo de los sectores productivo y ambiental en lo relativo a la conservación de los servicios ecosistémicos que brindan los polinizadores, a fin de contribuir al desarrollo sustentable y a la seguridad alimentaria del país. Este objetivo se complementa a su vez, con objetivos específicos definidos en cada uno de los ejes temáticos que la integran y al respecto, en uno de sus ejes, se invita a tomar acciones para establecer mecanismos de divulgación, con identidad cultural, para la difusión de buenas prácticas de conservación de los polinizadores y sus hábitats; comunicar la importancia estratégica que tiene la polinización para la seguridad alimentaria, social y ambiental, además de 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.

3.7 CONCLUSIONES

Es necesario impulsar la divulgación y el acceso a la información sobre el proceso de polinización y los polinizadores del cultivo de *P. coccineus* entre los productores del valle de Puebla, así como informarles de algunas prácticas del manejo del cultivo que comprometen la salud y conservación de los polinizadores y el servicio ecosistémico que éstos proporcionan. El tener más información al respecto, podría contribuir a un cambio en las opiniones de los agricultores e incidir de forma positiva en las diferentes acciones que puedan promover hábitats favorables para los polinizadores, así como también mejorar las prácticas de gestión del cultivo con la finalidad de reducir riesgos derivados del empleo de los productos fitosanitarios actualmente utilizados.

La promoción de campañas y programas de información y sensibilización dirigidas a diferentes productores cuyos cultivos dependan de la polinización biótica, sobre la importancia ecológica, económica, de salud y bienestar humano de los polinizadores, promovería la participación colectiva en la conservación del servicio de polinización.

CONCLUSIONES GENERALES

En la presente investigación se encontró que la comunidad de visitantes florales asociados al cultivo de *P. coccineus* en la zona de estudio fue diversa. Diferentes especies de abejas y colibríes, resultaron ser las dominantes en ambos sistemas de manejo y en las dos variedades cultivadas. Si bien el manejo agronómico no modificó la riqueza de especies de visitantes florales, sí influyó en la diversidad presente y tuvo un efecto en la frecuencia de visitas por orden taxonómico: las flores del manejo menos intensivo (denominado en este trabajo como tradicional), presentaron un mayor número efectivo de especies y recibieron más visitas, particularmente de abejas y colibríes (grupos en los que se encuentran los polinizadores potenciales de *P. coccineus*); en relación a estos últimos, cabe mencionar que, las cinco especies identificadas se asociaron a dicho manejo. En contraste, en el manejo tecnificado, las especies asociadas fueron abejas y otros insectos que, por su tamaño, comportamiento y forma de colectar los recursos florales, pueden ser descartados como polinizadores potenciales de *P. coccineus*. El color de la flor no modificó la riqueza de especies ni tuvo algún efecto consistente en el número de visitas o la estructura de la comunidad de visitantes florales. En síntesis, se concluye que en *P. coccineus*, los sistemas de manejo menos tecnificados contribuyen al mantenimiento de un agroecosistema más saludable y, muy posiblemente, al servicio ambiental de polinización.

En cuanto al efecto de la exclusión o interacción de polinizadores con las flores de *Phaseolus coccineus*, se concluye que, independientemente del sistema de manejo empleado (tradicional o tecnificado) y del color de la flor de la variedad utilizada (blanca o roja), hubo una respuesta consistente: la exclusión de polinizadores resultó en plantas con una menor cantidad y peso de frutos totales y normales, y con menor peso de semillas normales en comparación con las plantas donde sí se permitió el acceso de polinizadores. No obstante, a pesar de la escasa producción de semillas en plantas que no interactuaron con polinizadores, éstas resultaron tener dimensiones superiores en longitud y ancho respecto a las provenientes de plantas que permanecieron con libre acceso a la interacción de polinizadores. Por tanto, queda demostrado que en *P. coccineus*, el rendimiento y sus componentes dependen en gran medida de la polinización cruzada mediada por vectores bióticos, por lo que es necesario implementar prácticas agrícolas que permitan aprovechar de manera sustentable este servicio ecosistémico.

La información recabada con los agricultores productores de *P. coccineus* (ayocote) del Valle de Puebla evidencia que es necesario fortalecer su conocimiento respecto a qué es y en qué consiste el proceso de polinización en esta especie, así como del papel tan importante que tienen los polinizadores en el mismo. Adicionalmente se detectó la existencia de ciertas prácticas de manejo del cultivo que podrían influir negativamente en diferentes aspectos de la interacción mutualista entre planta-polinizador, destacando el uso de fertilizantes nitrogenados, de insecticidas y herbicidas, aplicados estos dos últimos durante la etapa de despliegue floral y en horarios de mayor actividad de los potenciales polinizadores del cultivo. No obstante, un aspecto positivo fue que los agricultores están dispuestos a implementar prácticas que contribuirían a una mejor conservación de los polinizadores, tales como la aplicación de agroquímicos que no perjudicaran a dichos organismos, pero que sean efectivos en el manejo de plagas y enfermedades, el cambiar los horarios y la fase fenológica en la que aplican los plaguicidas en el cultivo y la conservación y reforestación del paisaje forestal. La implementación de estas actividades en conjunto con programas de divulgación y sensibilización dirigidas a productores cuyos cultivos dependan de la polinización biótica promovería una participación colectiva en la conservación del servicio de polinización.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Benítez, G., C. B. Peña-Valdivia, R. J. García-Nava, P. Ramírez-Vallejo, S. Gerardo Benedicto-Valdés y J. D. Molina-Galán. 2012. Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. *Agrociencia* 46: 37-52.
- Aizen, M. A. y L. D. Harder. 2009. The global stock of domesticated honeybees is growing slower than agricultural demand for pollination. *Current Biology* 19(11): 915-918.
- Alfaro, F. M. y J. Pizarro-Araya. 2017. Estimación de la riqueza de coleópteros epigeos de la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt (Regiones de Atacama y Coquimbo, Chile). *Gayana* 81(2): 39-51. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382017000200039>.
- Ali, M., A. Sajjad, M. Aslam-Farooqi, M. Amjad-Bashir, M. Naveed-Aslam, M. Nafees y K. Ali-Khan. 2020. Assessing indigenous and local knowledge of farmers about pollination services in cucurbit agro-ecosystem of Punjab, Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences* 27(1): 189-194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.07.001>.
- Altieri M., C. I. Nicholls. 1994. Biodiversity and pest management in agroecosystems. Haworth Press, New York. Pp. 185.
- Altieri, M. A. 2004. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 35-42.
- Altieri, M. A. y C. I. Nicholls. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología* 8(1): 7-20.
- Amaya-Márquez, M. 2016. Polinización y Biodiversidad. In: Nates-Parra, G. (ed.). *Iniciativa Colombiana de Polinizadores: capítulo abejas ICPA*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Pp. 19-39.
- Anguiano O. L. y A. Ferrari. 2019. Riesgo ecotoxicológico de plaguicidas utilizados en Argentina. Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires, Argentina. Pp. 63.
- Arena, M. y F. Sgolastra. 2014. A meta-analysis comparing the sensitivity of bees to pesticides. *Ecotoxicology* 23(3): 324-334. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1190-1>.
- Arizmendi, M. C. y H. Berlanga. 2014. Colibríes de México y Norteamérica. CONABIO. D.F., México. Pp. 160.
- Ashman T. L., T. M. Knight, J. A. Steets, P. Amarasekare y M. Burd M. 2004. Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. *Ecology* 85: 2408-2421.
- Ashworth, L., M. Quesada, A. Casas, R. Aguilar y K. Oyama. 2009. Pollinator-dependent food production in Mexico. *Biological Conservation* 142: 1050-1057.
- Badii, M. H. y S. Varela. 2008. Insecticidas organofosforados: efectos sobre la salud y el ambiente. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica* 5(28): 5-17.

- Badillo-Montaño, R., A. Aguirre y M. A. Munguía-Rosas. 2018. Pollinator-mediated interactions between cultivated papaya and co-flowering plant species. *Ecology and Evolution* 9(1): 587-597. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.4781>.
- Baker, H. G. 1975. Sugar concentrations in nectars from hummingbird flowers. *Biotropica* 7: 37-41.
- Benton, T. G., J. A. Vickery y J. D. Wilson. 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution* 18(4): 182-188. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9).
- Bhattacharyya M., S. K. R. Acharya y S. K. Chakraborty. 2017. Pollinators unknown: People's perception of native bees in an Agrarian District of West Bengal, India, and its implication in conservation. *Tropical Conservation Science* 10(7): 194008291772544. DOI: <https://doi.org/10.1177/1940082917725440>.
- Bianchi, F. J. J. A., C. J. H. Booij y T. Tscharntke. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 273(1595): 1715-1727. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>.
- Biesmeijer, J. C., S. P. M. Roberts, M. Reemer, R. Ohlemüller, M. Edwards, T. Peeters, A. P. Schaffers, S. G. Potts, R. Kleukers, C. D. Thomas, J. Settle y W. E. Kunin. 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313(5786): 351–354. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.11278>.
- Bishop, C. A., A. J. Moran, M. C. Toshack, E. Elle, F. Maisonneuve y J. E. Elliott. 2018. Hummingbirds and bumblebees exposed to neonicotinoid and organophosphate insecticides in the Fraser Valley, British Columbia, Canada. *Environmental Toxicology and Chemistry* 37(8): 2143–2152. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.4174>.
- Bjerknes, A. L., O. Totland, S. J. Hegland y A. Nielsen. 2007. Do alien plant invasions really affect pollination success in native plant species? *Biological Conservation* 138(1-2): 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.04.015>.
- Blackwall, F. L. C. 1971. A study of plant/insect relationships and –setting in the runner bean (*Phaseolus multiflorus*). *Journal of Horticultural Science* 46: 365–379.
- Blake, J. G. y B. A. Loiselle. 1991. Variation in resource abundance affects capture rates of birds in three lowland habitats in Costa Rica. *The Auk* 108(1): 114-130. DOI: <https://doi.org/10.1093/auk/108.1.114>.
- Blem, C. R., L. B. Blem, J. F. Van Gelder y J. Van Gelder. 2000. Rufus hummingbird sucrose preference: precision of selection varies with concentration. *Condor* 102: 235–238.
- Bohnenblust, E. W., A. D. Vaudo, J. F. Egan, A. A. Mortensen y J. F. Tooker. 2016. Effects of the herbicide dicamba on nontarget plants and pollinator visitation. *Environmental Toxicology and Chemistry* 35(1): 144-151. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.3169>.

