

ABEJAS EN SISTEMAS AGRÍCOLAS: REVISIÓN DE LA DIVERSIDAD TAXONÓMICA Y FUNCIONAL Y PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN

Bees in agricultural systems: taxonomic and functional diversity review and research perspectives

Andrés F. MORALES-ALBA^{1,2}, Juan E. CARVAJAL-COGOLLO¹, Irina MORALES^{1,2}*

1. Grupo Sistemática Biológica-SisBio, Laboratorio de Entomología, Programa de Biología, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Av. Central del Norte 39-115, Tunja, Boyacá, Colombia.
2. Grupo de Investigación Biodiversidad y Conservación, Museo de Historia Natural Luis Gonzalo Andrade, Programa de Biología, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia.

* For correspondence irina.morales@uptc.edu.co

Received: 04th December 2020. **Returned for revision:** 28th April 2021. **Accepted:** 15th July 2021.

Associate Editor: Geraldo Andrade-Carvalho

Citation/ citar este artículo como: Morales-Alba, A. F., Carvajal-Cogollo, J. E., y Morales, I. (2022). Abejas en sistemas agrícolas: revisión de la diversidad taxonómica, funcional y perspectivas de investigación. *Acta Biológica Colombiana*, 27(2), 282-291. <https://doi.org/10.15446/abc.v27n2.92192>

RESUMEN

Las abejas son insectos de gran importancia ecológica ya que son responsables de procesos como la polinización en ambientes naturales y agrícolas, contribuyendo a la salud y resiliencia de los ecosistemas. Se hizo una revisión para abordar las dimensiones taxonómica y funcional de la diversidad de abejas en cultivos de palma, papa, café, granadilla, gulupa y maracuyá. Se realizó la búsqueda de información en bases de datos usando palabras claves y operadores booleanos. Se construyeron curvas análogas a las de acumulación de especies y se realizó un análisis de complementariedad, para evaluar la diversidad taxonómica. Se utilizó un análisis de conglomerados para identificar tipos funcionales y se evaluó la riqueza funcional de cada cultivo. Se encontraron 19 publicaciones de abejas asociadas a cultivos, con registros de 116 especies. El cultivo de palma presentó la mayor riqueza con 48 especies, seguido de papa (44) y café (41). Se identificaron 11 tipos funcionales, donde el más representativo fue el de abejas con corbícula, eusociales, que anidan en cualquier cavidad (ScEuCc). La riqueza funcional fue mayor en el café (3,33), seguido de papa (2,83) y gulupa (2,00). La alta diversidad de abejas en agroecosistemas parece estar relacionada con la cercanía de cada cultivo a fragmentos de bosque, de acuerdo a las publicaciones analizadas. Los agroecosistemas podrían ofrecer un recurso alternativo a las abejas al permitirles combatir la disminución de sus hábitats, por lo que sugerimos ampliar las investigaciones de los beneficios de los cultivos agrícolas sobre las abejas y viceversa.

Palabras Clave: Agroecología, Colombia, Cultivos, Polinización.

ABSTRACT

Bees are insects of great ecological importance since they are responsible for processes such as pollination in natural and agricultural environments, contributing to the health and resilience of ecosystems. We conducted a review to address the taxonomic and functional dimensions of the bees' diversity in palm, potato, coffee, granadilla, gulupa and passion fruit crops. Using keywords and Boolean operators we searched for information in databases. Curves analogous of species accumulation were constructed and a complementarity analysis was carried out to assess taxonomic diversity. We used a cluster analysis to identify functional types and evaluate the functional richness of each crop. Nineteen publications of bees associated with crops, with records of 116 species, were found. Palm cultivation presented the highest richness with 48 species, followed by potato (44) and coffee (41). We identified 11 functional types, where the most representative was bees with corbícula, eusocial, that nest in any cavity (ScEuCc). Functional richness was higher in coffee (3.33), followed by potato (2.83) and gulupa (2.00). The high diversity of bees in agroecosystems seems to be related to the proximity of each crop to forest fragments, according to what could be analyzed from the publications. Agroecosystems could offer an alternative resource to bees by allowing them to combat the decline of their habitats, so we suggest expanding research on the benefits of agricultural crops on the bee community.

Keywords: Agroecology, Colombia, Crops, Pollination.

INTRODUCCIÓN

Las abejas son insectos esenciales para procesos de polinización tanto en ambientes naturales como en sistemas agrícolas y contribuyen al mantenimiento de servicios ecológicos y resiliencia ecológica en estos paisajes fragmentados (Decourtye et al., 2009). De esta manera, las abejas juegan un rol fundamental para la productividad alimentaria, puesto que cerca de un 80 % de las plantas de interés agrícola son polinizadas por estos insectos (Klein et al., 2007). De acuerdo con Kleijn et al. (2015), las abejas silvestres aportan cerca de USD \$3251/ha anuales a la producción de cultivos, lo que demuestra la importancia de la fauna silvestre como mediadores de servicios ecosistémicos (Kleijn et al., 2015). Asimismo, los sistemas productivos junto con las áreas naturales son importantes para las abejas, porque otorgan una diversidad de recursos que pueden suplir sus necesidades (Plaza-Ortega et al., 2017).

