



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Diversidad de visitantes florales en agroecosistemas de frutales caducifolios y su relación con variables a escala local y de paisaje

Jessica Lorena Vaca Uribe

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Biología
Bogotá D.C., Colombia

2019

Diversidad de visitantes florales en agroecosistemas de frutales caducifolios y su relación con variables a escala local y de paisaje

Jessica Lorena Vaca Uribe

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias- Biología

Director (a):

Rodolfo Ospina Torres. Biólogo PhD.

Asesor Externo:

Maikol Santamaría Galindo. Ingeniero en Agroecología cPhD.

Laboratorio de Investigación en Abejas Silvestres (LABUN)

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Biología
Bogotá D.C., Colombia

2019

Agradecimientos

Este trabajo de grado no habría sido posible sin la colaboración de muchas personas que me brindaron su apoyo en la formulación y gestión. Quiero comenzar agradeciendo a mi familia y amigos por creer en mí, por su amor e incondicional apoyo. A Maikol Santamaría por introducirme en el complejo mundo de los frutales caducifolios, y como guía y compañero en mi desarrollo científico y personal. A mi maestro Rodulfo Ospina, por sus consejos y por darme las herramientas científicas que dieron fruto al presente trabajo. A Erwin Barreto, por su colaboración y enseñanza en el manejo de Sistemas de Información Geográfica, percepción remota e interpretación de imágenes. A los agricultores del municipio de Nuevo Colón Boyacá, por su disposición y acogida del proyecto.

Agradezco a diversos grupos que apoyaron el desarrollo de mi tesis. Al equipo de trabajo en del Laboratorio de Investigaciones en Abejas Silvestres de la Universidad Nacional de Colombia, especialmente a Lorena Téllez, Víctor Solarte y Susana Currea por sus valiosas enseñanzas en abejas, análisis de datos y análisis polínico. Al semillero Agroecología y recursos entomológicos de UNIMINUTO, por su apoyo en el trabajo de campo. Al Museo Entomológico UNAB de la Universidad Nacional de Colombia por la colaboración en la identificación de algunos especímenes. A docentes y administrativos de la Universidad Nacional de Colombia por acompañarme en todo el proceso.

Finalmente, expreso mi amplio sentido de gratitud a la fundación Alejandro Ángel Escobar por el aporte económico brindado para el desarrollo de mi proyecto de tesis, y a la Corporación Universitaria Minuto de Dios UNIMINUTO, programa de ingeniería agroecológica, debido a que parte de este trabajo se desarrolló en el marco de uno de sus proyectos financiados: CSP3-15-009 “Artrópodos y microorganismos de importancia agrícola asociados a cultivos de ciruela, pera, manzana y durazno en el municipio de Nuevo Colón, Boyacá”.

Resumen

En el paisaje agrícola de frutales caducifolios los polinizadores son indispensables debido a que estos cultivos son altamente dependientes a la polinización cruzada, no obstante, la diversidad y funcionalidad de los polinizadores está en riesgo a causa de factores a escala local como el uso intensivo de agroquímicos, y factores a escala amplia como la simplificación del paisaje. En este estudio se determinó la diversidad de insectos visitantes florales y polinizadores potenciales en agroecosistemas de frutales caducifolios; se realizó un acercamiento a la polinización del ciruelo cv. Horvin, se caracterizó el manejo de los cultivos y los elementos del paisaje, y se determinó la relación entre algunas variables de paisaje local y amplio con la diversidad del grupo funcional de abejas silvestres. Se encontraron 65 especies de visitantes florales asociados con 64 especies de plantas. Abejas (Hymenoptera: Apoidea) y moscas de la familia Syrphidae fueron los principales visitantes florales en el paisaje. La abeja *Apis mellifera*, las moscas de la familia Bibionidae y *Eristalis* sp., presentaron la mayor probabilidad de polinización del ciruelo. La diversidad de abejas se encontró correlacionada negativamente con características de la intensificación de la agricultura como el manejo agroquímico, en contraste, se benefició por mayor cobertura de bosques y pastos arbolados en el paisaje circundante. Este trabajo presenta el primer inventario de visitantes florales en agroecosistemas de frutales caducifolios en Colombia y aporta al entendimiento de la relación entre polinizadores y paisaje, lo cual será una base para tomar acciones de manejo a diferentes escalas que favorezcan la conservación y funcionalidad de los polinizadores.

Palabras clave: Cultivos caducifolios; Polinizadores; Trópico andino; Paisaje; Agroecosistemas.

Abstract

In the agricultural landscape of deciduous fruit trees pollinators are essential because these crops are highly dependent on cross-pollination, however, the diversity and functionality of pollinators is at risk due to factors at the local scale such as the intensive use of agrochemicals, and large-scale factors such as landscape simplification. In this study, the diversity of floral visitor and potential pollinators in deciduous fruit tree agroecosystems was determined; an approach was made to the pollination of the plum cv. Horvin, the management of crops and landscape elements was characterized, and the relationship between some variables of local and wide landscape with the diversity of the functional group of wild bees was determined. We found 65 species of floral visitors associated with 64 species of plants. Bees (Hymenoptera: Apoidea) and flies of the family Syrphidae were the main floral visitors in the landscape. The bee *Apis mellifera*, the flies of the family Bibionidae and *Eristalis* sp., had the highest probability of plum pollination. The diversity of bees was found negatively correlated with characteristics of the intensification of agriculture such as agrochemical management, in contrast, it benefited by greater coverage of forests and wooded pastures in the surrounding landscape. This work presents the first inventory of floral visitors in deciduous fruit tree agroecosystems in Colombia and contributes to the understanding of the relationship between pollinators and landscape, which will be a basis to take management actions at different scales that favor the conservation and functionality of pollinators

Keywords: Deciduous crops; Pollinators; Andean tropics; Landscape; Agroecosystems.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	VII
Abstract.....	VIII
Lista de figuras.....	XI
Lista de tablas	XII
Introducción	1
1. Capítulo 1. Insectos visitantes florales y polinizadores potenciales en agroecosistemas de frutales caducifolios.....	13
1.1 Introducción.....	13
1.2 Materiales y métodos	14
1.2.1 Área de estudio.....	14
1.2.2 Muestreo de insectos visitantes florales.....	14
1.2.3 Análisis de datos.....	16
1.3 Resultados	18
1.4 Discusión	27
1.5 Conclusiones.....	29
Bibliografía.....	29
2. Capítulo 2. Visitantes florales y polinizadores en cultivos de ciruelo <i>Prunus salicina</i> Lindl. cv. Horvin.....	33
2.1 Introducción.....	33
2.2 Materiales y métodos	34
2.2.1 Área de estudio.....	34
2.2.2 Rasgos florales del ciruelo <i>P. salicina</i> cv. Horvin	35
2.2.3 Visitantes florales en plena floración.....	37
2.2.4 Análisis de datos.....	39
2.3 Resultados	41
2.3.1 Rasgos florales del ciruelo <i>P. salicina</i> cv. Horvin	41
2.3.2 Visitantes florales en plena floración.....	44
2.4 Discusión	49
2.5 Conclusiones.....	51
Bibliografía.....	52
3. Capítulo 3. Relación del paisaje a escala local y amplia con la diversidad de abejas silvestres en el paisaje agrícola de frutales caducifolios.....	56

X Diversidad de visitantes florales en agroecosistemas de frutales caducifolios y
su relación con variables a escala local y de paisaje

3.1	Introducción	56
3.2	Materiales y métodos	58
3.2.1	Caracterización del paisaje agrícola	59
3.2.2	Muestreo de abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) como visitantes florales en el paisaje agrícola de Nuevo Colón, Boyacá.....	62
3.2.3	Análisis datos	63
3.3	Resultados.....	64
3.3.1	Caracterización del paisaje agrícola	64
3.3.2	Abejas silvestres en agroecosistemas de frutales caducifolios	76
3.3.3	Abejas y variables de paisaje local	79
3.3.4	Abejas y variables de paisaje amplio.....	79
3.4	Discusión	81
3.5	Conclusiones	83
	Bibliografía	83
	Recomendaciones	89

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Mapa del municipio de Nevo Colón, Boyacá. En rojo resaltadas las veredas en estudio	6
Figura 2. Agroecosistemas estudiados. A El Carmen, B. El Cerezo, C. El Encenillo, D. El Retiro, E. El Rosal, F. El Recuerdo, G. El Alto de las Águilas.....	8
Figura 3. Matriz de presencia-ausencia entre plantas y polinizadores potenciales en agroecosistemas de frutales caducifolios.	22
Figura 4. Curva de acumulación de interacciones en agroecosistemas de frutales caducifos	23
Figura 5. Red de interacción planta- polinizador potencial en agroecosistemas de frutales caducifolios de Nuevo Colón, Boyacá.	25
Figura 6. Meses de floración (flor abierta) de frutales caducifolios, ciruelo, peral, manzano y durazno en agroecosistemas de Nuevo Colón, Boyacá	26
Figura 7. Medidas registradas en flor de ciruelo.	36
Figura 8. Ciclo floral del ciruelo cv. Horvin desde el botón floral (1) hasta la senescencia de la flor (18)..	41
Figura 9. Fenología floral del ciruelo <i>P. salicina</i> cv. Horvin.	42
Figura 10. A. Ramas cubiertas o con exclusión de polinizadores. B. formación de frutos a la sexta semana después de antesis en rama descubierta.....	44
Figura 11. Rangos horarios de visitantes florales de ciruelo cv. Horvin	46
Figura 12. Temperatura, humedad relativa, grados brix y abundancia de polinizadores a diferentes rangos horarios del día.	47
Figura 13. A. Fidelidad de los principales visitantes florales en el ciruelo, promedio por individuo. B. Polen de ciruelo <i>P. salicina</i> cv. Horvin.....	49

Figura 14. Mapa con la localización del paisaje estudiado en el municipio de Nuevo Colón, Boyacá, Colombia. A. Veredas de influencia del estudio, B. Agroecosistemas seleccionados.	58
Figura 15. Tipos de cobertura a 50m, 100m, 200m y 400m de radio, desde el centroide del agroecosistema El Rosal.....	70
Figura 16. Tipos de cobertura a 50m, 100m, 200m y 400m de radio, desde el centroide del agroecosistema El Recuerdo	71
Figura 17. Tipos de cobertura a 50m, 100m, 200m y 400m de radio, desde el centroide del agroecosistema El Cerezo	72
Figura 18. Tipos de cobertura a 50m, 100m, 200m y 400m de radio, desde el centroide del agroecosistema El Retiro	73
Figura 19. Tipos de cobertura a 50m, 100m, 200m y 400m de radio, desde el centroide del agroecosistema El Carmen	74
Figura 20. Tipos de cobertura a 50m, 100m, 200m y 400m de radio, desde el centroide del agroecosistema El Encenillo	75
Figura 21. Distancia euclidiana al bosque denso más cercano..	76
Figura 22. Algunas abejas en agroecosistemas de Nuevo Colón.....	78
Figura 23. Relación entre variables del paisaje local y la diversidad de abejas silvestres	79
Figura 24. Relación entre la distancia al bosque denso en la diversidad de abejas silvestres.....	80

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Agroecosistemas de frutales caducifolios estudiados.....	6
Tabla 2. Método de muestreo de visitantes florales de acuerdo al tipo de planta y manejo, en agroecosistemas de frutales caducifolios.	15
Tabla 3. Visitantes florales y recursos recolectados en agroecosistemas de frutales caducifolios..	19
Tabla 4. Recursos aportados por las plantas cultivadas, arvenses y silvestres a los visitantes florales.....	20
Tabla 5. Número de visitas mensuales de insectos en plantas arvenses o silvestres que presentaron parte de su floración al mismo tiempo que la floración de los frutales caducifolios	26
Tabla 6 Características de los agroecosistemas estudiados en el municipio de Nuevo Colón, Boyacá.....	34
Tabla 7. Fenología floral del ciruelo <i>P. salicina</i> cv. Horvin.....	43
Tabla 8. Diversidad de visitantes florales del ciruelo <i>P. salicina</i> cv. Horvin	44
Tabla 9. Índices de diversidad de insectos visitantes florales de ciruelo cultivar Horvin en tres agroecosistemas.	45
Tabla 10. Polen de contacto de visitantes florales de ciruelo <i>P. salicina</i> cv. Horvin.....	48
Tabla 11. Índice de prácticas de manejo en agroecosistemas de frutales caducifolios. Modificado de León (2012).....	61
Tabla 12. Índice de programación de la cosecha en agroecosistemas de frutales caducifolios.	61
Tabla 13. Riqueza y abundancia de plantas cultivadas en agroecosistemas de frutales caducifolios de Nuevo Colón, Boyacá, Colombia.....	64
Tabla 14. Abundancia y cobertura de las arvenses encontradas en seis agroecosistemas de frutales caducifolios de Nuevo Colón, Boyacá.	65

Introducción

Los visitantes florales son un conjunto de organismos, entre ellos insectos, aves y mamíferos, que buscan recursos en las flores tales como néctar, polen, aceites, fragancias, pétalos (Amaya-Márquez, 2016) o temperaturas óptimas (Dyer, Whitney, Arnold, Glover, & Chittka, 2006), los cuales son ofrecidos por las plantas para asegurar su éxito reproductivo. Aunque la mayoría de los visitantes florales son reconocidos por ser polinizadores, no todos cumplen con esta función. Sin embargo, todos los visitantes florales hacen parte de una compleja red de interacciones en los ecosistemas, debido a que aunque no polinicen pueden ser depredadores o parasitoides que regulan otras poblaciones de organismos, y en las flores encuentran recursos energéticos alternativos (Tenhumberg, Siekmann, & Keller, 2006). Los insectos son reconocidos como los principales visitantes florales, y dadas sus características biológicas y ecológicas, muchos de ellos contribuyen con la polinización de las flores (Bartomeus et al., 2014).

La interacción entre plantas y animales polinizadores es esencial para la reproducción de más del 87.5% de las 352.000 especies de angiospermas (Ollerton, Winfree, & Tarrant, 2011). Contribuyen de manera esencial para mantener la productividad agrícola debido a que favorecen la reproducción del 75% de las plantas que se emplean para la alimentación humana (Klein et al., 2007), con un incremento en la cantidad y calidad de los productos cosechados (Bartomeus et al., 2014). Por lo tanto, la interacción planta – polinizador favorece servicios ecosistémicos de importancia a nivel planetario como la conservación de la biodiversidad (Hadley & Betts, 2012) y la seguridad y soberanía alimentaria para la humanidad (Bommarco, Kleijn, & Potts, 2013; Potts et al., 2010).

A pesar de que la agricultura es una actividad humana que se beneficia directamente de la polinización, la agricultura se erige como uno de los principales factores que ha afectado negativamente este servicio ecosistémico (Chacoff & Aizen, 2006; Oliver et al., 2015; Richards, 2001). Por ejemplo, el uso sistemático de insecticidas afectan el sistema inmune (Sánchez-Bayo et al., 2016) y aprendizaje (Siviter, Koricheva, Brown, & Leadbeater, 2018)

de los insectos polinizadores; la mecanización y homogenización de los cultivos, reducen la variedad de su dieta (Tscharntke et al., 2005; Tscharntke et al., 2012); y la pérdida y/o fragmentación de ecosistemas naturales, afectan su movimiento (Guiller, Affre, Albert, Taton, & Dumas, 2016), alimentación y nidificación (Tscharntke et al., 2012).

En las zonas tropicales donde la producción de alimentos depende en gran parte de la polinización biótica (Ollerton et al., 2011), es insuficiente la investigación relacionada con la biología y ecología de los visitantes florales y los polinizadores en la agricultura (Archer, Pirk, Carvalheiro, & Nicolson, 2014). Por ejemplo, a pesar de que en Colombia se han realizado diversos trabajos en polinización y polinizadores (Nates-Parra, 2016), aún es escasa la información sobre la diversidad de visitantes florales para muchos cultivos de importancia para la agricultura familiar, campesina y comunitaria. Y es que la relación planta – visitante floral en países del trópico es de especial relevancia cuando los cultivos son introducidos como los frutales caducifolios: ciruelo, peral, manzano y durazno, debido a que estas especies vegetales son altamente dependientes de la polinización por insectos (Klein et al., 2007), y en consecuencia, habrán tenido que desarrollar interacciones con insectos nativos del trópico

Los frutales caducifolios ciruelo, peral, manzano y durazno se encuentran entre las frutas más sembradas, producidas y consumidas a nivel mundial (Almanza et al., 2012; FAO, 2016). En Colombia, los frutales caducifolios fueron establecidos a mediados del siglo XX (Patiño & Miranda, 2013; Suarez, 1986) específicamente en zonas montañosas y frías de la región andina central. Desde entonces, el municipio de Nuevo Colón, departamento de Boyacá, ha sido históricamente el principal productor de estas frutas en Colombia a lo largo de la historia (MADR, 2016). En Nuevo Colón el sistema de cultivo de frutales caducifolios se caracteriza por ser de economía campesina a pequeña escala, y a diferencia de los sistemas de producción de los países en las regiones templadas, presenta agroecosistemas¹ donde mezclan los frutales caducifolios con otras especies transitorias, semiperennes y perennes (Puentes, Rodríguez, & Bermúdez, 2008; Santamaría, 2019). A

¹ En este estudio el agroecosistema es entendido como “...el conjunto de relaciones e interacciones que suceden entre suelos, climas, plantas cultivadas, organismos de distintos niveles tróficos, plantas adventicias y grupos humanos en determinados espacios geográficos, cuando son enfocadas desde el punto de vista de sus flujos energéticos y de información, de sus ciclos materiales y de sus relaciones simbólicas, sociales, económicas y políticas, que se expresan en distintas formas tecnológicas de manejo dentro de contextos culturales específicos...” (León, 2010). Comúnmente el agroecosistema se conoce como “finca”

pesar de la importancia económica y sociocultural de éstos cultivos para el municipio, es bastante escasa la investigación en prácticamente todos los aspectos relacionados con la producción de caducifolios (Miranda, Fischer, & Carranza, 2013). Lo anterior ha causado que algunas decisiones agronómicas no se basen en criterios fundamentados en información biológica y ecológica, por lo que hay un riesgo potencial de generar efectos negativos en el ambiente y en los visitantes florales cuando se implementan estrategias de manejo inadecuadas (Santamaría et al., 2019).

Debido a que las regiones templadas son centros de origen de los frutales caducifolios, y que allí se concentra la mayor parte de la producción (FAO, 2016), en el contexto de esas regiones se han realizado numerosos trabajos sobre polinización y polinizadores (Allsopp, de Lange, & Veldtman, 2008; Barfield, Bergstrom, Ferreira, Covich, & Delaplane, 2015; Benachour & Louadi, 2013; Mouton, 2011; Quinet et al., 2016), y sobre el impacto de variables a escala local y de paisaje, sobre la diversidad de insectos visitantes florales en estos cultivos (Campbell, Wilby, Sutton, & Wäckers, 2017; Földesi et al., 2016; Joshi, Otieno, Rajotte, Fleischer, & Biddinger, 2016). La información disponible demuestra que existe una base científica para entender las complejas relaciones entre estos frutales y sus visitantes florales, sin embargo, estos estudios han sido desarrollados en zonas que presentan diferencias marcadas en la estacionalidad climática, fisiología de los frutales, insectos asociados, variedades polinizantes, paisaje agrícola y plantas acompañantes con respecto al trópico. Por lo tanto, el estudio de los visitantes florales y los factores que los afectan en diferentes agroecosistemas del trópico, es una fuente potencial de investigación y desarrollo de estrategias de manejo sostenible.

En razón a lo anterior, y en el contexto productivo de frutales caducifolios de Nuevo Colón, Boyacá, Colombia, esta investigación se propuso responder las siguientes preguntas: ¿Cuál es la diversidad de visitantes florales y polinizadores potenciales en agroecosistemas de frutales caducifolios?, ¿Cuáles son los insectos polinizadores potenciales del ciruelo *Prunus salicina* cv. Horvin?, ¿Cuáles variables locales y de paisaje se relacionan con la diversidad de insectos visitantes florales en los agroecosistemas de frutales caducifolios? Las respuestas son una contribución al desarrollo de la agricultura campesina, familiar y comunitaria, y la generación de conocimiento aplicado para que, en el corto y mediano plazo, se puedan promover estrategias de conservación de los insectos polinizadores, con la conformación de agroecosistemas con buenas prácticas de manejo, que tengan en cuenta la conservación de la biodiversidad.

Objetivos.

Objetivo general

Estimar la diversidad de visitantes florales y polinizadores potenciales en agroecosistemas de frutales caducifolios, y su relación con variables de paisaje.

Objetivos específicos

- Conocer la diversidad de visitantes florales y polinizadores potenciales en agroecosistemas de frutales caducifolios del municipio de Nuevo Colón, Boyacá, Colombia.
- Conocer los visitantes florales y polinizadores en cultivos de ciruelo *Prunus salicina* Lindl. cultivar Horvin, en el municipio de Nuevo Colón, Boyacá, Colombia.
- Estimar la relación entre variables a escala local y de paisaje sobre la diversidad de abejas silvestres en el paisaje agrícola de frutales caducifolios.

Zona de estudio

Nuevo Colón es un municipio que se encuentra ubicado en la cordillera oriental, al sur-orientado del departamento de Boyacá, Colombia (Figura 1), tiene un área de 51 Km², distribuidos en 16 veredas. Su cabecera municipal está localizada a los 05°21'30" N y 73°27'38" W, a una altitud de 2.500 msnm. Limita por el norte con los municipios de Ventaquemada y Jenesano, por el orientado con el municipio de Tibaná, por el sur con los municipios de Úmbita y Turmequé, y por el occidente con los municipios de Turmequé y Ventaquemada (Alcaldía de Nuevo Colón, 2016). Presenta un paisaje agrícola constituido por un mosaico de pasturas, áreas no cultivadas, infraestructura humana y cultivos. El municipio es reconocido principalmente por la producción de frutales caducifolios, y debido a su vocación frutícola también es llamado "la villa de las manzanas".

El municipio se encuentra en una zona de vida Bosque Seco Montano Bajo bs-Mb de acuerdo a la clasificación de Holdridge (Espinal & Montenegro, 1963), lo cual corresponde a un piso térmico frío, temperatura promedio de 16°C, humedad relativa entre 70% y 80%, y precipitación promedio anual de 850 mm. Presenta un régimen de lluvias monomodal, con precipitaciones de hasta 128 mm en los meses de mayo, junio y julio; y periodos de baja precipitación en los meses de diciembre, enero y febrero (Alcaldía de Nuevo Colón,

2000). Los vientos presentan una dirección predominante NE y velocidades máximas entre 2,7 m/s y 3,1 m/s, en junio y agosto. El brillo solar presenta un máximo de 248,4 horas sol/año y valores mínimos de 23,5 horas sol/ año. Los suelos en el municipio de Nuevo Colón son livianos, medianos y pesados, fertilidad regular, drenaje interno bueno, alto contenido de materia orgánica y profundidad efectiva de 80-100 cm (Alcaldía de Nuevo Colón, 2016).

En el municipio de Nuevo Colón existen unidades productivas claramente diferenciables como fincas y en este documento tomadas como “agroecosistemas” de acuerdo con (León, 2010). El presente proyecto se desarrolló en siete agroecosistemas de frutales caducifolios de las veredas potreros y Fiotá, municipio de Nuevo Colón, Boyacá (Tabla 1, Figura 1, Figura 2), donde predominaron tanto en riqueza como en abundancia los frutales caducifolios, los cuales de acuerdo con Santamaría, D., Santamaría, M. & Vaca (2019) están organizados bajo los siguientes sistemas:

- Agroecosistema de Monocultivo: posee una especie de frutal caducifolio claramente dominante. Puede haber presencia de otras especies de plantas cultivadas, no obstante, más del 90% de las plantas o área está ocupada por una especie de frutal caducifolio.
- Agroecosistema de Policultivo: posee entre dos o cuatro especies de frutales caducifolios, todas de importancia económica para el agricultor. Se pueden encontrar dos tipos de policultivos: 1) Policultivo en lotes: cada especie de frutal caducifolio está en un lote aparte, 2) Policultivo intercalado: los frutales caducifolios presentes están sembrados en el mismo lote.
- Agroecosistema Mixto: posee entre dos a cuatro especies de frutales caducifolios (ya sea como Policultivo en lotes o Policultivo intercalado), y entre ellos, otras especies vegetales sembradas diferentes a los frutales caducifolios como tubérculos, hortalizas, gramíneas u otros frutales, las cuales están presentes la mayor parte del año (Tabla 1).

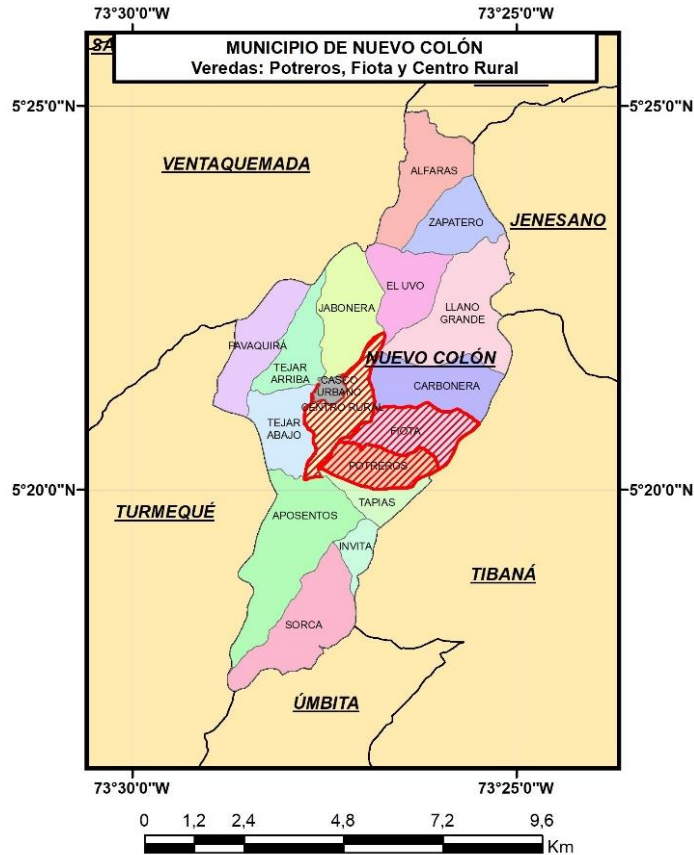


Figura 1. Mapa del municipio de Nevo Colón, Boyacá. En rojo resaltadas las veredas en estudio

Tabla 1. Agroecosistemas de frutales caducifolios estudiados mostrando en las columnas el nombre del agroecosistema, coordenadas y altitud en el centroide del agroecosistema, área del agroecosistema, especies vegetales y cultivares en el agroecosistema, número de árboles por especie vegetal y cultivar, tipo de agroecosistema: monocultivo, policultivo, mixto

Agroecosistema	Coordenadas	Altitud msnm	Área (m ²)	Especie	Cultivar	N° árboles	Tipo de agroecosistema
El Encenillo	5°20'25.14"N, 73°26'28.13"W	2.527	3.238	Ciruelo	Amarillo	10	Policultivo con algunas plantas de: Feijoa (<i>Acca sellowiana</i>) tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>), Mora (<i>Rubus</i> sp.), Papayuela (<i>Vasconcellea pubescens</i>), Yacón (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)
				Ciruelo	Santa Rosa	6	
				Ciruelo	Rubenel	60	
				Ciruelo	Horvin	30	
				Peral	Triunfo de viena	60	
				Manzano	Salamina	9	
				Manzano	Harley	3	
				Manzano	Pensilvania	5	
				Manzano	Anna	6	
				Durazno	Melocotón	4	
Durazno	Diamante	3					

El Cerezo	5°20'29.55"N, 73°26'48.99"W	2.397	11.134	Durazno	Rey Negro	3	Mixto con asociación de: Feijoa (<i>A. sellowiana</i>), tomate de árbol (<i>S. betaceum</i>), curuba (<i>Passiflora</i> sp.), frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>), calabaza (<i>Cucurbita</i> sp.), ahuyama (<i>C. maxima</i>), haba (<i>Vicia faba</i>), arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>), lulo (<i>S. quitoense</i>)
				Ciruelo	Angelino	40	
				Ciruelo	Fortuna	20	
				Ciruelo	Horvin	600	
				Ciruelo	Rubenel	50	
				Peral	Triunfo de viena	400	
				Manzano	Anna	50	
				Durazno	Diamante	40	
El Recuerdo	5°20'33.41"N, 73°27'6.66"W	2.333	3.058	Ciruelo	Horvin	400	Monocultivo con plantas de: Feijoa (<i>A. sellowiana</i>) frijol (<i>P. vulgaris</i>), tomate de mesa (<i>S. lycopersicum</i>), cilantro (<i>C. sativum</i>), pepino (<i>Cyclanthera pedata</i>), papayuela (<i>Vasconcellea pubescens</i>)
				Peral	Triunfo de viena	40	
				Manzano	Anna	5	
				Durazno	Melocotón	4	
El Rosal	5°20'25.39"N, 73°27'22.66"W	2.272	7.861	Ciruelo	Horvin	450	Monocultivo con plantas de: Feijoa (<i>A. sellowiana</i>), ahuyama (<i>C. máxima</i>), Balú (<i>Erythrina edulis</i>)
				Manzano	Anna	20	
				Manzano	Salamina	10	
				Durazno	Rey Negro	10	
				Durazno	Diamante	10	
El Retiro	5°20'35.26"N, 73°26'44.08"W	2.437	7.083	Ciruelo	Horvin	300	Mixto en asociación de: Curuba (<i>Passiflora</i> spp.), haba (<i>V. faba</i>), frijol (<i>P. vulgaris</i>), maíz (<i>Zea mays</i>)
				Peral	Triunfo de viena	280	
				Manzano	Harley	5	
				Manzano	Anna	40	
				Manzano	Salamina	5	
				Durazno	Dorado	5	
El Carmen	5°20'30.02"N, 73°26'32.00"W	2.484	8.993	Ciruelo	Rubenel	20	Policultivo con algunas plantas de: Curuba (<i>Passiflora</i> spp.), ahuyama (<i>C. maxima</i>), uchuva (<i>Physalis peruviana</i>), mora (<i>Rubus glaucus</i>), arrachacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)
				Ciruelo	Horvin	10	
				Ciruelo	Santa Rosa	25	
				Peral	Triunfo de viena	450	
				Manzano	Harley	5	
				Manzano	Anna	5	
				Manzano	Salamina	5	
				Durazno	Rey Negro	6	
				Durazno	Diamante	3	
Durazno	Camueso	3					
El Alto de las Águilas	5°20'12.15"N, 73°27'25.84"W	2.203	3.420	Ciruelo	Horvin	425	Monocultivo con algunas plantas de Frijol (<i>P. vulgaris</i>)



Figura 2. Agroecosistemas estudiados. A El Carmen, B. El Cerezo, C. El Encenillo, D. El Retiro, E. El Rosal, F. El Recuerdo, G. El Alto de las Águilas.