- Boreux, V., S. Krishnan, K. G. Cheppudira, K. G y J. Gazel. 2013. Impact of forest fragments on bee visits and fruit set in rain-fed and irrigated coffee agro-forests. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 172: 42–48. DOI: <https://doi.org/doi:10.1016/j.agee.2012.05.003>.
- Botías, C. y F. Sánchez-Bayo. 2018. Papel de los plaguicidas en la pérdida de polinizadores. *Ecosistemas* 27(2): 34-41. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.1314>.
- Botías, C., A. David, J. Horwood, A. Abdul-Sada, E. Nicholls, E. Hill y D. Goulson. 2015. Neonicotinoid residues in wildflowers, a potential route of chronic exposure for bees. *Environmental Science and Technology* 49(21): 12731–12740. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03459>.
- Burkle, L. A., J. C. Marlin y T. M. Knight. 2013. Plant-pollinator interactions over 120 years: Loss of species, co-Occurrence, and function. *Science* 339: 1611–1615.
- Burquez, A. y J. Sarukhán. 1984. Biología floral de poblaciones silvestres y cultivadas de *Phaseolus coccineus* L. II. Sistemas reproductivos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 46: 3-12. DOI: <https://10.17129/botsci.1311>.
- Burquez, A. y K. J. Sarukhán. 1980. Biology of wild and cultivated populations of *Phaseolus coccineus* L: I. Plant-pollinator relationships. *Botanical Sciences* 39: 5-24. <https://doi.org/10.17129/botsci.1173>
- Bustamante-Castillo, M., B. E. Hernández-Baños y M. del C. Arizmendi. 2018. Hummingbird diversity and assemblage composition in a disturbed tropical dry forest of Guatemala. *Tropical Conservation Science* 11: 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F1940082918793303>.
- Campos, M. A. 1997. Limnología física del lago de Zirahuén, Michoacán, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. Pp. 97.
- Carabalí-Banguero, J. Montoya-Lerma y A. Carabalí-Muñoz. 2018. Efecto de la exclusión de insectos visitantes florales en el cuajado de frutos de *Persea americana* (Lauraceae) cv. Hass. *Acta Zoológica Mexicana* 34: e3412121.
- Carvalho, L. G., W. E. Kunin, P. Keil, J. Aguirre-Gutiérrez, W. N. Ellis, R. Fox, Q. Groom, S. Hennekens, W. V. Landuyt, D. Maes, F. Van de Meutter, D. Michez, P. Rasmont, B. Ode, S. G. Potts, M. Reemer, S. P. M. Roberts, J. Schaminée, M. F. WallisDeVries and J.C. Biesmeijer. 2013. Species richness declines and biotic homogenisation have slowed down for NW-European pollinators and plants. *Ecology Letters* 16(7): 870–878. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12121>.
- Ceulemans, T., E. Hulsmans, W.V. Ende y O. Honnay. 2017. Nutrient enrichment is associated with altered nectar and pollen chemical composition in *Succisa pratensis* Moench and increased larval mortality of its pollinator *Bombus terrestris* L. *Plos One* 12(4): e0175160. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175160>.

- Chao, A. y T. J. Shen. 2010. SPADE®. Species prediction and diversity estimation. National Tsing Hua University. Taiwan. http://140.114.36.3/wordpress/software_download/softwarepader_online/.
- Chautá-Mellizo, A., S. A. Campbel, M. A. Bonilla, J. S. Thaler y K. Poveda. 2012. Effects of natural and artificial pollination on fruit and offspring quality. *Basic and Applied Ecology* 13: 524-532.
- Checa C., O. E.; V. M. E. Yama y S. M. T. Fuel. 2011. Evaluación por componentes de rendimiento de nueve genotipos y un testigo de frijól arbustivo *Phaseolus vulgaris* L. *Revista de Ciencias Agrícolas* XXVIII(1):73-90.
- Chittka, L., A. Shmida, N. Troje y R. Menzel. 1994. Ultraviolet as a component of flower reflections, and the colour perception of Hymenoptera. *Vision Research* 34(11):1489–1508.
- Colegio de Postgraduados (CP). Sin año. Línea Prioritaria de Investigación 2. Plan Estratégico. 4 pp. Consultado en abril de 2019. https://www.colpos.mx/wb_pdf/Investigacion/LPI/lpi-2/PE%20LPI%202.pdf.
- Colwell, R. K. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. User's Guide and application. University of Connecticut. Storrs, USA. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- Cronk, Q. y I. Ojeda. 2008. Bird-pollinated flowers in an evolutionary and molecular context. *Journal of Experimental Botany* 59: 715– 727.
- Cué-Hernández, K. A., A. Gil-Muñoz, A. Aguirre-Jaimes, P. A. López and O. R. Taboada-Gaytán. 2022. Floral visitors in the crop *Phaseolus coccineus* (Fabaceae) on the Altiplano of Puebla, Mexico: importance of agricultural management and flower color. *Acta Botanica Mexicana* 129: e2054. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2054>.
- Dauber, J., J. C. Biesmeijer, D. Gabriel, W.E. Kunin, E. Lamborn, B. Meyer, A. Nielsen, S. G. Potts, S. P. M. Roberts, V. Sorber, J. Settele, I. Steffan-Dewenter, J. C. Stout, T. Teder, T. Tscheulin, D. Vivarelli y T. Petanidou. 2010. Effects of patch size and density on flower visitation and seed set of wild plants: A pan-European approach. *Journal of Ecology* 98: 188–196. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01590.x>.
- De Melo e Silva Neto, C., F. Gomes-Lima, B. Gonçalves-Bastos, L. Lima-Bergamini, B. Araújo Ribeiro-Bergamini, M. A. Da Silva- Elias, M. A. y E. Villaron-Franceschinelli. 2013. Native bees pollinate tomato flowers and increase fruit production. *Journal of Pollination Ecology* 11(6): 41-45.
- Deguines, N., R. Julliard, M. de Flores y C. Fontaine. 2012. The whereabouts of flower visitors: contrasting land-use preferences revealed by a country-wide survey based on citizen science. *PLOS ONE* 7(9): e45822. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045822>.
- Delgado-Salinas, A. 1988. Variation, taxonomy, domestication and germplasm potentialities of *Phaseolus coccineus*. In: Gepts, P. (ed.). *Genetic Resources of Phaseolus Beans*. Current

Plant Science and biotechnology in Agriculture. Springer Dordrecht. California, Estados Unidos de Norteamérica. Pp. 441-463.

Dellinger, A. S. 2020. Pollination syndromes in the 21st century: where do we stand and where may we go? *New Phytologist* 228: 1193-1213. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.16793>.

Desneux N., A. Decourtye y J. M. Delpuech. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology* 52(1): 81-106. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>.

Devine, G. J., D. Eza, E. Ogusuku y M. J. Furlong. 2008. Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica* 25(1): 74-100. DOI: <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2008.251.1241>.

Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. W. Robledo. InfoStat, versión 2020. Centro de Transferencia. InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.

Domínguez, S. S. y J. V. Bello. Vermicomposta y sustentabilidad: Respuesta del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de temporal a la aplicación de enmienda orgánica. 2015. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 441-444.

Douglas, M.R. y J. F. Tooker. 2016. Meta-analysis reveals that seed-applied neonicotinoids and pyrethroids have similar negative effects on abundance of arthropod natural enemies. *PeerJ* 4: e2776. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.2776>.

Duke, J.A., 1981. Handbook of legumes of world economic importance. Plenum Press, New York, United States, and London, United Kingdom, pp. 345. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4684-8151-8>.

Eeraerts, M., G. Smaghe y I. Meeus. 2019. Pollinator diversity, floral resources and semi-natural habitat, instead of honeybees and intensive agriculture, enhance pollination service to sweet cherry. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 284: 106586.

Eidels, R. R., D. W. Sparks. J. O. Whitaker y C. A. Sprague. 2016. Sub-lethal effects of Chlorpyrifos on big brown bats (*Eptesicus fuscus*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 71(3): 322-335. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00244-016-0307-3>.

Eilers, E. J., C. Kremen, S. S. Greenleaf, A. K. Garbe y A. M. Klein. 2011. Contribution of pollinator mediated crops to nutrients in the human food supply. *PLOS ONE* 6(6): e21363.

ENCUSP. 2021. Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sustentable de Polinizadores en México. Proyecto IKI-IBA. Agencia Alemana de Cooperación para el Desarrollo (GIZ) del proyecto "Integración de la Biodiversidad en la Agricultura Mexicana" (IKI-IBA), al Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) de Alemania; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y Secretaría de Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT; Gobierno de México).