En estudios orientados a entender la dinámica y salud de los ecosistemas naturales y su interacción con sistemas intervenidos, es importante entender el aporte de la diversidad taxonómica y funcional en los procesos del ecosistema. En Colombia se tienen registros de aproximadamente 600 especies que se han evaluado a partir de parámetros como la riqueza o número de especies, la composición o especies que conforman un ensamblaje y la estructura o valor de abundancia de las especies, tanto en sistemas naturales como agrícolas (Nates-Parra, 2006; Medina-Gutiérrez et al., 2012; Nates-Parra, 2016; Sepúlveda-Cano et al., 2017; Gutiérrez-Chacón et al., 2018). Sin embargo, para los agroecosistemas en Colombia la información de diversidad taxonómica de abejas es poca y se encuentra dispersa, por lo cual no se han identificado patrones generales de esta dimensión de la diversidad biológica.

La dimensión funcional de abejas ha sido abordada de manera global, desde la perspectiva del papel ecológico, con varios estudios sobre polinización en cultivos (Forrest et al., 2015) y sobre los efectos de ambientes urbanos sobre la diversidad de abejas (Buchholz et al., 2020). No obstante, son pocos los estudios que abordan la funcionalidad desde las métricas de la diversidad de rasgos funcionales y cómo estos ayudan al desempeño de las abejas para cumplir con sus roles ecológicos. La diversidad funcional de abejas, entendida como el valor, rango, distribución y abundancia relativa de los caracteres funcionales de los organismos en un ecosistema (Díaz et al., 2007), juega un papel importante en la dinámica de los sistemas intervenidos. De esta manera se ha identificado que los rasgos funcionales aumentan el funcionamiento de los agroecosistemas en todo el mundo (Garibaldi et al., 2011). Las abejas presentan características morfológicas y etológicas, como la presencia de corbícula, el grado de sociabilidad y la anidación, que les permite llevar a cabo sus funciones ecológicas (Ollerton, 2017) y favorecer la producción de los sistemas agrícolas, de países como Colombia, cuyo PIB depende en gran parte de esta (FAO, 2008).

Colombia cuenta con grandes extensiones de tierra dispuesta para la siembra de cultivos estructuralmente simples, como los de papa en ecosistemas de alta montaña, hasta más complejos como los de café en la media montaña y palma y maracuyá en las tierras bajas (FAO, 2016). Sin embargo, pese a la alta representatividad de los sistemas agrícolas en el país, no se cuenta con información que documente el aporte del componente agrícola al mantenimiento de la diversidad taxonómica y funcional de abejas. Por esta razón, se requiere tener inventarios unificados del conocimiento de la riqueza, composición y abundancia y representatividad de rasgos funcionales de abejas en sistemas productivos del país.

Esta investigación tiene como objetivo hacer una revisión de los estudios que aborden la diversidad taxonómica y funcional de abejas en sistemas agrícolas característicos de Colombia. Se buscó compilar el inventario de las abejas asociadas a cultivos y determinar la representatividad de las dimensiones taxonómica y funcional de las abejas en estos sistemas. Se partió de la hipótesis de que los cultivos de papa por presentar una estructura vegetal simple, presentan valores bajos de diversidad taxonómica y funcional, contrario a aquellos sistemas productivos cuya estructura es más compleja. Para contribuir al mejoramiento del estado actual del conocimiento de la diversidad taxonómica y funcional de abejas en sistemas productivos agrícolas se plantean perspectivas de investigación que se enfoquen en determinar la importancia de hábitats semitransformados (interacción cultivo-vegetación natural) sobre el comportamiento de la diversidad de abejas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sistemas productivos escogidos

Se seleccionaron seis cultivos asociados a diferentes zonas de vida a lo largo del gradiente altitudinal de los Andes colombianos. Estos fueron el cultivo de palma (*Elaeis guineensis* Jacq; Arecaceae), maracuyá (*Passiflora edulis* Sims; Passifloraceae), café (*Coffea arabica* Chev; Rubiaceae), granadilla (*Passiflora ligularis* Juss; Passifloraceae), gulupa (*Passiflora pinnatistipula* Cav; Passifloraceae) y papa (*Solanum tuberosum* Linneo; Solanaceae) (FAO, 2016). Estos sistemas productivos son representativos de la economía colombiana y se ha documentado que albergan una alta diversidad de abejas (Nates-Parra, 2016).