Introducción a los capítulos

Los objetivos que comprenden el presente trabajo son presentados por capítulos de acuerdo con su contenido. El primer objetivo enfocado en la diversidad de insectos visitantes florales en los agroecosistemas, se encuentra en el capítulo 1, el segundo objetivo enfocado en los visitantes florales como polinizadores potenciales del ciruelo se encuentra en el capítulo 2, y el tercer objetivo enfocado en las características del paisaje local y amplio, así como su relación con la diversidad de un grupo de visitantes florales, se encuentran en el capítulo 3.

Bibliografía

Alcaldía de Nuevo Colón. (2000). Esquema de Ordenamiento Territorial municipio de Nuevo Colón documento resumen. Nuevo Colón. Retrieved from http://cdim.esap.edu.co/BancoConocimiento/N/nuevo_colon_-_boyaca_-_eot_-_2000/nuevo_colon_-_boyaca_-_eot_-_2000.asp

- Alcaldía de Nuevo Colón. (2016). *Plan de Desarrollo 2016-2019 Unidos por el progreso*, Nuevo Colón de todos. Nuevo Colón.
- Allsopp, M. H., de Lange, W. J., & Veldtman, R. (2008). Valuing insect pollination services with cost of replacement. *PLoS ONE*, 3(9), e3128. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003128>
- Almanza, P., Álvarez, J., ARANDA, Y., Benavides, M., Bonnet, J., Campos, T., ... Villegas, B. (2012). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. In G. Fischer (Ed.) (pp. 776–800). Bogotá: Produmedios.
- Amaya-Márquez, M. (2016). Polinización y Biodiversidad. In G. Nates-Parra (Ed.), *Iniciativa Colombiana de Polinizadores: capítulo abejas ICPA* (pp. 19–39). Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá).
- Archer, C. R., Pirk, C. W. W., Carvalheiro, L. G., & Nicolson, S. W. (2014). Economic and ecological implications of geographic bias in pollinator ecology in the light of pollinator declines. *Oikos*, 123(4), 401–407. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00949.x>
- Barfield, A. S., Bergstrom, J. C., Ferreira, S., Covich, A. P., & Delaplane, K. S. (2015). An economic valuation of biotic pollination services in Georgia. *Journal of Economic Entomology*, 108(2), 388–398. <https://doi.org/10.1093/jee/tou045>
- Bartomeus, I., Potts, S. G., Steffan-Dewenter, I., Vaissière, B. E., Wojciechowski, M., Kremen, K. M., ... Bommarco, R. (2014). Contribution of insect pollinators to crop yield and quality varies with agricultural intensification. *PeerJ*, 2, e328. <https://doi.org/10.7717/peerj.328>
- Benachour, K., & Louadi, K. (2013). Inventory of Insect Visitors, Foraging Behaviour and Pollination Efficiency of Honeybees (*Apis mellifera* L.) (Hymenoptera: Apidae) on Plum (*Prunus salicina* Lindl.) (Rosaceae) in the Constantine Area, Algeria. *African Entomology*, 21(2), 354–361. <https://doi.org/10.4001/003.021.0227>
- Bommarco, R., Kleijn, D., & Potts, S. G. (2013). Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution*, 28(4), 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>
- Campbell, A. J., Wilby, A., Sutton, P., & Wäckers, F. L. (2017). Do sown flower strips boost wild pollinator abundance and pollination services in a spring-flowering crop? A case study from UK cider apple orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 239, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.005>
- Chacoff, N. P., & Aizen, M. A. (2006). Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. *Journal of Applied Ecology*, 43(1), 18–27. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01116.x>
- Dyer, A. G., Whitney, H. M., Arnold, S. E. J., Glover, B. J., & Chittka, L. (2006). Bees associate warmth with floral colour. *Nature*, 442(7102), 525. <https://doi.org/10.1038/442525a>
- Espinal, L. & Montenegro, E. (1963). *Formaciones vegetales de Colombia*. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Bogotá D.C: IGAC.
- FAO. (2016). FAOSTAT. Production Crops. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://faostat.fao.org/>

- Földesi, R., Kovács-Hostyánszki, A., Korösi, Á., Somay, L., Elek, Z., Markó, V., ... Báldi, A. (2016). Relationships between wild bees, hoverflies and pollination success in apple orchards with different landscape contexts. *Agricultural and Forest Entomology*, 18(1), 68–75. <https://doi.org/10.1111/afe.12135>
- Guiller, C., Affre, L., Albert, C. H., Tatoni, T., & Dumas, E. (2016). How do field margins contribute to the functional connectivity of insect-pollinated plants? *Landscape Ecology*, 31(8), 1747–1761. <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0359-9>
- Hadley, A. S., & Betts, M. G. (2012). The effects of landscape fragmentation on pollination dynamics: Absence of evidence not evidence of absence. *Biological Reviews*, 87(3), 526–544. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00205.x>
- Holdridge, L. R. (1967). Life zone ecology. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1999.00329.x>
- Joshi, N. K., Otieno, M., Rajotte, E. G., Fleischer, S. J., & Biddinger, D. J. (2016). Proximity to Woodland and Landscape Structure Drives Pollinator Visitation in Apple Orchard Ecosystem. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 4, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00038>
- Klein, A.-M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- León, T. E. (2010). Agroecología: desafíos de una ciencia ambiental en construcción. In M. A. Altieri (Ed.), *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones* (pp. 45–67).
- León, T. E. (2012). *Agroecología: La ciencia de los agroecosistemas- La perspectiva ambiental*. Universidad Nacional de Colombia, 261.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016). Estadísticas agropecuarias. Retrieved from <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Miranda, D., Fischer, G., & Carranza, C. (Eds.). (2013). *Los frutales caducifolios en Colombia Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo*. Bogotá: Offset Gráfico Editores SA.
- Mouton, M. (2011). *Significance of direct and indirect pollination ecosystem services to the Apple industry in the Western Cape of South Africa*. Ms.C. Thesis. University of Stellenbosch
- Nates-Parra, G. (Ed.). (2016). *Iniciativa Colombiana de Polinizadores: Capítulo abejas ICPA*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá).
- Oliver, T. H., Isaac, N. J. B., August, T. A., Woodcock, B. A., Roy, D. B., & Bullock, J. M. (2015). Declining resilience of ecosystem functions under biodiversity loss. *Nature Communications*, 6, 1–8. <https://doi.org/10.1038/ncomms10122>
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321–326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
- Patiño, L., & Miranda, D. (2013). Situación actual de los frutales caducifolios en el mundo y en Colombia. In D. Miranda, G. Fischer, & C. Carranza (Eds.), *Los frutales*

- caducifolios en Colombia Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo* (pp. 9–19). Bogotá.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(6), 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Puentes, G. A., Rodríguez, L., & Bermúdez, L. (2008). Análisis de grupo de las empresas productoras de frutales caducifolios del departamento de Boyacá. *Agronomía Colombiana*, 26(1), 146–154.
- Quinet, M., Warzée, M., Vanderplanck, M., Michez, D., Lognay, G., & Jacquemart, A. L. (2016). Do floral resources influence pollination rates and subsequent fruit set in pear (*Pyrus communis* L.) and apple (*Malus x domestica* Borkh) cultivars? *European Journal of Agronomy*, 77(1), 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.04.001>
- Richards, A. (2001). Does Low Biodiversity Resulting from Modern Agricultural Practice Affect Crop Pollination and Yield? *Annals of Botany*, 88(2), 165–172. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1463>
- Sánchez-Bayo, F., Goulson, D., Pennacchio, F., Nazzi, F., Goka, K., & Desneux, N. (2016). Are bee diseases linked to pesticides ? - A brief review. *Environment International*, 89–90, 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.01.009>
- Santamaría, D., Angarita, A., Vaca, J., Hernández, N., & Santamaría, M. (2019). Aproximación a la percepción de los agricultores sobre los artrópodos en agroecosistemas de frutales caducifolios. In press.
- Santamaría, D., Santamaría, M., & Vaca, J. (2019). Los agroecosistemas de frutales caducifolios en Nuevo Colón. In M. Santamaría & J. Vaca (Eds.), *Artrópodos en el paisaje agrícola de frutales caducifolios*. In press.
- Siviter, H., Koricheva, J., Brown, M. J. F., & Leadbeater, E. (2018). Quantifying the impact of pesticides on learning and memory in bees. *Journal of Applied Ecology*, (June), 1–10. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13193>
- Suarez, J. (1986). *Monografía de Chiriví, hoy Nuevo Colón*. Tunja, Colombia: Caja Popular Cooperativa.
- Tenhumberg, B., Siekmann, G., & Keller, M. A. (2006). Optimal time allocation in parasitic wasps searching for hosts and food. *Oikos*, 113(1), 121–131. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2006.14274.x>
- Tscharntke, T., Klein, A., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8, 857–874. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>.
- Tscharntke, T., Tylianakis, J., Rand, T., Didham, R., Fahrig, L., Batáry, P., ... Westphal, C. (2012). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses. *Biological Reviews*, 87(3), 661–685. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00216.x>

1. Capítulo 1. Insectos visitantes florales y polinizadores potenciales en agroecosistemas de frutales caducifolios

1.1 Introducción

Las interacciones mutualistas planta- animal son esenciales para el mantenimiento de la estructura y función de los ecosistemas del planeta (Ehrlich & Raven, 1964). En la agricultura, diversas interacciones entre plantas y animales soportan servicios ecosistémicos esenciales para la humanidad, como la polinización. Aunque la agricultura ha sido un factor desencadenador de pérdida de biodiversidad (Altieri & Letourneau, 1984; Pimentel et al., 1992; Tscharntke et al., 2005), agroecosistemas diversos son fuente de recursos que benefician las redes tróficas (Rand, Tylianakis, & Tscharntke, 2006), y las interacciones pueden ser tan variadas y complejas como en los ecosistemas naturales (Bascompte & Jordano, 2007).

Los visitantes florales requieren disponibilidad de refugio y recursos alimenticios suficientes para permanecer en los paisajes agrícolas. Por lo anterior, agroecosistemas con mayor concentración de flores son más atractivos a los visitantes florales (Teja Tscharntke et al., 2012), porque obtienen recursos de plantas cultivadas y no cultivadas (Campbell et al., 2017). Por ejemplo, sembrar flores nativas cerca de cultivos aumenta la proporción de visitas de polinizadores en los cultivos (Feltham, Park, Minderman, & Goulson, 2015; Grab, Poveda, Danforth, & Loeb, 2018).

En frutales perennes, las poblaciones de visitantes florales se deben mantener a lo largo del año, para garantizar la polinización durante la floración (Campbell et al., 2017). Por lo tanto, la identificación de las interacciones entre visitantes florales, plantas cultivadas,

arvenses y silvestres, es esencial para la producción agrícola y para el mantenimiento de la diversidad.

En Colombia, los agroecosistemas de frutales caducifolios se encuentran bajo el modelo de la economía familiar, campesina y comunitaria, con una asociación de diferentes especies de plantas cultivadas, arvenses y silvestres. En estos agroecosistemas es indispensable conocer la interacción de los polinizadores y las plantas, con el fin de determinar especies animales que podrían facilitar la polinización y especies vegetales que proveen recursos a los polinizadores. Por lo anterior, en este trabajo se muestra la diversidad de visitantes florales y la red de interacción planta-visitante floral, en agroecosistemas de frutales caducifolios del municipio de Nuevo Colón, departamento de Boyacá.

1.2 Materiales y métodos

1.2.1 Área de estudio

La toma de datos se realizó en seis agroecosistemas de frutales caducifolios pertenecientes a las veredas Potreros y Fiotá, del municipio de Nuevo Colón: El Encenillo (5°20'25.14"N, 73°26'28.13"W), El Cerezo (5°20'29.55"N, 73°26'48.99"W), El Recuerdo (5°20'33.41"N, 73°27'6.66"W), El Rosal (5°20'25.39"N, 73°27'22.66"W), El Retiro (5°20'35.26"N, 73°26'44.08"W), y El Carmen (5°20'30.02"N, 73°26'32.00"W).

1.2.2 Muestreo de insectos visitantes florales

Se realizó mensualmente entre noviembre de 2016 y octubre de 2017. El muestreo consistió en la observación de la interacción entre visitantes florales y plantas cultivadas, arvenses y silvestres, y el muestreo dependió del tipo de planta como se detalla en la Tabla 2. Las plantas desconocidas fueron identificadas con la colaboración de los agricultores, guías taxonómicas (Fuentes, Eraso, Sequeda, & Piedrahita, 2011; A. Gómez & Rivera, 1995), el diccionario de nombres comunes (Bernal, Galeano, Rodríguez, Sarmiento, & Gutiérrez, 2017) y la colección en línea del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia (ICN, 2018).

En cada planta se describió el comportamiento de los visitantes florales teniendo en cuenta los siguientes parámetros: especie, abundancia, contacto con las estructuras reproductivas (estambres, estigmas), duración de la visita, y recurso obtenido (néctar, polen, pétalos o partes de la flor para consumo, lugar para cópula). Los polinizadores potenciales se diferenciaron de los visitantes florales en que los polinizadores visitaron flores de diferentes plantas de la misma especie, y realizaron contacto con el estigma y/o las anteras de la flor asegurando que el polen quede adherido al cuerpo del insecto. Aquellos insectos que se observaron posados sobre las flores sin actividad, no se incluyeron en los análisis.

Los insectos que exhibieron la probóscide en los nectarios florales y la movieron simulando una succión, se consideraron forrajeros de néctar, y los insectos que masticaron o empaquetaron el polen en sus patas posteriores, se consideraron forrajeros del polen. Los insectos que extendieron su probóscide a los nectarios mientras transportaban el polen en sus patas posteriores se consideraron recolectores de ambos recursos, de acuerdo a lo propuesto por Díaz et al. (2013).

Las observaciones se realizaron durante condiciones ambientales óptimas para la actividad de los insectos, como velocidad del viento inferior a 15 km y sin precipitación de acuerdo a lo recomendado por Vaissière, Freitas, & Gemmill-Herren (2011). La recolección de los insectos se realizó a través de red entomológica o un recipiente plástico con tapa de malla metálica de 8 cm de alto y 8 cm de diámetro.

Tabla 2. Método de muestreo de visitantes florales de acuerdo al tipo de planta y manejo, en agroecosistemas de frutales caducifolios.

Tipo de planta	Definición	Características de muestreo
Frutales caducifolios	Frutales introducidos de hoja caduca: ciruelo, peral, manzano y durazno.	Se seleccionaron al azar cinco árboles que estuvieran en fase de floración. A cada árbol se le determinó su porcentaje de floración y se marcaron dos ramas del tercio medio con el fin de restringir el muestreo de visitantes florales. Se observaron y capturaron los visitantes florales con el uso de jama. Cada fase de observación y captura duró cinco minutos para cada árbol.
Cultivos asociados	Plantas cultivadas en asociación con cultivos caducifolios en el agroecosistema.	Se seleccionaron cinco plantas por especie, se realizó el conteo de flores por planta y se realizó la observación y captura de visitantes florales, durante cinco minutos por planta. Para árboles frutales se implementó la misma metodología de los frutales caducifolios.
Flora arvense	Plantas espontáneas que crecen en el área cultivada y que son objeto de manejo por los agricultores.	Se seleccionaron tres parcelas de 2 m ² , ubicadas en el borde, intermedio y centro del agroecosistema de caducifolios. En cada parcela se identificaron las especies vegetales y se realizó la observación y captura de visitantes florales, durante 10 minutos.

16 Diversidad de visitantes florales en agroecosistemas de frutales caducifolios y su relación con variables a escala local y de paisaje.

Flora silvestre

Plantas de diferente porte: herbácea, subarbórea, arbórea (Álvarez et al., 2004) localizadas generalmente en los bordes de los agroecosistemas y no son objeto de manejo por parte de los agricultores.

Se trazaron dos transectos de 10 m x 2 m, y se muestrearon las plantas dependiendo del estrato.

Árboles y arbustos: se identificaron las especies de plantas florecidas y se contaron los individuos florecidos por especie. Se realizó la observación en las flores de las plantas visitadas por insectos. En cada planta se seleccionaron dos ramas donde se realizó la observación y recolección de visitantes florales durante cinco minutos.

Herbáceas: se identificaron las especies de plantas florecidas y se contaron los individuos florecidos por especie. La observación y muestreo de insectos visitantes florales se restringió a las flores de cinco plantas por especie florecida, durante cinco minutos.

- **Enredaderas:** se identificaron las especies de plantas florecidas. Debido a que las plantas con este estrato se encontraron sobre otras plantas y en razón a la dificultad para separar los individuos, se realizó el conteo de flores por planta, presentes en un área de 1 m² donde se restringió la observación y recolección de los visitantes florales asociados durante cinco minutos por planta.

Tratamiento de las muestras entomológicas

Los insectos recolectados se trasladaron al Laboratorio de Investigaciones en Abejas Silvestres LABUN de la Universidad Nacional de Colombia y al Laboratorio de Entomología de UNIMINUTO, y se procesaron de acuerdo a lo recomendado para cada taxón (Luna, 2005; Samways, 2005; Samways, McGeoch, & New, 2010), se montaron en alfiler entomológico y fueron identificados con base en caracteres morfológicos, mediante el empleo de claves taxonómicas (Fernández & Sharkey, 2006; González, Ospina, & Bennett, 2005; Michener, 2000; Nates-Parra, 2006; Fernando A Silveira, Melo, & Almeida, 2002; Triplehorn & Johnson, 2005). Algunos individuos del orden Diptera (familia Syrphidae) fueron identificados con la colaboración del Museo Entomológico UNAB de la Universidad Nacional de Colombia.

Los insectos se depositaron en las colecciones LABUN (ejemplares de la superfamilia Apoidea), Museo Entomológico UNAB (ejemplares de la familia Syrphidae) y Laboratorio de Entomología de UNIMINUTO (ejemplares de los órdenes Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera, Coleoptera y Hemiptera).

1.2.3 Análisis de datos.

Con el fin de determinar las interacciones entre plantas y polinizadores potenciales, se realizó la red de interacción planta-polinizador potencial, se realizó una matriz presencia-ausencia y se calcularon las siguientes métricas de interacción porque se reconocieron

como buenos indicadores de estabilidad para las redes de polinización (Bascompte, Jordano, Melián, & Olesen, 2003; Gresty et al., 2018; Heleno, Devoto, & Pocock, 2012):

1. Anidamiento: Las especies de polinizadores potenciales más especializadas, tienden a interactuar con las especies de plantas más generalistas, de tal forma que, si falta un polinizador, el sistema se mantiene, debido a que las especies de plantas generalistas son visitadas por un número amplio de polinizadores (Bascompte et al., 2003). Para estimar el anidamiento se trabajó con un índice de temperatura de anidamiento BINMATNETS (0 significa frío, es decir, alta anidación, 100 significa caliente, es decir, caos) (Rodríguez-Girones & Santamaria, 2006).

2. Conectancia: Mide la proporción de interacciones registradas del total de interacciones potenciales (Dunne, Williams, & Martinez, 2002a). En las redes que presentan mayor nivel de conectividad, mayor será el grado de generalismo de las especies de plantas y polinizadores involucradas (Heleno et al., 2012).

2. Densidad de enlaces: está definido por el número medio de enlaces por especie en la red. Suma los enlaces dividido por el número de especies. Entre mayor cantidad de enlaces tengan los individuos de la red, mayor será la resistencia de esta ante eventos de pérdida de especies (Dunne, Williams, & Martinez, 2002b).

La red de interacción, las métricas de interacción y la matriz de presencia-ausencia se realizaron por medio de los paquetes “Vegan” 2.555-3 (Oksanen et al., 2018), “Bipartite” 2.11 (Dormann, Fruend, & Gruber, 2018) y “Network” 1.13.0.1 (Butts, Hunter, Handcock, Bender-deMoll, & Horner, 2015)” del programa R Studio v 1.1.423.

Para evaluar la calidad del inventario de interacciones en los agroecosistemas de frutales caducifolios, se calculó el promedio estadístico de adición de interacciones con el aumento de muestreo para construir la curva de acumulación de interacciones en el programa Estimates 9.1.0 (Colwell, Mao, & Chang, 2004). Cada mes se consideró como la unidad de esfuerzo de muestreo.

1.3 Resultados

Diversidad de insectos visitantes florales y polinizadores potenciales

Se registraron 1534 visitas en flores por insectos agrupados en 65 especies o morfoespecies, 23 familias y cinco órdenes (Tabla 3). El orden Hymenoptera presentó la mayor riqueza de especies y morfoespecies (n=29), seguido por Diptera (n=21), Coleoptera (n=6), Lepidoptera (n=6) y Hemiptera (n=3). Las abejas *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758), *Bombus atratus* (Franklin, 1913) y *Neocorynura* sp.1, fueron las más abundantes. También se destacó la abundancia del orden Diptera en las flores, especialmente con las morfoespecies Bibionidae sp.1, *Eristalis* sp.1 y *Palpada* sp. 1 (Tabla 3)

Se reconocieron como polinizadores potenciales a 61 morfoespecies de insectos de los órdenes Hymenoptera, Diptera, Lepidoptera y Hemiptera, debido a que la mayoría de los individuos realizaron visitas legítimas a las flores, e hicieron contacto con las estructuras reproductivas de la flor (estambres, estigma) sin daños evidentes en las flores. Por otro lado, a pesar de que algunos individuos del orden Coleoptera hicieron contacto con las estructuras reproductivas de la flor, el 56% de los individuos que pertenecieron a la familia Chrysomelidae, se asociaron con eventos de herbivoría sobre los pétalos, estambres y estigmas de las flores, y en muchos casos ocasionaron el desprendimiento de las flores (Tabla 3).

Los recursos que los visitantes florales adquirieron de las plantas fueron néctar, polen, lugar para cópula o dormitorio, y estructuras de la flor para consumo (pétalos, estambres y estigma). El recurso más utilizado fue néctar (60 especies de insectos), seguido por el polen (11 especies de insectos), estructuras de la flor (3 especies de insectos) y lugar de cópula o dormitorio (2 especies de insectos). Los visitantes florales más abundantes asociados al recurso néctar fueron *A. mellifera*, *B. atratus* e insectos de la familia Bibionidae. Las especies *Allograpta* sp. 1, *A. mellifera*, *Augochlora* sp. 1, *B. atratus*, *Caenohalictus* sp. 1, *Colletes* sp. 2, *Lasioglossum* sp. 1, *Megachile* (*Austromegachile*) sp. 1, *Neocorynura* sp. 1, *T. aethiops* y *Thygater* sp. 1, consumieron polen de las flores (Tabla 3).

Tabla 3. Visitantes florales y recursos recolectados en agroecosistemas de frutales caducifolios. N: Néctar, P: Polen, D: Dormidero o lugar para cópula, F: Estructuras de la flor para consumo.

Orden	Familia	Especie	Recurso en flor	Total
Hymenoptera	Apidae	<i>Apis mellifera</i>	N, P	778
	Apidae	<i>Bombus atratus</i>	N, P, D	124
	Apidae	<i>Bombus hortulanus</i>	N	4
	Apidae	<i>Centris (Ptilocentris) festiva</i>	N	2
	Apidae	<i>Thygater aethiops</i>	N, P	32
	Apidae	<i>Thygater</i> sp. 1	N	2
	Apidae	<i>Xylocopa lachnea</i>	N	9
	Colletidae	<i>Chilicola (Anoediscelis) colombiana</i>	N	2
	Colletidae	<i>Chilicola (Anoediscelis) paranoides</i>	N	5
	Colletidae	<i>Chilicola aequatoriensis</i>	N	1
	Colletidae	<i>Chilicola</i> sp. 1	N	2
	Colletidae	<i>Colletes</i> sp. 1	N	4
	Colletidae	<i>Colletes</i> sp. 2	N, P	1
	Halictidae	<i>Augochlora</i> sp.	N, P	4
	Halictidae	<i>Caenohalictus</i> sp. 1	N, P	33
	Halictidae	<i>Caenohalictus</i> sp. 2	N	3
	Halictidae	<i>Dinagapostemon</i> sp. 1	N	21
	Halictidae	<i>Dinagapostemon</i> sp. 2	N	1
	Halictidae	<i>Dinagapostemon</i> sp. 3	No evidente	1
	Halictidae	<i>Lasioglossum</i> sp. 1	N, P	48
	Halictidae	<i>Lasioglossum</i> sp. 2	N	1
	Halictidae	<i>Neocorynura</i> sp. 1	N, P	52
	Halictidae	<i>Neocorynura</i> sp. 2	N	1
	Megachilidae	<i>Megachile (Austromegachile)</i> sp. 1	P	1
	Megachilidae	<i>Megachile (Cressoniella)</i> sp. 1	N	1
	Figitidae	<i>Hylaeus</i> sp. 1	N	1
	Figitidae	<i>Eucolinae</i> sp. 1	N	1
Scoliidae	<i>Scoliidae</i> sp. 1	N	2	
Vespidae	<i>Polistes</i> sp. 1	N	5	
Diptera	Bibionidae	<i>Bibionidae</i> sp. 1	N	138
	Bombyliidae	<i>Bombyliidae</i> sp. 1	N	1
	Muscidae	<i>Muscidae</i> sp. 1	N	4
	Syrphidae	<i>Allograpta exotica</i> cf.	N	1
	Syrphidae	<i>Allograpta</i> sp. 1	N, P	25
	Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp. 1	N	45
	Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp. 2	N	13
	Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp. 3	N	1
	Syrphidae	<i>Eristalis tenax</i> cf.	N	1
	Syrphidae	<i>Lejops</i> sp. 1	N	9
	Syrphidae	<i>Ocyrtamus giganteus</i>	N	2
	Syrphidae	<i>Palpada</i> sp. 1	N	32
	Syrphidae	<i>Syrphidae</i> sp. 1	N	2
	Syrphidae	<i>Syrphidae</i> sp. 2	N	4
	Syrphidae	<i>Syrphidae</i> sp. 3	N	7
	Syrphidae	<i>Syrphidae</i> sp. 4	N	2
	Syrphidae	<i>Syrphus shorae</i>	N	1
	Syrphidae	<i>Toxomerus</i> sp. 1	N	20
	Tachinidae	<i>Tachinidae</i> sp. 1	N	2
	Tachinidae	<i>Tachinidae</i> sp. 2	N	2
Tachinidae	<i>Tachinidae</i> sp. 3	N	2	
Lepidoptera	Licaenidae	<i>Hemiargus hanno</i>	N	3
	Nymphalidae	<i>Altinote amida</i>	N	1
	Nymphalidae	<i>Vanessa carye</i>	N	2
	Pieridae	<i>Colias dimera</i>	N	5
	Pieridae	<i>Pieris</i> sp. 1	N	8

20 Diversidad de visitantes florales en agroecosistemas de frutales caducifolios y su relación con variables a escala local y de paisaje.

	Pieridae	<i>Tatochila xanthodice</i>	N	1
	Cantharidae	Cantharidae sp. 1	N	1
Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae sp. 1	F	21
	Chrysomelidae	<i>Diabrotica</i> sp. 1	F	5
	Melyridae	<i>Astylus</i> sp. 1	N, D	16
	Scarabeidae	Scarabeidae sp. 1	N	2
	Staphylinidae	Staphylinidae sp. 1	N	5
Hemiptera	Miridae	Miridae sp. 1	N	1
	Pyrrhocoridae	<i>Dysdercus</i> sp.1	N, D	6
	Thyreocoridae	Thyreocoridae sp. 1	No evidente	1
Total				1534

Interacción planta- visitante floral

La comunidad de insectos visitantes florales se asoció con plantas agrupadas en las familias Acanthaceae (n=9 visitas), Amaranthaceae (n=2), Amaryllidaceae (n=1), Apiaceae (n=67), Asteraceae (n=328), Boraginaceae (n=4), Brassicaceae (n=268), Commelinaceae (n=7), Convolvulaceae (n=10), Cucurbitaceae (n=64), Euphorbiaceae (n=4), Fabaceae (n=42), Lamiaceae (n=2), Lythraceae (n=15), Melastomataceae (n=1), Myrtaceae (n=8), Onagraceae (n=53), Oxalidaceae (n=3), Passifloraceae (n=104), Plantaginaceae (n=12), Polygonaceae (n=23), Rosaceae (n=464), Rutaceae (n=18), Scrophulariaceae (n=3), Solanaceae (n=11) y Verbenaceae (n=11).