<https://www.gob.mx/agricultura/documentos/estrategia-nacional-para-la-conservacion-yuso-sustentable-de-los-polinizadores-encusp> (Consultado septiembre 2022).

- Eng, M. L., B. J. M. Stutchbury y C. A. Morrissey. 2017. Imidacloprid and chlorpyrifos insecticides impair migratory ability in a seed-eating songbird. *Scientific Reports* 7(1): 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15446-x>.
- Escalante E., J. A. y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Pp. 84.
- Escalante, A. M., G. Coello, L. E. Eguiarte y D. Piñero. 1994. Genetic structure and mating systems in wild and cultivated populations of *Phaseolus coccineus* and *P. vulgaris* (Fabaceae). *American Journal of Botany* 81(9): 1096-1103.
- Fageria, N. K. y A. B. Santos. 2008. Yield physiology of dry bean. *Journal of Plant Nutrition* 31(6): 983-1004.
- Fehr, W. R. y H. H. Hadley (1993) Hybridization of crop plants. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America. Madison, WI, USA. Pp. 765.
- Fenster, C. B., W. S. Armbruster, P. Wilson, M. R. Dudash y J. D. Thomson. 2004. Pollination syndromes and floral specialization. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 35: 375-403.
- Flores, C. C. y S. J. Sarandón. 2014. Desarrollo y evolución de los ecosistemas. In: Sarandón, S. J. y C. C. Flores. (eds.). Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Editorial de la Universidad de La Plata. Buenos Aires, Argentina. Pp. 159-189.
- Free, J. B. 1966. The pollination of the beans *Phaseolus multiflorus* and *Phaseolus vulgaris* by honeybees. *Journal of Apicultural Research* 5: 87-91.
- Free, J. B. y P. A. Racey. 1968. The pollination of runner beans (*Phaseolus multiflorus*) in a glasshouse. *Journal of Apicultural Research* 7: 67-69.
- Furlan, L. y D. Kreuzweiser. 2015. Alternatives to neonicotinoid insecticides for pest control: case studies in agriculture and forestry. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 135-147. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3628-7>.
- Gallai, N., J.-M. Salles, J. Settele, y B. E. Vaissière. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* 68(3): 810 – 821.
- Gardner, F. P.; Pearce, R. B. y Mitchell, R. L. 1989. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. Ames, IA, USA. Pp. 325.
- Garibaldi, L. A., I. Steffan-Dewenter, R. Winfree, M. A. Aizen, R. Bommarco, S. A. Cunningham, C. Kremen, L. G. Carvalheiro, L. D. Harder, O. Afik, I. Bartomeus, F. Benjamin, V. Boreux, D. Cariveau, N. P. Chacoff, J. H. Dudenhöffer, B. M. Freitas, J. Ghazoul, S. Greenleaf, J.

- Hipólito, A. Holzschuh, B. Howlett, R. Isaacs, S. K. Javorek, C. M. Kennedy, K. M. Krewenka, S. Krishnan, Y. Mandelik, M. M. Mayfield, I. Motzke, T. Munyuli, B. A. Nault, M. Otieno, J. Petersen, G. Pisanty, S. G. Potts, R. Rader, T. H. Ricketts, M. Rundlöf, C. L. Seymour, C. Schüepp, H. Szentgyörgyi, H. Taki, T. Tschardtke, C. H. Vergara, B. F. Viana, T. C. Wanger, C. Westphal, N. Williams y A. M. Klein. 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honeybee abundance. *Science* 339: 1608–1611.
- Garibaldi, L. A., M. A. Aizen, A. M. Klein, S. A. Cunningham y L. D. Harder. 2011. Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(14): 5909–5914. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1012431108>.
- Genung, M. A., J. P. Lessard, C. B. Brown, W. A. Bunn, M. A. Cregger, Wm. N. Reynolds, E. Felker-Quinn, M. L. Stevenson, A. S. Hartley, G. M. Crutsinger, J. A. Schweitzer y J. K. Bailey. 2010. Non-additive effects of genotypic diversity increase floral abundance and abundance of floral visitors. *PLOS ONE* 5(1): e8711. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008711>.
- Gerdol, R., L. Brancaloni, M. Menghini y R. Marchesini. 2000. Response of dwarf shrubs to neighbour removal and nutrient addition and their influence on community structure in a subalpine heath. *Journal of Ecology* 88(2):256–266.
- Ghazoul, J. 2006. Floral diversity and the facilitation of pollination. *Journal of Ecology* 9(2): 295–304. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01098.x>.
- Gill, R. J., O. Ramos-Rodriguez y N. E. Raine. 2012. Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. *Nature* 491(7422): 105-108. DOI: <http://doi.org/10.1038/nature11585>.
- Giurca, D. M. 2009. Morphological and phenological differences between the two species of the *Phaseolus* genus (*Phaseolus vulgaris* and *Phaseolus coccineus*). *Cercetari Agronomice in Moldova* 42(2): 39–45.
- González-Varo, J. P., J. C. Biesmeijer, R. Bommarco, S. G. Potts, O. Schweiger, H. G. Smith, I. Steffan-Dewenter, H. Szentgyörgyi, M. Woyciechowski y M. Vila. 2013. Combined effects of global change pressures on animal-mediated pollination. *Trends in Ecology and Evolution* 28(9): 524–530. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.05.008>.
- Greenleaf, S. S. y C. Kremen. 2006. Wild bee species increase tomato production and respond differently to surrounding land use in Northern California. *Biological Conservation* 133: 81–87.
- Hanes, S. P., K. K. Collum, A. K. Hoshide y E. Asare. 2013. Grower perceptions of native pollinators and pollination strategies in the lowbush blueberry industry. *Renewable Agriculture and Food Systems* 30(2): 124–131. DOI: <https://doi.org/10.1017/s1742170513000331>.

- Hernández-Villa, V., H. Vibrans, E. Uscanga-Mortera and A. Aguirre-Jaimes. 2020. Floral visitors and pollinator dependence are related to floral display size and plant height in native weeds of central Mexico. *Flora* 262: 151505. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.151505>.
- Hoehn, P., T. Tschardtke, J. M. Tylianakis y I. Steffan-Dewenter. 2008. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences* 275: 2283-2291.
- Holzschuh, A., I. Steffan-Dewenter y T. Tschardtke. 2008. Agricultural landscapes with organic crops support higher pollinator diversity. *Oikos* 117(3): 354–361.
- Hoover, S. E. R., J. J. Ladley, A. A. Shchepetkina, M. Tisch, S. P. Gieseg y J. M. Tylianakis. 2012. Warming, CO₂, and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism. *Ecology Letters* 15(3): 227–234. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01729.x>.
- Hünicken, P. L., C. L. Morales, M. A. Aizen, G. K. S. Anderson, N. García y L. A. Garibaldi. 2021. Insect pollination enhances yield stability in two pollinator-dependent crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 320: 107573. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107573>.
- Hyvönen, T. y J. Salonen. 2002. Weed species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels—a six-year experiment. *Plant Ecology* 159: 73-81. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1015580722191>.
- Iannacone, J. y L. Alvarino. 2005. Selectividad del insecticida CARTAP empleando bioensayos con organismos no destinatarios. *Ecología Aplicada* 4(1): 91-104.
- Ibarra-Perez, F. J., D. Barnhart, B. Ehdiae, K. M. Knio y J. G. Waines. 1999. Effects of insect tripping on seed yield of common bean. *Crop Science* 39(2): 428-433. DOI:1 <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183x0039000200022x>.
- Iermanó M. J. y S. J. Sarandón. 2009. Análisis de la demanda de energía en 3 cultivos oleaginosos de clima templado, según distintos procesos ecológicos. *Revista Brasileira de Agroecología* 4(2): 1738-1741.
- INAFED. 2022. Enciclopedia de los Municipios y Demarcaciones Territoriales de México. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. http://www.snim.rami.gob.mx/enciclopedia_v2/index2.php (Consultado septiembre de 2022).
- INEGI. 2010. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Calpan, Puebla. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México. 9 pp. Consultado enero de 2021. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21026.pdf.
- INEGI. 2019. Informe técnico de la Cuenca Hidrológica Río Alto Atoyac. Humedales. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México. 78 pp. Consultado en julio de 2021.

https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825189884.pdf.

- InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Jannet, H. B., F. Skhiri, Z. Mighri, Z. Simmonds, M. S. J. Blaney y W. M. Blaney. 2001. Antifeedant activity of plant extracts and of new natural diglyceride compounds isolated from *Ajuga pseudoiva* leaves against *Spodoptera littoralis* larvae. *Industrial Crops and Products* 14(3): 213-222.
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos* 113: 363 – 375.
- Kendall D. A. y B. D. Smith. 1976. The pollinating efficiency of honeybee and bumblebee visits to flowers of the runner bean *Phaseolus coccineus* L. *Journal of Applied Ecology* 13(3): 749-752.
- Klein A. M., B. E. Vaissiere, J. H. Cane, S. A. Steffan-Dewenter, C. Cunningham, C. Kremen y T. Tscharntke. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 274(1608): 303-313.
- Klein, A., I. Steffan-Dewenter y T. Tscharntke. 2003. Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. *Journal of Applied Ecology* 40: 837-845.
- Kotowski, Z. 2004. Flowering biology, nectar secretion and insect foraging of the runner bean (*Phaseolus coccineus* L.). *Journal of Apicultural Science* 48(2): 53–60.
- Kremen, C. y A. Miles. 2012. Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society* 17(4): 1-40. DOI: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05035-170440>.
- Labuda, H. 2010. Runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) biology and use. *Acta Scientiarum Polonorum- Hortorum Cultus* 9(3): 117–132.
- Lázaro A., R. Lundgren y Ø. Totland. 2009. Co-flowering neighbors influence the diversity and identity of pollinator groups visiting plant species. *Oikos* 118: 691-702. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.17168.x>.
- López-Báez, L. I., O. R. Taboada-Gaytán, A. Gil-Muñoz, P. A. López, E. Ortiz-Torres, M. L. P. Vargas-Vázquez and R. Díaz-Cervantes. 2018. Diversidad morfoagronómica del frijol ayocote en el altiplano centro-oriente de Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(4-A): 487-497.
- Lucas, A., J. C. Bull, N. De Vere, P. J. Neyland y D. W. Forman. 2017. Flower resource and land management drives hoverfly communities and bee abundance in seminatural and agricultural grasslands. *Ecology and Evolution* 7(19): 8073-8086.
- Luna-Cruz, A., J. R. Lomeli-Flores, E. Rodríguez-Leyva, H. Tovar-Hernández, J. M. Vanegas-Rico y J. E. Murillo-Hernández. 2018. Toxicidad de un insecticida botánico sobre *Bombus*

- impatiens, *Apis mellifera*, *Chrysoperla carnea* y *Orius insidiosus*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(7):1423-33. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.851>.
- Lundgren, R., Ø. Totland y A. Lázaro. 2016. Experimental simulation of pollinator decline causes community-wide reductions in seedling diversity and abundance. *Ecology* 97(6): 1420–1430. DOI: <https://doi.org/10.1890/15-0787.1>.
- MacGregor-Fors, I. y J. E. Schondube. 2011. Gray vs. green urbanization: Relative importance of urban features for urban bird communities. *Basic and Applied Ecology* 12(4): 372–381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2011.04.003>.
- Madriz, P., D. Jáuregui y R. Warnock. 2008. Aborción de óvulos y semillas de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y caracterización de anomalías morfoanatómicas, en dos cultivares en dos localidades de Venezuela. *Interciencia* 33(12): 910-915.
- Mallinger, R. E. y C. Gratton. 2015. Species richness of wild bees, but not the use of managed honeybees, increases fruit set of a pollinator-dependent crop. *Journal of Applied Ecology* 52 (2): 323-330. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12377>.
- Marini, L., G. Tamburini, E. Petrucco-Toffolo, S. A. M. Lindström, F. Zanetti, G. Mosca y R. Bommarco. 2015. Crop management modifies the benefits of insect pollination in oilseed rape. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 207: 61–66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.027>.
- Martínez-Salgado, C. 2012. El muestreo en investigación cualitativa. Principios básicos y algunas controversias. *Ciência y Saúde Coletiva* 17(3): 613-619.
- Maruyama, P. K., L. N. Custódio y P. E. Oliveira. 2012. When hummingbirds are the thieves: visitation effect on the reproduction of Neotropical snowbell *Styrax ferrugineus* Nees&Mart (Styracaceae). *Acta Botanica Brasilica* 26: 58–64.
- Mayer, C., L. Adler, W. S. Armbruster, A. Dafni, C. Eardley, S.-Q. Huang, P.G. Kevan, J. Ollerton, L. Packer, A. Ssymank, J. C. Stout y S. G. Potts. 2011. Pollination ecology in the 21st century: Key questions for future research. *Journal of Pollination Ecology* 3: 8–23. DOI: [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2011\)1](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2011)1).
- Melatopoulus, A. P., M. L. Winston, R. Whittington, T. Smith, C. Lindberg, A. Mukai y M. Moore. 2000. Comparative laboratory toxicity of neem pesticides to honey bees (Hymenoptera: Apidae), their mite parasites *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae) and *Acarapis woodi* (Acari: Tarsonemidae), and brood pathogens *Paenibacillus larvae* and *Ascophaera apis*. *Journal of Economic Entomology* 93(2):199-2009. DOI: <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.2.199>.
- Memmott, J., P. G. Craze, N. M. Waser y M. V. Price. 2007. Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. *Ecology Letters* 10(8): 710–717. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01061.x>.
- Menzel, R. y W. Backhaus. 1991. Colour vision in insects. In: Gouras, P. (eds.). *Vision and visual dysfunction*. vol VI The perception of colour. Macmillan Press, London, UK. Pp. 262-293.

- Mineau, P., B. T. Collins y A. Baril. 1996. On the use of scaling factors to improve interspecies extrapolation of acute toxicity in birds. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 24(1) :24–29. DOI: <https://doi.org/10.1006/rtp.1996.0061>.
- Misganaw, M., G. Mengesha y T. Awas. 2017. Perception of farmers on importance of insect pollinators in gozamin district of Amhara Region, Ethiopia. *Biodiversity International Journal* 1(5):54-60. DOI: <https://doi.org/10.15406/bij.2017.01.00029>.
- Moreno, C. E., F. Barragán, E. Pineda y N. P. Pavón. 2011. Reanalizando la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1249 – 1261.
- Moreno, N. P. 1984. *Glosario botánico ilustrado*. Compañía Editorial Continental S. A. de C. V. Cd. México, México. 300 pp.
- Munyuli, T. 2011. Farmers' perceptions of pollinators' importance in coffee production in Uganda. *Agricultural Sciences* 2(3): 318-333. DOI: <https://doi.org/10.4236/as.2011.23043>.
- Muñoz, A. A., C. Celedon-Neghme, L. A. Cavieres y M. T. K. Arroyo. 2004. Bottom-up effects of nutrient availability on flower production, pollinator visitation, and seed output in a high-Andean shrub. *Oecologia* 143(1): 126–135. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1780-3>.
- Muruaga, M. J. S., R. F. Cárdenas y J. A. Acosta. 1992. Hibridación natural y métodos de polinización manual en *Phaseolus coccineus* L. En *Memoria de la XXXVIII Reunión Anual Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios y Animales* 307-311 pp. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria, CENIDA.
- Nates-Parra, G. 2005. Abejas silvestres y polinización. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 75: 7-20.
- National Research Council (NRC). 2007. Status of pollinators in North America. The National Academies Press. Washington D.C. Pp. 326.
- Norfolk, O., M. P. Eichhorn y F. Gilbert. 2016. Flowering ground vegetation benefits wild pollinators and fruit set of almond within arid smallholder orchards. *Insect Conservation and Diversity* 9(3): 236–243.
- Ödeen, A. y O. Håstad. 2010. Pollinating birds differ in spectral sensitivity. *Journal of Comparative Physiology* 196: 91– 96.
- Olesen, J. M. y P. Jordano. 2002. Geographic patterns in plant–pollinator mutualistic networks. *Ecology* 8(9): 2416-2424.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2005. Evaluación de los ecosistemas del milenio. Consultado en marzo de 2018. <https://www.millenniumassessment.org/es/index.html>.
- Otieno, M., B. A. Woodcock, A. Wilby, I. N. Ogiatzakis, A. L. Mauchline, M. W. Gikungu y S. G. Potts. 2011. Local management and landscape drivers of pollination and biological control services in a Kenyan agro-ecosystem. *Biological Conservation* 144(10): 2424–2431.

- Pando, J. B., F. N. T. Fohouo y J. L. Tamesse. 2011. Foraging and pollination behaviour of *Xylocopa calens* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae) on *Phaseolus coccineus* L. (Fabaceae) flowers at Yaounde (Cameroon). *Entomological Research* 41(5): 185–193. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2011.00334.x>.
- Park, M. G., N. K. Joshi, E. G. Rajotte, D. Biddinger, J. E. Losey y B. Danforth. 2018. Apple grower pollination practices and perceptions of alternative pollinators in New York and Pennsylvania. *Renewable Agriculture and Food Systems* 35(1): 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1017/s1742170518000145>.
- Pérez Balam, J., J. Quezada-Euán, R. Alfaro-Bates, S. Medina, L. McKendrick., A. Soro y R. J. Paxton. 2012. The contribution of honey bees, flies and wasps to avocado (*Persea americana*) pollination in Southern Mexico. *Journal of Pollination Ecology* 8: 42-47. DOI: [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2012\)6](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2012)6).
- Perrot, T., S. Gaba, M. Roncoroni, J.-L. Gautier, A. Saintilan, A y V. Bretagnolle. 2019. Experimental quantification of insect pollination on sunflower yield, reconciling plant and field scale estimates. *Basic and Applied Ecology* 34:75-84.
- Peterson, R. T. y E. L. Chalif. 2000. Aves de México. Guía de campo. Ed. Diana. Ciudad de México, México, Pp. 176-195.
- Pineda-López, R. y J. R. Verdú. 2013. Cuaderno de prácticas. Medición de la biodiversidad: diversidad alfa, beta y gama. Universidad Autónoma de Querétaro y Universidad de Alicante. Ed. Universitaria. Querétaro, México. Pp. 120.
- Pinilla-Gallego, M. S. y G. Nates-Parra. 2015. Visitantes florales y polinizadores en poblaciones silvestres de agraz (*Vaccinium meridionale*) del bosque andino colombiano. *Revista Colombiana de Entomología* 41(1): 112- 119.
- Plan de Desarrollo Municipal de Calpan, Puebla 2019 – 2021. 2019. Orden Jurídico Poblano. Secretaría General de Gobierno. Estado de Puebla. México. 64 pp. Consultado en julio de 2022. Plan Municipal de Desarrollo - Previo (puebla.gob.mx).
- Potts, S. G., J. C. Biesmeijer, C. Kremen, P. Neumann, O. Schweiger y W. E. Kunin. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution* 25(6): 345-353.
- Potts, S. G., V. Imperatriz-Fonseca, H. T. Ngo, M. A. Aizen, J. C. Biesmeijer, T. D. Breeze, L.V. Dicks, L. A. Garibaldi, R. Hill, J. Settele y A. J. Vanbergen. 2016. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature* 540(7632): 220–229. <https://doi.org/10.1038/nature20588>.
- Puig-Montserrat, X., C. Stefanescu, I. Torre, J. Palet, E. Fabregas, J. Dantart, A. Arrizabalaga y C. Flaquer. 2017. Effects of organic and conventional crop management on vineyard biodiversity. *Agriculture Ecosystems & Environment* 243: 19–26.
- Quagliotti, L. y F. Marletto. 1987. Research on the pollination of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) for dry grain production. *Advances in Horticultural Science* 1(1):43-49.