Revisión y búsqueda de la información

Se realizó la búsqueda de información entre febrero y agosto de 2020, de abejas asociadas a cultivos de interés comercial en Colombia. Se utilizaron bases de datos como Google Scholar, ScienceDirect, EBSCOhost, Web of Science y Scopus. Se buscaron artículos mediante combina-

ciones de palabras clave en inglés como: “Bees”, “Apoidea”, “Crops”, “Coffe”, “Palm”, “Potato”, “Passion fruit”, “passion-flower”, “Gulupa”, “Agroecology”, “Pollination”, “paramos”, “lowland”, “tropical zone” y “Colombia” y sus equivalentes en castellano; para ambos casos se utilizaron operadores booleanos como AND, NOT, OR (Dodge, 2005). Cada artículo se filtró de acuerdo al tipo de cultivo, año de publicación y área de estudio (zona de vida) en el que se llevó a cabo (Tabla 1). Además, solo se tuvieron en cuenta aquellos artículos que evaluaron exclusivamente la caracterización de abejas asociadas a los cultivos escogidos independientemente del año de publicación.

Tabla 1. Estudios utilizados en el análisis.

Estudio	Cultivo	Citación	Zona de vida
1	Maracuyá	Calle et al. (2010)	Zona andina y subandina
2	Maracuyá	Arias-Suárez et al. (2014)	Zona subandina
3	Maracuyá	González y González (2015)	Zona subandina
4	Maracuyá	Rodríguez-Calderón, (2016)	Zona andina y subandina
5	Maracuyá	Bezerra et al. (2019)	Zona andina y subandina
6	Palma	Guerrero-Olaya y Núñez (2017)	Zona tropical
7	Palma	Núñez y Carreño (2017)	Zona tropical
8	Palma	Núñez y Carreño (2016)	Zona tropical
9	Palma	Brieva-Oviedo y Núñez (2020)	Zona tropical
10	Papa	Barrientos-Restrepo (2012)	Zona andina y páramo
11	Papa	Sepúlveda-Cano (2013)	Zona andina
12	Papa	Sepúlveda-Cano et al. (2017)	Zona andina
13	Café	Jaramillo (2012)	Zona andina
14	Café	Bravo-Monroy et al. (2015)	Zona subandina
15	Café	Herrera y Sabogal (2016)	Zona subandina
16	Granadilla	Franco et al. (2007)	Zona andina
17	Granadilla	Suárez et al. (2016)	Zona andina
18	Granadilla	Gutiérrez-Chacón et al. (2018)	Zona subandina y andina
19	Gulupa	Medina-Gutiérrez et al. (2012)	Zona subandina y andina

Tabla 2. Datos de rasgos funcionales utilizados para la formación de tipos funcionales.

Rasgo	Atributo	Tipo	Proceso ecológico
Corbícula	Presencia de corbícula (Sc). Ausencia de corbícula (Nc)	Categoría	La presencia de corbícula permite a las abejas recolectar grandes cantidades de polen volviendo a estas abejas un grupo altamente eficiente en la polinización (Nates-Parra, 2006). El grado de sociabilidad está altamente relacionado con la frecuencia de recolección de néctar (Nagamiy y Inoue 1997). Las abejas solitarias son polinizadores más especializados que especies sociales. Por lo tanto, las plantas que dependen de abejas solitarias pueden ser vulnerables a las extinciones locales (Brittain y Potts 2011).
Sociabilidad	Solitaria (So) Comunal (Co) Eusocial (Eu)	Categoría	La ubicación del nido se vincula a la exposición a insecticidas en cultivos agrícolas, y cómo esto modifica la estructura comunitaria de las abejas y las flores que polinizan. Las larvas que anidan en el suelo de están más expuestas a insecticidas a través de la escorrentía (Michener, 1969; Brittain y Potts 2011).
Anidación	Suelo (Su) Cualquier cavidad (Cc) Madera (M) Cleptoparásita (Cl)	Categoría	

Análisis de datos

Se realizó una matriz con datos de presencia/ausencia en la cual se registraron las especies de abejas asociadas a cada cultivo. Se excluyeron los registros de morfoespecies presentes en dos o más cultivos, para evitar sobreestimar la riqueza de especies. La diversidad taxonómica de abejas se tomó como la riqueza de especies para cada cultivo. Se construyeron curvas análogas a la acumulación de especies, por periodos de publicación de los artículos, mediante el estimador Jackknife 2, que permite realizar análisis de datos de incidencia y logró esquematizar de mejor manera la acumulación de la riqueza por cada estudio adelantado. El análisis se desarrolló en programa EstimateS versión 9.1. Adicionalmente se realizó un análisis de complementariedad

para evaluar el grado de disimilitud en la composición de especies entre cultivos (Moreno, 2001).