Las flores más visitadas por néctar fueron ciruelo *P. salicina*, *Baccharis* sp. 1 y *Bidens pillosa* L. Las flores más visitadas por polen fueron *Brassica campestris* L., *Taraxacum officinale* L. y *Pyrus communis* L., Por otro lado, las especies *P. communis*, *Malus domestica* Borkh, *Prunus persica* L. Batsch, *P. salicina* y *T. officinale*, fueron las especies empleadas para consumo de pétalos por parte de insectos del orden Coleoptera. Las plantas *B. pillosa* y *P. salicina*, fueron empleadas como lugares para cópula por *Astylus* sp. 1 y *Dysdercus* sp. 1; y las flores de *Bidens* sp. 1 fueron utilizados por machos de *B. atratus* para dormir (Tabla 4)

Tabla 4. Recursos aportados por las plantas cultivadas, arvenses y silvestres a los visitantes florales. N: Néctar, P: Polen, D: Dormidero o lugar para cópula, F: Partes de la flor para consumo

Tipo de planta	Familia	Especie vegetal	Recursos			
			N	P	D	F
Cultivadas caducifolios	Rosaceae	<i>Malus domestica</i>	X	X		X
	Rosaceae	<i>Prunus salicina</i>	X	X		X
	Rosaceae	<i>Prunus persica</i>	X	X		X
	Rosaceae	<i>Pyrus communis</i>	X	X		X
Otras especies cultivadas	Amaryllidaceae	<i>Agapanthus</i> sp. 1	X			
	Apiaceae	<i>Coriandrum sativum</i>	X	X		

	Asteraceae	Asteraceae sp. 2			X
	Asteraceae	Asteraceae sp. 3	X		
	Asteraceae	<i>Calendula</i> sp. 1	X		
	Cucurbitaceae	<i>Cucurbita máxima</i>	X	X	
	Cucurbitaceae	<i>Cucurbita</i> sp. 1	X		
	Cucurbitaceae	<i>Cyclanthera pedata</i>	X	X	
	Fabaceae	<i>Phaseolus</i> sp. 1	X		
	Fabaceae	<i>Phaseolus vulgaris</i>	X		
	Fabaceae	<i>Vicia Faba</i>	X		
	Lamiaceae	<i>Salvia</i> sp. 1	X		
	Passifloraceae	<i>Passiflora edulis</i> f. <i>edulis</i>	X		
	Passifloraceae	<i>Passiflora tarminiana</i>	X		
	Rosaceae	<i>Rubus glaucus</i>	X	X	
	Rutaceae	<i>Citrus</i> sp. 1	X		
	Rutaceae	<i>Ruta</i> sp. 1	X	X	
	Solanaceae	<i>Physalis peruviana</i>	X		
	Solanaceae	<i>Solanum lycopersicum</i>			X
	Solanaceae	<i>Solanum</i> sp. 1	X	X	
	Amaranthaceae	<i>Amaranthus</i> sp. 1	X		
	Asteraceae	<i>Bidens pillosa</i>	X	X	X
	Asteraceae	<i>Coryza bonariensis</i>	X		
	Asteraceae	<i>Galinsoga ciliata</i>	X	X	
	Asteraceae	<i>Sonchus asper</i>		X	
	Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i>	X	X	
	Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i>	X	X	X
	Asteraceae	<i>Vasquezia anemonifolia</i>	X		
Arvenses	Brassicaceae	<i>Brassica campestris</i>	X	X	
	Brassicaceae	<i>Raphanus raphanistrum</i>	X	X	
	Commelinaceae	<i>Tinantia erecta</i>	X	X	
	Fabaceae	<i>Trifolium pratense</i>	X		
	Fabaceae	<i>Trifolium repens</i>	X	X	
	Plantaginaceae	<i>Veronica persica</i>	X	X	
	Polygonaceae	<i>Polygonum nepalense</i>	X		
	Polygonaceae	<i>Polygonum segetum</i>	X	X	
	Verbenaceae	<i>Verbena litoralis</i>	X		
	Asteraceae	<i>Ageratina</i> sp. 1	X	X	
	Asteraceae	Asteraceae sp. 1	X	X	
	Asteraceae	<i>Baccharis</i> sp. 1	X		
	Asteraceae	<i>Bidens</i> sp. 1			X
	Asteraceae	<i>Dahlia</i> sp. 1	X		
	Boraginaceae	<i>Cordia</i> sp. 1	X		
	Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i> sp. 1	X	X	
	Euphorbiaceae	<i>Croton magdalenensis</i>	X		
	Fabaceae	<i>Erythrina edulis</i>	X		
	Lythraceae	<i>Cuphea</i> sp. 1	X	X	
	Lythraceae	<i>Cuphea</i> sp. 2		X	
Silvestres	Melastomataceae	<i>Tibouchina lepidota</i>	X		
	Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp. 1	X	X	
	Onagraceae	<i>Fuchsia</i> sp. 1	X		
	Onagraceae	<i>Fuchsia</i> sp. 2	X		
	Passifloraceae	<i>Passiflora bogotensis</i>	X	X	
	Rosaceae	<i>Hesperomeles</i> sp. 1	X		
	Rosaceae	<i>Prunus</i> sp. 1	X		
	Scrophulariaceae	<i>Alonsoa meridionalis</i>	X		
	Scrophulariaceae	<i>Verbascum virgatum</i>			X
	Verbenaceae	<i>Duranta mutisii</i>	X		
Arvense y Silvestre	Acanthaceae	<i>Thunbergia alata</i>	X		
	Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i>	X		

Interacción planta-polinizador potencial

A nivel de la red de interacción mutualista se registraron 61 especies de polinizadores potenciales que visitaron flores de 64 especies de plantas, para un tamaño de red de 125

especies. El número de interacciones potenciales fue 3.904 y el número observado de interacciones fue 216, con una conectancia del 5% del total de interacciones potenciales y anidamiento de 2,01. Cada especie presentó una media de 1,7 enlaces (Figura 3). De acuerdo con la curva de acumulación de interacciones, si se aumenta el esfuerzo de muestreo es posible encontrar cerca de 18 interacciones diferentes entre polinizadores potenciales y frutales caducifolios, y 136 interacciones entre polinizadores potenciales y plantas cultivadas, arvenses, silvestres (Figura 4).

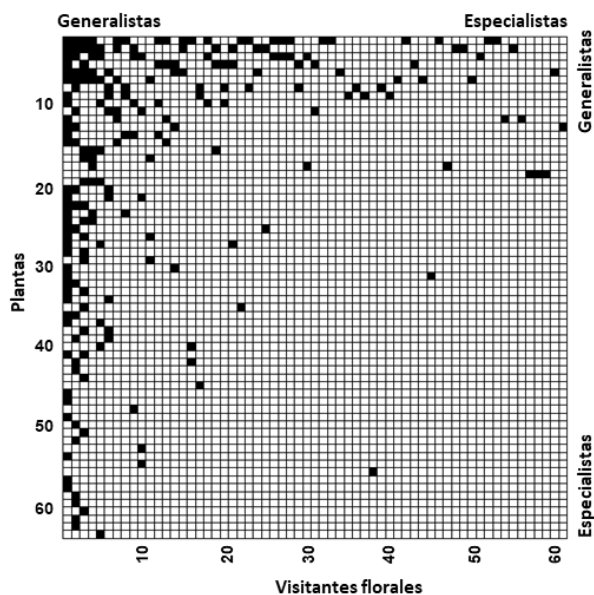


Figura 3. Matriz de presencia-ausencia entre plantas y polinizadores potenciales en agroecosistemas de frutales caducifolios. Todos los cuadros representan una interacción potencial y el cuadro negro indica interacción observada entre planta y animal. Las filas y columnas se organizan de mayor a menor interacción para facilitar la visualización del anidamiento.

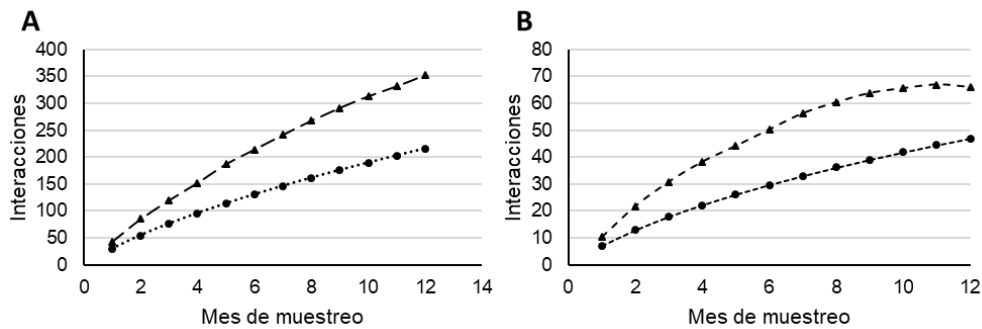


Figura 4. Curva de acumulación de interacciones en agroecosistemas de frutales caducifolios A. polinizadores potenciales y plantas cultivadas, arvenses y silvestres, B. polinizadores potenciales y cultivos frutales caducifolios

Las especies vegetales con mayor número de especies o morfoespecies de polinizadores potenciales asociados fueron *P. salicina* (n=22), *P. communis* (n=12), *B. pillosa* (n=15), *B. campestris* (n=11) y *T. officinale* (n=10). Las especies vegetales *Agapanthus* sp. 1, *Alonsoa meridionalis* L.f., *Croton magdalenensis* Müll., *Cuphea* sp. 2, *Duranta mutisii* L.f., *Erythrina edulis* Triana ex Micheli, *P. edulis* f. *edulis* Sims, *P. tarminiana* Coppens & Barney, *Phaseolus vulgaris* L., *Prunus* sp. 1, *Salvia* sp. 1, *Solanum lycopersicum* L., *Sonchus asper* L., *Tibouchina lepidota* (Bonpl.) Baill., *Trifolium pratense* L. y *Vasquezia anemonifolia* Kunth, se encontraron asociadas con un único visitante floral (Figura 5).

De las 61 especies o morfoespecies considerados como polinizadores potenciales, *A. mellifera* presentó el mayor número de asociaciones con plantas (n= 35), seguido por *B. atratus* (n=23), *Caenohalictus* sp.1 (n=20), *Neocorynura* sp.1 (11) y *Lasioglossum* sp.1 (n=10). Las especies *Allograpta exotica* (Wiedemann, 1830), *Centris (Ptilocentris) festiva* (Smith, 1854), *Chilicola aequatoriensis* (Benoist, 1942), *Dysdercus* sp. 1, *E. tenax*, *Hylaeus* sp. 1, *Megachile (Austromegachile)* sp. 1, *Megachile (Cressoniella)* sp. 1, *Ocyrtamus giganteus* (Schiner, 1868), *Syrphus shorae* (Fluke, 1950), *Vanessa carye* (Hübner, 1806) y los insectos de las familias Bombyliidae, Tachinidae, y Scoliidae, se encontraron asociados a una sola especie vegetal (Figura 5).

Por otro lado, los principales insectos visitantes florales y polinizadores potenciales de los cultivos frutales caducifolios fueron *A. mellifera* y dípteros (Figura 5). La abeja *A. mellifera* presentó el mayor número de visitas (n=130), en las cuatro especies de cultivos

caducifolios: ciruelo, peral, manzano y durazno. Esta abeja recolectó néctar de las cuatro especies, y prefirió el polen de peral. La morfoespecie *Bibionidae* sp. 1, recolectó néctar en plantas de ciruelo (n= 61 visitas); *Eristalis* sp. 1 que recolectó néctar en flores de ciruelo y peral (n=42); *Palpada* sp. 1 recolectó néctar en flores de ciruelo y manzano (n=24), y *Allograpta* sp. 1 recolectó néctar en flores de ciruelo (n=23).

Polinizadores potenciales y fenología de plantas

Los frutales caducifolios presentaron dos picos de floración en los agroecosistemas evaluados, durante marzo a mayo en el primer semestre del año, y septiembre a noviembre en el segundo semestre. El ciruelo floreció en los meses de abril y octubre; el durazno en el mes de mayo, el manzano en los meses de marzo y noviembre; y el peral en los meses de marzo y octubre (Figura 6)

De 34 plantas arvenses y silvestres que presentaron los mismos visitantes florales que los frutales caducifolios, 20 especies presentaron parte de su floración al mismo tiempo que los caducifolios. Las especies vegetales *B. pillosa*, *B. campestris*, *R. raphanistrum* y *T. Officinale* presentaron flor la mayor parte del año y el mayor número de visitas (Tabla 5). Las especies de insectos *Apis mellifera*, *Allograpta* sp. 1, *Bibionidae* sp. 1, *Caenohalictus* sp. 1 y *Dinagapostemon* sp.1., visitaron los frutales caducifolios y al mismo tiempo las plantas cultivadas o arvenses durante la floración de los caducifolios.

Las plantas *Ageratina* sp. 1, *Amaranthus* sp. 1, *Asteraceae* sp. 2, *Bidens* sp. 1, *C. bonariensis*, *C. pedata*, *Dahlia* sp. 1, *Ipomoea* sp. 1, *S. oleraceus*, *T. alata*, *T. erecta*, *T. pratense*, *V. persicae*, *V. Faba*, a pesar de ser visitadas por los mismos polinizadores potenciales de los frutales caducifolios, no se encontraron florecidas al mismo tiempo con estos frutales.

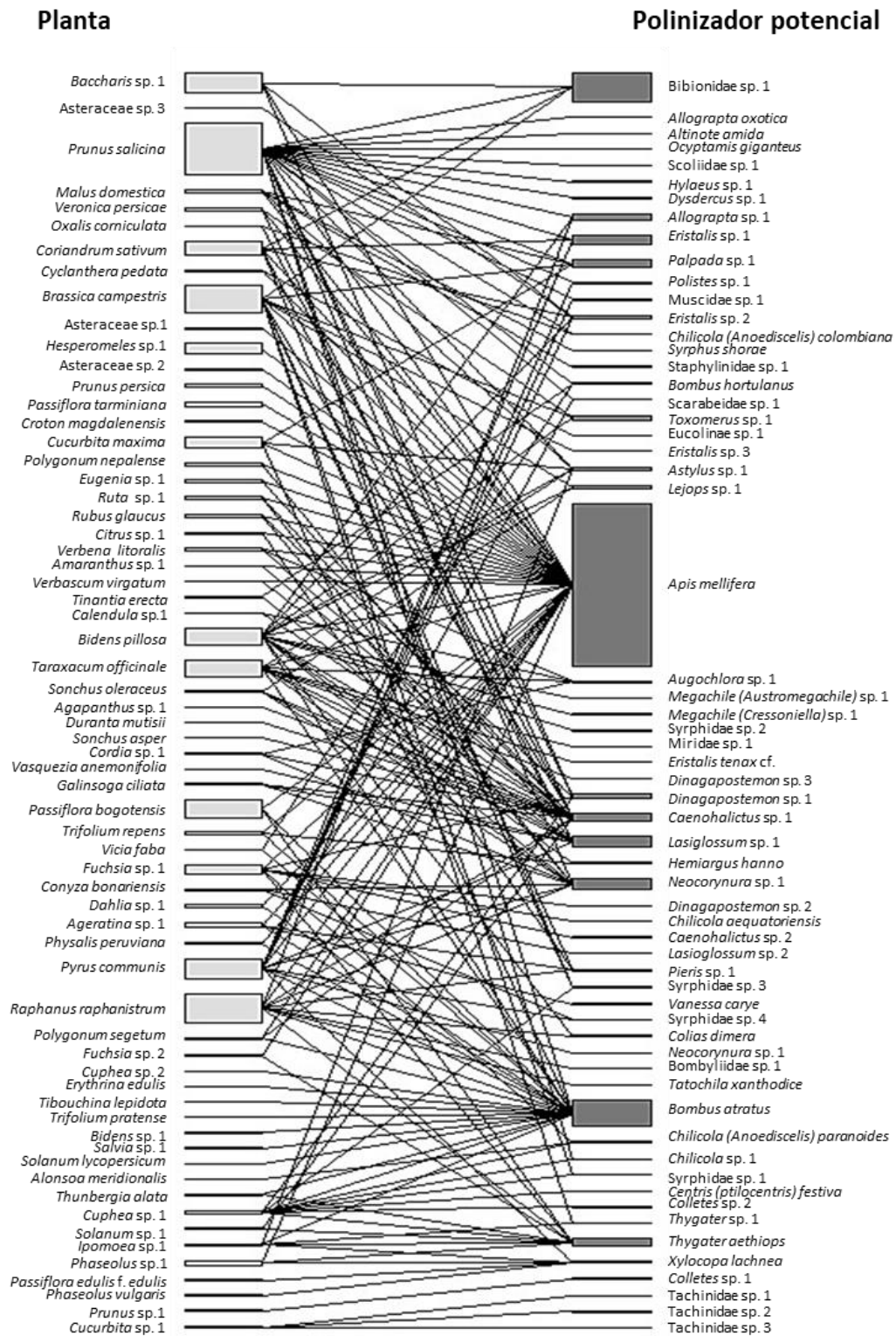


Figura 5. Red de interacción planta- polinizador potencial en agroecosistemas de frutales caducifolios de Nuevo Colón, Boyacá.

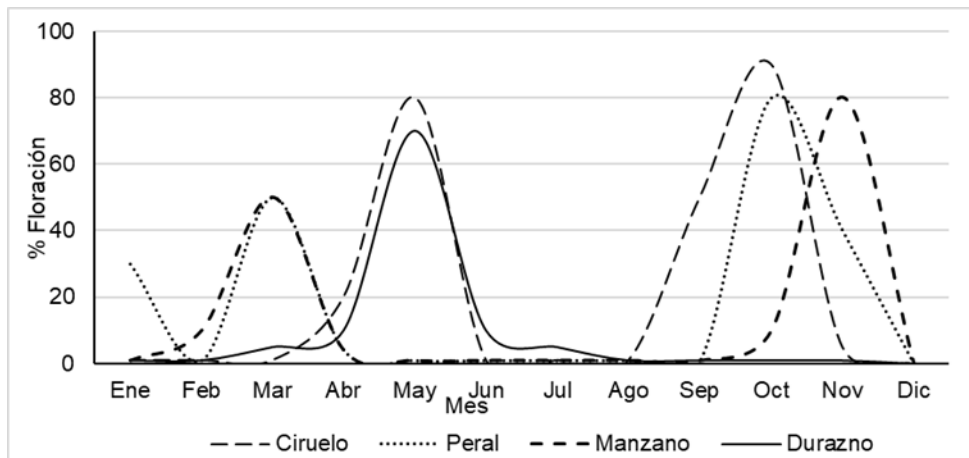


Figura 6. Meses de floración (flor abierta) de frutales caducifolios, ciruelo, peral, manzano y durazno en agroecosistemas de Nuevo Colón, Boyacá

Tabla 5. Número de visitas mensuales de insectos en plantas arvenses o silvestres que presentaron parte de su floración al mismo tiempo que la floración de los frutales caducifolios

Especie vegetal	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
<i>Asteraceae</i> sp. 1											3		3
<i>Baccharis</i> sp. 1					75	2				20			97
<i>Bidens pillosa</i>	2	13	2	1	6	28	5	13		4		7	81
<i>Brassica campestris</i>	25	6	14	12		18	6	24		24		1	130
<i>Citrus</i> sp. 1	1	1	2										4
<i>Croton magdalenensis</i>										4			4
<i>Cuphea</i> sp. 1					4		3	6	1				14
<i>Eugenia</i> sp. 1				8									8
<i>Fuchsia</i> sp. 1		6		13			19	6					44
<i>Fuchsia</i> sp. 2						1				8			9
<i>Hesperomeles</i> sp. 1				50									50
<i>Passiflora bogotensis</i>							20	48	15				83
<i>Polygonum nepalense</i>							2	8		1			11
<i>Polygonum segetum</i>			1			10	1						12
<i>Raphanus raphanistrum</i>	3	65	29		2	7	10	1	3	2	2	14	138
<i>Ruta</i> sp. 1		2					6	4		2			14
<i>Taraxacum officinale</i>	3	5	27	5	8	13	14	2		4	1		82
<i>Trifolium repens</i>		3	2	1		3		1		3			13
<i>Verbascum virgatum</i>				2									2
<i>Verbena litoralis</i>	1	1	2			3	2			1			10
Total	37	105	104	92	97	105	94	135	26	80	6	22	903

1.4 Discusión

Este estudio recuperó información en un periodo de un año y es el primer reporte de la diversidad de visitantes florales en agroecosistemas de frutales caducifolios en Colombia. Se registraron diferentes taxones asociados a las flores, con una importante participación de abejas y moscas, grupos de insectos que han sido reconocidos por varios autores como los principales polinizadores de plantas cultivadas y silvestres (Aizen, Garibaldi, Cunningham, & Klein, 2009; Garibaldi et al., 2013; Kremen et al., 2007; Sengupta, Naskar, Maity, Homechaudhuri, & Banerjee, 2018).

Los visitantes florales en agroecosistemas de frutales caducifolios interactuaron con plantas cultivadas, arvenses y silvestres, donde se evidenció la tendencia de interacciones altamente anidadas (Figura 3) lo que indica que los individuos generalistas se asocian principalmente con los especialistas y los especialistas con generalistas. De acuerdo con Bascompte et al. (2003) y Burgos et al. (2007), los sistemas altamente anidados mejoran la estabilidad de la comunidad al garantizar una redundancia de interacciones. Gómez (2002) mencionó que en redes mutualistas son poco frecuentes y costosos los sistemas especializados de interacciones porque requieren un proceso de selección natural, adaptaciones morfológicas e incluso la dependencia de una especie para que la otra pueda sobrevivir.

Los resultados de este estudio mostraron que visitantes florales muy poco abundantes y con recursos alimenticios específicos como *Hylaeus* sp. 1, *Megachile* (*Austromegachile*) sp. 1, y *Megachile* (*Cressoniella*) sp. 1 se encontraron asociadas con especie vegetales generalistas como *P. salicina* y *B. pillosa* (Figura 5). Las plantas de caducifolios y algunas asteráceas presentaron el mayor número de interacciones con insectos, debido a que estas plantas presentan abundante floración y cada flor presenta una morfología abierta o sin restricciones que facilita el acceso a néctar y polen, lo cual promueve la visita de un número relativamente amplio de especies de visitantes florales (Frame, 2003).

Se encontró que el 93% de los insectos polinizadores potenciales de los cultivos caducifolios ciruelo, peral, manzano y durazno pertenecieron al orden Hymenoptera (50% de las visitas) y al orden Diptera (43%). En los Hymenoptera, la abeja *A. mellifera* y, entre

los Diptera, las moscas de la familia Syrphidae, presentaron las mayores abundancias. Lo anterior concuerda con Mouton (2011) quien registró que el principal visitante floral asociado a manzano fue *A. mellifera* con 98% de las visitas. Quinet et al. (2016), reportaron que *A. mellifera* y los abejorros del género *Bombus* son los principales visitantes florales de manzano y peral con 61,9% y 15,8%, respectivamente. En durazno, Dar, Mir, Wani, Kandoo, & Nissar (2018) reportaron que el orden Hymenoptera y Diptera son los principales polinizadores. Por lo tanto, a pesar de que los frutales caducifolios fueron introducidos en el trópico, existen los insectos reportados como sus polinizadores en las regiones templadas, de donde los caducifolios son originarios.

Los frutales caducifolios presentaron traslape entre floraciones y las abejas prefirieron el polen de flores de peral. Lo anterior concuerda con Díaz et al. (2013) y Quinet et al. (2016), quienes mencionaron que *A. mellifera* prefiere forrajear polen de peral y néctar de manzano. De acuerdo con Quinet et al. (2016), lo anterior es debido a que el polen de peral contiene mayor cantidad de polipéptidos, y el néctar de flores de manzano presenta mejores contenidos de azúcares.

Los visitantes florales de frutales caducifolios se asociaron a diferentes plantas silvestres y arvenses de los agroecosistemas, y 20 de estas plantas presentaron parte de su floración al mismo tiempo que los frutales caducifolios. De acuerdo con Tschardt et al. (2012), el mantenimiento de plantas silvestres o arvenses en los agroecosistemas es importante porque la concentración de diversos recursos puede favorecer la diversidad de polinizadores en los ecosistemas. Por ejemplo, según Campbell, Wilby, Sutton, & Wäckers (2017) las franjas de flores silvestres asociadas a los cultivos de manzana, puede aumentar la diversidad de visitantes florales y la polinización de los frutales, con un incremento en el número de frutas. No obstante, especies como *B. pillosa*, *R. raphanistrum*, *T. officinale* y *B. campestris* pueden ser especies que compiten con los frutales caducifolios, debido a además de ser visitadas por algunos de los principales visitantes de los frutales caducifolios, presentaron floración abundante a lo largo del año.

1.5 Conclusiones

La comunidad de insectos visitantes florales en agroecosistemas de frutales caducifolios presenta interacciones con plantas cultivadas, arvenses y silvestres. Los insectos polinizadores potenciales de los cultivos visitan otros tipos de plantas en busca de recursos, por lo tanto, es indispensable tomar acciones controladas para la protección de las interacciones ecológicas entre plantas y visitantes florales, con el fin de mantener la biodiversidad funcional y garantizar la productividad agrícola.

Este estudio confirma que el trópico andino y las regiones templadas, de donde son originarios los frutales caducifolios, comparten algunas especies de visitantes florales y polinizadores como la abeja *A. mellifera* y moscas de la familia Syrphidae. En Colombia el ciruelo, peral, manzano y durazno presentan interacciones con insectos de los órdenes Hymenoptera, Diptera, Lepidoptera y Hemiptera, que actúan como polinizadores potenciales.

Bibliografía

- Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A., & Klein, A. M. (2009). How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany*, 103, 1579–1588. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp076>
- Altieri, M. A., & Letourneau, D. (1984). Vegetation diversity and insect pest outbreaks. *CRC Critical Reviews in Plant Sciences*, 2, 131–169. <https://doi.org/doi:10.1080/07352688409382193>.
- Amaya-márquez, M. (2009). Floral constancy in bees: a revision of theories and a comparison with other pollinators. *Revista Colombiana de Entomología*, 35(2), 206–216.
- Bascompte, J., & Jordano, P. (2007). Plant-Animal Mutualistic Networks: The Architecture of Biodiversity. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 38, 567–593. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01901.x>
- Bascompte, J., Jordano, P., Melián, C. J., & Olesen, J. M. (2003). The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(16), 9383–7. <https://doi.org/10.1073/pnas.1633576100>
- Bernal, R., Galeano, G., Rodríguez, A., Sarmiento, H., & Gutiérrez, M. (2017). Nombres Comunes de las Plantas de Colombia. Retrieved from <http://www.biovirtual.unal.edu.co/nombrescomunes/>

- Burgos, E., Ceva, H., Perazzo, R. P. J., Devoto, M., Medan, D., Zimmermann, M., & María Delbue, A. (2007). Why nestedness in mutualistic networks? *Journal of Theoretical Biology*, 249(2), 307–313. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2007.07.030>
- Butts, C. T., Hunter, D., Handcock, M., Bender-deMoll, S., & Horner, J. (2015). Package “Network” Version: 1.13.0.1.
- Campbell, A. J., Wilby, A., Sutton, P., & Wäckers, F. L. (2017). Do sown flower strips boost wild pollinator abundance and pollination services in a spring-flowering crop? A case study from UK cider apple orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 239, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.005>
- Colwell, R. K., Mao, C. X., & Chang, J. (2004). Interpolando, extrapolando y comparando las curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia. In G. Halffter, J. Soberón, P. Koleff, & A. Melic (Eds.), *Sobre Diversidad Biológica: El significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma*. (Vol. 85, pp. 73–84).
- Dar, S. A., Mir, G. M., Wani, A. R., Kandoo, A. A., & Nissar, M. (2018). Insect pollinators of peach *Prunus persica* in landscapes of Temperate India. *Internacional Journal of Chemical Studies*, 6(3), 1281–1288.
- Díaz, P. C., Arenas, A., Fernández, V. M., Susic Martin, C., Basilio, A. M., & Farina, W. M. (2013). Honeybee cognitive ecology in a fluctuating agricultural setting of apple and pear trees. *Behavioral Ecology*, 24(5), 1058–1067. <https://doi.org/10.1093/beheco/art026>
- Dunne, J. A., Williams, R., & Martinez, N. (2002a). Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness increases with connectance. *Ecology Letters*, 5, 558–567. <https://doi.org/10.1515/HC.1998.4.1.21>
- Dunne, J. A., Williams, R. J., & Martinez, N. D. (2002b). Food-web structure and network theory: The role of connectance and size. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 99, 12917–12922.
- Ehrlich, P., & Raven, P. (1964). Butterflies and plants: a study in coevolution. *Evolution*, 18, 586–608.
- Feltham, H., Park, K., Minderman, J., & Goulson, D. (2015). Experimental evidence that wildflower strips increase pollinator visits to crops. *Ecology and Evolution*, 5(16), 3523–3530. <https://doi.org/10.1002/ece3.1444>
- Fernández, F., & Sharkey, M. J. (Eds.). (2006). *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical*. Universidad Nacional de Colombia.
- Frame, D. (2003). Generalist flowers, biodiversity and florivory: Implications for angiosperm origins. *Taxon*, 52(4), 681–685. <https://doi.org/10.2307/3647343>
- Fuentes, C., Eraso, E., Sequeda, O., & Piedrahita, W. (2011). *Flora arvense del altiplano Cundiboyacense de Colombia*. Bogotá D.C: Bayer CropScience.
- Garibaldi, L., Steffan-dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M., Bommarco, R., Cunningham, S. A., ... Krewenka, K. M. (2013). Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. *Science (New York, N.Y.)*, 339, 1608–1611. <https://doi.org/10.1126/science.1230200>
- Gómez, A., & Rivera, J. (1995). *Descripción de arvenses en plantaciones de café*. Colombia: CENICAFE.