- Ramírez-Vallejo, P. y J. A. Acosta-Gallegos. 1995. Factores abióticos que afectan la productividad del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con énfasis en la sequía. En: J. Pérez M., R. Ferrera C. y R. García E. (Eds.) *Diversidad genética y patología del frijol*. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México. pp. 52-68.
- Ramos, D. de L., M. C. Bustamante, F. D. da S. Silva y L. G. Carvalheiro. 2018. Crop fertilization affects pollination service provision – Common bean as a case study. *PLoS ONE* 13(11): e0204460. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204460>.
- Ricketts, T.H., J. Regetz, I. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham y C. Kremen. 2008. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? *Ecology Letters* 11: 499-515.
- Rinkevich, F. D., Y. Du, J. Tolinski, A. Ueda, C. F. Wu, B. S. Zhorov y K. Dong. 2015. Distinct roles of the DmNav and DSC1 channels in the action of DDT and pyrethroids. *Neurotoxicology* 47: 99-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2015.02.001>.
- Ritchie, S. W., J. J. Hanway, H. E. Thompson y G. O. Benson. 1992. How a soybean plant develops. Special Report No. 53. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Ames, Iowa, USA. Pp. 20.
- Rocchini, D. y M. Neteler. 2012. Spectral rank–abundance for measuring landscape diversity. *International Journal of Remote Sensing* 33(14): 4458–4470. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.648286>.
- Rodríguez-Femat, J. F. 2014. Coexistencia de cuatro especies de colibríes en la Reserva Ecológica Huitepec, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. Pp. 57.
- Rodríguez-Parilli, S. y M. Velásquez. 2011. Lugares de actividad de las abejas (Hymenoptera: Apoidea) presentes en bosque seco tropical del estado Guárico, Venezuela. *Zootecnia Tropical* 29(4): 421-433.
- Romero R., A. C. y M. A. González. 2012. Ensayo piloto de investigación relacionado con la determinación de períodos de carencia de residuos de plaguicidas en el cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). Documento de Trabajo CIAT no. 128. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. Pp. 102.
- Römke, J., S. Jänsch, T. Junker., B. Pohl, A. Scheffczyk y J. S. Hans. 2006. Improvement of the applicability of ecotoxicological tests with earthworms, springtails, and plants for the assessment of metals in natural soils. *Environmental Toxicology and Chemistry* 25(3): 776-787.
- Rosas-Guerrero, V., R. Aguilar, S. Martín-Rodríguez, L. Ashworth, M. Lopezaraiza-Mikel, J. M. Bastida y M. Quesada. 2014. A quantitative review of pollination syndromes: do floral traits predict effective pollinators? *Ecology Letters* 17: 388-400. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12224>.

- Roulston, T. H. y K. Goodell. 2011. The role of resources and risks in regulating wild bee populations. *Annual Review of Entomology* 56(1): 293–312.
- Ruíz-Salazar, R. 2009. Análisis de la diversidad genética de *Phaseolus coccineus* L. de la subprovincia Carso Huasteco de México. Tesis de Maestría. Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional. Reynosa, Tamaulipas, México. Pp. 65.
- Ruíz-Salazar, R., N. Mayek-Pérez, M. L. P. Vargas-Vázquez, S. Hernández-Delgado y J. S. Muruaga-Martínez. 2019. Análisis de la estructura poblacional del frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) Mediante AFLP. *Polibotánica* 47: 13-24. DOI: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.2>.
- Ruiz-Toledo, J. y D. Sánchez-Guillen. 2014. Efecto de la concentración de glifosato presente en cuerpos de agua cercanos a campos de soya transgénica sobre la abeja *Apis mellifera* y la abeja sin aguijón *Tetragonisca angustula*. *Acta Zoológica Mexicana* 30(2): 408-413. DOI: <https://doi.org/10.21829/azm.2014.302114>.
- Rundlöf, M., G. K. S. Andersson, R. Bommarco, I. Fries, V. Hederström, L. Herbertsson, O. Jonsson, B. K. Klatt, T. R. Pedersen, J. Yourstone y H. G. Smith. 2015. Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. *Nature* 521: 77-80.
- Salazar-Díaz, R. y V. Torres-Coto. 2017. Estudio de la dinámica de polinizadores del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en tres sistemas de producción. *Revista Tecnología en Marcha* 30(1): 90-100.
- Santalla, M., A. B. Monteagudo, A. M. González y A. M. De Ron. 2004. Agronomical and quality traits of runner bean germplasm and implication for breeding. *Euphytica* 135: 205–215. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000014912.07993.e7>.
- Sarandón, S. y C. Flores. 2014. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), La Plata, Buenos Aires, Argentina. Pp. 159-190.
- Sardiñas, H. S. y C. Kremen. 2014. Evaluating nesting microhabitat for ground-nesting bees using emergence traps. *Basic and Applied Ecology* 15(2): 161–168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2014.02.004>.
- Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo y J. Llorente-Bousquets. 2008. Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F. Pp. 620.
- SAS Institute Inc. 2020. SAS University Edition Version 9.4. Statistical Analysis System Institute. Cary, New York City, USA. https://www.sas.com/es_mx/software/university-edition.html.
- SAS® On Demand for Academics. 2022. Consultado en abril de 2022. https://www.sas.com/es_mx/software/on-demand-for-academics.html.

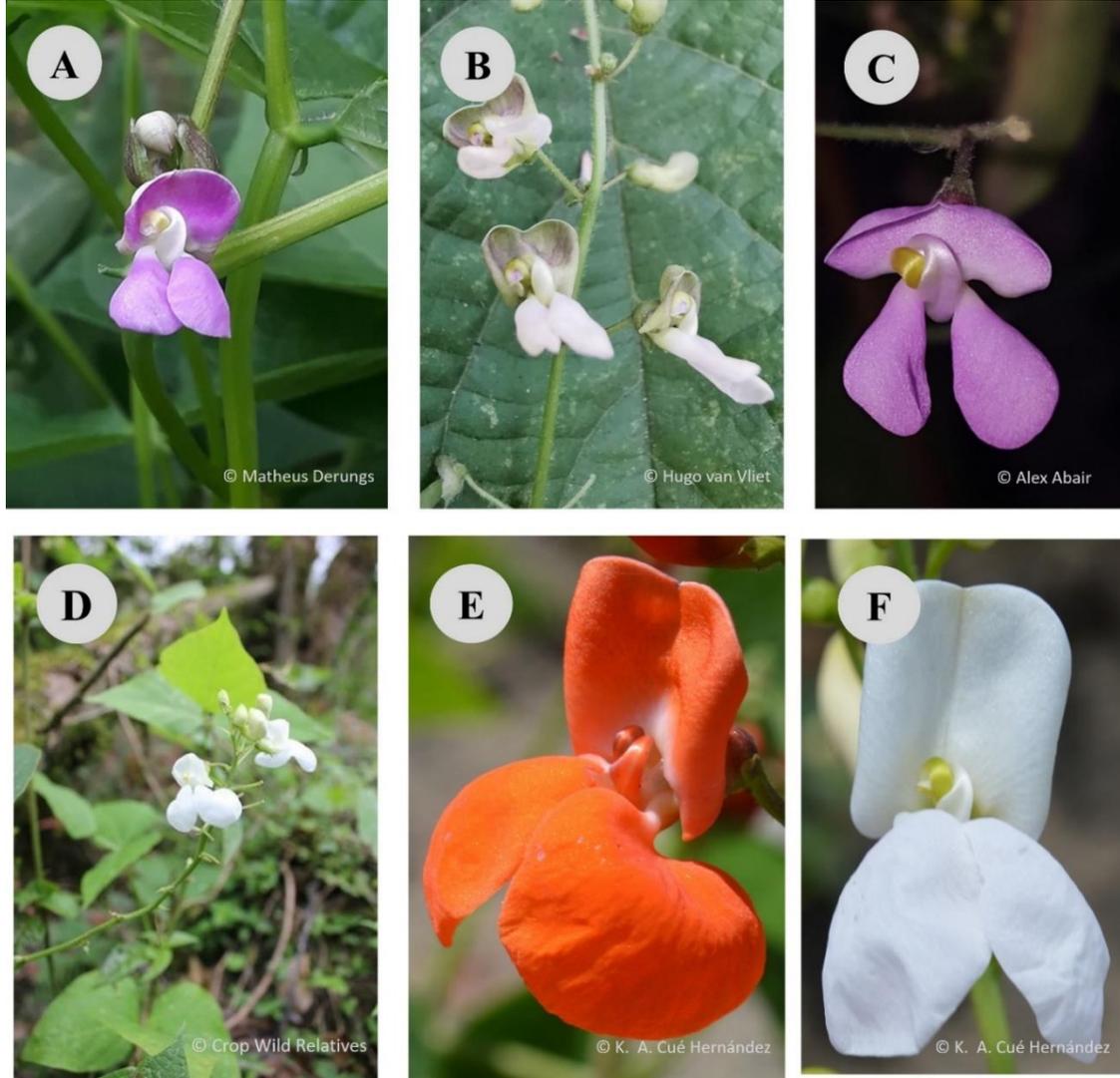
- Schmutterer, H. 1990. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. Annual Review of Entomology 35: 271-297. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.en.35.010190.001415>.
- Schwember, A. R., B. Carrasco y P. Gepts. 2017. Unraveling agronomic and genetic aspects of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.). Field Crops Research 206: 86-94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.020>.
- Shuler, R. E., T. A. H. Roulston y G. E. Farris. 2005. Farming practices influence wild pollinator populations on squash and pumpkin. Journal of Economic Entomology 98(3): 790-795.
- Smartt, J. 1990. Grain legumes: evolution and genetic resources. Cambridge University Press. Cambridge, UK. Pp. 371.
- Sosenski, P. y C. A. Domínguez. 2018. El valor de la polinización y los riesgos que enfrenta como servicio ecosistémico. Revista Mexicana de Biodiversidad 89(3): 961-970. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2168>.
- Sousa- Peña, M. 1992. Polinización en el complejo *Phaseolus coccineus* L. (Fabaceae). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México. Pp. 68.
- Steffan-Dewenter, I. 2002. Importance of habitat area and landscape context for species richness of bees and wasps in fragmented orchard meadows. Conservation Biology 17(4): 1036-1044. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.01575.x>.
- Stein, K., D. Coulibaly, K. Stenchly, D. Goetze, S. Porembski, A. Lindner, S. Konaté y E. K. Linsenmair. 2017. Bee pollination increases yield quantity and quality of cash crops in Burkina Faso, West Africa. Scientific Reports 7: 17691.
- Stephenson, A. G. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. Annual Review of Ecology and Systematics 12: 253-279. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.12.110181.001345>.
- Stupino, S. A, J. L. Frangi, S. J. Sarandón, M. F. Arturi y A. C. Ferreira. 2008. Plant diversity in two farm under organic and conventional management in La Plata, Argentina. A case study. Revista Brasileira de Agroecología 3(3): 24-35.
- Svetleva, D., M. Velcheva, and G. Bhowmik. 2003. Biotechnology as a useful tool in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) improvement. Euphytica 131(2): 189-200. <https://doi.org/10.1023/A:1023983831582>.
- Tchuenguem, F. F. N., T. S. Fameni y D. F. Brüchner. 2014. Foraging and pollination behaviour of *Xylocopa olivacea* (Hymenoptera: Apidae) on *Phaseolus coccineus* (Fabaceae) flowers at Ngaoundéré (Cameroon). International Journal of Tropical Insect Science 34(2): 127-137. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742758414000241>.
- Tscharntke, T., A. M. Klein, A. Kruess, I. Steffan-Dewenter y C. Thies. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity -ecosystem service