Para los análisis de diversidad funcional, se utilizaron tres rasgos funcionales, uno morfológico (presencia/ausencia de corbícula), y dos etológicos (grado de sociabilidad y sitio de anidación) (Tabla 2). Se utilizó un análisis de conglomerados para identificar tipos funcionales mediante el método de Ward y distancias euclidianas, en el programa INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2008). Adicionalmente, se utilizó el índice de riqueza funcional (FRic) (Villéger et al., 2008), para evaluar la representatividad de la diversidad funcional en los cultivos. Se excluyó de los análisis funcionales el cultivo de maracuyá, por su baja representatividad en la muestra. Los análisis se llevaron a cabo en programa FDiversity con extensión a R con una interfaz escrita en Delphi® y DCOM-R.

RESULTADOS

Aspectos generales

Se encontraron 19 publicaciones con inventario de abejas asociadas a los seis cultivos escogidos (Tabla 1). Para maracuyá se encontraron cinco estudios realizados en las zonas de vida Subandina y Andina, entre los 1300 y 2200 m.s.n.m. (Calle et al., 2010; Arias-Suárez et al., 2014; González y González, 2015; Rodríguez-Calderón, 2016; Bezerra et al., 2019). Para el cultivo de palma se registraron cuatro estudios en la zona de vida tropical de la región amazónica (Guerrero-Olaya y Núñez, 2017; Núñez y Carreño, 2017), de la Orinoquia, el Pacífico (Núñez y Carreño, 2016) y de la región Caribe (Brieva-Oviedo y Núñez, 2020). Para abejas asociadas a cultivos de papa, se encontraron tres estudios de entre los 2400 y 2700 m.s.n.m. en región Andina (Barrientos-Restrepo, 2012; Sepúlveda-Cano, 2013; Sepúlveda-Cano et al., 2017). Para el cultivo de café se registraron tres estudios en la zona de vida Subandina entre los 1200 y 1900 m.s.n.m. (Jaramillo-Delgado, 2012; Bravo-Monroy et al., 2015; Herrera y Sabogal, 2016). Se encontraron tres estudios enfocados a los cultivos de granadilla en las regiones de vida Subandina y Andina entre los 1800 y los 2300 m.s.n.m. (Franco et al., 2007; Suárez et al., 2016; Gutiérrez-Chacón et al., 2018) y para abejas asociadas a cultivos de gulupa, se encontró un estudio realizado en la región Subandina y Andina, entre los 1600 y 2200 m.s.n.m. (Medina-Gutiérrez et al., 2012).

Representatividad de la diversidad taxonómica

Se obtuvo un inventario de 116 especies, representadas en 49 géneros, 16 tribus y cinco familias. La riqueza más alta se registró en el cultivo de palma con 48 especies, 15 géneros y dos tribus; seguido del cultivo de papa con 44 especies, 31 géneros y 14 tribus y café con 41 especies, 25 géneros y diez

tribus. En los cultivos de granadilla y gulupa se registraron 16 y 11 especies respectivamente y en el cultivo de maracuyá se registró una especie, *Xylocopa* sp. (Anexo 1). De acuerdo al estimador de diversidad jackknife 2, los cultivos de palma y granadilla presentan mayor potencial para albergar más especies de abejas (Fig. 1). Para los cultivos de papa, café y gulupa la curva fue asintótica.

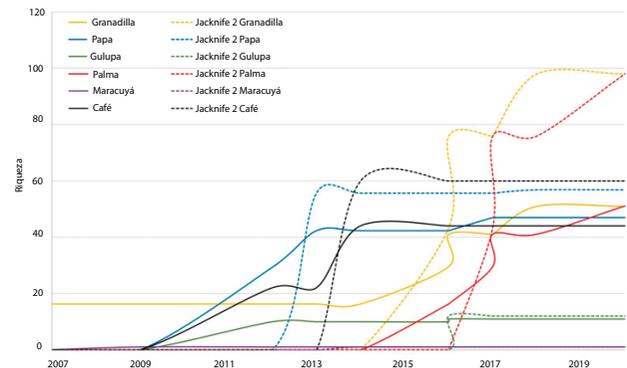


Figura 1. Riqueza de especies de abejas en cada cultivo. En línea continua las especies registradas. En línea discontinua estimadores de diversidad.

La disimilitud en la composición de especies entre los cultivos fue alta y osciló entre 1 para los cultivos de palma y maracuyá y 0,77 entre la gulupa y la granadilla. Los cultivos con más especies compartidas fueron café y papa con 15, seguido de café y palma con 11 y granadilla y papa con ocho. Se registraron cinco especies compartidas entre los cultivos de gulupa y papa, gulupa y granadilla y gulupa y café (Anexo 1). Finalmente, el cultivo de maracuyá presentó una especie compartida con todos los cultivos (*Xylocopa* sp.), excepto con el cultivo de palma. Los cultivos de palma, papa y café, presentaron la mayor cantidad de especies exclusivas con 36, 24 y 16 especies respectivamente y los cultivos de granadilla y gulupa presentaron seis y tres especies exclusivas.