- González, V., Ospina, M., & Bennett, D. (2005). *Abejas altoandinas de Colombia: guía de campo*. Bogotá D.C: Instituto de Investigación Alexander von Humboldt.
- Grab, H., Poveda, K., Danforth, B., & Loeb, G. (2018). Landscape context shifts the balance of costs and benefits from wildflower borders on multiple ecosystem services. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285, 1-9 <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1102>
- Gresty, C. E. A., Clare, E., Devey, D. S., Cowan, R. S., Csiba, L., Malakasi, P., ... Willis, K. J. (2018). Flower preferences and pollen transport networks for nesting solitary bees: Implications for the design of agri- - environment schemes. *Ecology Evolution*, 1–14. <https://doi.org/10.1002/ece3.4234>
- Heleno, R., Devoto, M., & Pocock, M. (2012). Connectance of species interaction networks and conservation value: Is it any good to be well connected? *Ecological Indicators*, 14(1), 7–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.032>
- ICN, (Instituto de Ciencias Naturales. Facultad de Ciencias- Universidad Nacional de Colombia). (2018). Colecciones científicas en línea. Retrieved from <http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/>
- Kremen, C., Williams, N. M., Aizen, M. A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., ... Ricketts, T. H. (2007). Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: A conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, 10(4), 299–314. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x>
- Luna, J. M. (2005). Técnicas de colecta y preservación de insectos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 37, 358–408.
- Michener, C. D. (2000). *The bees of the world*. The Johns Hopkins University Press (Vol. 85). [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2002\)085\[0290:FMBLZH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2002)085[0290:FMBLZH]2.0.CO;2)
- Mouton, M. (2011). *Significance of direct and indirect pollination ecosystem services to the Apple industry in the Western Cape of South Africa*. Ms.C Thesis. University of Stellenbosch.
- Nates-Parra, G. (2006). *Abejas corbiculadas de Colombia- Hymenoptera: Apidae*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., ... Wagner, H. (2018). Package ‘vegan’ version 2.5-3.
- Pimentel, D., Stachow, U., Takacs, A., Brubaker, W., Dumas, A., Meaney, J., ... Corzilius, D. (1992). Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. *Bioscience*, 432, 354–362. <https://doi.org/10.2307/1311782>
- Quinet, M., Warzée, M., Vanderplanck, M., Michez, D., Lognay, G., & Jacquemart, A. L. (2016). Do floral resources influence pollination rates and subsequent fruit set in pear (*Pyrus communis* L.) and apple (*Malus x domestica* Borkh) cultivars? *European Journal of Agronomy*, 77(1), 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.04.001>
- Rand, T., Tylianakis, J., & Tschardtke, T. (2006). Spillover edge effects: the dispersal of agriculturally subsidized insect natural enemies into adjacent natural habitats. *Ecology Letters*, 9, 603–614. <https://doi.org/doi:10.1111/j.1461-0248.2006.00911.x>

- Rodríguez-Girones, M., & Santamaria, L. (2006). A new algorithm to calculate the nestedness temperature of presence – absence matrices. *Journal of Biogeography*, 33, 924–935. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01444.x>
- Samways, M. (2005). *Insect diversity conservation*. Cambridge University Press.
- Samways, M., McGeoch, M., & New, T. (2010). *Insect conservation*. Oxford University Press.
- Sengupta, J., Naskar, A., Maity, A., Homechaudhuri, S., & Banerjee, D. (2018). A Taxonomic Account of Hover Flies (Insecta: Diptera: Syrphidae) with 4 New Records from Cold Dry Zones of Himachal Pradesh. *International Journal of Advancement in Life Sciences Research*, 1(4), 13–30. <https://doi.org/10.31632/ijalsr.2018v01i04.003>
- Silveira, F. A., Melo, G. A. R., & Almeida, E. A. B. (2002). *Abelhas brasileiras Sistemática e Identificação*. (F.A. Silveira Ed.). Belo horizonte.
- Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (2005). *Borror and delong's introduction to the study of insects*. Brooks. Cole, Belmont, California, USA. Belmont, California, USA: Brooks/Cole.
- Tscharntke, T., Klein, A., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8, 857–874. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>.
- Tscharntke, T., Tylianakis, J., Rand, T., Didham, R., Fahrig, L., Batáry, P., ... Westphal, C. (2012). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses. *Biological Reviews*, 87(3), 661–685. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00216.x>
- Vaissière, B., Freitas, B., & Gemmill-Herren, B. (2011). *Protocol to detect and assess pollination deficits in crops: a handbook for its use*. FAO/IFAD project: "Development of tools and methods for conservation and management of pollination services for sustainable agriculture"

2. Capítulo 2. Visitantes florales y polinizadores en cultivos de ciruelo *Prunus salicina* Lindl. cv. Horvin.

2.1 Introducción

El género *Prunus* incluye una variedad de frutales de hueso como los cerezos, almendros, duraznos y ciruelos (Hedrik, 1911). El ciruelo pertenece a la subfamilia Prunuidea, familia Rosaceae. Es un frutal caducifolio originario de climas templados (Eurasia), que ha sido cultivado desde hace miles de años (Hedrik, 1911) y hace parte del grupo de frutas más consumidas a nivel mundial (Combariza & Aranda, 2012). Comercialmente se conocen el ciruelo europeo *Prunus domestica* L. y el ciruelo japonés *P. salicina*. El ciruelo japonés es una especie dependiente a la polinización cruzada entre cultivares, mediante la acción de insectos (Guerra & Rodrigo, 2015). A pesar de que algunos cultivares pueden ser autocompatibles (Sedgley & Griffin, 1989), la polinización cruzada puede mejorar las características organolépticas de los frutos (Guerra & Rodrigo, 2015).

LaRue y Norton (1989) reconocieron que el polen del ciruelo es muy pesado y los insectos polinizadores juegan un papel muy importante en el transporte de polen entre cultivares. Griggs (1953) afirmó que en plantas del género *Prunus* el polen es transportado de la antera al estigma por insectos, especialmente por la abeja *A. mellifera*. En las regiones subtropicales y tropicales, los principales visitantes florales que actúan como polinizadores son los insectos del orden Hymenoptera (*A. mellifera*, *Xylocopa violacea*, *Andrena* sp. y *Vespula vulgaris*); Diptera (familias Syrphidae, Calliphoridae, Empididae, Trypetidae y Muscidae), Lepidoptera (*Vanessa atalanta*, *Pieris rapae* y *Iphioides podalarius*) y Coleoptera (*Tropinota* sp. y la familia Malachiidae) (Benachour & Louadi 2013).

No obstante, en algunos cultivares de ciruelo se desconoce el requerimiento de polinización cruzada y la relación entre la planta y sus insectos polinizadores. Tal es el caso del ciruelo cv. Horvin que presenta la mayor área, producción y rendimientos de ciruelo en Colombia (Fischer, 2013). Por lo tanto, en este trabajo se propuso determinar el requerimiento de polinización y la diversidad de visitantes florales que actúan como polinizadores potenciales asociados al cultivo de ciruelo *P. salicina* cv. Horvin. Lo anterior será el inicio en la comprensión de los procesos de polinización de frutales caducifolios en Colombia, como contribución al mejoramiento productivo de estos frutales en los Andes Tropicales.

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 Área de estudio

Esta investigación se desarrolló entre los meses de junio a septiembre de 2018 en el municipio de Nuevo Colón, departamento de Boyacá, Colombia, durante la floración de ciruelo cv. Horvin en cuatro agroecosistemas (Tabla 6). La época de estudio coincidió con la temporada lluviosa del año en la región (mayo a octubre), época en que florecen la mayoría de plantas de ciruelo cv. Horvin. En los agroecosistemas estudiados no se registró floración de frutales caducifolios diferentes al ciruelo en un radio de 100 m.

Previo al ciclo productivo los agroecosistemas en monocultivo realizaron aplicación de Cianamida hidrogenada comúnmente denominado “programador de cosecha” (Tabla 6) que actúa como compensadores de frío, rompe el estado de reposo del frutal y permiten producir una floración homogénea y abundante (Fischer, 2013). Por otro lado, en todos los agroecosistemas se aplicaron insecticidas pocos días antes de la apertura floral o antesis.

Tabla 6 Características de los agroecosistemas estudiados en el municipio de Nuevo Colón, Boyacá

Agroecosistema	Coordenadas	Altitud msnm	Área (m ²)	Sistema	No. Árboles	Edad ciruelo (años)	Mes de floración
El Encenillo	5°20'25.14"N, 73°26'28.13"W	2527	3238	Policultivo	30	20	Agosto
El Recuerdo	5°20'33.41"N, 73°27'6.66"W	2333	3058	Monocultivo	400	15	Julio
El Rosal	5°20'25.39"N, 73°27'22.66"W	2272	7861	Monocultivo	450	15	Julio

El Alto de las Águilas	5°20'12.15"N, 73°27'25.84"W	2203	3420	Monocultivo	425	10	Junio
------------------------	--------------------------------	------	------	-------------	-----	----	-------

2.2.2 Rasgos florales del ciruelo *P. salicina* cv. Horvin

Con el fin de comprender la relación entre visitantes florales y los recursos aportados por las plantas de ciruelo, se caracterizaron aspectos fenológicos y biológicos de la flor de acuerdo a lo descrito por Guerra & Rodrigo, (2015), en el agroecosistema El Encenillo.

Fenología floral, recompensas y receptividad

Fenología floral. Se marcaron diez ramas de ciruelo en el estado de yema floral. Una rama del estrato medio por árbol. Se realizaron observaciones cada tres días durante cuatro semanas, con el fin de establecer el tiempo transcurrido desde el botón floral hasta la senescencia de la flor. Para determinar la fenología de la flor, se marcaron 50 flores próximas a apertura floral (antesis) y se realizaron observaciones diarias durante diez días donde se determinó el ángulo de inclinación de los pétalos y de los estambres con respecto al plano del receptáculo floral, mediante el uso de un transportador con brazo móvil (Figura 7- 4). Se determinó la longitud de la flor y el diámetro ecuatorial antes y después de antesis, mediante el uso de un calibrador pie de rey (Figura 7). Las flores se cubrieron con una bolsa tipo muselina para evitar el ingreso de humedad.

Recompensas florales. Se realizaron observaciones diarias, hasta la senescencia de la flor, a 50 flores próximas a antesis previamente marcadas. Se tomaron medidas cualitativas y cuantitativas: se observaron todas las anteras y se determinó su coloración con base en la carta de color PMS (PANTONE), y el día de apertura de cada uno de los sacos polínicos, por medio de lupas manuales 40x y 100x (Marca Bigia). Se determinó la cantidad y calidad del néctar desde el día de la antesis hasta la senescencia de la flor, con el uso de capilares Drummond de 10 µl previamente calibrados y un refractómetro manual Brixco 3090.

Receptividad estigmática. Se tomaron cinco árboles y en cada árbol se marcaron 35 flores previas al momento de la apertura floral o antesis. Se realizaron observaciones de receptividad a lo largo de la edad de la flor, para esto se tomaron grupos de cinco flores con la misma edad floral por árbol, durante siete días (flores del día 1 al día 7). En cada grupo de flores con la misma edad floral, se verificó la apariencia del estigma (humedad

aparente (seca, húmeda) y coloración), y se infirió la receptividad de la flor con el método de la actividad de la enzima peroxidasa (Kearns & Inouye, 1993), el cual consistió en retirar el estigma de la flor y sumergirlo en peróxido de hidrógeno (3%), de acuerdo al método propuesto por Zeisler (1938) citado por Osborn, Kevan, & Lane (1988). Se determinó como estigma receptivo aquel con apariencia húmeda (Guerra & Rodrigo 2015) y que liberó burbujas en la solución de peróxido posterior a la inmersión.

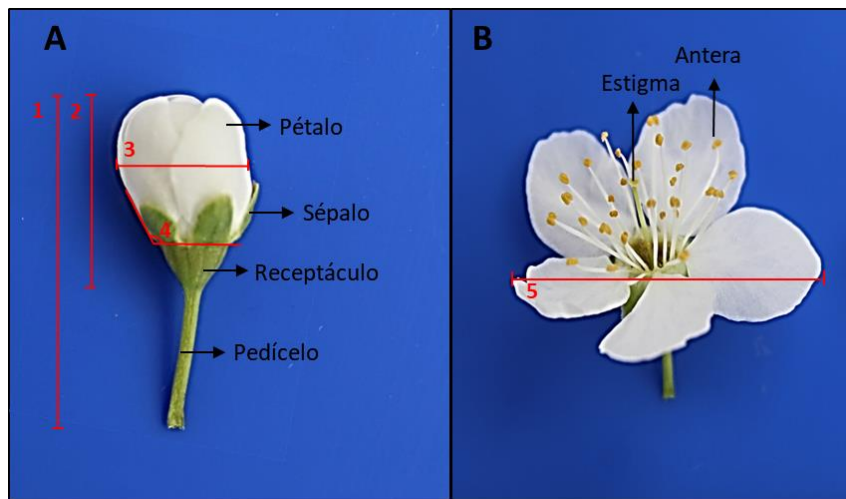


Figura 7. Medidas registradas en flor de ciruelo A. Flor un día antes de la antesis. B. Flor de ciruelo en antesis. 1. Longitud desde la base del pedicelo, 2. Longitud desde la base del receptáculo, 3. Diámetro ecuatorial de la flor previo a antesis, 4. Ángulo del pétalo de acuerdo al plano del receptáculo, 5. Diámetro de la flor.

Dependencia de polinización.

Se realizaron experimentos de exclusión de polinizadores en el agroecosistema “El Encenillo”. Se seleccionaron 20 árboles al azar con flores próximas a antesis. En cada árbol se seleccionaron dos ramas secundarias adyacentes del tercio medio, localizadas en el costado oriental del árbol, con similar longitud, ángulo de inclinación y número de flores. En cada rama se contabilizó el número de flores y una de las ramas se cubrió con bolsa de Nylon (tamaño de poro: 600 μm), para evitar el ingreso de insectos visitantes florales. Se verificó que las ramas excluidas no presentaran insectos en su interior. A los 15 días (después la senescencia de la flor) se retiraron las bolsas de las ramas cubiertas.

A la sexta semana después de la antesis se verificó la formación del fruto, en razón de que en los ciruelos la fructificación definitiva se presenta a la quinta semana después de la polinización (Guerra & Rodrigo, 2015; Guerra, Wunsch, López-Corrales, & Rodrigo, 2010). En cada rama se midió el porcentaje de frutos en relación al número flores contabilizadas.

2.2.3 Visitantes florales en plena floración

Observaciones generales

En tres agroecosistemas de frutales caducifolios El Rosal, El Recuerdo y El Alto de las Águilas, se registraron los visitantes florales en diez árboles de ciruelo seleccionados al azar, en seis rangos horarios del día: 6:00-8:00, 8:00- 10:00, 10:00-12:00, 12:00- 14:00, 14:00-16:00 y 16:00-18:00. El muestreo se realizó el día de plena floración del ciruelo el cual correspondió al día 25 después de la aplicación de programadores de cosecha. En el día seleccionado para muestreo se registró 80% de flores de segundo y tercer día, los cuales son considerados como los estados más receptivos de la flor del ciruelo japonés para la polinización (Guerra & Rodrigo, 2015).

Se tomaron registros únicamente de los insectos que visitaron varias flores durante el tiempo de observación y realizaron contacto con el estigma de la flor en una visita legítima de acuerdo a lo reportado por Benachour & Louadi (2013). Aquellos insectos que se observaron posados sobre las flores sin actividad, no se incluyeron en los análisis. Se tomaron muestras de polen de contacto de los polinizadores potenciales para determinar su eficiencia en el transporte de polen y se tomaron muestras de polen de flores ciruelo para tener el polen de referencia.

En cada agroecosistema y rango horario se midió la temperatura y humedad relativa, por medio de un datalogger Extech RHT20 y un termohigrómetro análogo ANVI. Se determinó el contenido de azúcares disueltos en el néctar de las flores, por medio de un refractómetro análogo manual Brixco 3090, en cada agroecosistema y rango horario. Se tomó el néctar de cinco flores para completar la capacidad del capilar (10 µl).

Muestreo de visitantes florales y polen de contacto

Consistió en la observación y cuantificación de insectos visitantes florales en una rama de cada árbol seleccionado, durante cinco minutos. El conteo de los visitantes florales se realizó con un contador manual. Para cada visitante se determinó el producto recolectado, tiempo en la flor, contacto con anteras y estigma, y presencia de polen en el cuerpo. Los insectos que exhibieron la probóscide en los nectarios florales y la movieron simulando una succión, se consideraron forrajeros de néctar, y los insectos que masticaron o empaquetaron el polen en sus patas posteriores, se consideraron forrajeros del polen. Los insectos que extendieron su probóscide a los nectarios mientras transportaban el polen en sus patas posteriores se consideraron recolectores de ambos recursos, de acuerdo a lo propuesto por Díaz et al. (2013).

Para estimar cuales visitantes florales fueron polinizadores potenciales se registró el transporte de polen en cada uno de ellos. El procedimiento consistió en recolectar los visitantes florales presentes en cada rango horario, por un periodo de 20 minutos, mediante un frasco de plástico transparente con tapa de malla metálica (8 cm x 8 cm x 8 cm). Los insectos se inmovilizaron con frío (celdas congeladas dentro de una caja de poliestireno expandido durante 5 minutos) y se les removió el polen de la superficie de la cabeza, abdomen y patas (ya que son las partes que entran en contacto directo con anteras y estigma de la flor) por medio de cubos de gelatina glicerizada (Rodríguez, 2014). En abejas no se tuvo en cuenta el polen corbicular debido a que este polen no se encuentra disponible para la polinización (Thorp & Systematics, 2000). El polen de referencia se tomó de veinte flores en diez árboles de ciruelo seleccionados al azar.

Entre noviembre de 2016 y octubre de 2017 se realizaron muestreos previos en los cuales se reconoció la diversidad de visitantes florales del ciruelo en ocho agroecosistemas de Nuevo Colón (datos no mostrados en este capítulo), por lo que los visitantes florales recolectados en este estudio, ya conocidos taxonómicamente, se liberaron. Los visitantes florales desconocidos taxonómicamente se trasladaron al Laboratorio de Investigación en Abejas Silvestres (LABUN) de la Universidad Nacional de Colombia y al Laboratorio de Entomología de la Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, y se procesaron de acuerdo a lo recomendado para cada taxón.

Las muestras de polen de contacto y de referencia se dispusieron en tubos Eppendorf® y se transportaron al Laboratorio de Melisopalinología del LABUN- Universidad Nacional de Colombia.

Tratamiento de las muestras

Los insectos se montaron en alfiler entomológico y fueron identificados con base en caracteres morfológicos, mediante el empleo de claves taxonómicas (Fernández & Sharkey, 2006; González et al., 2005; Michener, 2000; Nates-Parra, 2006; Fernando A Silveira et al., 2002; Triplehorn & Johnson, 2005). Algunos individuos del orden Diptera (familia Syrphidae) fueron identificados con la colaboración del Museo Entomológico UNAB de la Universidad Nacional de Colombia.

Las muestras de polen de referencia se acetolizaron y montaron en láminas portaobjeto de acuerdo con el método de Louveaux, Maurizio, & Vorwohl (1970). Se dejaron cinco muestras sin acetolizar para comparar fácilmente con el polen de contacto. Las muestras de polen de contacto se montaron en láminas portaobjeto según el procedimiento de Howlett et al. (2011). Se realizó la revisión de polen en 30 campos de la lámina por medio del microscopio óptico Leica DM500, y las láminas con baja presencia de polen, se revisaron completamente. Se determinó el número y frecuencia de granos de polen de ciruelo en la muestra, y el número de morfotipos de polen procedente de otras especies vegetales.

2.2.4 Análisis de datos

Mediante las pruebas de exclusión se calculó el valor de la dependencia del ciruelo a la polinización por insectos, de acuerdo a lo propuesto por Klein *et al.* (2007) (1)

$$D = 1 - \frac{fpe}{fp} \quad (1)$$

Donde:

D= dependencia del polinizador

fpe = Frutos formados en condiciones de exclusión de polinizadores

fp = Frutos formados en presencia de polinizador

La dependencia a la polinización por insectos se evaluó de acuerdo con la siguiente escala:

- (i) Esencial (reducción de la producción en un 90% o más sin visitantes de flores), lo que significa que la producción requiere polinización animal
- (ii) Alta (40 a menos del 90% de reducción)
- (iii) Modesto (10 a menos del 40%)
- (iv) poco (mayor que 0 a menos del 10%),
- (v) Sin reducción

Se realizaron tablas de diversidad de visitantes florales de acuerdo al agroecosistema y se calcularon los índices de Shannon (H') (Shannon, 1948) y dominancia de Simpson (D) (Simpson, 1949), para determinar el nivel de entropía asociado a la diversidad de insectos polinizadores potenciales del ciruelo. Con el fin de determinar si el esfuerzo de muestreo fue suficiente, se calculó la riqueza potencial de las especies con el estimador no paramétrico Chao 1 (Chao, 1984).

Se realizaron tablas visitante-horario de forrajeo y se realizaron análisis de correlación de Spearman (r_s), entre las variables climáticas y calidad del néctar con la abundancia de visitantes florales a lo largo del día.

Teniendo en cuenta el polen de contacto de los visitantes florales, se determinó la proporción de polen de ciruelo y polen de otras plantas, para determinar la fidelidad del visitante floral, y se calculó el Índice de Probabilidad de Polinización (PPI) (Ne'eman, Dafni, & Potts, 1999) (2), el cual toma valores entre 0 y 1, y refleja la probabilidad de que un visitante floral sea un polinizador eficiente de una planta en particular.

$$PPI = PCP * PBP \quad (2)$$

PCP, es la proporción media de polen de ciruelo presente en el insecto. PBP, es la proporción de individuos de una especie que trasportan polen de ciruelo (Ne'eman et al., 1999).

2.3 Resultados

2.3.1 Rasgos florales del ciruelo *P. salicina* cv. Horvin

El periodo fenológico comprendido desde el botón floral (Figura 8-1) hasta el día de la apertura floral o antesis (Figura 8- 15) duró en promedio 16 días (± 4), del botón floral hasta la senescencia de la flor (Figura 8-18) duró en promedio 23 días (± 3).



Figura 8. Ciclo floral del ciruelo cv. Horvin desde el botón floral (1) hasta la senescencia de la flor (18). Imagen: Vaca & Santamaría, 2018.

Las dimensiones promedio de la flor en el día anterior a la antesis ($n=50$) fueron: diámetro ecuatorial de 0,59 cm ($\pm 0,10$), longitud desde la base del pedicelo de 1,63 cm ($\pm 0,20$), y longitud desde la base del receptáculo floral de 1,02 cm ($\pm 0,11$). Las dimensiones promedio de la flor en el día de la antesis ($n=50$) fueron: diámetro de 1,82 cm ($\pm 0,35$), promedio de 25 estambres ($\pm 1,6$). La duración de la flor desde el día de la antesis hasta la senescencia, fue de 6 días ($n=50$) (Figura 9, Tabla 7).

El ángulo de los estambres, ángulo de los pétalos de la flor, número de pétalos, número de sacos polínicos abiertos, color de la antera, color del estigma, cantidad y calidad del néctar de la flor, variaron según la edad de la flor (Figura 9, Tabla 7). Las flores del primer al cuarto día después de antesis (DDA), presentaron estigmas con aspecto húmedo y coloración verde-amarilla (PMS 380). Esta coloración fue cambiando progresivamente con respecto de a la edad floral. La caída de los pétalos se presentó a partir del día 4 DDA, los pétalos que permanecieron en la flor más allá del cuarto día, tomaron apariencia seca. Las flores del quinto día (Figura 9 F) presentaron el mayor número de sacos polínicos abiertos (Tabla 7). Al sexto día, los estambres se posicionaron cerca del estigma y, el estigma, parte del estilo y las anteras presentaron una coloración marrón oscuro (PMS 455), con aspecto seco (Figura 9 G). A partir del sexto día las partes florales se secaron y permanecieron adheridas al pedicelo hasta que se observó el fruto en desarrollo, aproximadamente quince días DDA (Figura 9 H).

El 54% de las flores ofrecieron néctar (recompensa energética). El número de flores con oferta de néctar aumentó progresivamente del primer al tercer día DDA (Tabla 7) y el néctar presentó la mayor cantidad de azúcares disueltos el primer y segundo día DDA (Tabla 7).

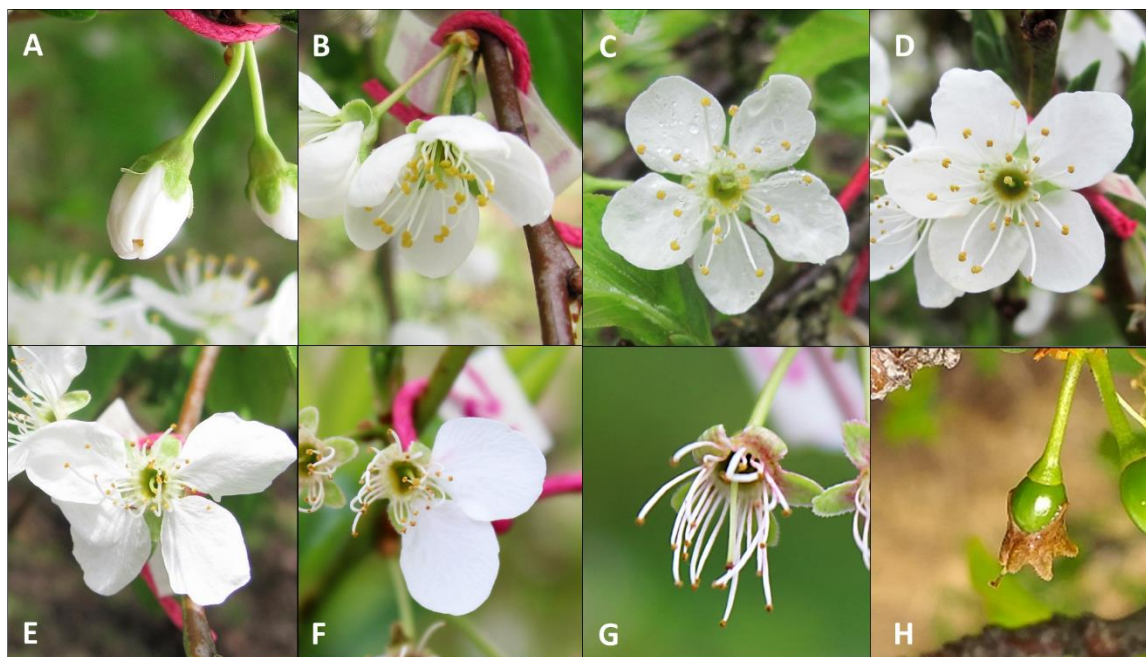


Figura 9. Fenología floral del ciruelo *P. salicina* cv. Horvin. A. Flor previo a antesis (día 0);

B. Día de la antesis floral; C. Flor de segundo día; D. Flor de tercer día; E. Flor de cuarto día; F. Flor de quinto día; G. Flor de sexto día; H. Flor seca y fruto en desarrollo.

Tabla 7. Fenología floral del ciruelo *P. salicina* cv. Horvin.

Día de la flor	Ángulo estambres	Anteras con polen	Color antera	Ángulo pétalos	Color estigma	Aspecto estigma	Flores con néctar	Contenido de néctar μ l	Calidad del néctar ($^{\circ}$ Bx)
1	124° \pm 18	0	A PMS803	159° \pm 25	A-V PMS380	H	11	1,58 \pm 0,63	11 \pm 3,2
2	143° \pm 8	0	A PMS803	171° \pm 7	A-V PMS380	H	12	1,61 \pm 0,61	11,17 \pm 3
3	143° \pm 8	4 \pm 3	M PMS110	172° \pm 8	A-V PMS380	H	22	4,75 \pm 2,4	5,70 \pm 2,9
4	119° \pm 9	21 \pm 8	M PMS110	172° \pm 7	A-V PMS380	H	3	1,05 \pm 0,07	8,33 \pm 2,3
5	109° \pm 9	24 \pm 3	D PMS117	-	BM PMS399	H	4	7,66 \pm 3,26	2,25 \pm 0,5
6	109° \pm 10	4 \pm 6	MO PMS160	-	MO PMS160	S	0	0	0

*. Color: A: amarillo, M: marrón, D: Dorado, A-V: amarillo verdoso, MO: marrón oscuro, BM: bordes marrones. Aspecto del estigma H: Húmedo, S: Seco. Contenido y calidad del néctar teniendo en cuenta registros positivos.

Dependencia a la polinización

El ciruelo cv. Horvin, presentó un porcentaje de fructificación del 23% en condiciones de libre exposición a polinizadores, y 6,4% en exclusión de polinizadores, con respecto al número de flores iniciales. De acuerdo con el valor de dependencia de la polinización, se determinó que en ausencia de polinizadores se presenta una reducción del 72% en la formación de frutos, lo cual indica que el ciruelo cv. Horvin es altamente dependiente a la polinización por insectos. En las ramas descubiertas (n=20) se desarrollaron 69 frutos de 295 flores, y en las ramas cubiertas (n=20) se desarrollaron 19 frutos de 295 flores (Figura 10).



Figura 10. A. Ramas cubiertas o con exclusión de polinizadores. B. formación de frutos a la sexta semana después de antesis en rama descubierta.

2.3.2 Visitantes florales en plena floración

Se registraron insectos de los órdenes Diptera, Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera y Lepidoptera, representados por 18 familias y 29 especies o morfoespecies (Tabla 8). El orden más diverso fue Diptera con 13 morfoespecies y representado por las familias Syrphidae, Calliphoridae, Bibionidae, Lonchaeidae, Muscidae, Tipulidae y Sepsidae. El segundo orden más diverso fue Hymenoptera con 10 morfoespecies pertenecientes a las familias Apidae, Halictidae, Colletidae, Ichneumonidae, Vespidae y Scoliidae. Del orden Coleoptera se registraron cuatro morfoespecies pertenecientes a las familias Elateriae, Curculionidae, Chrysomelidae y Staphylinidae. En el orden Hemiptera se registró una especie de la familia Pyrrhocoridae, y del orden Lepidoptera se registró una morfoespecie de la familia Nymphalidae (Tabla 8).

El orden más abundante fue Diptera con el 49% de las visitas, seguido por Hymenoptera con 48%. La familia más diversa fue Syrphidae con seis morfoespecies, seguido por Apidae con tres morfoespecies. La abeja *A. mellifera* fue la especie más abundante con el 42% de las visitas, seguido por los dípteros *Palpada* sp. 1 (14%), *Eristalis* sp. 1 (12%) y Sepsidae sp. 1 (11%) (Tabla 8).

Tabla 8. Diversidad de visitantes florales del ciruelo *P. salicina* cv. Horvin

Orden	Familia	Especie o morfoespecie	Agroecosistema			Total
			El Alto de las Águilas	El Recuerdo	El Rosal	

	Bibionidae	Bibionidae sp. 1	2	11	3	16
	Caliphoridae	Calliphoridae sp. 1	3	0	0	3
	Lonchaeidae	<i>Lonchaea</i> sp. 1	1	0	1	2
	Muscidae	Muscidae sp. 1	2	0	0	2
	Syrphidae	<i>Allograpta</i> sp. 1	10	1	2	13
Diptera	Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp. 1	24	29	6	59
	Syrphidae	<i>Palpada</i> sp.1	4	34	30	68
	Syrphidae	<i>Palpada</i> sp. 2	1	0	0	1
	Syrphidae	<i>Syrphus shorae</i>	3	0	0	3
	Syrphidae	<i>Toxomerus</i> sp. 1	1	0	0	1
	Tipulidae	Tipulidae sp. 1	1	0	0	1
	Tipulidae	Tipulidae sp. 2	9	6	0	15
	Sepsidae	Sepsidae sp. 1	54	0	0	54
		Apidae	<i>Apis mellifera</i>	47	90	65
Hymenoptera	Apidae	<i>Bombus atratus</i>	0	1	1	2
	Apidae	<i>Bombus hortulanus</i>	0	0	1	1
	Colletidae	<i>Chilicola</i> sp. 1	1	0	0	1
	Colletidae	<i>Hylaeus</i> sp. 1	0	1	0	1
	Halictidae	<i>Caenohalictus</i> sp. 1	1	0	2	3
	Ichneumonidae	Ichneumonidae sp. 1	1	0	0	1
	Ichneumonidae	Ichneumonidae sp. 2	0	0	1	1
	Scoliidae	Scoliidae sp. 1	0	1	2	3
	Vespidae	<i>Polistes</i> sp. 1	2	11	5	18
Coleoptera	Elateridae	Elateridae sp. 1	1	0	0	1
	Curculionidae	Curculionidae sp. 1	2	0	0	2
	Chrysomelidae	<i>Diabrotica</i> sp. 1	1	0	2	3
	Staphylinidae	Staphylinidae sp. 1	2	0	0	2
Hemiptera	Pyrrhocoridae	<i>Dysdercus</i> sp. 1	0	0	2	2
Lepidoptera	Nymphalidae	<i>Actinote amida</i>	0	0	2	2
Total			173	185	125	483

El índice de Shannon mostró que la entropía asociada a la diversidad de visitantes es baja, (Tabla 9). De acuerdo al estimador no paramétrico Chao 1, al aumentar el esfuerzo de muestreo, se podrían encontrar entre una y seis especies más (Tabla 9).