- management. *Ecology Letters* 8(8): 857–874. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>.
- Valois-Cuesta H., P. J. Soriano y J. F. Ornelas. 2011. Asymmetrical legitimate pollination in distylous *Palicourea demissa* (Rubiaceae): the role of nectar production and pollinator visitation. *Journal of Tropical Ecology* 27: 393-404.
- Vargas Vázquez. M. L. P., J. S. Muruaga Martínez, R. L. Ildefonso y A. Pérez-Guerrero. 2012. La colección INIFAP de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) I. Distribución geográfica de sitios de colecta. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(6): 1247-1259. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i6.1375>.
- Vargas-Vázquez, M. L. P., J. S. Muruaga-Martínez, J. M. Hernández-Casillas y J. Díaz-De la Cruz. 2007. Diagnóstico de la forma cultivada del frijol ayocote *Phaseolus coccineus* L. e información geográfica de los sitios de colecta. *Campo Experimental Valle de México, INIFAP, Chapingo, Estado de México*. Pp. 18.
- Vargas-Vázquez, P., J. S. Muruaga-Martínez, S. E. Martínez-Villarreal, R. Ruiz-Salazar, S. Hernández-Delgado y N. Mayek-Pérez. 2011. Diversidad morfológica del frijol ayocote del Carso Huasteco de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82(3): 767-775.
- Vergara, C. H. y E. I. Badano. 2009. Pollinator diversity increases fruit production in Mexican coffee plantations: The importance of rustic management systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129: 117–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.08.001>.
- Vergara, C. H. y E. I. Badano. 2009. Pollinator diversity increases fruit production in Mexican coffee plantations: The importance of rustic management systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129: 117-123.
- Vicens, N., J. Bosch y M. Blas. 1993. Análisis de los nidos de algunas *Osmia* (Hymenoptera, Megachilidae) nidificantes en cavidades preestablecidas. *Orsis: organismes i sistemes* 8:41-52.
- Viejo-Montesino, J. L. y C. Ormosa-Gallego. 1997. Los insectos polinizadores: una aproximación antropocéntrica. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 20:71-74.
- Viglizzo, E., A. Pordomingo, M. Castro y F. Lértora. 2002. La sustentabilidad ambiental de la agricultura pampeana ¿oportunidad o pesadilla? *Ciencia Hoy* 12(68): 38–51.
- Villacrés, E. N. F. 2014. El uso de plaguicidas químicos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), su relación con el medio ambiente y la salud. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. Pp. 162.
- Villamil, L., M. Astier, Y. Merlín, R. Ayala-Barajas, E. Ramírez-García, J. Martínez-Cruz y M. E. Gavito. 2018. Management practices and diversity of flower visitors and herbaceous plants in conventional and organic avocado orchards in Michoacán, Mexico. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 42(5): 530-551.
- Vrdoljak, S. M., J. P. Simaika y M. J. Samways. 2016. Pollinator conservation at the local scale: flower density, diversity and community structure increase flower visiting insect activity to

- mixed floral stands. *Journal of Insect Conservation* 20(4): 711–721. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10841-016-9904-8>.
- Wackers, F. L., J. Romeis y P. van Rijn. 2007. Nectar and pollen feeding by insect herbivores and implications for multitrophic interactions. *Annual Review of Entomology*. 52: 301-323. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091352>.
- Waser, N. M., L. Chittka, M. V. Price, N. M. Williams y J. Ollerton, J. 1996. Generalization in pollination systems, and why it matters. *Ecology* 77: 1043-1060.
- Webster, B. D., R. M. Ross y M. C. Sigourney. 1980. A morphological study of the development of reproductive structures of *Phaseolus coccineus*. *Journal American Society for Horticultural Science* 105(6): 825–833.
- Wesche, K., B. Krause, H. Culmsee y C. Leuschner. 2012. Fifty years of change in Central European grassland vegetation: Large losses in species richness and animal-pollinated plants. *Biological Conservation* 150(1): 76–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.02.015>.
- Wietzke A., C. Westphal, P. Gras, M. Kraft, K. Pfohl, P. Karlovsky, E. Pawelzik, T. Tschardtke and I. Smit. 2018. Insect pollination as a key factor for strawberry physiology and marketable fruit quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 258: 197–204.
- Williams, I. H y J. B. Free. 1975. The pollination and set of the early flowers of runner bean (*Phaseolus multiflorus* L.). *Journal of Horticultural Science* 50: 405–413.
- Williams, N. M., E. E. Crone, T. H. Roulston, R. L. Minckley, L. Packer y S. G. Potts. 2010. Ecological and life-history traits predict bee species responses to environmental disturbances. *Biological Conservation* 143(10): 2280–2291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.03.024>.

ANEXOS

1. Flores de distintas especies del género *Phaseolus*



Ejemplos de flores de diferentes especies del género *Phaseolus*: A: *P. vulgaris*; B: *P. lunatus*; C: *P. acutifolius*; D: *P. dumosus*; E: *P. coccineus* variedad roja; F: *P. coccineus* variedad blanca. Imágenes de A-D tomadas de www.naturalista.mx. E y F imágenes de la autora.

2. Cuestionario aplicado a productoras y productores de *P. coccineus*.

COLEGIO DE POSTGRADUADOS, CAMPUS PUEBLA

**PROGRAMA EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL
CAMPUS PUEBLA**

CUESTIONARIO PARA PRODUCTORES DE FRIJOL AYOCOTE

El presente cuestionario forma parte de mi proyecto de investigación de doctorado en el Colegio de Postgraduados. Las preguntas que le haré tienen como objetivo describir y analizar los sistemas de producción del frijol ayocote que practican los agricultores del Estado de Puebla y precisar qué tanto se conoce de la polinización. Los datos que proporcione serán confidenciales y servirán para el desarrollo de la investigación.

I. DATOS GENERALES

ENTREVISTADOR(A):

MUNICIPIO:

COMUNIDAD:

FECHA DE LA ENTREVISTA:

NOMBRE DEL

AGRICULTOR(A): _____

SEXO: _____ NIVEL DE ESCOLARIDAD: _____ EDAD: _____

II. ACTIVIDADES AGROPECUARIAS

1. Aparte del ayocote, actualmente ¿Qué otros cultivos siembra Usted?

a) Maíz ()	d) Calabaza ()	g) Duraznos ()
b) Frijol ()	e) Chile ()	h) Manzanas ()
c) Haba ()	f) Nopal ()	i) Otros (especificar)

2. En conjunto, ¿Cuántas hectáreas siembra Usted cada año?

3. ¿Cuánto de esa superficie fue lo que destinó al cultivo de ayocote el año pasado (2020)?