Representatividad de la Diversidad Funcional

Las abejas se clasificaron en 11 tipos funcionales (Fig. 2). El grupo con presencia de corbícula, sociales y que anidan en cualquier cavidad (ScEuCc), agrupó el 43,9 % de especies. Las abejas sin corbícula, solitarias y que anidan en el suelo (Nc-SoSu) y las abejas con corbícula, solitarias y que anidan en cualquier cavidad (ScSoCc) representaron el 18,1 % y 7,75 % respectivamente. Finalmente, los tipos funcionales menos representados fueron las abejas sin corbícula, solitarias y que anidan en madera (NcSoMa) representados por *Xylocopa* sp., y abejas con corbícula, sociales y cleptoparásitas (ScEuCl) con *Exaerete smaragdina* como su única especie (Anexo 1, Fig. 2).

Los cultivos de papa y café presentaron la mayor cantidad de tipos funcionales (diez cada uno), mientras que los cultivos de granadilla y gulupa, estuvieron representados por

siete tipos. El cultivo de palma presentó tres tipos funcionales (NcSoCc, NcSoSu y ScEuCc) y el cultivo de maracuyá estuvo representado por un tipo funcional (NcSoMa) (Fig. 3). A nivel de riqueza funcional (FRic), se encontró una alta riqueza, congruente con la representatividad de los tipos funcionales; en los cultivos de café (FRic = 3,33), papa (FRic = 2,83) y gulupa (FRic = 2,00), mientras que la granadilla y la palma presentaron valores más bajos FRic = 1,33 y FRic = 1,12 respectivamente.

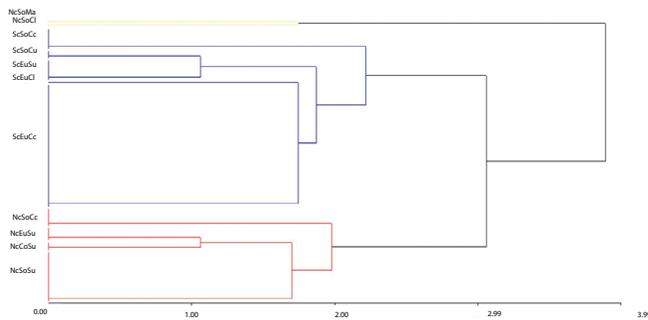


Figura 2. Dendrograma del análisis de conglomerados generado con el método de Ward y utilizando distancias euclidianas para tres rasgos funcionales de abejas asociadas a cultivos en Colombia. Se forman once tipos funcionales: NoCorbícula-Solitaria-Madera (NcSoMa), NoCorbícula-Solitaria-Cleptoparásita (NcSoCl), SiCorbícula-Solitaria-CualquierCavidad (ScSoCc), SiCorbícula-Comunal-Suelo (ScCoSu), SiCorbícula-Eusocial-Suelo (ScEuSu), SiCorbícula-Eusocial-Cleptoparásita (ScEuCl), SiCorbícula-Eusocial-CualquierCavidad (ScEuCc), NoCorbícula-Solitaria-CualquierCavidad (NcSoCc), NoCorbícula-Eusocial-Suelo (NcEuSu), NoCorbícula-Comunal-Suelo (NcCoSu) y NoCorbícula-Solitaria-Suelo (NcSoSu).

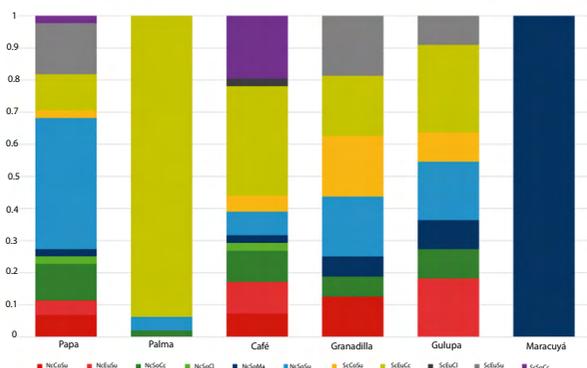


Figura 3. Conjunto de abejas en cultivos de interés en Colombia. Proporción de especies en cada tipo funcional asociado a cada cultivo. NcCoSu: NoCorbícula-Comunal-Suelo; NcEuSu: NoCorbícula-Eusocial-Suelo; NcSoCc: NoCorbícula-Solitaria-CualquierCavidad; NcSoCl: NoCorbícula-Solitaria-Cleptoparásita; NcSoMa: NoCorbícula-Solitaria-Madera; NcSoSu: NoCorbícula-Solitaria-Suelo; ScCoSu: SiCorbícula-Comunal-Suelo; ScEuCc: SiCorbícula-Eusocial-CualquierCavidad; ScEuCl: SiCorbícula-Eusocial-Cleptoparásita; ScEuSu: SiCorbícula-Eusocial-Suelo; ScSoCc: SiCorbícula-Solitaria-CualquierCavidad.