Tabla 9. Índices de diversidad de insectos visitantes florales de ciruelo cultivar Horvin en tres agroecosistemas.

Agroecosistema	Especies	Individuos	Simpson	Shannon_H	Chao 1
El Recuerdo	9	186	0,69	1,5	12
El Alto de las Águilas	23	177	0,8	2,12	29
El Rosal	13	121	0,64	1,48	14

Horario de forrajeo y recursos

A. mellifera, *Eristalis* sp. 1, *Palpada* sp. 1, *Polistes* sp. 1, y Tipulidae sp. 1, se registraron en todos los rangos horarios muestreados. Los rangos horarios de mayor actividad fueron

de 10:00 a 12:00 y 12:00 a 14:00, en el cual también se registraron la mayoría de especies de abejas “raras” o poco abundantes (géneros *Caenohalictus*, *Hylaeus* y *Chilicola*). La especie *B. atratus* y *Lonchaea* sp. 1, presentaron dos rangos de actividad de 6:00 a 8:00 y de 16:00 a 18:00, que coincidieron con los horarios de menor temperatura (Figura 11, 12).

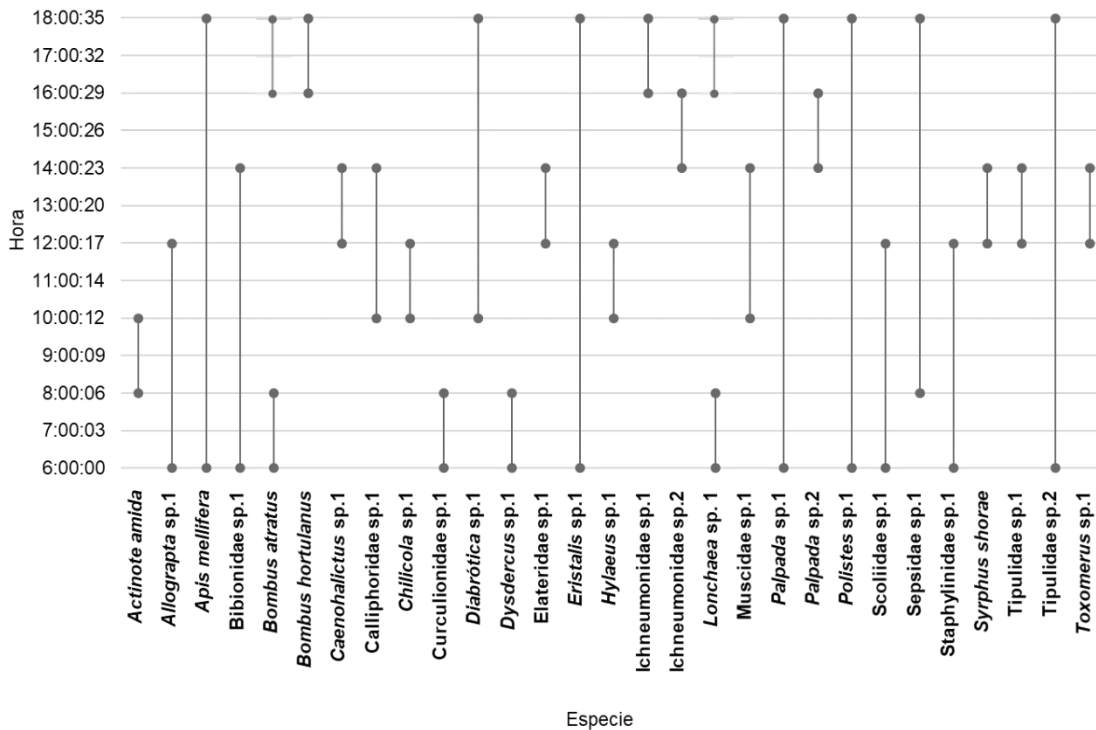


Figura 11. Rangos horarios de visitantes florales de ciruelo cv. Horvin

Los insectos recolectaron recursos variados en las flores de ciruelo. El 93% recolectaron néctar a lo largo del día, seguido por individuos que recolectaron polen (3%), néctar y polen (2%), lugar de cópula en las flores (0,4%), búsqueda de presas en las flores (0,2%), e individuos que no recolectaron recursos evidentes (1,6%).

La riqueza y abundancia de visitantes florales estuvo influenciada por las condiciones ambientales (Figura 12). La temperatura en una correlación positiva ($r_s = 0.88$, $p = 0.020$) y la humedad en una correlación negativa ($r_s = -0.88$, $p = 0.018$). No se presentó correlación entre grados *brix* del néctar y la abundancia de visitantes florales ($r_s = 0.69$, $p = 0.1227$).

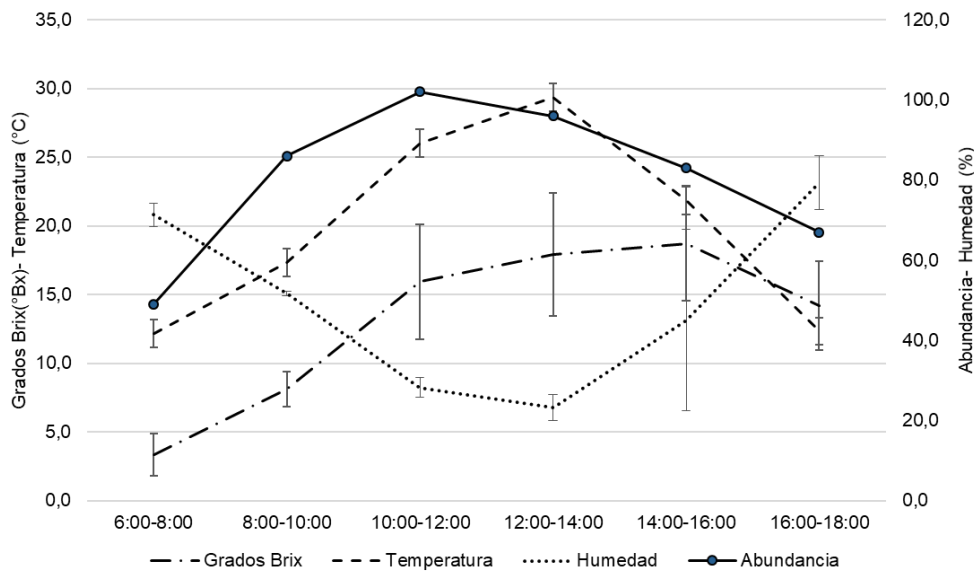


Figura 12. Temperatura, humedad relativa, grados brix y abundancia de polinizadores a diferentes rangos horarios del día.

Transporte de polen

Se recolectaron 61 muestras de polen de contacto de 19 especies visitantes florales, asociados a 23 tipos polínicos, siendo las familias Rosaceae y Asteraceae las más representadas. El 89% de los visitantes florales tuvieron polen de ciruelo. Las morfoespecies *Dysdercus* sp. 1 y Elateridae sp. 1, no presentaron polen de esta planta. La abeja *A. mellifera* presentó la mayor cantidad de polen de ciruelo promedio por individuo, seguida por la avispa de la familia Scoliidae y *Eristalis* sp. 1 (Tabla 10). Por otro lado, la especie *A. mellifera* presentó el mayor número de morfotipos de polen asociados con 18 tipos polínicos, seguido de *B. atratus* con 14 tipos polínicos y *Eristalis* sp.1 con 13 tipos polínicos.

El polen de ciruelo se caracterizó por ser microescabrado-faveolado-reticulado. En vista polar: trilobulado o triangular convexo. En vista ecuatorial: subprolado a prolado a veces esferoidal. En vista polar: entre 25-35 μm de diámetro. En vista polar presenta aproximadamente 27 x 31 μm . Colpo de 5 μm , exina: 2-2,5 μm , tectada. Aberturas: tricolporado, poro irregular. Con costillas internas (Figura 13).

De los visitantes florales más abundantes, los que presentaron mayor proporción de polen de ciruelo fueron *A. mellifera* y Bibionidae m1 (Figura 13). Teniendo en cuenta el índice de probabilidad de polinización (Tabla 10 PPI), el comportamiento del insecto en la flor, la abundancia y la fidelidad de los visitantes florales, se consideró *A. mellifera*, Bibionidae sp. 1 y *Eristalis* sp. 1 como los principales polinizadores del ciruelo *P. salicina* cv. Horvin (Tabla 10, Figura 13).

Tabla 10. Polen de contacto de visitantes florales de ciruelo *P. salicina* cv. Horvin. Columna 1. Especie de visitante floral, 2. visitas por especie, 3. muestras de polen por visitante, 4. tipos polínicos por visitante, 5. promedio total de granos de polen, 6. promedio de polen de ciruelo, 7. PCP: proporción media de polen de ciruelo presente en el insecto, 8. PBP: proporción de individuos de una especie que trasportan polen de ciruelo. 9. PPI: Índice de Probabilidad de Polinización (Ne'eman et al., 1999).

Especie	Visitas	Muestras polen	Tipos polínicos	Total granos de polen		PCP	PBP	PPI
				Promedio total	Promedio ciruelo			
<i>Allograpta</i> sp. 1	13	1	4	37	9	0,24	1,00	0,24
<i>Altinote amida</i>	2	1	6	126	83	0,66	1,00	0,66
<i>Apis mellifera</i>	202	17	18	539	378	0,70	1,00	0,70
Bibionidae sp. 1	16	16	10	60	43	0,70	1,00	0,70
<i>Bombus atratus</i>	2	1	6	144	65	0,45	1,00	0,45
<i>Bombus hortulanus</i>	1	1	14	129	47	0,36	1,00	0,36
<i>Caenohalictus</i> sp. 1	3	1	3	545	13	0,02	1,00	0,02
Caliphoridae sp. 1	3	1	2	24	14	0,58	1,00	0,58
<i>Chilicola</i> sp. 1	1	1	3	750	19	0,03	1,00	0,03
<i>Diabrotica</i> sp. 1	3	2	3	10	6	0,58	0,50	0,29
<i>Dysdercus</i> sp. 1	2	1	1	3	0	0,00	0,00	0,00
Elateridae sp. 1	1	1	4	113	0	0,00	0,00	0,00
<i>Eristalis</i> sp. 1	59	7	13	228	129	0,56	1,00	0,56
<i>Lonchaea</i> sp. 1	2	1	2	14	9	0,64	1,00	0,64
<i>Palpada</i> sp.1	68	5	14	188	66	0,35	1,00	0,35
<i>Polistes</i> sp. 1	18	2	7	107	67	0,62	1,00	0,62
Scoliidae sp. 1	3	1	7	622	353	0,57	1,00	0,57
Tipulidae sp. 1	1	1	4	15	6	0,40	1,00	0,40

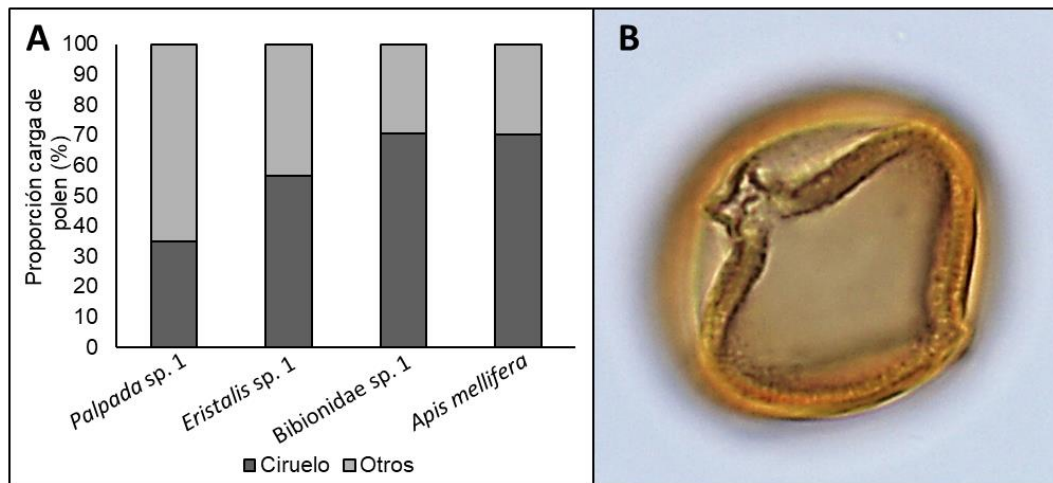


Figura 13. A. Fidelidad de los principales visitantes florales en el ciruelo, promedio por individuo. B. Polen de ciruelo *P. salicina* cv. Horvin

2.4 Discusión

Rasgos florales

La flor de ciruelo presentó una duración de aproximadamente seis días a partir de la antesis, y los primeros cinco días los estigmas estuvieron húmedos, lo cual según Herrero (1992) es un indicador de la receptividad estigmática, debido a que el estigma de ciruelo está cubierto por células glandulares especializadas en un tejido papilado y húmedo, con exudados líquidos cuando es receptivo, que ofrece un medio adecuado para la germinación del polen. Guerra & Rodrigo (2015) mencionaron que el mejor momento para la polinización de la flor de ciruelo es el segundo o tercer día después de la antesis, lo cual apoya los resultados de este estudio, puesto que al tercer día las flores ofrecieron la mejor calidad de néctar, presentaron todos sus pétalos y el máximo ángulo de inclinación de los pétalos, para ser más asequible a los polinizadores. Arroyo, Dudley, Jespersen, Pacheco, & Cavieres (2013) afirmaron que las flores con larga duración, como la del ciruelo, favorecen la cantidad y calidad de polen removido y depositado en los estigmas por parte de los polinizadores. Por otra parte, a pesar de que en este estudio las flores se cubrieron con una bolsa durante las observaciones, debido a la alta humedad, lluvia y rocío, muchas flores presentaron agua durante los 3 y 5 DDA, lo cual pudo diluir el néctar.

En este estudio se encontró que las anteras del ciruelo Horvin variaron de color a lo largo de la floración y de acuerdo con Radice et al. (2010) el color de las anteras tiene un papel indispensable en la atracción de polinizadores. El cuarto y quinto día después de antesis, presentaron la mayor cantidad de polen con una tonalidad marrón claro, y los días subsiguientes presentaron anteras marrón oscuro, lo cual según Radice et al. (2010) puede ser un indicador de la muerte del polen. Se observó que no todas las flores de una rama ofrecieron néctar y, las flores que sí lo hicieron, secretaron néctar durante los primeros cinco días de la antesis, lo cual concuerda con los resultados de Radice et al. (2010), quienes encontraron que diferentes cultivares del ciruelo *P. salicina* secretan néctar desde los primeros días de la antesis hasta el final de la floración.

Según Guerra & Rodrigo (2015), el ciruelo Japonés es auto-incompatible, aunque existen unos pocos cultivares que son auto compatibles. En este caso se verificó que el ciruelo cv. Horvin tiene la capacidad de generar frutos en condiciones de exclusión de insectos polinizadores, sin embargo, de acuerdo con Barzamini & Ghazvini (2017) en el ciruelo la polinización cruzada con la variedad polinizante proporciona frutos de mayor calidad, por lo que es indispensable determinar las variedades polinizantes de este cultivar en el trópico alto.

Diversidad de visitantes florales

En este estudio se encontró una comunidad de visitantes florales, como polinizadores potenciales del ciruelo, donde se destaca la riqueza y abundancia de especies del orden Diptera e Hymenoptera. A pesar de que la abeja *A. mellifera* fue el visitante floral más abundante en las flores, el grupo de moscas de las flores (Diptera: Syrphidae), mostraron la mayor riqueza de especies visitantes florales del ciruelo, lo cual también se ha reportado en otras localidades como Algeria (Benachour & Louadi, 2013). De acuerdo con Pape, Blagoderov, & Mostovski (2011) la familia Syrphidae cuenta con más de 6000 especies y, al igual que las abejas, los adultos visitan las flores en busca de néctar y polen. Estas moscas son especialmente importantes para la polinización en zonas frías (Sengupta et al., 2018), donde se reduce la diversidad de abejas (Nates-Parra, 2006).

Los visitantes florales asociados al ciruelo presentaron horarios de forrajeo variables a lo largo del día, siendo el horario del medio día, comprendido entre las 12:00 y las 14:00, el

que presentó mayor diversidad y actividad de visitantes florales. Lo anterior puede ser resultado de altas temperaturas y contenido de azúcares en el néctar (Figura 12). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Pinilla-Gallego & Nates-Parra (2015), quienes registraron en plantas de agraz en el trópico andino, el mayor número de visitantes florales en los horarios del medio día. Por otro lado, en este estudio algunos visitantes florales tuvieron su mayor rango de visitas en horas con bajas temperaturas (8:00- 10:00, 16:00- 18:00) como es el caso de las abejas del género *Bombus*, las cuales se caracterizan por presentar mayor capacidad de termorregulación y resistencia a temperaturas bajas (Goulson, 2010).

La importancia de un polinizador es una función multiplicativa de su eficiencia por visita y su frecuencia de interacción (Gómez, 2002). De acuerdo al índice de polinización, se determinó que *A. mellifera*, *Bibionidae* sp. 1, y *Eristalis* sp. 1, fueron los principales polinizadores potenciales del ciruelo, debido al gran número de visitas en las flores, proporción de polen de ciruelo en el cuerpo del insecto, y contacto con anteras y estigma de las flores. Según Howlett et al. (2011), la cantidad de polen en el cuerpo del insecto es un buen indicador de polinización porque esta variable se encuentra altamente relacionada con la cantidad de polen conespecífico en los estigmas de las flores que visitan los insectos.

De acuerdo con Calzoni & Speranza (1998), *A. mellifera* es el mejor polinizador del ciruelo, al promover una importante formación de frutos. Sapir, Goldway, Shafir, & Stern (2007) mencionaron que la introducción de 2,5 colonias/ha de esta abeja, satisface la formación de frutos de ciruelo. No obstante, los cultivos que presentan floraciones masivas, como el ciruelo, presentan naturalmente una amplia comunidad de insectos polinizadores (Westphal, Steffan-Dewenter, & Tschardtke, 2003) y, la aptitud general de una planta es en realidad una función de todos sus polinizadores, no solo del más efectivo (Aigner, 2004).

2.5 Conclusiones

Este estudio muestra el primer registro de visitantes florales y potenciales polinizadores del ciruelo cv. Horvin en Colombia. Al ser un frutal de floración masiva, proporciona recursos a una gran abundancia de visitantes florales, por lo tanto, este estudio enfatiza el uso de prácticas menos intensivas en los cultivos para no afectar a la diversidad funcional.

Se demostró que en el trópico andino de Colombia se cuenta con la diversidad de insectos reportados como polinizadores en condiciones de clima templado, y varios grupos de polinizadores potenciales locales, que pueden satisfacer la polinización de los ciruelos, siendo *Apis mellifera*, *Eristalis* sp.1 y Bibionidae sp.1 los que presentan mayor importancia en la polinización potencialmente. Aunque el ciruelo Horvin presentó frutos en ausencia de polinizadores, incrementó considerablemente la cantidad de frutos en presencia de polinizadores, por lo tanto, se deben aplicar estrategias para la conservación de estos insectos.

Colombia es un país con ventajas para la producción de ciruelo, pues se pueden programar hasta dos cosechas al año. Por lo tanto, en orden de mejorar la productividad tanto en rendimiento como en calidad, es necesario realizar los experimentos de polinización cruzada controlada para conocer los cultivares polinizantes de ciruelo cv. Horvin.

Bibliografía

- Aigner, P. A. (2004). Floral specialization without trade-offs: Optimal corolla flare in contrasting pollination environments. *Ecology*, 85(9), 2560–2569. <https://doi.org/10.1890/03-0815>
- Arroyo, M. T. K., Dudley, L. S., Jespersen, G., Pacheco, D. A., & Cavieres, L. A. (2013). Temperature-driven flower longevity in a high-alpine species of *Oxalis* influences reproductive assurance. *New Phytologist*, 200(4), 1260–1268. <https://doi.org/10.1111/nph.12443>
- Barzamini, S., & Ghazvini, R. F. (2017). Pollinizer Influence on Fruit Quality Traits in Japanese Plum (*Prunus salicina* Lindl.). *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 4(2), 229–237. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2017.228954.182>
- Benachour, K., & Louadi, K. (2013). Inventory of Insect Visitors, Foraging Behaviour and Pollination Efficiency of Honeybees (*Apis mellifera* L.) (Hymenoptera: Apidae) on Plum (*Prunus salicina* Lindl.) (Rosaceae) in the Constantine Area, Algeria. *African Entomology*, 21(2), 354–361. <https://doi.org/10.4001/003.021.0227>
- Calzoni, G. L., & Speranza, A. (1998). Insect controlled pollination in Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.). *Scientia Horticulturae*, 72(3–4), 227–237. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(97\)00132-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00132-5)
- Chao, A. (1984). Nonparametric Estimation of the Number of Classes in a Population. *Scand J Statist*, 11, 265–270.

- Combariza, J., & Aranda, Y. (2012). Producción y comercialización de frutas. In Fischer Gerhard (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 16–33). Bogotá D.C.
- Díaz, P. C., Arenas, A., Fernández, V. M., Susic Martin, C., Basilio, A. M., & Farina, W. M. (2013). Honeybee cognitive ecology in a fluctuating agricultural setting of apple and pear trees. *Behavioral Ecology*, 24(5), 1058–1067. <https://doi.org/10.1093/beheco/art026>
- Fernández, F., & Sharkey, M. J. (Eds.). (2006). *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical*. Universidad Nacional de Colombia.
- Fischer, G. (2013). Comportamiento de los frutales caducifolios en el trópico. In D. Miranda, G. Fischer, & C. Carranza (Eds.), *Los frutales caducifolios en Colombia Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo* (pp. 31–45). Bogotá: Offset Gráfico Editores SA.
- Gómez, J. (2002). Generalización en las interacciones entre plantas y polinizadores Generalizations in the interactions between plants and pollinators. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75, 105–116.
- González, V., Ospina, M., & Bennett, D. (2005). *Abejas altoandinas de Colombia: guía de campo*. Bogotá D.C: Instituto de Investigación Alexander von Humboldt.
- Goulson, D. (2010). *Bumblebees, behavior, ecology and conservation*. New York: Oxford University Press.
- Griggs, W. H. (1953). *Pollination requirements of fruits and nuts*. Berkeley, CA: College of Agriculture, University of California.
- Guerra, M. E., & Rodrigo, J. (2015). Japanese plum pollination: A review. *Scientia Horticulturae*, 197, 674–686. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.032>
- Guerra, M. E., Wunsch, A., López-Corrales, M., & Rodrigo, J. (2010). Flower Emasculation as the Cause for Lack of Fruit Set in Japanese Plum Crosses. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 135(6), 556–562.
- Hedrik, U. (1911). *The plumps of New York*. New York: J.B. Lyon company. State Printers.
- Herrero, M. (1992). From pollination to fertilization in fruit trees. *Plant Growth Regulation*, 11(1), 27–32. <https://doi.org/10.1007/BF00024429>
- Howlett, B. G., Walker, M. K., Rader, R., Butler, R. C., Newstrom-Lloyd, L. E., & Teulon, D. A. J. (2011). Can insect body pollen counts be used to estimate pollen deposition on pak choi stigmas? *New Zealand Plant Protection*, 64, 25–31.
- Kearns, C. A., & Inouye, D. W. (1993). *Techniques for Pollination Biologists*. Niwot, Colorado: University Press of Colorado.
- Klein, A.-M., Steffan-Dewenter, I., & Tschardtke, T. (2003). Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 270(1518), 955–961. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2306>
- Louveaux, B. J., Maurizio, A., & Vorwohl, G. (1970). Methods of melissopalynology. International Commission for BEE Botany of IUBS. *Bee World*, (see 4), 139–153.
- Michener, C. D. (2000). *The bees of the world*. The Johns Hopkins University Press (Vol. 85). [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2002\)085\[0290:FMBLZH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2002)085[0290:FMBLZH]2.0.CO;2)

- Nates-Parra, G. (2006). *Abejas corbiculadas de Colombia- Hymenoptera: Apidae*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias.
- Ne'eman, G., Dafni, A., & Potts, S. G. (1999). A new pollination probability index (PPI) for pollen load analysis as a measure for pollination effectiveness of bees. *Journal of Apicultural Research*, 38(1–2), 19–23.
<https://doi.org/10.1080/00218839.1999.11100991>
- Osborn, N. M., Kevan, P. G., & Lane, M. (1988). Pollination biology of *Opuntia polyacantha* and *Opuntia phaeacantha* (Cactaceae) in southern Colorado. *Plant Systematics and Evolution*, 159, 85–94.
- Pape, T., Blagoderov, V., & Mostovski, M. B. (2011). Order Diptera Linnaeus, 1758. In Z. Zhang (Ed.), *Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness* (pp. 222–229). Magnolia Press. Zootaxa.
- Pinilla-Gallego, M. S., & Nates-Parra, G. (2015). Visitantes florales y polinizadores en poblaciones silvestres de agraz (*Vaccinium meridionale*) del bosque andino colombiano. *Revista Colombiana de Entomología*, 41(1), 112–119.
- Radice, S., Giordani, E., Nencetti, V., & Bellini, E. (2010). Phenological expression in *Prunus salicina* Lindl. Genotypes and its relationship with insect attraction and pollination. *Acta Horticulturae*, 874, 151–156.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.874.20>
- Rodríguez Calderon, Á. (2014). Requerimientos y valor económico del servicio de polinización prestado por abejas en dos frutales promisorios colombianos (*Champa Campomanesia lineatifolia* Ruiz & Pav. y *Cholupa Passiflora maliformis* L.). Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Maestría.
- Sapir, G., Goldway, M., Shafir, S., & Stern, R. A. (2007). Multiple introduction of honeybee colonies increases cross-pollination, fruit-set and yield of “Black Diamond” Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(4), 590–596. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512278>
- Sedgley, M., & Griffin, A. R. (1989). *Sexual Reproduction of Tree crops*. London, UK: Academic Press.
- Sengupta, J., Naskar, A., Maity, A., Homechaudhuri, S., & Banerjee, D. (2018). A Taxonomic Account of Hover Flies (Insecta : Diptera : Syrphidae) with 4 New Records from Cold Dry Zones of Himachal Pradesh. *International Journal of Advancement in Life Sciences Research*, 1(4), 13–30.
<https://doi.org/10.31632/ijalsr.2018v01i04.003>
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379–423, 623–656.
- Silveira, F. A., Melo, G. A. R., & Almeida, E. A. B. (2002). *Abelhas brasileiras Sistemática e Identificação*. (F.A. Silveira Ed.). Belo horizonte.
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688.
<https://doi.org/10.1038/163688a0>.
- Thorp, A. R. W., & Systematics, S. P. (2000). The collection of pollen by bees. *Plant Systematics and Evolution*. 222(1), 211–223.

Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (2005). *Borror and delong's introduction to the study of insects*. Brooks. Cole, Belmont, California, USA. Belmont, California, USA: Brooks/Cole.

Westphal, C., Steffan-Dewenter, I., & Tschardtke, T. (2003). Mass flowering crops enhance pollinator densities at a landscape scale. *Ecology Letters*, 6(11), 961–965. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00523.x>

3. Capítulo 3. Relación del paisaje a escala local y amplia con la diversidad de abejas silvestres en el paisaje agrícola de frutales caducifolios

3.1 Introducción

Los paisajes agrícolas se caracterizan por ser mosaicos con diferentes usos de tierra, en los cuales se encuentran cultivos o agroecosistemas, pastizales para ganadería, asentamientos e infraestructura humana, fuentes hídricas y vegetación natural distribuida en parches o fragmentos (Forman, 1995). El paisaje agrícola, cuya característica principal es la presencia permanente de agroecosistemas², se puede considerar como un sistema dinámico donde las interacciones ecológicas fluctúan en escalas espacio-temporales (Forman, 1995; Vandermeer, van Noordwijk, Anderson, Ong, & Perfecto, 1998; Zimmerer, 2010). A diferencia de los ecosistemas naturales, los agroecosistemas tienen una reducida diversidad de especies vegetales y altos niveles de control mediado por la humanidad (Malézieux et al., 2009).

Entre las actividades humanas, la agricultura ocupa cada vez más grandes extensiones de tierra en el mundo y está produciendo cambios importantes en muchos niveles, principalmente, cambios en la biodiversidad y en las relaciones ecológicas. Desde mediados del siglo XX y con el paso de las décadas, los procesos agrícolas se han caracterizado por el aumento de la mecanización, disminución del uso de la mano de obra (Bennett, Radford, & Haslem, 2006), uso intensivo de agroquímicos y simplificación de los

² En este estudio el agroecosistema es entendido como "...el conjunto de relaciones e interacciones que suceden entre suelos, climas, plantas cultivadas, organismos de distintos niveles tróficos, plantas adventicias y grupos humanos en determinados espacios geográficos, cuando son enfocadas desde el punto de vista de sus flujos energéticos y de información, de sus ciclos materiales y de sus relaciones simbólicas, sociales, económicas y políticas, que se expresan en distintas formas tecnológicas de manejo dentro de contextos culturales específicos..." (León, 2010). Comúnmente al agroecosistema se conoce como finca

ecosistemas (Tscharrntke et al., 2005), lo que ha contribuido con cambios ambientales a nivel global (Erisman et al., 2016; Tilman, 2001).

Los efectos de la intensificación de la agricultura sobre los organismos se pueden analizar desde dos perspectivas, la escala del paisaje local y la escala del paisaje amplio (Tscharrntke et al., 2005). La escala del paisaje local hace referencia a todas aquellas prácticas que implementan los agricultores y que modifican el agroecosistema haciéndolo único, como la aplicación de agroquímicos, la rotación de cultivos, manejo de plantas genéticamente modificadas, diversidad de cultivos en el agroecosistema, entre otras. La escala de paisaje amplio hace referencia a las características de un área amplia que cambian y que son causa del conjunto o suma de manejos en el conjunto de agroecosistemas que constituyen ese paisaje (Tscharrntke et al., 2005).