4. ¿En cuántas parcelas se encuentra distribuida esa superficie? _____

5. Considerando la parcela más grande que siembra con ayocote, dígame por favor:

5a. ¿De qué tamaño es la parcela? _____

5b. ¿Qué cultivos se siembran a su alrededor? (Marcar en la primera columna del cuadro)

5c. ¿La parcela está cerca de un área de vegetación natural o de un terreno baldío o de construcciones? De ser afirmativa la respuesta, preguntar de qué tipo y a qué distancia aproximadamente.

Cultivos aledaños		Vegetación natural	Terreno baldío	Construcciones																										
Si () No()		Si () No()	Si () No()	Si () No()																										
<table border="1"> <tr><td>Maíz</td><td></td></tr> <tr><td>Frijol común</td><td></td></tr> <tr><td>Ayocote</td><td></td></tr> <tr><td>Haba</td><td></td></tr> <tr><td>Chile</td><td></td></tr> <tr><td>Calabazas</td><td></td></tr> </table>	Maíz		Frijol común		Ayocote		Haba		Chile		Calabazas			<table border="1"> <tr><td>Bosque</td><td></td></tr> <tr><td>Pastizal</td><td></td></tr> <tr><td>Monte</td><td></td></tr> </table>	Bosque		Pastizal		Monte			<table border="1"> <tr><td>Casas</td><td></td></tr> <tr><td>Fábricas</td><td></td></tr> <tr><td>Bodegas</td><td></td></tr> <tr><td>Carretera</td><td></td></tr> </table>	Casas		Fábricas		Bodegas		Carretera	
Maíz																														
Frijol común																														
Ayocote																														
Haba																														
Chile																														
Calabazas																														
Bosque																														
Pastizal																														
Monte																														
Casas																														
Fábricas																														
Bodegas																														
Carretera																														
<table border="1"> <tr><td>Nopal</td><td></td></tr> <tr><td>Duraznos</td><td></td></tr> </table>	Nopal		Duraznos			En cualquiera de los casos, si la respuesta es afirmativa, preguntar y anotar a qué distancia se encuentran de la parcela.																								
Nopal																														
Duraznos																														
<table border="1"> <tr><td>Manzanos</td><td></td></tr> <tr><td>Otro (Especificar)</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> </table>	Manzanos		Otro (Especificar)																											
Manzanos																														
Otro (Especificar)																														

III. MANEJO DEL CULTIVO DE FRIJOL AYOCOTE

6. ¿Cuántos años lleva cultivando ayocote?

7. Considerando el color del grano ¿Qué tipos de ayocote siembra Usted? (Marcar las que apliquen)

Blanco (); Negro (); Morado (); Amarillo (); Pinto (); Otro (especificar)_____

8. ¿Siembra el ayocote sólo o asociado?

SOLO () ¿Por qué?

ASOCIADO () ¿Por qué y con qué otros cultivos?

9. ¿Aplica algún tipo de fertilizante químico al cultivo?

SÍ (LLENAR EL CUADRO) ()

NO (PASAR A LA PREGUNTA 10) ()

TIPO DE FERTILIZANTE	CANTIDAD (BULTOS)	¿EN QUÉ MOMENTO LO APLICA?

Tipo de fertilizante

Momento de aplicación

1. Urea

1. A la siembra

TIPO DE FERTILIZANTE	CANTIDAD (BULTOS)	¿EN QUÉ MOMENTO LO APLICA?
----------------------	-------------------	----------------------------

- | | | |
|----|------------------------------|---|
| 2. | Nitrato de amonio (amonitro) | 2. Días después de la emergencia (primeras hojas) |
| 3. | 18-46-00 (fosfato diamónico) | 3. Al inicio de la formación de guías |
| 4. | Sulfato de amonio | 4. En etapa de floración |
| 5. | Triple 17 | 5. Otro (especificar)
_____ |
| 6. | Foliar | |
| 7. | Otro (especificar)
_____ | |

10. ¿Aplica abonos orgánicos?

SÍ (LLENAR EL CUADRO) ()

NO (PASAR A LA PREGUNTA 11) ()

TIPO DE ABONO	CANTIDAD (TONELADAS)	¿EN QUÉ MOMENTO LO APLICA?

TIPO DE ABONO	CANTIDAD (TONELADAS)	¿EN QUÉ MOMENTO LO APLICA?

Tipo de abono

Momento de aplicación

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1. Bovino | 1. A la siembra |
| 2. Porcino | 2. Días después de la emergencia (primeras hojas) |
| 3. Ovino | 3. Al inicio de la formación de guías |
| 4. Caprino | 4. En etapa de floración |
| 5. Aves de corral | 5. Otro (especificar)
_____ |
| 6. Lombricomposta | |
| 7. Otro (especificar)
_____ | |

11. ¿Qué tipo de plagas atacan su cultivo?

Plaga	¿La controla? Sí / No	Producto aplicado	Dosis	Época de aplicación *	HORARIO DE APLICACIÓN
Ninguna	(Pase a la pregunta 12)				
Chapulín					
Picudo					
Otra (Especificar) _____					

* PLÁNTULA (P), CRECIMIENTO VEGETATIVO (CV), APARICIÓN DE GUÍAS (G), FLORACIÓN (F), LLENADO DE VAINAS (V), MADURACIÓN DE VAINAS (M).

12. ¿Qué enfermedades se presentan en su cultivo?

Enfermedad	¿Las controla? Sí / No	Producto aplicado	Dosis	Época de aplicación	HORARIO DE APLICACIÓN
Ninguna	(Pase a la pregunta 13)				
Roya (Chahuixtle)					

Enfermedad	¿Las controla? Sí / No	Producto aplicado	Dosis	Época de aplicación	HORARIO DE APLICACIÓN
Arrugamiento foliar (Virosis)					
Mosaicos					
Tizones (cenicilla)					
Otro (especificar)					

* PLÁNTULA (P), CRECIMIENTO VEGETATIVO (CV), APARICIÓN DE GUÍAS (G), FLORACIÓN (F), LLENADO DE VAINAS (V), MADURACIÓN DE VAINAS (M)

13. ¿Cómo controla las malezas?

Lugar	Método	Etapas De control*	Producto o herramienta Empleado(a)	Frecuencia de aplicación o Deshierbe	Dosis o Número de jornales	Normalmente, ¿a qué hora (s) realiza la aplicación?
	Manual					

Lugar	Método	Etapas De control*	Producto o herramienta Empleado(a)	Frecuencia de aplicación o Deshierbe	Dosis o Número de jornales	Normalmente, ¿a qué hora (s) realiza la aplicación?	
Dentro de la parcela	Químico						
En los bordes o alrededor de la parcela	Manual						
	Químico						

14. En promedio, ¿Cuántos días a la semana visita su parcela de ayocote? _____ días

15. ¿Qué rendimiento de ayocote obtiene normalmente en la parcela de la que me ha dado la información?

16. ¿Qué porcentaje de su ingreso anual provino de la venta de ayocote?

1. 100% ()
2. 75% ()
3. 50% ()
4. 25% ()
5. Menos del 25% ()
6. No recuerda/no sabe ()

IV. POLINIZACIÓN Y POLINIZADORES

17. ¿Ha escuchado hablar de la polinización en plantas?

Sí () ¿Sabe a qué se

refiere? _____

No () PASAR A LA PREGUNTA 19

18. En su opinión, ¿la polinización influye en alguna de los siguientes aspectos del cultivo de ayocote?

- | | | | |
|----|-------------------------------|---------|---------|
| 1. | En la caída de flores | SI_____ | NO_____ |
| 2. | En el amarre de vainas | SI_____ | NO_____ |
| 3. | En el rendimiento | SI_____ | NO_____ |
| 4. | En la calidad de las semillas | SI_____ | NO_____ |

19. ¿Ha escuchado que en el interior de la flor hay un líquido dulce que se conoce con el nombre de néctar?

Sí () ¿sabe para qué le sirve a la planta?

No ()

20. ¿Ha escuchado que en la flor existe un polvo fino de color blanco o amarillo llamado polen?

Sí () ¿sabe para qué le sirve a la planta?

No ()

21. ¿Sabe Usted cómo es que las flores del ayocote se convierten en vainas?

SÍ, ¿Cómo?

No ()

22. De las fotos de insectos y aves que le mostraré a continuación, dígame por favor cuáles ha observado que visiten las flores de ayocote y si considera que algunos de ellos son plagas o dañan el cultivo.

Número de foto	Nombre de organismo	Lo ha observado en las flores	Es plaga o dañan el cultivo
1	Gusano/polilla terciopelo		
2	Abejorros (jicotes)		
3	Mariposa amarilla		
4	Gorrión inglés (maicero)		
5	Colibrí berilo (pica flor, chupamilto, chupamirto)		
6	Conchuela del frijol		
7	Mosquita blanca		

Número de foto	Nombre de organismo	Lo ha observado en las flores	Es plaga o dañan el cultivo
8	Pulgones		
9	Avispa mielera		
10	Chapulines		
11	Colibrí rufus (pica flor, chupamilton, chupamirto)		
12	Abeja carpintera		
13	Mosca polinizadora		
14	Abeja apis (colmena)		

23. ¿Considera que las abejas son insectos peligrosos?

1. Si ()
2. No ()

¿Por qué?