DISCUSIÓN

El bajo número de publicaciones encontradas sobre abejas asociadas a los cultivos evaluados, demuestra el vacío de información sobre la importancia de las dimensiones funcionales y taxonómicas de la diversidad de estos insectos en la producción agrícola de Colombia. Recientemente se han promovido iniciativas importantes sobre la relevancia de las abejas en cultivos agrícolas (Nates-Parra, 2016), sin embargo, la cantidad de información aún es escasa si se tiene en cuenta las grandes extensiones de tierra usadas para esta actividad en el país.

En términos generales, la diversidad de abejas en los sistemas agrícolas parece estar más relacionada a la cercanía de los cultivos con sistemas naturales, que a la complejidad estructural de los cultivos. De acuerdo con los artículos evaluados, muchos cultivos se encontraban cercanos a zonas boscosas o a fragmentos de vegetación, e incluso muchos de ellos estaban inmersos en matrices de vegetación natural (Barrientos-Restrepo, 2012; Jaramillo-Delgado, 2012; Sepúlveda-Cano, 2013; Bravo-Monroy et al., 2015; Herrera y Sabogal, 2016; Guerrero-Olaya y Núñez, 2017; Núñez y Carreño, 2017; Sepúlveda-Cano et al., 2017).

En este estudio se destaca que los cultivos de palma, papa y café hacen un aporte significativo al mantenimiento de la diversidad de abejas silvestres, por lo menos de manera preliminar; mientras que los cultivos de Passifloraceae (granadilla, gulupa y maracuyá), aportan el 27 % de la riqueza de abejas registradas. Sin embargo, la cantidad de estudios y la intensidad de los muestreos es un aspecto clave para dilucidar correctamente los patrones de diversidad. Adicionalmente, es un hecho que las flores de especies de Passifloraceae necesitan de insectos grandes para efectuar su polinización, como saltamontes (Tettigonidae), polillas y abejas de gran tamaño como las del género *Xylocopa* (Akamine y Girolami 1959), dada la incapacidad de las abejas pequeñas para acceder al néctar por la profundidad de los nectarios.

Representatividad taxonómica

En este estudio se encontraron 116 especies que corresponden al 19,33 % de las abejas registradas para Colombia (Nates-Parra, 2006). Según Ellis y Barbercheck (2015) y Núñez y Carreño (2016), los cultivos agrícolas ofrecen recursos alimentarios y de hábitat a las abejas que les permite cubrir sus requerimientos básicos, además de presentar un gran potencial como herramienta de conservación agrícola. La alta riqueza registrada podría deberse a la heterogeneidad estructural que ofrecen los cultivos y a la variabilidad de formas que presentan sus flores, así como también a la disponibilidad de néctar y polen (Leal et al., 2018). En los cultivos de palma se registró la mayor riqueza de abejas (48 especies), de acuerdo con

Núñez y Carreño (2013), las inflorescencias de la palma son un recurso importante para las abejas silvestres debido a la gran cantidad de polen que producen. Sin embargo, la visita constante de abejas y el acceso a la inflorescencia de las palmas, no implica necesariamente que haya polinización ya que no todas las palmas presentan melitofilia (Núñez y Carreño, 2016).

Los cultivos de papa también presentaron una alta riqueza de abejas (44 especies), de las cuales se ha documentado que no todas llevan a cabo una polinización efectiva (De Luca y Vallejo, 2013). De acuerdo con Buchmann (1983), las solanáceas presentan polinización efectiva a través de un método conocido como “Buzz polination” o polinización por vibración, efectuada principalmente por abejas grandes de los géneros *Bombus* y *Xylocopa*. Sin embargo, estas plantas pueden ser visitadas por otras abejas (Halictidae, Euglossini, Meliponini), que aprovechan el recurso, pero no polinizan la planta, por lo que actúan como robadoras de néctar y afectan la relación mutualista planta-polinizador (Inouye, 1980). A pesar de esto, en Colombia la propagación de cultivos de papa se hace de forma vegetativa (a través de tubérculos), por lo que la producción de cultivos no se vería afectada por la visita ilegítima de otras especies. Por lo tanto, los cultivos de papa proveen un recurso importante a las abejas de los ecosistemas circundantes sin verse afectado por la no polinización. Sin embargo, es importante dilucidar la función ecológica de tantas especies en un cultivo donde no realizan su mayor atributo ecológico, la polinización.