Son numerosas las investigaciones que se han realizado para evaluar los impactos del paisaje a diferentes escalas sobre la diversidad (Dale, Kline, Kaffka, & Langeveld, 2013; Pouta, Grammatikopoulou, Hurme, Soini, & Uusitalo, 2014; Sayer et al., 2013). Las abejas son uno de los grupos funcionales³ mayormente estudiados en esta materia, debido a que son los principales polinizadores de las angiospermas y por su potencial como indicadores ambientales (Amaya-Márquez, 2016; Reyes-Novelo, Meléndez Ramírez, Delfín González, & Ayala, 2009). Por ejemplo, varias investigaciones han enfocado el estudio de las abejas y sus impactos desde la escala local (agroecosistema) (Kendra, 2017; Maguire, Bennett, & Buddle, 2016; Smith Pardo & González, 2007), hasta la escala amplia (regiones) (Kennedy et al., 2013; Senapathi, Goddard, Kunin, & Baldock, 2017), donde las abejas se han visto beneficiadas por actividades menos intensivas en los agroecosistemas, alta diversidad vegetal y conexión de los agroecosistemas con ecosistemas naturales.

No obstante, existen pocos estudios para el trópico que determinen la influencia de factores a diferentes escalas de paisaje con la diversidad de abejas, y ninguno sobre agroecosistemas de frutales caducifolios. Por lo tanto, en este trabajo se quiso determinar

³ Un grupo funcional comprende todos los elementos que proporcionan el mismo servicio agroecosistémico (Bärberi, 2015) y estos elementos presentan una identidad funcional, es decir, un conjunto de rasgos fenotípicos que están relacionados con el servicio ecosistémico que prestan (Moonen & Bärberi, 2008). Ejemplo de lo anterior son las abejas silvestres y el servicio ecosistémico de la polinización.

las relaciones entre algunas variables del paisaje local y amplio del modelo de producción de frutales caducifolios en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá) como la diversidad vegetal del agroecosistema, aplicación de agroquímicos, coberturas del paisaje y distancia al bosque, sobre la diversidad de abejas silvestres como grupo indicador dentro de los visitantes florales (Kevan, 1999; Reyes-Novelo et al., 2009).

3.2 Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo de campo se desarrolló en seis agroecosistemas de frutales caducifolios del municipio de Nuevo Colón, departamento de Boyacá, El Encenillo ($5^{\circ}20'25.14''N$, $73^{\circ}26'28.13''W$), El Rosal ($5^{\circ}20'25.39''N$, $73^{\circ}27'22.66''W$), El Recuerdo ($5^{\circ}20'33.41''N$, $73^{\circ}27'6.66''W$), El Cerezo ($5^{\circ}20'29.55''N$, $73^{\circ}26'48.99''W$), El Retiro ($5^{\circ}20'35.26''N$, $73^{\circ}26'44.08''W$) y El Carmen ($5^{\circ}20'30.02''N$, $73^{\circ}26'32.00''W$) (Figura 14).

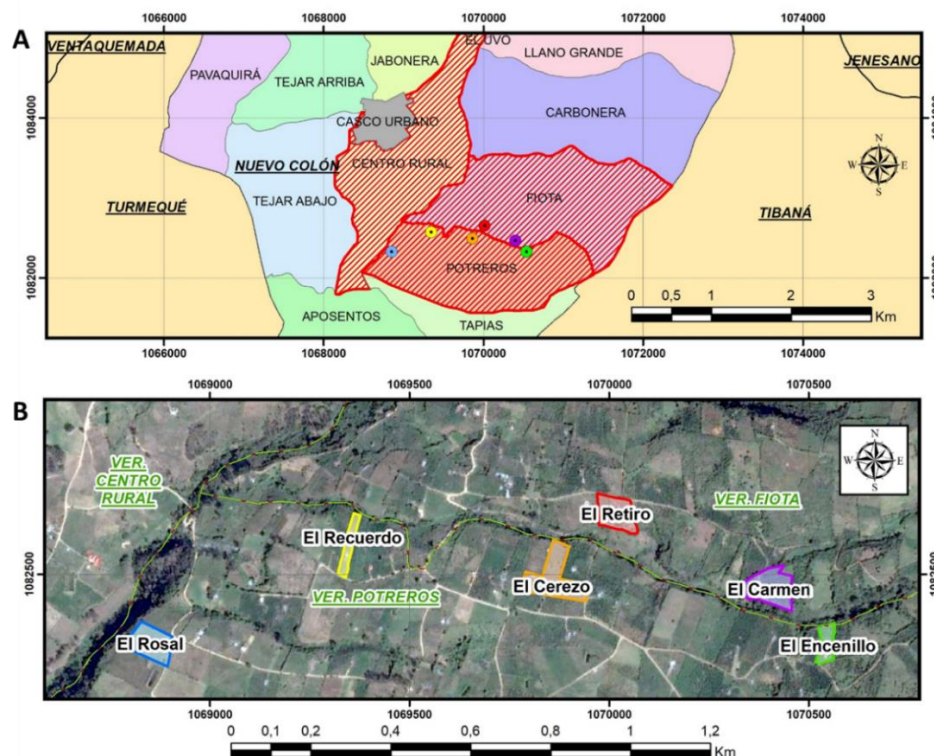


Figura 14. Mapa con la localización del paisaje estudiado en el municipio de Nuevo Colón, Boyacá, Colombia. A. Veredas de influencia del estudio, B. Agroecosistemas seleccionados.

3.2.1 Caracterización del paisaje agrícola

Los agroecosistemas seleccionados se caracterizaron teniendo en cuenta variables del paisaje local y variables del paisaje amplio, las cuales han sido descritas como los principales moderadores de la biodiversidad en sistemas agrícolas (Kennedy et al., 2013).

Variables de paisaje local

Las variables de paisaje local estuvieron relacionadas con dos actividades de intensificación agrícola en cada agroecosistema: diversidad vegetal y manejo agroquímico.

- a. **Diversidad vegetal.** Se estimó la riqueza y abundancia de las plantas cultivadas, arvenses y silvestres. Las plantas arvenses y silvestres se diferenciaron de acuerdo al manejo dado por los agricultores, es decir, plantas que los agricultores consideraron “plaga” y que fueron objeto de manejo se denominaron “arvenses” y las plantas “no plaga” ubicadas generalmente al borde del agroecosistema se denominaron como “silvestres”. En plantas arvenses se determinó además el porcentaje de cobertura de cada especie vegetal, en el área de muestreo.

Las plantas se clasificaron de acuerdo con lo reportado por Álvarez et al. (2004): porte rasante: <0.3 m; herbáceo: 0,3 m a 1,5 m; arbustivo: 1,5 a 5 m; subarbóreo: 5 a 12 m; arbóreo inferior: 12 a 25 m; arbóreo superior: 25 a 28 m de altura. El muestreo dependió del tipo de planta como se explica a continuación:

Cultivos: se determinó la cantidad de especies, cultivares y variedades de cultivos caducifolios y cultivos asociados, mediante encuestas a los agricultores, verificación en campo y toma de fotografías por medio de un Dron DJI Mavic Pro. Se determinaron como cultivos asociados aquellos cultivos, no caducifolios, que se encontraron en producción durante el estudio en el agroecosistema de frutales caducifolios.

Arvenses: se realizó teniendo en cuenta la metodología BBIRD (Martin et al., 1997), con modificaciones, debido a que se realizó en el 1% del área del agroecosistema mediante cuadrantes de 1m x 1m. Se recolectaron muestras vegetales de cada especie de planta para su identificación taxonómica.

Silvestres: se realizó teniendo en cuenta la metodología BBIRD (Martin et al., 1997) con modificaciones, en el 10% de los bordes de cada agroecosistema, mediante cuadrantes de 1m x 1m seleccionados de forma aleatoria. Se recolectaron muestras vegetales de cada especie de planta para su identificación taxonómica.

La identificación de plantas arvenses y silvestres se realizó con la colaboración de los agricultores, guías taxonómicas (Fuentes et al., 2011; A. Gómez & Rivera, 1995), el diccionario de nombres comunes (Bernal et al., 2017) y la colección en línea del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia (ICN, 2018). En los casos en que fue necesario, se empleó el servicio de determinación taxonómica del Instituto de Ciencias Naturales ICN, en la Universidad Nacional de Colombia.

- b. Manejo agroquímico.** En este estudio se consideró manejo agroquímico a la aplicación, por parte de los agricultores, de moléculas de síntesis química industrial para la programación de cosecha, fertilización y manejo de arvenses, microorganismos y artrópodos plaga. En las condiciones del trópico los cultivos caducifolios pueden presentar hasta dos cosechas al año y una floración homogénea mediante la aplicación de Cianamida hidrogenada, comúnmente denominado “programador de cosecha”, que actúa como un compensador de frío (Fischer, 2013). Se consideró que esta es una práctica de intensificación agrícola debido a que la Cianamida hidrogenada tiene efecto altamente tóxico en abejas y otros animales (según la ficha técnica del producto).

A través de una encuesta al propietario de cada agroecosistema y verificación en campo, se determinó el tipo de manejo para arvenses, microorganismos y artrópodos plaga, fertilización y aplicación de programador de cosecha. Con los datos recolectados se aplicaron índices de prácticas de manejo y programación de cosecha, basados en una de las variables de la Estructura Agroecológica Principal (EAP) propuesta por León (2012). Los agroecosistemas recibieron una valoración de uno a 100. Se asignó valor de uno a los agroecosistemas con un manejo completamente convencional (mayor intensificación agrícola) y 100, a los agroecosistemas con un manejo completamente ecológico (menor intensificación agrícola) (Tabla 11, Tabla 12). El rango de valores dentro de una misma categoría dependió de la frecuencia de aplicación de la práctica de manejo o programador de cosecha.

Tabla 11. Índice de prácticas de manejo en agroecosistemas de frutales caducifolios. Modificado de León (2012)

Descripción	Calificación	Observaciones
Prácticas de manejo ecológicas	71-100	Los agricultores utilizan prácticas ecológicas en los agroecosistemas para el manejo fitosanitario y fertilización.
Prácticas de manejo en proceso de reconversión ecológica	41-70	El agroecosistema se encuentra total o parcialmente en procesos de reconversión ecológica. Realiza solo una de tres prácticas de manejo convencional: manejo de arvenses, manejo de microorganismos y artrópodos plaga o fertilización.
Prácticas de manejo medianamente convencionales	21-40	En el agroecosistema se realiza dos de tres prácticas de manejo convencionales: manejo de arvenses, manejo de microorganismos y artrópodos plaga o fertilización.
Prácticas de manejo convencionales	1-20	En el agroecosistema se utilizan prácticas convencionales para manejo de arvenses, manejo de microorganismos y artrópodos plaga, y fertilización

Tabla 12. Índice de programación de la cosecha en agroecosistemas de frutales caducifolios.

Descripción	Calificación	Observaciones
Sin programación o programación ecológica	61-100	Los agricultores no programan la cosecha con Cianamida hidrogenada, floración inducida únicamente por las condiciones ambientales del lugar o métodos completamente ecológicos.
Programación de la cosecha con aplicación de Cianamida hidrogenada una vez por año	31-60	Los agricultores rompen el estado de reposo de una sola especie de frutal caducifolio, una vez por año, mediante la aplicación de Cianamida hidrogenada
Programación de la cosecha con aplicación de Cianamida hidrogenada más de una vez por año	1-30	Los agricultores rompen el estado de reposo de uno o varios frutales caducifolios con Cianamida hidrogenada al menos dos veces al año.

Variables de paisaje amplio

Las variables de paisaje amplio estuvieron relacionadas con las características del paisaje circundante en los agroecosistemas y distancia al bosque.

- a. **Tipos de coberturas.** A través de las herramientas de sistemas de Información Geográfica (programas ArcGIS 10.4 y Google Earth Pro 7.3.2.5491), se determinó el tipo y área de las coberturas en 400 m a partir del centroide de cada agroecosistema, para un total de 502.653 m² evaluados por agroecosistema. Las coberturas se

detallaron de acuerdo a diferentes áreas de análisis: coberturas en el área del agroecosistema y a 50 m, 100 m, 200 m y 400 m alrededor de cada agroecosistema. La escala de análisis para este estudio fue de 1:1000 m., y la unidad mínima cartografiable fue de 11 m. Las coberturas vegetales se diferenciaron de acuerdo a la metodología de coberturas Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010) con modificaciones, debido a que se agregaron los siguientes tipos de cobertura: 2.2.3.5. Cultivos caducifolios, 2.1.1.1. Curubal y 2.1.3.6. Arveja. La verificación de cada tipo de cobertura se realizó en campo con verificación personal y con la ayuda de un Dron DJI Mavic Pro, a 50-200 m de altura.

Se seleccionó un área de análisis no mayor a 400 m, debido a las variaciones en la topografía, suelos, vegetación y condiciones ambientales en la zona a pocas distancias, lo cual caracteriza a los ecosistemas de los Andes colombianos (Rodríguez, Armenteras, Morales, & Romero, 2006).

- b. Distancia al bosque.** De acuerdo a la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010), en el área de estudio se identificaron dos tipos principales de ecosistemas de bosques: bosques de galería o riparios (vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales), y bosques densos (área de cobertura arbórea > 70%). Se midió la distancia euclidiana desde el borde de cada agroecosistema, hasta el borde del bosque de galería y bosque denso más cercano, a través de los programas ArcGIS 10.4 y Google Earth Pro 7.3.2.5491.

3.2.2 Muestreo de abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) como visitantes florales en el paisaje agrícola de Nuevo Colón, Boyacá

El muestreo consistió en la observación y recolección de abejas en flores de plantas cultivadas, arvenses, y silvestres de cada agroecosistema, una vez por mes entre noviembre de 2016 y octubre de 2017. Las observaciones se realizaron, en la medida de lo posible, durante condiciones ambientales óptimas para la actividad de abejas, como velocidad del viento inferior a 15 km y sin precipitación (Vaissière, Freitas, & Gemmill-Herren (2011). La recolección de abejas se realizó a través de red entomológica o un recipiente plástico con tapa de malla metálica de 8 cm de alto y 8 cm de diámetro.

Muestreo en frutales caducifolios. Se seleccionaron cinco arboles florecidos por especie, en cada árbol se seleccionaron dos ramas del tercio bajo y se realizaron observaciones de abejas durante cinco minutos.

Muestreo en cultivos asociados. Se realizó en cinco plantas florecidas por especie vegetal, no caducifolia, durante cinco minutos y si los cultivos presentaron porte arbóreo, se desarrolló la misma metodología para frutales caducifolios.

Muestreo en arvenses. El muestreo se realizó en tres parcelas de 2m² ubicadas al borde, intermedio y centro de los agroecosistemas, durante 10 minutos.

Muestreo en plantas silvestres. Se trazaron dos transectos de 10 m x 2 m y se muestrearon cinco plantas por especie durante cinco minutos (árboles de la misma forma que en caducifolios, enredaderas en un área de cobertura de 1m²).

Las abejas recolectadas se trasladaron al Laboratorio de Investigaciones en Abejas Silvestres LABUN de la Universidad Nacional de Colombia, se montaron en alfiler entomológico y fueron identificados con base en caracteres morfológicos, mediante el empleo de claves taxonómicas (González et al., 2005; Michener, 2000; Nates-Parra, 2006; Silveira, Melo, & Almeida, 2002).

3.2.3 Análisis datos

Para determinar la relación entre las variables de paisaje local y la diversidad de abejas se realizaron análisis de correlación de Spearman (r_s) entre la riqueza de abejas y riqueza del total de plantas cultivadas, arvenses y silvestres. Se correlacionó la diversidad de abejas con los resultados de los índices de manejo de plagas y programación de los cultivos.

Para determinar la relación entre variables de manejo a escala de paisaje amplio y la diversidad de abejas silvestres, se determinó el índice de Shannon (H) de las coberturas en cada área de análisis mediante el programa Past v 3.22 (Hammer, Harper, & Ryan, 2001), y se correlacionó con la riqueza de abejas. Además, se seleccionaron las coberturas de mayor área en los diferentes radios de estudio y se determinaron las coberturas que más se correlacionaron con la diversidad de abejas. Finalmente, se correlacionó la distancia al bosque denso más cercano con la riqueza de abejas. Todos los análisis de correlación se realizaron con el coeficiente r_s de Spearman, en el programa R versión 3.4.3.

Se excluyó de los análisis a la abeja *A. mellifera*, debido a que es una abeja introducida a América altamente exitosa en ecosistemas intervenidos (Weber, 2012).

3.3 Resultados

3.3.1 Caracterización del paisaje agrícola

Diversidad vegetal

Las plantas cultivadas en los agroecosistemas de frutales caducifolios fueron principalmente especies de ciruelo, peral, manzano, durazno y otros cultivos asociados. El cultivo dominante fue el ciruelo con 2021 árboles y el peral con 1230 árboles (Tabla 13). El agroecosistema “El Cerezo” presentó la mayor riqueza y abundancia de cultivos asociados con 13 especies y “El Rosal” presentó la menor riqueza de especies asociadas con 6. El agroecosistema “El Cerezo” presentó el mayor número de plantas sembradas de frutales caducifolios con 1240 árboles y el agroecosistema “El Encenillo” presentó la menor abundancia con 199 árboles (Tabla 13).

Tabla 13. Riqueza y abundancia de plantas cultivadas en agroecosistemas de frutales caducifolios de Nuevo Colón, Boyacá, Colombia.

Cultivo	El Encenillo	El Cerezo	El Recuerdo	El Rosal	El Retiro	El Carmen
Ciruelo (<i>Prunus salicina</i>)	106	710	400	450	300	55
Peral (<i>Pyrus cummunis</i>)	60	400	40	0	280	450
Manzano (<i>Malus domestica</i>)	23	50	5	30	50	15
Durazno (<i>Prunus persica</i>)	10	80	4	10	65	12
Feijoa (<i>Acca sellowiana</i>)	15	50	5	50	0	0
Tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>)	6	50	0	0	0	0
Curuba (<i>Passiflora tarminiana</i>)	0	10	0	0	30	15
Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	0	6	60	0	130	0
Calabaza (<i>Cucurbita</i> sp. 1)	0	6	0	0	0	0
Ahuyama (<i>Cucurbita maxima</i>)	0	20	0	36	30	10
Haba (<i>Vicia faba</i>)	0	60	0	0	80	0
Arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)	0	40	0	0	0	50
Lulo (<i>S. quitoense</i>)	0	10	0	0	0	0
Tomate de mesa (<i>S. lycopersicum</i>)	0	0	60	0	0	0
Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>)	0	0	80	0	0	0
Pepino (<i>Cyclanthera pedata</i>)	0	0	5	0	0	0
Balú (<i>Erythrina edulis</i>)	0	0	0	2	0	0
Maiz (<i>Zea mays</i>)	0	0	0	0	130	0
Papa (<i>Solanum</i> spp.)	0	0	0	0	0	80

Uchuva (<i>Physalis peruviana</i>)	0	0	0	0	0	10
Mora (<i>Rubus</i> sp. 1)	3	0	0	0	0	4
Papayuela (<i>Vasconcellea pubescens</i>)	4	0	2	0	0	0
Yacón (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	5	0	0	0	0	0

Se encontraron 38 especies arvenses angiospermas de porte rasante o herbáceo en los agroecosistemas de frutales caducifolios. Cada agroecosistema presentó un promedio de 17 especies de plantas arvenses. Las especies *Polygonum nepalense* Meisn (Polygonaceae), *Veronica persica* Poir (Plantaginaceae), *Oxalis corniculata* L. (Oxalidaceae) y *T. repens* (Fabaceae), fueron las más abundantes. Las especies *P. nepalense* (Polygonaceae), *V. persica* (Plantaginaceae) y *B. pillosa* (Asteraceae), presentaron el mayor porcentaje de cobertura promedio y también fueron las especies que estuvieron presentes en la mayoría de los agroecosistemas. Las especies que presentaron menor abundancia y que estuvieron en solo uno de los agroecosistemas fueron *A. meridionalis* (Scrophulariaceae), *Cuphea* sp.1, *Cuphea* sp. 2 (Lythraceae), *Medicago polymorpha* L. (Fabaceae), *Polygonum segetum* Kunth (Polygonaceae), y *Senecio vulgaris* L (Asteraceae). El agroecosistema “El Cerezo” presentó la mayor riqueza en especies de plantas arvenses (Tabla 14).

Tabla 14. Abundancia y cobertura de las arvenses encontradas en seis agroecosistemas de frutales caducifolios de Nuevo Colón, Boyacá. Porte: H: Herbáceo, R: Rasante. C: Cobertura promedio por cuadrante, A: Abundancia

Arvense	Porte	El Carmen		El cerezo		El Encenillo		El Retiro		El Recuerdo		El Rosal	
		C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A
<i>Alonsoa meridionalis</i>	H	0	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0
<i>Amaranthus hybridus</i>	H	0	0	0	0	0	0	1	7	17	70	0	0
<i>Amaranthus</i> sp. 1	H	0	0	6	63	11	5	2	11	8	78	16	173
<i>Anagallis arvensis</i>	H	2	9	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Apiaceae</i> sp. 1	R	4	37	0	0	4	452	5	500	0	0	0	0
<i>Bidens pillosa</i>	H	20	555	8	90	5	96	5	137	0	0	9	37
<i>Brassica campestris</i>	H	0	0	6	76	0	0	0	0	3	19	10	103
<i>Brassicaceae</i> sp. 1	H	0	0	0	0	0	0	5	51	0	0	0	0
<i>Calceolaria</i> sp. 1	H	9	60	5	20	0	0	2	15	1	2	5	14
<i>Conyza bonariensis</i>	H	0	0	0	0	1	3	5	21	4	10	0	0
<i>Cuphea</i> sp. 1	H	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
<i>Cuphea</i> sp. 2	H	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Fuertesimalva limensis</i>	H	0	0	14	113	0	0	0	0	2	3	7	106
<i>Galinsoga ciliata</i>	H	0	0	9	103	0	0	4	17	0	0	14	195
<i>Hypochaeris radicata</i>	H	5	18	0	0	0	0	21	423	0	0	0	0
<i>Ipomoea</i> sp. 1	H	9	13	0	0	2	1	0	0	1	2	2	2

<i>Malva silvestris</i>	H	0	0	0	0	0	0	0	0	17	178	0	0
<i>Medicago polymorpha</i>	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	68
<i>Oxalis corniculata</i>	R	8	235	9	728	2	21	2	16	0	0	2	13
<i>Plantago major</i>	H	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10	0	0
<i>Polygonum nepalense</i>	R	16	1341	11	321	50	2933	16	677	9	62	0	0
<i>Polygonum segetum</i>	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11
<i>Raphanus raphanistrum</i>	H	0	0	1	5	15	13	2	6	0	0	2	5
<i>Gladiolus sp. 1</i>	H	2	3	0	0	4	10	0	0	0	0	0	0
<i>Senecio vulgaris</i>	H	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Sonchus asper</i>	H	0	0	0	0	0	0	0	0	4	16	0	0
<i>Sonchus oleraceus</i>	H	0	0	2	6	0	0	0	0	2	2	2	7
<i>Taraxacum officinale</i>	H	2	19	7	29	15	134	1	14	0	0	0	0
<i>Thunbergia alata</i>	H	4	5	2	2	0	0	2	6	0	0	0	0
<i>Tinantia erecta</i>	H	4	15	4	21	1	2	2	31	0	0	10	28
<i>Trifolium pratense</i>	H	1	5	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Trifolium repens</i>	H	8	80	12	399	6	14	5	173	5	130	0	0
<i>Urtica sp. 1</i>	H	0	0	0	0	0	0	0	0	5	36	0	0
<i>Vasquezia anemonifolia</i>	H	2	12	3	18	2	5	2	13	0	0	0	0
<i>Verbascum virgatum</i>	H	0	0	1	3	0	0	2	4	0	0	0	0
<i>Verbena litoralis</i>	H	0	0	6	19	0	0	2	13	0	0	8	5
<i>Veronica peregrina</i>	R	0	0	0	0	0	0	0	0	10	54	0	0
<i>Veronica persica</i>	R	4	121	11	594	0	0	19	729	26	1694	15	245

Los bordes de los agroecosistemas estuvieron representados por 111 especies de plantas silvestres de porte arbóreo inferior, arbóreo superior, subarbóreo, arbustivo, herbácea y rasante (Tabla 15). Las especies de porte arbustivo más abundantes fueron *Lafoensia acuminata* (Lythraceae) y *Rubus sp. 1* (Rosaceae), las especies de porte arbóreo o subarbóreo más abundantes fueron *Miconia sp. 1* (Melastomataceae), *Viburnum sp. 1* (Adoxaceae), *Myrsine guianensis* (Myrsinaceae) y *Eucaliptus sp. 1* (Myrtaceae). Las principales plantas de porte herbácea o rasante de los bordes de los agroecosistemas fueron *P. nepalense* (Polygonaceae) y *Kalanchoe sp. 1* (Crassulaceae).

El agroecosistema “El Carmen” presentó el mayor número de especies arbustivas y arbóreas (26 especies) y los agroecosistemas “El Carmen” y “El Retiro”, presentaron la mayor diversidad de plantas herbáceas con 25 especies cada una (Tabla 15).

Tabla 15. Riqueza de especies silvestres de borde en cada uno de los agroecosistemas estudiados.

Porte	Tamaño	Número de especies vegetales por agroecosistema					
		El Carmen	El Cerezo	El Encenillo	El Retiro	El Recuerdo	El Rosal
Rasante	<0.3 m	1	1	1	1	1	1
Herbácea	1,5 m	28	23	21	25	3	22
Arbustivo	1,5 a 5 m	19	8	10	10	0	8
Sub-arbóreo	5 a 12 m	12	4	5	9	0	0
Arbóreo inferior	12 a 25 m	4	0	0	1	1	3

Arbóreo superior 25 a 28 m	2	0	0	0	0	1
----------------------------	---	---	---	---	---	---

Manejo agroquímico

De acuerdo a la metodología de León (2010) modificada, se encontró que los agroecosistemas “El Cerezo” y “El Rosal” presentaron valores bajos en los índices de manejo y programación de cosecha, lo cual corresponde a alta intensificación agrícola (Tabla 16). Esto significa que, estos agroecosistemas manejan prácticas agronómicas convencionales con mayor frecuencia en el uso de productos agroquímicos de síntesis industrial para el manejo fitosanitario, fertilización y programación de la cosecha de los frutales caducifolios. En contraste, El agroecosistema “El Encenillo” presentó valores altos debido a que en este agroecosistema no se realizó manejo químico de arvenses y no se realizó aplicación de compensadores de frío (Tabla 16).

Tabla 16. Indicadores de la Estructura Agroecológica Principal (EAP) (valores bajos indican mayor intensificación).

Indicador	El Carmen	El Cerezo	El Encenillo	El Retiro	El Recuerdo	El Rosal
Prácticas de manejo	18	4	41	21	2	7
Programación del frutal	80	3	90	50	10	5

Tipos de coberturas

Las coberturas del paisaje agrícola en la mayor área de análisis fueron cultivos caducifolios, arveja, curuba, maíz, papa, mosaico de pastos y cultivos, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales; pastos limpios, pastos arbolados, pastos enmalezados, bosque fragmentado con vegetación secundaria, bosque de galería y ripario, estanques para acuicultura continental, tejido urbano discontinuo, red vial- territorios asociados, y plantación de coníferas. Cultivos caducifolios presentó el mayor porcentaje de cobertura (50%), seguido por pastos limpios (19%), bosque de galería y ripario (10%), pastos enmalezados (5%) y bosque fragmentado con vegetación secundaria (4%) (Tabla 17).

Las coberturas en el área del agroecosistema fueron cultivos caducifolios, tejido urbano discontinuo, red vial y territorios asociados, pastos limpios, pastos arbolados, mosaico de pastos y cultivos; mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, bosque fragmentado con vegetación secundaria, estanques para acuicultura continental y bosque de galería y

ripario. El agroecosistema El recuerdo presentó el menor número de coberturas (4) y la mayor área de cultivos caducifolios (93%), y los agroecosistemas El Carmen, El Rosal y El Encenillo presentaron la mayor área de espacios naturales o seminaturales (Tabla 17, “agro”).

Distancia al bosque

Todos los agroecosistemas limitaron con bosque de galería o ripario, de las quebradas La Laja y Quebrada Grande (Figura 15-13), y presentaron diferentes distancias al bosque denso más cercano “El Picacho”. El agroecosistema El Encenillo presentó la menor distancia al bosque denso con 385 m, seguido de El Carmen (486 m), El Retiro (884 m), El Cerezo (997 m), El Recuerdo (1578 m) y El Rosal (1983 m) (Figura 21)

Tabla 17. Porcentaje de las coberturas por agroecosistema y área de análisis “Agro” indica las coberturas en el área del agroecosistema. 50, 100, 200, 300 y 400 representan el radio en metros del área analizada.

Cobertura	Alberto					Arquimedes					Belen					Jorge					Parmenio					Rafaela				
	Agro	50	100	200	400	Agro	50	100	200	400	Agro	50	100	200	400	Agro	50	100	200	400	Agro	50	100	200	400	Agro	50	100	200	400
2.2.3.5. Cultivos caducifolios	84,4	79,7	47,1	52,8	40,8	90,4	92,0	91,7	76,3	68,9	85,4	87,4	57,7	45,8	36,8	93,7	96,6	74,8	66,9	52,0	85,6	84,6	68,9	65,6	57,8	84,2	90,8	69,7	36,7	43,6
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	2,0	2,3	0,6	0,8	0,5	3,2	4,0	1,6	1,3	1,2	3,9	1,6	0,8	0,7	0,6	6,1	2,8	1,1	0,7	0,8	1,2	1,1	0,8	0,8	0,8	1,4	2,7	0,8	0,5	0,7
1.2.2.1. Red vial y territorios asociados			0,6	2,8	2,9	3,9	3,7	3,1	3,2	3,4	1,5	0,4	2,9	2,8	3,2	0,2	0,6	2,2	2,2	2,8	1,2	3,8	3,5	2,1	2,4	1,5	1,3	2,8	2,4	2,5
2.1.1.1. Curubal					0,4									0,7	1,6															
2.1.2.2. Maíz					0,5					1,3																				0,5
2.1.3.6. Arveja		0,4	6,2	1,6	0,4										0,4				0,9	1,2									0,3	
2.1.5.1. Papa			2,1	1,0	0,2							1,6	1,0	0,2																
2.3.1. Pastos limpios	0,0	0,3	11,2	14,2	21,3	0,0		0,1	3,7	14,1			6,8	12,9	20,4			15,6	12,0	17,9	2,3	0,3	8,3	14,4	12,4			2,5	30,0	28,7
2.3.2. Pastos arbolados				0,1	5,3				2,7	1,8	0,8	3,3	13,1	8,4	6,5			0,5	3,2	1,6										0,9
2.3.3. Pastos enmalezados				9,4	9,5			0,2	2,9	1,1				6,5					1,7				2,0	5,7				4,5	3,0	
2.4.1. Mosaico de cultivos					2,0					0,6					0,9				4,0	2,0					2,0					
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos					1,8					1,2				1,3	0,3			0,3		2,4	4,2	1,2								
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0,2		12,6	4,0	1,0									3,6	1,0															
3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria				1,4	4,0				4,5	3,6	3,4	2,7	3,1	6,6	10,7				1,6	3,1	9,5	10,2	12,4	7,3	3,3			0,6	2,2	
3.1.4. Bosque de galería y ripario	13,4	17,4	19,5	11,9	9,3	2,2		3,1	5,3	2,8	5,1	4,5	14,1	16,3	10,3	0,0		5,5	8,4	16,2		3,6	3,7	8,2	11,4	5,1	22,7	24,9	18,1	
3.1.5.1. Plantación de coníferas										0,0										0,6										0,1
5.1.4.3. Estanques para acuicultura continental					0,0	0,4	0,3	0,1	0,2	0,1								0,2	0,1	0,1					0,1	1,5	0,0	1,5	0,4	0,3

* “Agro” indica las coberturas en el área del agroecosistema. 50, 100, 200, 300 y 400 representan el radio en metros del área analizada.