24. ¿En una escala de 1 a 5, donde 1 es nada importante y 5 muy importante, ¿Qué tan importante cree que sea para el rendimiento de ayocote el que ALGUNOS INSECTOS COMO ABEJAS, ABEJORROS y AVES como COLIBRÍES visiten las flores de la planta? (Marcar el que corresponda)

1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	5 ()
Nada importante	Poco importante	Moderadamente importante	Importante	Muy importante

25. ¿Por qué cree que las abejas y abejorros visitan las flores?

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Comen otros insectos () | 4. Se comen las hojas () |
| 2. Colectan polen y néctar () | 5. Polinizan flores () |
| 3. Colectan agua de los pétalos () | 6. Otro (especificar) _____ |

26. ¿Alguna vez ha sembrado ayocote cerca de colmenas o apiarios?

1. Si () ¿Notó alguna diferencia en el rendimiento? _____
2. No ()

27. ¿Cree que los agroquímicos que llegan a aplicarse en los cultivos afectan a las abejas, abejorros y colibríes?

1. Si ()
2. No ()

¿Por qué?

V. DISPOSICIÓN A IMPLEMENTAR PRÁCTICAS QUE PODRÍAN BENEFICIAR LA PRODUCCIÓN DE AYOCOTE

Las investigaciones que se han hecho en ayocote han demostrado que la presencia de insectos como abejas o de aves como los colibríes, ayuda a que haya un mejor amarre de vainas. Considerando lo anterior:

28. ¿Qué tan dispuesto estaría a dejar hierbas que florecen al mismo tiempo que el frijol de ayocote y árboles en las orillas de los terrenos donde cultiva, para atraer abejas, abejorros y colibríes que ayudarán a mejorar los rendimientos de ayocote?

1. ()	2. ()	3. ()
Nada dispuesto	Posiblemente lo consideraría	Dispuesto

29. ¿Qué tan dispuesto estaría a dejar árboles, algunos troncos o estructuras rústicas que favorezcan el anidamiento de abejas silvestres y colibríes para mejorar su producción de ayocote?

1. ()	2. ()	3. ()
Nada dispuesto	Posiblemente lo consideraría	Dispuesto

30. ¿Qué tan dispuesto estaría a conservar o restaurar los remanentes de bosques cercanos a su parcela para mejorar su producción de ayocote?

1. ()	2. ()	3. ()
Nada dispuesto	Posiblemente lo consideraría	Dispuesto

31. ¿Qué tan dispuesto estaría en cambiar la aplicación de insecticidas y herbicidas a periodos donde el cultivo de ayocote no esté en floración y en horarios vespertinos (después de las 5 p.m.) para mejorar su producción de ayocote?

1. ()	2. ()	3. ()
Nada dispuesto	Posiblemente lo consideraría	Dispuesto

32. ¿Qué tan dispuesto estaría a utilizar agroquímicos que no dañen a abejas y colibríes para mejorar su producción de ayocote?

1. ()	2. ()	3. ()
Nada dispuesto	Posiblemente lo consideraría	Dispuesto

¡MUCHAS GRACIAS!

3. Material de apoyo visual utilizado en la aplicación de cuestionario.

INSECTOS PLAGAS DE *P. coccineus* L.



Anticarsia gemmatalis

Epilachna varivestis

Bemisia tabaci

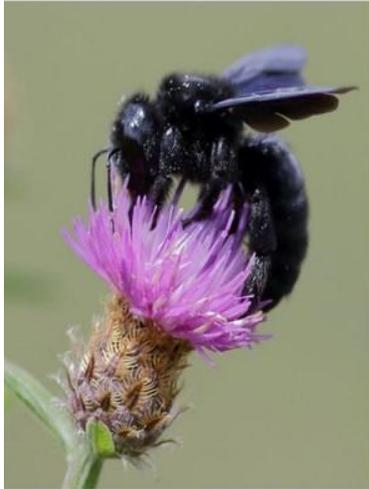


Macrosiphum euphorbiae



Brachystola sp

VISITANTES FLORALES DE *P. coccineus* L.
ORDEN HYMENOPTERA.



Xylocopa sp



Bombus sp



Apis mellifera



Brachygastra mellifica

VISITANTES FLORALES DE *P. coccineus* L.
ORDEN LEPIDOPTERA. ORDEN DIPTERA.



Colias eurytheme



Allograpta sp

**VISITANTES FLORALES DE *P. coccineus* L.
ORDEN APODIFORMES.**



Amazilia beryllina



Selasphorus rufus

4. Tríptico informativo entregado a productores y productoras de *P. coccineus*.

Importancia de los polinizadores

Una gran parte de las plantas con flores (87%) requieren de la participación de animales para que se dé la polinización (en otras, el transporte se da por el aire, el agua o la gravedad). De entre los animales, los que más ayudan, tanto a plantas silvestres como cultivadas, son abejas, mariposas, polillas, hormigas, escarabajos, colibríes y murciélagos.

A estos animales se les conoce como polinizadores, ellos se alimentan del néctar de las flores y durante sus visitas transportan accidentalmente polen de una flor a otra, permitiendo así que las plantas produzcan frutos. Son importantes porque ayudan al rendimiento en los cultivos, incrementan las cualidades como sabor y color en semillas y frutos, además permiten la reproducción y supervivencia de las plantas con flores, tanto cultivadas, como silvestres, ayudando al mantenimiento de su diversidad.



Factores que afectan a los polinizadores

La pérdida y fragmentación del entorno natural, las maneras de producción agrícola, el efecto del cambio climático, el uso y aplicación de agroquímicos, la introducción de especies exóticas, son algunas de las principales amenazas que afecta a los polinizadores, reduciendo la diversidad de flores de las cuales se alimentan y también de sus poblaciones debido a que dañan su salud, provocando incluso su muerte.

Recomendaciones para fomentar y aumentar la presencia de polinizadores

(1) Reducir las aplicaciones de químicos en las prácticas agrícolas, o en caso de utilizarse, emplear productos que no dañen a la fauna que se encarga de la polinización del cultivo y aplicarlo en horarios donde éstos no tengan actividad y no aplicarlos durante época de floración del cultivo. (2) Dejar algunas franjas de flores silvestres y sembrar algunos árboles (podrían ser frutales) en los bordes de la parcela. (3) Colocar cerca de la parcela algunos troncos, los cuales proporcionarán sitios de anidación para insectos polinizadores. (4) Mantener en un buen estado los bosques o remanentes de vegetación natural. (5) Instalar fuentes de agua para su hidratación y, de ser posible, instalar un jardín para polinizadores.

LA POLINIZACIÓN EN AYOCOTE



Elaborado por:

Cué Hernández Karina Alejandra, Gil Muñoz Abel, López Pedro Antonio, Aguirre Jaimes Armando y Taboada Gaytán Oswaldo Rey.

Fotografías: Karina Alejandra Cué Hernández

Para más información visita:

<https://www.youtube.com/watch?v=laYrrQXJBxY>
o escribe a: karyscue@gmail.com

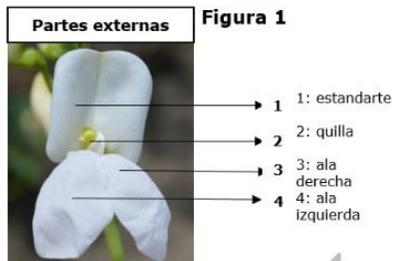


Figura 1

Reproducción en plantas

En las plantas existen dos tipos de reproducción: vegetativa y sexual. En el primero no intervienen flores, células sexuales o semillas; para propagar la planta sólo se requieren partes de la misma, como tallos, raíces u hojas. En la reproducción sexual, para formar una semilla, se necesita la unión de células especializadas (células sexuales), una masculina y una femenina. Estas células sexuales se producen en el interior de la flor. En ayocote, la parte más llamativa de la flor son los pétalos; cada uno de los cuales tiene un nombre (Figura 1). Por dentro, la flor se ve como se muestra en la Figura 2; cada estructura que se ve tiene un nombre. Dos estructuras importantes son los estambres (en cuya parte superior se encuentran las anteras) y el estigma (que lleva al ovario), pues es en ellas donde se encuentran las células sexuales: las masculinas en las anteras y las femeninas en el ovario.



Figura 2

Los polinizadores son atraídos a las flores por su color, aroma y forma, en ellas encuentran recursos para su alimentación, desarrollo o reproducción. Estos recursos son el néctar y el polen.

El Néctar

Es una sustancia líquida que contiene principalmente azúcares y sustancias aromáticas que son atractivas para los animales. Se encuentra en el interior de las flores y sirve de alimento para los animales.

El Polen

Es un polvo muy fino que se forma en una especie de bolsitas (sacos polínicos) que se sitúan en las anteras. Ese polvo está formado por granitos muy pequeños (el grano de polen), los cuales contienen en su interior las células sexuales masculinas. Cuando el polen está maduro, es liberado por las anteras.

La Polinización

Es el transporte de polen desde la parte masculina de una flor (anteras) hasta la parte femenina (estigma) de la misma flor u otra, de la misma especie. Gracias a la polinización, se forman frutos y semillas. En frijol ayocote, la transferencia de polen de una flor a otra requiere de la ayuda de animales.



La morfología de la flor de ayocote, obliga a que el polen sea transportado por animales como abejas y colibríes, pues cuando se posan (abejas) o se acercan (colibríes) a la flor para acceder al néctar, causan que el pétalo (quilla) que recubre los estambres y el estigma se desplace, dejando expuestos los estambres que liberan el polen, el cual se adhiere a la cabeza, las patas o alguna otra parte del cuerpo del animal, el cual lo transferirá al estigma de la siguiente flor que visite, repitiendo este proceso de flor en flor.