La alta riqueza de abejas en cultivos de café (41 especies), permite resaltar su importancia en la conservación. De acuerdo con Jaramillo-Delgado (2012), los cultivos de café permanecen en floración (con diferente intensidad) durante todo el año, por lo que ofrecen un recurso alimentario continuo. Además, algunas variedades de café se establecen generalmente bajo sombrío, por lo que ofrecen mayor disponibilidad de hábitat para las abejas y una mayor interacción con los cultivos naturales (Klein et al., 2007). Cabe destacar que los cultivos de café también se benefician con la alta diversidad de abejas, ya que la polinización del café mediada por estos insectos mejora la producción hasta en un 15 % (Jaramillo-Delgado, 2012).

La alta disimilitud registrada puede estar dada por las condiciones ambientales en las que se establecen cada tipo de cultivo en el gradiente altitudinal de los Andes. Estas condiciones ambientales pueden actuar como importantes filtros que moldean los patrones de riqueza y composición de abejas (Hoiss et al., 2012). Otro factor importante en esta alta disimilitud, puede estar relacionada con los esfuerzos de muestreo que se han adelantado en cada cultivo.

Grupos funcionales de abejas en cultivos

La mayoría de las abejas registradas en estos cultivos (43,9 %) pertenecieron al tipo funcional ScEuCc, que se

encontró en todos los cultivos (excepto en maracuyá). Las especies de abejas pertenecientes a este grupo podrían beneficiar los cultivos que visitan dado que la presencia de corbícula permite a las abejas almacenar mayor cantidad de polen (Nates-Parra, 2006) y de igual manera su comportamiento eusocial se ha relacionado con procesos de polinización más eficientes (Kaluzka et al., 2017). Los cultivos evaluados no solo albergan una riqueza representativa de abejas en Colombia, sino que, además pueden ser un recurso necesario para el mantenimiento de múltiples poblaciones, a lo que algunos autores han denominado un proceso de codependencia abeja-cultivo (Janzen, 1985). Un ejemplo de esta situación lo representa el cultivo de maracuyá y su único visitante floral (*Xylocopa* sp.), del grupo ecológico NcSoMa. La declinación poblacional de *Xylocopa* sp. y por tanto de sus rasgos funcionales que intervienen en el proceso ecológico, podría traer pérdidas en la producción y aumento de costos en los cultivos de maracuyá (Rodríguez-Calderón, 2016). Esto también lo registraron Bezerra et al. (2009) en la Amazonia Brasileira y Da Silva et al. (2012) en México, quienes plantean un escenario donde la no co-ocurrencia entre *Xylocopa* sp. y cultivos de maracuyá, aumentará los costos de producción por el pago de polinización manual en este cultivo.

Se identificaron 11 grupos ecológicos, varios de ellos representados por más de 20 especies de abejas, lo que podría sugerir una posible redundancia de rasgos funcionales por tipo de cultivo. Sin embargo, dada la complejidad del término redundancia funcional (Ricotta et al., 2016), sería importante evaluar en futuras investigaciones si existe una verdadera redundancia funcional en el sentido que exponen Cadotte et al. (2011) y Casanoves et al. (2011), para los cultivos donde se registraron tipos funcionales con más de 20 especies (ScEuCc y NcSoSu). La presencia de grupos ecológicos de abejas cleptoparásitas (NcSoCl y ScEuCl) en cultivos de café y papa confirma que la comunidad de abejas es estable en estos sistemas agrícolas, ya que las abejas cleptoparásitas utilizan los recursos alimenticios de otras especies (Banaszak y Twerd, 2018).

Los cultivos evaluados mantienen una buena dinámica funcional de abejas, pese a que se ha identificado que la intensificación del uso del suelo aumenta la vulnerabilidad de los grupos funcionales (Laliberté et al., 2010). Forrest et al. (2015) registraron que los sistemas agrícolas atraen a un importante número de abejas, pero funcionalmente similares entre sí, como se evidenció en cultivos de palma (FRic = 1,12), en el que se evidencia una baja congruencia entre las dimensiones taxonómica y funcional. Es por esto que, aunque los cultivos proporcionen un refugio importante para las abejas (Nicholls y Altieri, 2013), se debe profundizar en la conservación de hábitats naturales que amplíen el rango de las funciones ecológicas (Patel et al., 2020).