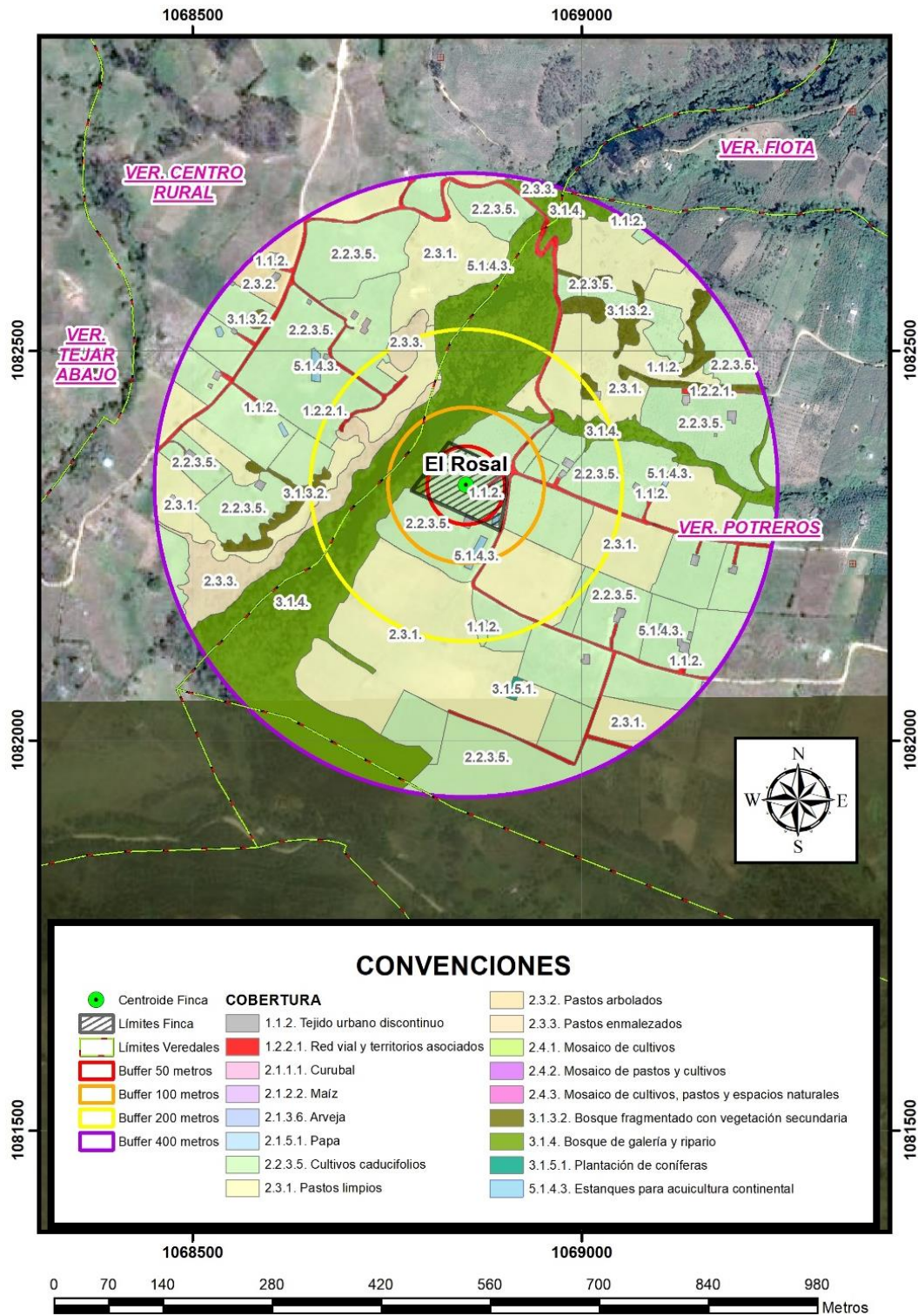


Figura 15. Tipos de cobertura a 50m, 100m, 200m y 400m de radio, desde el centroide del agroecosistema El Rosal

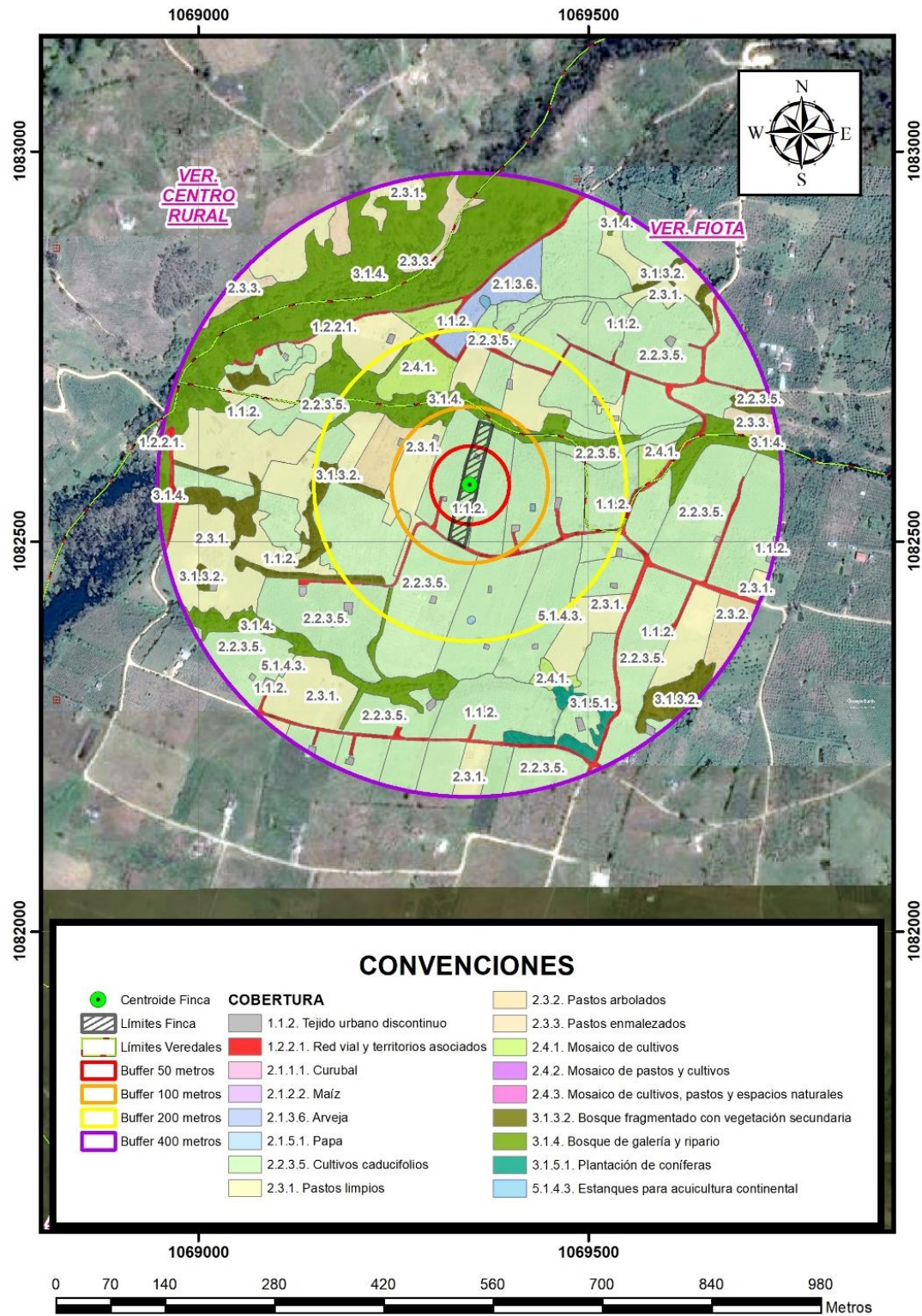


Figura 16. Tipos de cobertura a 50m, 100m, 200m y 400m de radio, desde el centroide del agroecosistema El Recuerdo

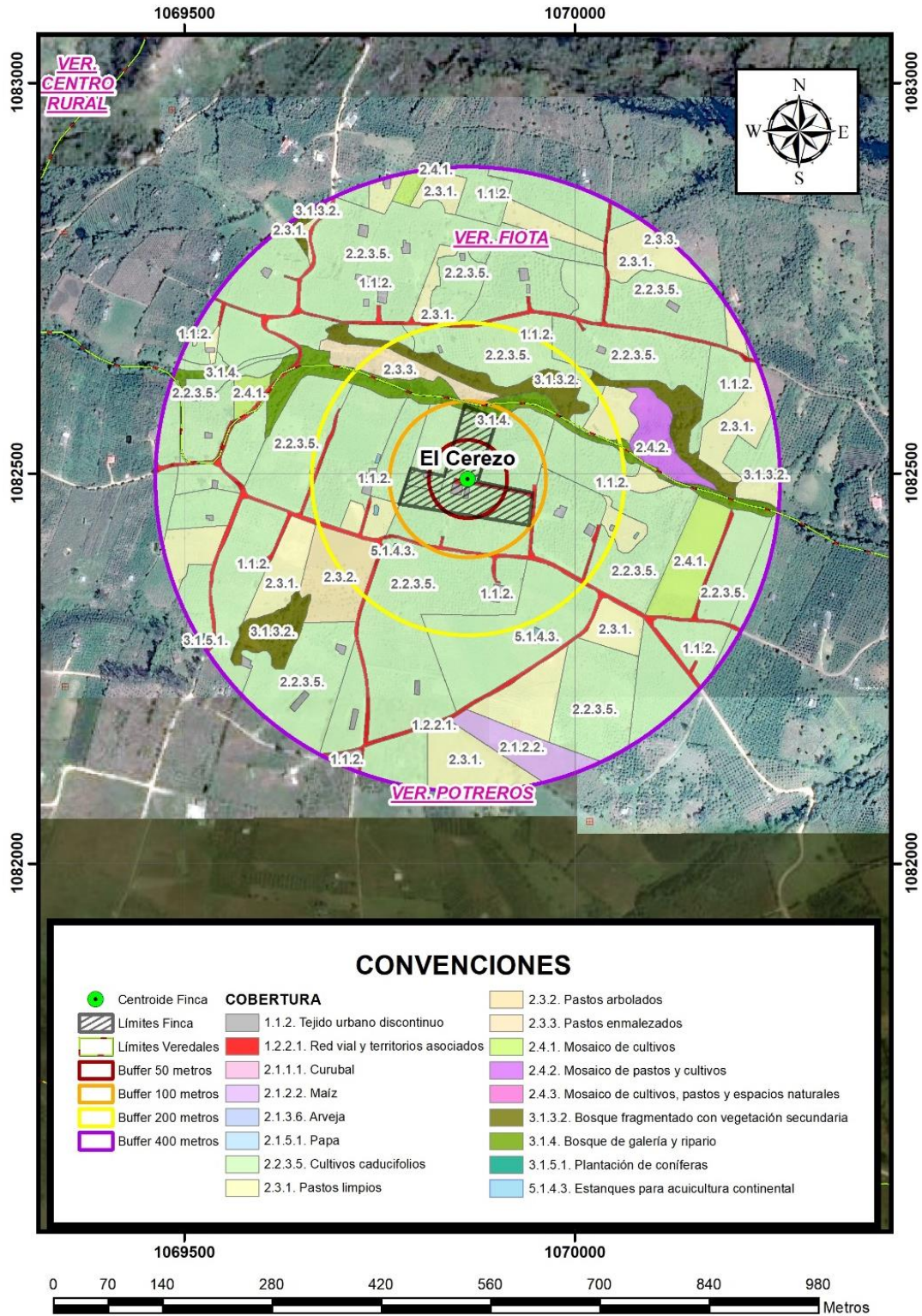


Figura 17. Tipos de cobertura a 50m, 100m, 200m y 400m de radio, desde el centroide del agroecosistema El Cerezo

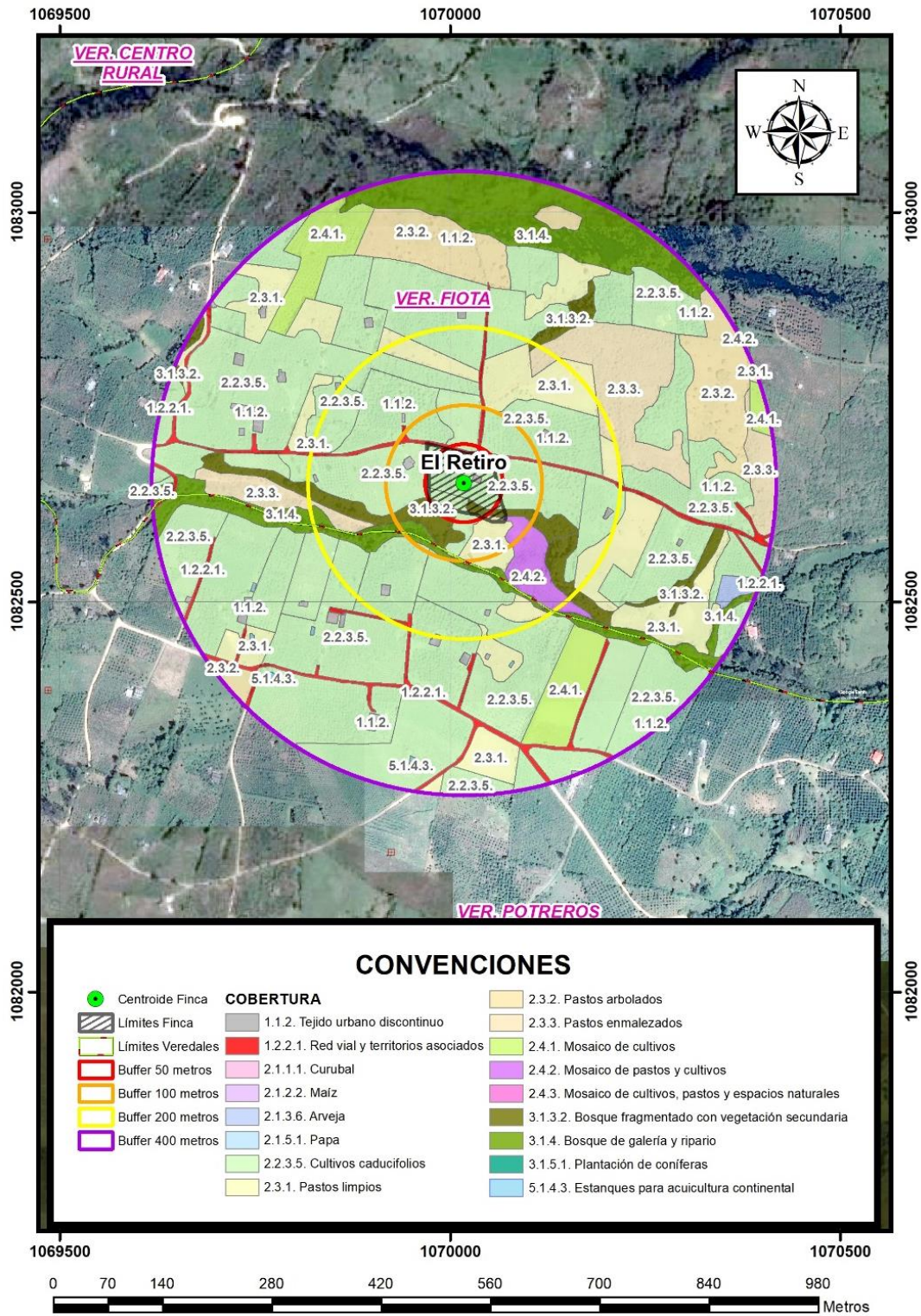


Figura 18. Tipos de cobertura a 50m, 100m, 200m y 400m de radio, desde el centroide del agroecosistema El Retiro

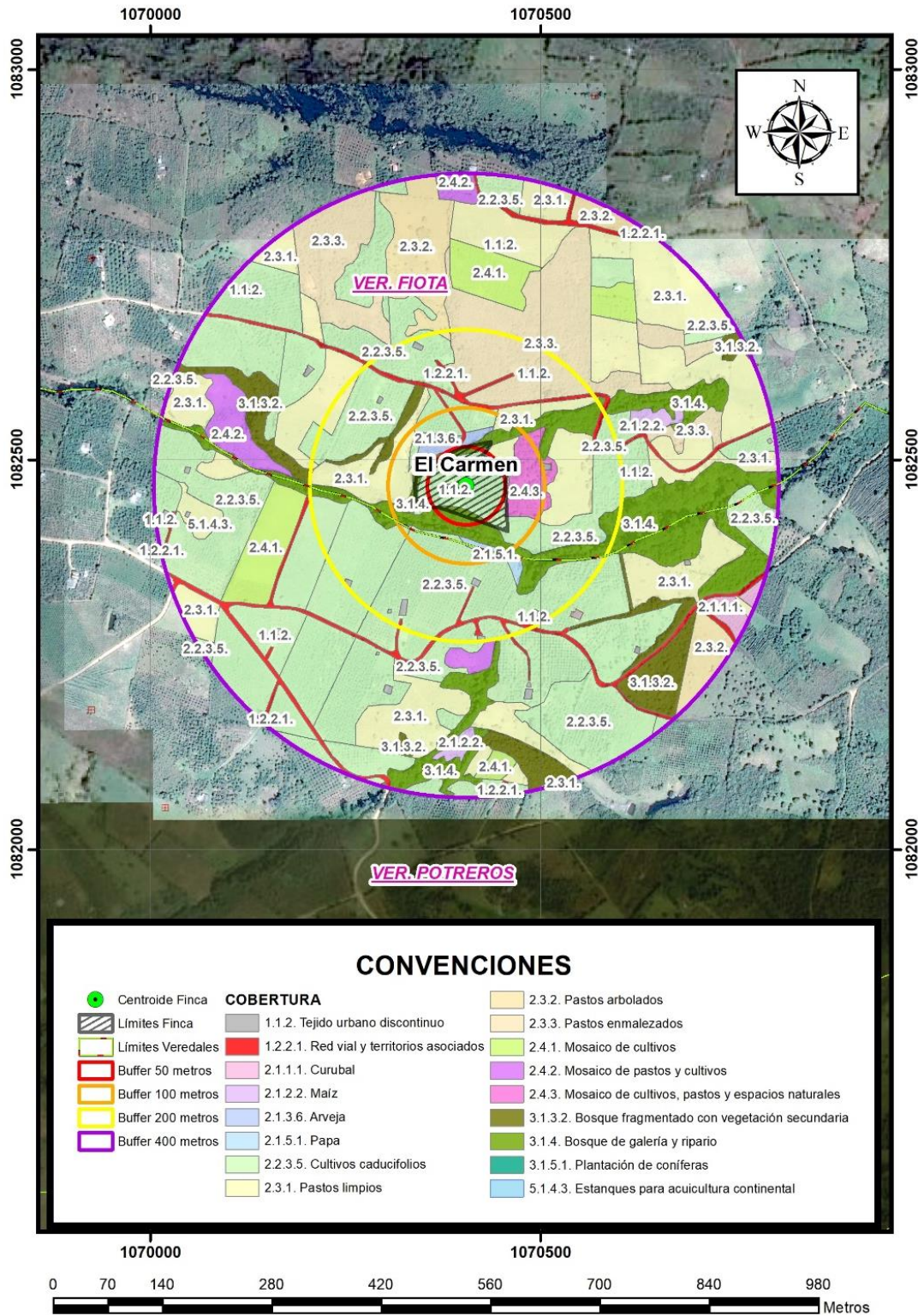


Figura 19. Tipos de cobertura a 50m, 100m, 200m y 400m de radio, desde el centroide del agroecosistema El Carmen

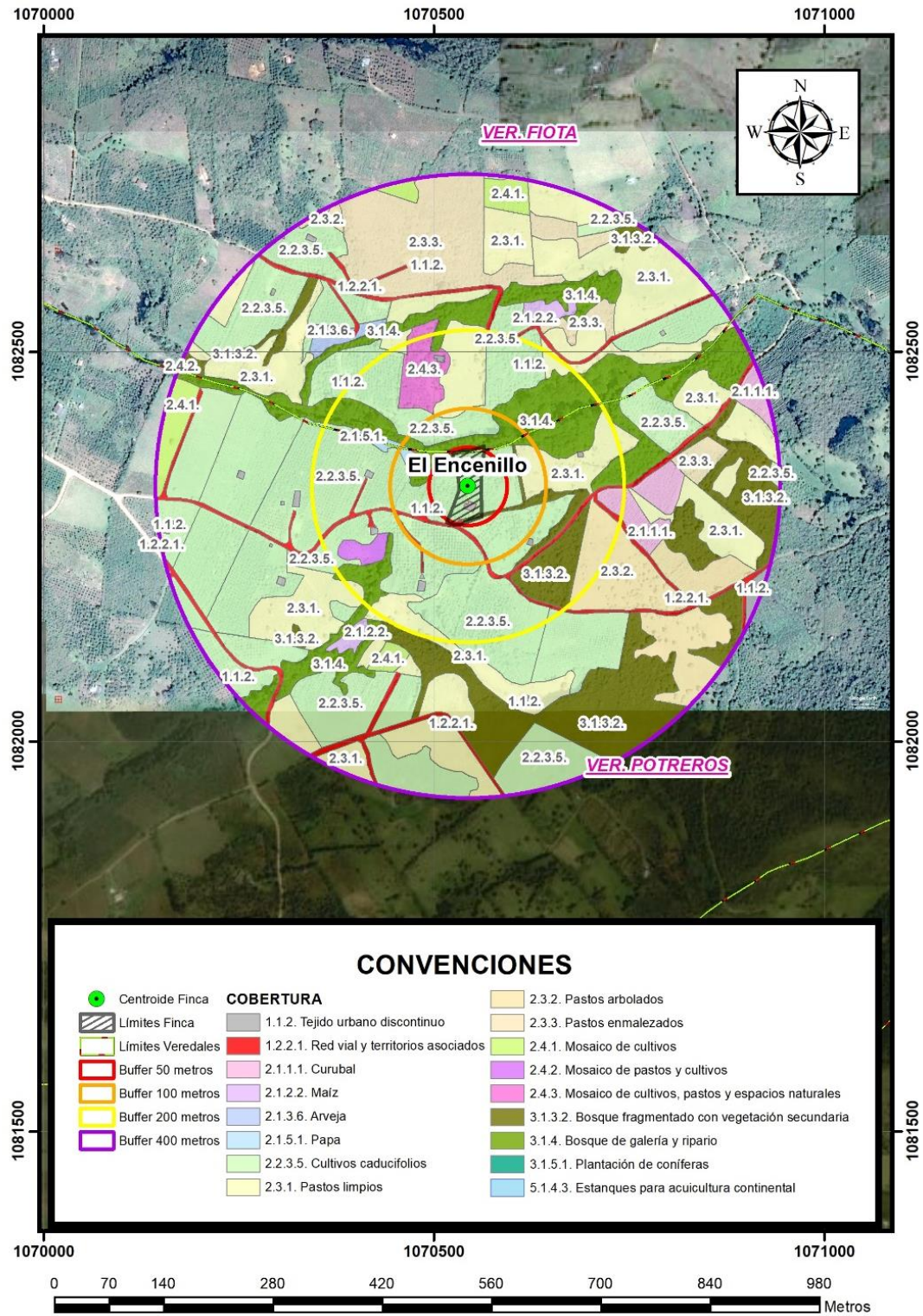


Figura 20. Tipos de cobertura a 50m, 100m, 200m y 400m de radio, desde el centroide del agroecosistema El Encenillo

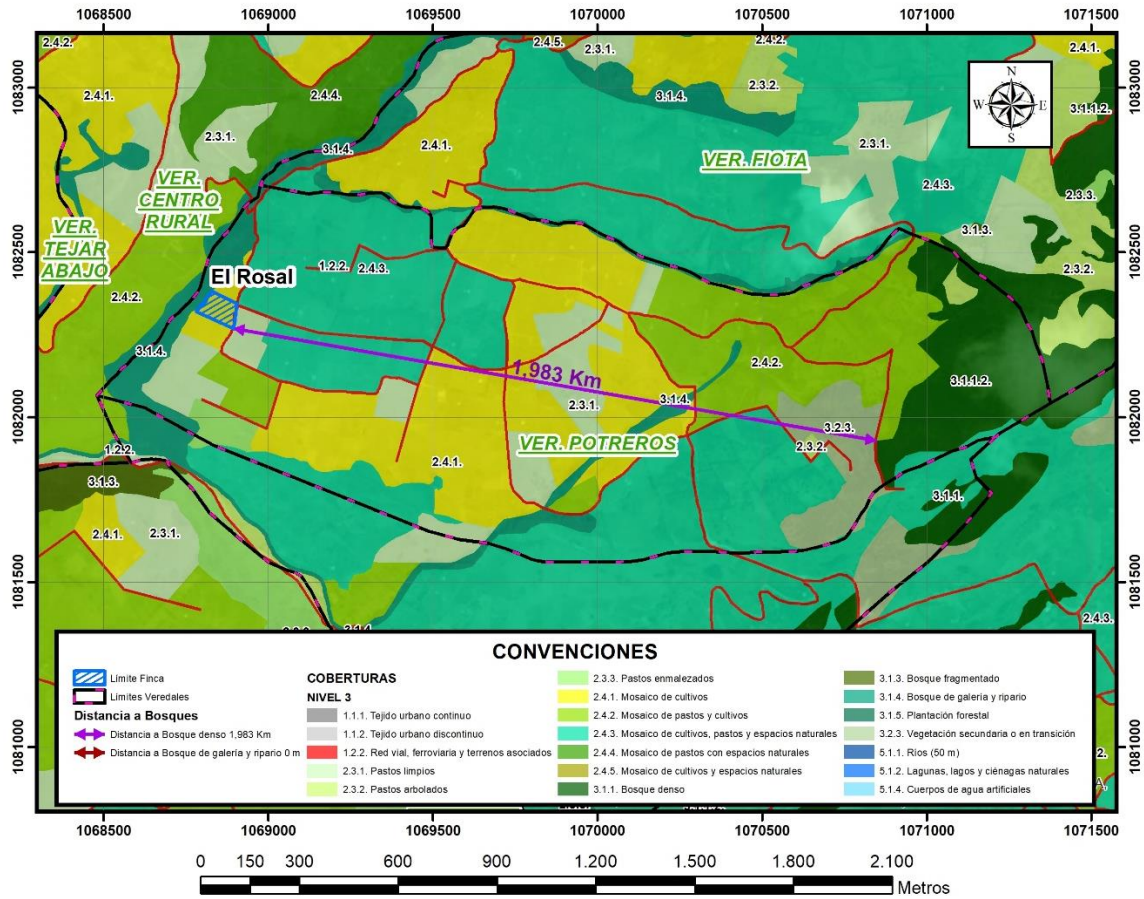


Figura 21. Distancia euclidiana al bosque denso más cercano. Agroecosistema El Rosal.

3.3.2 Abejas silvestres en agroecosistemas de frutales caducifolios

Se encontraron 356 individuos en 25 especies y cuatro familias de abejas Apidae, Halictidae, Colletidae y Megachilidae (Tabla 18, Figura 22). La familia que presentó mayor riqueza de abejas fue Halictidae con 10 morfoespecies, seguido de Colletidae con siete, Apidae con seis y Megachilidae con dos. La familia Apidae fue la más abundante con el 48,5% de los individuos, seguido por la familia Halictidae (46,3%), Colletidae (4%) y Megachilidae (0,6%). La especie de abeja silvestre más abundante fue *B. atratus* con el 34% de todos los individuos.

La mayor abundancia de las abejas estuvo asociada con plantas arvenses (40%), seguido de plantas cultivadas (37%) y silvestres de borde (23%). No obstante, la familia Colletidae,

presentó preferencia por plantas silvestres (50%), y cultivo (43%), y la familia Megachilidae únicamente se asoció a la arvense *B. pillosa*. Las especies con baja abundancia y con requerimientos alimenticios restringidos (especies raras) fueron *Centris (Ptilocentris) festiva*, *Chilicola (Anoediscelis) colombiana*, *Chilicola (Anoediscelis) paranoides*, *Chilicola aequatoriensis*, *Chilicola* sp. 1, *Colletes* sp. 1, *Colletes* sp. 2, *Dinagapostemon* sp. 1, *Dinagapostemon* sp. 2, *Dinagapostemon* sp. 3 e *Hylaeus* sp. 1 y la mayoría de estas abejas fueron solitarias (76%) (Tabla 18).

Tabla 18. Abundancia de abejas encontradas en agroecosistemas de frutales caducifolios. Tipo de planta C: cultivada, A: arvense, S: silvestre.

Familia	Especie	Tipo de planta	Abundancia
Apidae	<i>Bombus atratus</i>	C,A,S	124
	<i>Bombus hortulanus</i>	C,A	4
	<i>Centris (Ptilocentris) festiva</i>	S	2
	<i>Thygater aethiops</i>	C,A,S	32
	<i>Thygater</i> sp.1	A, S	2
	<i>Xylocopa lachnea</i>	C, S	9
Colletidae	<i>Chilicola (Anoediscelis) colombiana</i>	A, C	2
	<i>Chilicola (Anoediscelis) paranoides</i>	A, C	5
	<i>Chilicola aequatoriensis</i>	C	1
	<i>Chilicola</i> sp. 1	C,S	2
	<i>Colletes</i> sp. 1	S	4
	<i>Colletes</i> sp. 2	S	1
	<i>Hylaeus</i> sp. 1	C	1
Halictidae	<i>Augochlora</i> sp. 1	C,A,S	4
	<i>Caenohalictus</i> sp. 1	C,A,S	33
	<i>Caenohalictus</i> sp. 2	C	3
	<i>Dinagapostemon</i> sp. 1	C, S	21
	<i>Dinagapostemon</i> sp. 2	C	1
	<i>Dinagapostemon</i> sp. 3	A	1
	<i>Lasioglossum</i> sp. 1	A, C	48
	<i>Lasioglossum</i> sp. 2	A	1
	<i>Neocorynura</i> sp. 1	C,A,S	52
	<i>Neocorynura</i> sp. 2	C	1
Megachilidae	<i>Megachile (Austromegachile)</i> sp. 1	A	1
	<i>Megachile (Cressoniella)</i> sp. 1	A	1
Total			356

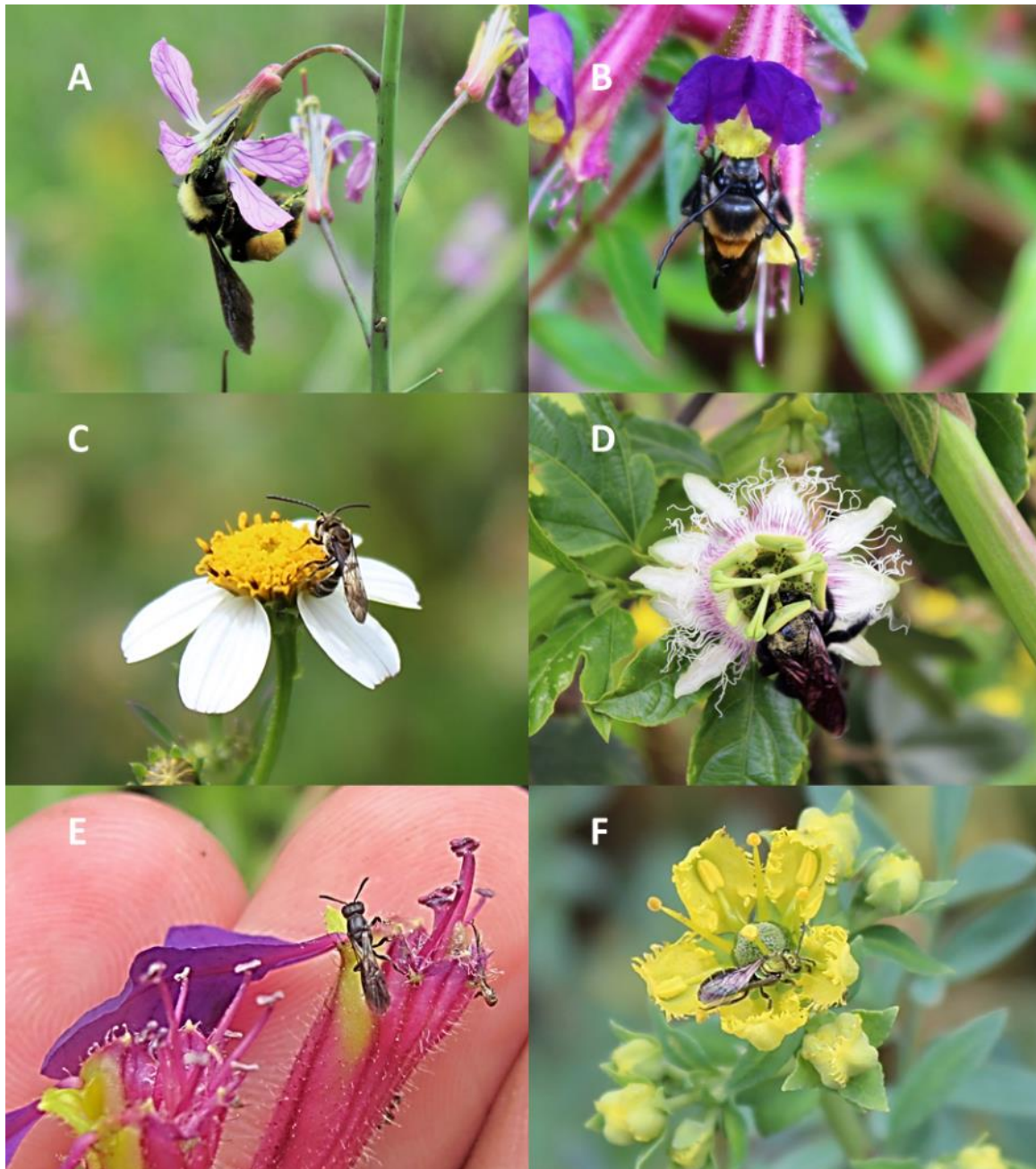


Figura 22. Algunas abejas en agroecosistemas de Nuevo Colón. **A.** *B. atratus* en flor de *Raphanus raphanistrum*. **B.** *Tygather* sp. en flor de *Cuphea* sp. **C.** *Neocorynura* sp. en flor de *Bidens pillosa*. **D.** *Xylocopa* sp. en flor de *Passiflora edulis* f. *edulis*. **E.** *Chilicola* sp. en flor de *Cuphea* sp. **F.** *Caenohalictus* sp. en flor de *Ruta* sp.

3.3.3 Abejas y variables de paisaje local

La riqueza de plantas en el agroecosistema no presentó relación con la riqueza de abejas: abejas y plantas cultivadas ($r_s = -0,128$, $p = 0,80$), abejas y arvenses ($r_s = -0,300$, $p = 0,5$), abejas y silvestres ($r_s = 0,397$, $p = 0,4$). En contraste, la riqueza de abejas en los agroecosistemas se encontró fuertemente relacionada con los índices de prácticas de manejo ($r_s = 0,978$, $p < 0,001$) y programación de la cosecha ($r_s = 0,833$, $p < 0,005$) (Figura 23).

La práctica de manejo más común fue la aplicación de agroquímicos de síntesis química industrial para el manejo de plagas y, aunque en todos los agroecosistemas se aplicaron agroquímicos para manejo de plagas, en algunos hubo mayor frecuencia de aplicación (Figura 23).

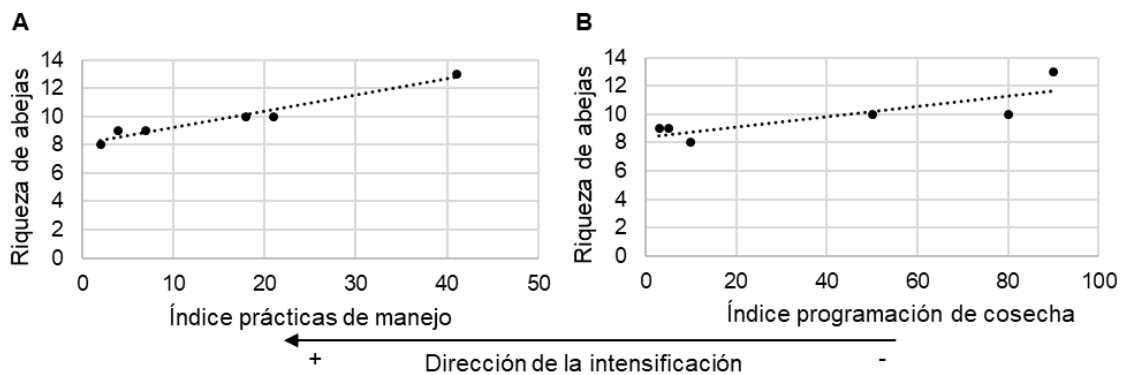


Figura 23. Relación entre variables del paisaje local y la diversidad de abejas silvestres. A. Prácticas de manejo fitosanitario y fertilización, B. Programación de cosecha. Valores altos indican menor intensificación agrícola

3.3.4 Abejas y variables de paisaje amplio

La distancia al bosque denso más cercano no se encontró relacionada con la diversidad de abejas silvestres ($r_s = -0,73$, $p = 0,09$), sin embargo, se observó que a una menor distancia al bosque, mayor riqueza de abejas silvestres (Figura 24). Los agroecosistemas El Encenillo y El Carmen, presentaron la menor distancia al bosque y la mayor riqueza de abejas.

Las especies *B. atratus*, *Caenohalictus* sp. 1, *Augochlora* sp. 1, y *Lasioglossum* sp. 1 presentaron mayor abundancia a menor distancia al bosque, sin embargo, también estuvieron presentes en los agroecosistemas más alejados del bosque denso. Por otro lado, las especies *C. festiva*, *C. paramoides*, *C. aequatoriensis*, *Colletes* sp2., *Dinagapostemon* sp. 1, *D. sp. 2*, *D. sp. 3*, *M. (Austromegachile)* sp. 1, *M. (Cressoniella)* sp. 1, *Neocorynura* sp. 1, *N. sp. 2* y *T. aethiops*, presentaron su mayor abundancia, y en algunos casos fueron exclusivas de los agroecosistemas cercanos al bosque denso (Figura 24 A).

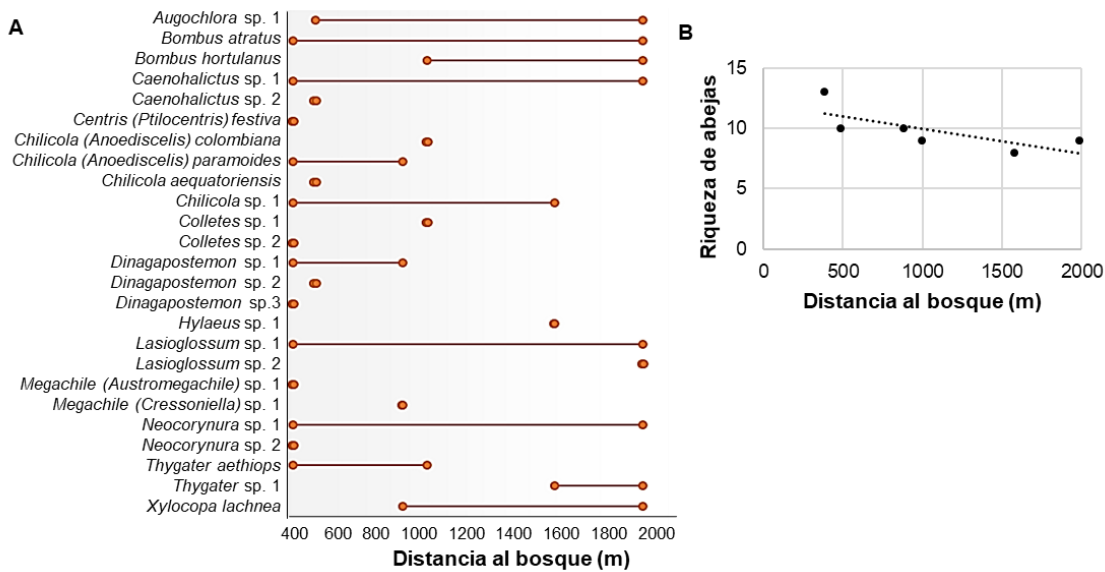


Figura 24. Relación entre la distancia al bosque denso en la diversidad de abejas silvestres A. Distancia mínima y máxima al bosque por especie de abeja B. Correlación entre la riqueza de abejas y distancia al bosque

Las coberturas cultivos caducifolios, pastos limpios, bosque fragmentado con vegetación secundaria, y bosque de galería y ripario, abarcaron la mayor área en el paisaje. No existió correlación entre el área de cultivos caducifolios y la riqueza de abejas silvestres. La mayor correlación entre cobertura y riqueza de abejas se presentó en la escala más amplia (400 m), donde a mayor cobertura de bosques fragmentados y pastos arbolados, mayor riqueza de abejas (Tabla 19). Sin embargo, la diversidad de coberturas (Shannon) no se encontró relacionada con la riqueza de abejas ($r_s= 0,75$; $p= 0,08$)

Tabla 19. Correlación entre las principales coberturas en el paisaje agrícola de frutales caducifolios y la riqueza de abejas silvestres en diferentes áreas de análisis

Cobertura en el área del agroecosistema	Agroecosistema		50m		100m		200 m		400 m	
	r _s	P	r _s	p	r _s	p	r _s	p	r _s	p
2.2.3.5. Cultivos caducifolios	-0,56	0,25	-0,49	0,32	-0,53	0,27	-0,40	0,42	-0,540	0,26
2.3.1. Pastos limpios	0,36	0,92	-	-	-0,12	0,81	-0,06	0,90	0,035	0,94
2.3.2. Pastos arbolados	-	-	-	-	-	-	0,65	0,15	0,81	0,048
2.3.3. Pastos enmalezados	-	-	-	-	-	-	-0,13	0,79	0,59	0,21
3.1.4. Bosque de galería y ripario	0,42	0,78	0,07	0,8	0,22	0,66	0,20	0,70	-0,240	0,63
3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria	-	-	-	-	-	-	0,61	0,19	0,91	0,009

3.4 Discusión

Los índices de la Estructura Agroecológica Principal (EAP) mostraron que a pesar de que el paisaje agrícola de frutales caducifolios es diverso, a mayor intensificación agrícola en el paisaje local (prácticas de manejo fitosanitario y programación del cultivo) es menor la riqueza de abejas silvestres. Lo anterior concuerda con Cepeda-Valencia et al. (2014), quien en cultivos de café encontró que las fincas con menor EAP tuvieron la diversidad de abejas más baja.

Los agroecosistemas de frutales caducifolios pueden presentar hasta dos cosechas al año de ciruelo y durazno, con la aplicación de Cianamida hidrogenada para la programación de la cosecha y los agroecosistemas que no emplean el programador de cosecha solamente tienen una cosecha al año (Fischer, 2013). Sin embargo, esta práctica se relacionó negativamente con la riqueza de abejas. De acuerdo con la ficha técnica de agroquímicos donde la Cianamida hidrogenada es el ingrediente activo, el producto es altamente tóxico para abejas (DL50 aguda por contacto >100 ug/abeja, DL50 oral aguda >100 ug/abeja), y fue desarrollado para aplicación en época invernal en países que presentan estaciones climáticas, lo cual reduce los potenciales efectos negativos en las poblaciones de abejas. No obstante, en el trópico alto hay actividad de los polinizadores todo el año, por lo que es probable que la aplicación de Cianamida hidrogenada, esté impactando negativamente a las poblaciones de abejas silvestres en Nuevo Colón. Por lo anterior, es posible que agroecosistemas menos intensivos como “El Encenillo” tuvieran

alta riqueza de abejas, debido a que no aplicaron Cianamida. De acuerdo con Holzschuh, Steffan-Dewenter, & Tschardtke (2008) paisajes compuestos con altas proporciones de cultivos menos intensivos, pueden mantener mayor diversidad de abejas a diferentes escalas, debido a que proporcionan recurso y refugio a los insectos polinizadores.

Por otro lado, la diversidad de abejas en los agroecosistemas también depende de las características del paisaje a escalas más amplias (Kennedy et al. 2013), debido a que en los organismos la escala no depende de los límites humanos, sino de la dimensión con la que el organismo percibe el medio o interacciona con él (Farina, 2011). Lo anterior concuerda con este estudio debido a que se encontró que la diversidad de plantas y las coberturas a nivel local (área del agroecosistema) presentaron menor relación con la riqueza de abejas que las coberturas en el paisaje amplio (400 m), debido a que la heterogeneidad del paisaje determina los recursos naturales para Apiformes (Banaszak & Twerd, 2018) y beneficia los procesos ecológicos en los cuales estos organismos intervienen (Banaszak & Twerd, 2018).

Por ejemplo, en este estudio las abejas se relacionaron con los espacios seminaturales como los bosques fragmentados y los pastos arbolados, debido a que los fragmentos no cultivados son hábitats que permiten el desplazamiento de los visitantes florales en el paisaje (Hadley & Betts, 2012). Guiller, Affre, Albert, Tatoni, & Dumas (2016) determinaron que el mayor número de visitas en los cultivos se presenta con polinizadores que viajan a través de los fragmentos no cultivados hacia los agroecosistemas y Engtsson et al. (2019) determinaron la importancia de los pastizales naturales y seminaturales para el mantenimiento de la biodiversidad, además de los múltiples servicios ecosistémicos que favorecen en la agricultura, dentro de los cuales se encuentra la polinización.

En el paisaje agrícola de frutales caducifolios de las veredas Potreros y Fiotá, del municipio de Nuevo colón, se encontró que el bosque “El Picacho” localizado en la Cuchilla de Mesa Alta, representa la cobertura de bosque denso más cercano a los agroecosistemas estudiados. De acuerdo con la Alcaldía de Nuevo Colón (2000) la Mesa Alta es la fuente hidrográfica para varios municipios de Boyacá y El Picacho se comporta como elemento amortiguador que modifica el microclima local, sin embargo, se encuentra amenazado por la actividad agrícola de la región. A pesar de que en este estudio no se encontró relación estadística entre la riqueza de abejas y la distancia al bosque denso, se observó un

aumento en la riqueza de abejas a mayor cercanía del bosque. Lo anterior concuerda con Cepeda-Valencia et al., (2014) y Ekroos et al. (2013) quienes reportaron menor diversidad de abejas y otros polinizadores en los agroecosistemas más alejados del bosque. Földesi et al. (2016) menciona que mantener hábitats naturales o seminaturales a 500 m de cultivos de manzana favorece la diversidad de polinizadores y la polinización. Lo anterior redonda en la importancia de la protección de estos ecosistemas.

3.5 Conclusiones

Los agroecosistemas de frutales caducifolios presentan diversidad de coberturas a escala de paisaje local y amplia. No obstante, en Nuevo Colón la intensificación agrícola en el paisaje local, especialmente por el manejo de agroquímicos, presenta relaciones negativas en la diversidad de abejas silvestres aún en pequeños agroecosistemas diversos del trópico andino.

En los agroecosistemas donde se aplican agroquímicos para el manejo de plagas y los programadores de cosecha para regular, a conveniencia del agricultor, la floración del frutal, debería ser una prioridad el cálculo del tiempo de aplicación en horarios donde los polinizadores son menos activos y en momentos de baja velocidad del viento, para que el producto no caiga por deriva en otras plantas o en animales.

Las abejas se benefician de la presencia de áreas seminaturales en el paisaje amplio. Por lo anterior es indispensable el mantenimiento de los ecosistemas de bosques y pastizales naturales que brindan recursos a las abejas, e incluso refugio cuando las condiciones no son favorables en los agroecosistemas.

Bibliografía

Alcaldía de Nuevo Colón. (2000). *Esquema de Ordenamiento Territorial municipio de Nuevo Colón documento resumen*. Nuevo Colón. Retrieved from

- http://cdim.esap.edu.co/BancoConocimiento/N/nuevo_colon_-_boyaca_-_eot_-_2000/nuevo_colon_-_boyaca_-_eot_-_2000.asp
- Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., ... Villarreal, H. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa Inventarios de Biodiversidad; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Amaya-Márquez, M. (2016). Polinización y Biodiversidad. In G. Nates-Parra (Ed.), *Iniciativa Colombiana de Polinizadores: capítulo abejas* ICPA (pp. 19–39). Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá).
- Banaszak, J., & Twerd, L. (2018). Importance of thermophilous habitats for protection of wild bees (Apiformes). *Community Ecology*, 19(3), 239–247. <https://doi.org/10.1556/168.2018.19.3.5>
- Bàrberi, P. (2015). Functional biodiversity in organic systems: the way forward? *Sustainable Agriculture Research*, 4(3), 26-31. <https://doi.org/10.5539/sar.v4n3p2>
- Bengtsson, J., Bullock, J. M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T., ... Lindborg, R. (2019). Grasslands — more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere*, 10(2), 1–20. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>
- Bennett, A., Radford, J., & Haslem, A. (2006). Properties of land mosaics: Implications for nature conservation in agricultural environments. *Biological Conservation*, 33, 250–264. <https://doi.org/doi:10.1016/j.biocon.2006.06.008>
- Bernal, R., Galeano, G., Rodríguez, A., Sarmiento, H., & Gutiérrez, M. (2017). Nombres Comunes de las Plantas de Colombia [On-line]. Retrieved from <http://www.biovirtual.unal.edu.co/nombrescomunes/>
- Campbell, A. J., Wilby, A., Sutton, P., & Wäckers, F. L. (2017). Do sown flower strips boost wild pollinator abundance and pollination services in a spring-flowering crop? A case study from UK cider apple orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 239(January), 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.005>
- Cepeda-Valencia, J., Gómez, D., & Nicholls, C. I. (2014). La estructura importa: abejas visitantes del café y estructura agroecológica principal (EAP) en cafetales. *Revista Colombiana de Entomología*, 40(2), 241–250.
- Crist, T., & Peters, V. (2014). Landscape and Local Controls of Insect Biodiversity in Conservation Grasslands: Implications for the Conservation of Ecosystem Service Providers in Agricultural Environments. *Land*, 3(3), 693–718. <https://doi.org/10.3390/land3030693>
- Dale, V. H., Kline, K. L., Kaffka, S. R., & Langeveld, J. W. A. (Hans. (2013). A landscape perspective on sustainability of agricultural systems. *Landscape Ecology*, 28(6), 1111–1123. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9814-4>
- Ekroos, J., Rundlöf, M., & Smith, H. G. (2013). Trait-dependent responses of flower-visiting insects to distance to semi-natural grasslands and landscape heterogeneity. *Landscape Ecology*, 28(7), 1283–1292. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9864-2>

- Erisman, J., van Eekeren, N., de Wit, J., Koopmans, C., Cuijpers, W., Oerlemans, N., & Ben, K. (2016). Agriculture and biodiversity: a better balance benefits both. *AIMS Agriculture and Food*, 1(2), 157–174. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2016.2.157>
- Fahrig, L., Girard, J., Duro, D., Pasher, J., Smith, A., Javorek, S., ... Mitchell, S. (2015). Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200, 219–234. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.018>
- Farina, A. (2011). *Ecología del paisaje*. Universidad de Alicante.
- Fernández, F., & Sharkey, M. J. (Eds.). (2006). *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical*. Universidad Nacional de Colombia.
- Fischer, G. (2013). Comportamiento de los frutales caducifolios en el trópico. In D. Miranda, G. Fischer, & C. Carranza (Eds.), *Los frutales caducifolios en Colombia Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo* (pp. 31–45). Bogotá: Offset Gráfico Editores SA.
- Földesi, R., Kovács-Hostyánszki, A., Korösi, Á., Somay, L., Elek, Z., Markó, V., ... Báldi, A. (2016). Relationships between wild bees, hoverflies and pollination success in apple orchards with different landscape contexts. *Agricultural and Forest Entomology*, 18(1), 68–75. <https://doi.org/10.1111/afe.12135>
- Forman, R. (1995). Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. *Cambridge University Press*. [https://doi.org/doi:10.1016/0169-5347\(96\)88908-7](https://doi.org/doi:10.1016/0169-5347(96)88908-7).
- Fuentes, C., Eraso, E., Sequeda, O., & Piedrahita, W. (2011). *Flora arvense del altiplano Cundiboyacense de Colombia*. (Universida). Bogotá D.C: Bayer CropScience.
- Gómez, A., & Rivera, J. (1995). *Descripción de arvenses en plantaciones de café. Colombia: CENICAFE*.
- González, V., Ospina, M., & Bennett, D. (2005). *Abejas altoandinas de Colombia: guía de campo*. Bogotá D.C: Instituto de Investigación Alexander von Humboldt.
- Guiller, C., Affre, L., Albert, C. H., Tatoni, T., & Dumas, E. (2016). How do field margins contribute to the functional connectivity of insect-pollinated plants? *Landscape Ecology*, 31(8), 1747–1761. <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0359-9>
- Hadley, A. S., & Betts, M. G. (2012). The effects of landscape fragmentation on pollination dynamics: Absence of evidence not evidence of absence. *Biological Reviews*, 87(3), 526–544. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00205.x>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9.
- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., & Tscharrntke, T. (2008). Agricultural landscapes with organic crops support higher pollinator diversity. *Oikos*, 117(3), 354–361. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0030-1299.16303.x>
- ICN, (Instituto de Ciencias Naturales. Facultad de Ciencias- Universidad Nacional de Colombia). (2018). Colecciones científicas en línea. Retrieved from <http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/>

- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra. Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogotá D.C. <https://doi.org/10.1245/s10434-016-5145-z>
- Kendra, N. (2017). The Effects of Plant Diversity on Pollinator Abundance. Undergraduate Thesis. University of Nebraska Lincoln. Retrieved from <http://digitalcommons.unl.edu/envstudtheses%0Ahttp://digitalcommons.unl.edu/envstudtheses/203>
- Kennedy, C. M., Lonsdorf, E., Neel, M. C., Williams, N. M., Ricketts, T. H., Winfree, R., ... Kremen, C. (2013). A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology Letters*, 16(5), 584–599. <https://doi.org/10.1111/ele.12082>
- Kevan, P. G. (1999). Pollinators as bioindicators of the state of the environment: Species, activity and diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74(1–3), 373–393. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00044-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00044-4)
- León, T. E. (2010). Agroecología: desafíos de una ciencia ambiental en construcción. In M. A. Altieri (Ed.), *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones* (pp. 45–67).
- León, T. E. (2012). *Agroecología: La ciencia de los agroecosistemas- La perspectiva ambiental*. Universidad Nacional de Colombia, 261.
- Maguire, D. Y., Bennett, E. M., & Buddle, C. M. (2016). Sugar Maple Tree Canopies as Reservoirs for Arthropod Functional Diversity in Forest Patches Across a Fragmented Agricultural Landscape in Southern Quebec, Canada. *Ecoscience*, 23(1–2), 1–12. <https://doi.org/10.1080/11956860.2016.1192010>
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., ... Valantin-Morison, M. (2009). Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 43–62. <https://doi.org/10.1051/agro:2007057>
- Martin, T. E., Paine, C., Conway, C. J., Hochachka, W. M., Allen, P., & Jenkins, W. (1997). *BBIRD (Breeding Biology Research & Monitoring Database) Field protocol (Vol. 59812)*. Biological Resources Division, Montana Cooperative Wildlife Research Unit, University of Montana, Missoula, MT, 59812.
- Michener, C. D. (2000). *The bees of the world*. The Johns Hopkins University Press (Vol. 85). [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2002\)085\[0290:FMBLZH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2002)085[0290:FMBLZH]2.0.CO;2)
- Moonen, A. C., & Bàrberi, P. (2008). Functional biodiversity: An agroecosystem approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127(1–2), 7–21. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.02.013>
- Nates-Parra, G. (2006). *Abejas corbiculadas de Colombia- Hymenoptera: Apidae*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias.
- Pouta, E., Grammatikopoulou, I., Hurme, T., Soini, K., & Uusitalo, M. (2014). Assessing the Quality of Agricultural Landscape Change with Multiple Dimensions. *Land*, 3(3), 598. <https://doi.org/10.3390/land3030598>

- Reyes-Novelo, E., Meléndez Ramírez, V., Delfín González, H., & Ayala, R. (2009). Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) como bioindicadores en el Neotrópico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 1–13.
- Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M., & Romero, M. (2006). *Ecosistemas de los Andes colombianos*. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humbolt.
- Sayer, J., Sunderland, T., Ghazoul, J., Pfund, J.-L., Sheil, D., Meijaard, E., ... Buck, L. E. (2013). Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(21), 8349–8356. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210595110>
- Senapathi, D., Goddard, M. A., Kunin, W. E., & Baldock, K. C. R. (2017). Landscape impacts on pollinator communities in temperate systems: evidence and knowledge gaps. *Functional Ecology*, 31(1), 26–37. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12809>
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379–423, 623–656.
- Silveira, F. A., Melo, G. A. R., & Almeida, E. A. B. (2002). *Abelhas brasileiras Sistemática e Identificação*. (F.A. Silveira Ed.). Belo horizonte
- Smith Pardo, A., & González, V. H. (2007). Diversidad de Abejas (Hymenoptera: Apoidea) en estados sucesionales del bosque húmedo tropical. *Acta Biológica Colombiana*, 12(1), 43–56.
- Tilman, D. (2001). Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. *Science*, 292(5515), 281–284. <https://doi.org/10.1126/science.1057544>
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., ... Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068>
- Tscharntke, T., Klein, A., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8, 857–874. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>.
- Tscharntke, T., Tylianakis, J., Rand, T., Didham, R., Fahrig, L., Batáry, P., ... Westphal, C. (2012). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses. *Biological Reviews*, 87(3), 661–685. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00216.x>
- Vaissière, B., Freitas, B., & Gemmill-Herren, B. (2011). Protocol to detect and assess pollination deficits in crops: a handbook for its use. FAO/IFAD project: “Development of tools and methods for conservation and management of pollination services for sustainable agriculture.” Retrieved from http://www.internationalpollinatorsinitiative.org/uploads/Protocol_PolDef_FINAL.pdf
- Vandermeer, J., van Noordwijk, M., Anderson, J., Ong, C., & Perfecto, I. (1998). Global change and multi-species agroecosystems: concepts and issues. *Agriculture*,

Ecosystems & Environment, 67, 1–22. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(97\)00150-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(97)00150-3)

Weber, E. (2012). *Apis mellifera*: The Domestication and Spread of European Honey Bees for Agriculture in North America. University of Michigan *Undergraduate Research Journal*, 1622(9), 20–23.

Zimmerer, K. (2010). Biological diversity in agriculture and global change. *Annual Review of Environment and Resources*, 35, 137–166.

Recomendaciones

Los agroecosistemas de frutales caducifolios son un laboratorio de campo con abundantes posibilidades de experimentación en la relación planta-animal-paisaje, donde se debe incentivar la investigación y el acompañamiento a los agricultores.

En el ciruelo cv. Horvin sería indispensable revisar las poblaciones de polinizadores durante época seca, debido a que este trabajo se realizó en época de lluvia que es cuando la mayoría de ciruelos florecen en Nuevo Colón. Hay algunos agroecosistemas que pueden programar la floración en época seca y, en consecuencia, las poblaciones de polinizadores podrían ser diferentes en estas condiciones.

Es importante realizar pruebas controladas para determinar cuáles son los cultivares polinizantes del ciruelo cv. Horvin con el fin de mejorar la productividad y las características organolépticas de los frutos e identificar la importancia de los insectos visitantes florales en este proceso.

Con el fin de determinar la influencia de las variables de paisaje local y amplio sobre la diversidad de visitantes florales, se podrían realizar muestreos en mayor número de agroecosistemas y paisajes, que incluyan métodos de muestreo indirecto con los cuales se pueda recolectar más información.

Respecto al manejo local se debe averiguar el efecto de la Cianamida hidrogenada en la salud de los visitantes florales y otros animales del trópico andino, que están presentes durante el momento de la aplicación del agroquímico.

El contacto permanente con los agricultores evidenció la necesidad que tienen las comunidades por mayor y mejor asesoría técnica con el fin de diseñar e implementar

estrategias exitosas de manejo de los cultivos, que vayan de la mano de la conservación de la biodiversidad funcional.