Perspectivas de investigación

A pesar de que los cultivos evaluados en esta revisión mostraron una alta riqueza de abejas, es posible que puedan albergar una mayor cantidad de especies (Fig. 1). Esto corrobora los resultados expuestos por Rao y Stephen (2010), donde los cultivos agrícolas aumentaron la diversidad de abejas nativas (género *Bombus*) en los Estados Unidos. Por esto, es importante incrementar los estudios que permitan conocer una diversidad real de abejas asociadas a paisajes agrícolas, en vista de la acelerada tasa de fragmentación y modificación del paisaje en Colombia (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia [IDEAM], 2020). Además, en los últimos años se ha intensificado la implementación de cultivos dependientes de polinizadores a nivel mundial (Aizen et al., 2019), por lo que conocer los polinizadores asociados a sistemas agrícolas se torna indispensable.

Muchos cultivos agrícolas son polinizados por abejas con rasgos funcionales específicos, como se evidencia en los cultivos de maracuyá (Calle et al., 2010; Arias-Suárez et al., 2014; González y González, 2015; Rodríguez-Calderón, 2016; Bezerra et al., 2019). Por esto, se deben ampliar las investigaciones enfocadas a la diversidad funcional de abejas y su relación con la polinización efectiva de los sistemas agrícolas donde actúan como visitantes florales, ya que los rasgos funcionales de las especies determinan la legitimidad de la polinización (Shaw et al., 2017). Además, estos estudios permitirán conocer las funciones ecológicas de abejas asociadas a cultivos en los que no actúan como polinizadores eficaces.

El papel ecológico de las abejas puede verse afectado por la interacción abeja-cultivo, debido a que muchos sistemas agrícolas, están expuestos a diferentes agroquímicos, que alteran el comportamiento y la morfología de las abejas (Chauzat et al., 2009). Por esta razón, se recomienda incrementar los estudios enfocados a la ecología funcional, no solo por los efectos adversos en la polinización, sino también en otros servicios ecosistémicos como el aporte en biomasa a las redes tróficas (Rodríguez y Velásquez, 2013). La ampliación de estos estudios es esencial para garantizar la conservación de abejas y sus servicios ecosistémicos en un mundo cambiante.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la revisión realizada sobre la representatividad de las dimensiones taxonómica y funcional de la diversidad de abejas asociadas a cultivos, se encontró que ambas escalas de la diversidad son altas y con un buen potencial de ser mayor, a pesar de la asociación entre la fragmentación y pérdida de hábitat con la disminución de polinizadores. Es importante aclarar que esto no significa

que los cultivos promuevan la diversidad de abejas, sino que estas pueden usarlos como recurso alternativo debido a la disponibilidad de flores. La variedad de rasgos funcionales y la riqueza y composición a escala taxonómica guarda congruencia entre sus valores para varios de los cultivos estudiados, sin embargo, esto no ocurre en otros como la palma, donde se favorece la ocupación de hábitat para un número alto de especies, pero con un mismo patrón de rasgos funcionales. Este comportamiento de las diversidades taxonómica y funcional tiene fuertes implicaciones para la conservación de las abejas y su función ecológica, por lo que requiere más profundidad de análisis con estudios in situ. Se identifica la necesidad de más estudios ecológicos que evalúen las variaciones en las métricas taxonómicas y funcionales de la diversidad de abejas, que analicen la congruencia entre ambas dimensiones de la diversidad a la luz de predictores locales y regionales propios de un paisaje agrícola y de cada cultivo en particular.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Investigaciones y la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Dr. Enrique Vera López y a Laura Rivera por su gestión, colaboración y apoyo a la formación de investigadores (convocatoria 18 de 2019 – Jóvenes investigadores 2020 “Aportando a la agenda 2030 - Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)”). Al grupo de investigación Sistemática Biológica de la UPTC por su apoyo logístico. Este manuscrito se realizó en el marco del proyecto BPIN 2020000100003, financiado por el sistema general de regalías.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Aizen, M. A., Aguiar, S., Biesmeijer, J. C., Garibaldi, L. A., Inouye, D. W., Jung, C., Inouye, D. W., Jung, C., Martins, D. J., Medel, R., Morales, C. L., Ngo, H., Pauw, A., Paxton, R. J., Sáez, A., y Seymour, C. L. (2019). Global agricultural productivity is threatened by increasing pollinator dependence without a parallel increase in crop diversification. *Global Change Biology*, 25(10), 3516-3527. <https://doi.org/10.1111/gcb.14736>
- Akamine, E. K., y Girolami, D. G. (1959). Pollination and fruit set in yellow passion fruit. Hawaii Agriculture Experimental Station, University of Hawaii. *Technical Bulletin*, 39.
- Arias-Suárez, J. C., Ocampo-Pérez, J. A., y Urrea-Gómez, R. (2014). La polinización natural en el maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Degener) como un servicio reproductivo

- y ecosistémico. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 73-83. <https://doi.org/10.15517/am.v25i1.14200>
- Banaszak, J., y 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>
- Barrientos-Restrepo, E. M. (2012). *Abejas visitantes de papa (Solanum tuberosum L.), en tres agroecosistemas de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, Colombia*. [Tesis de Maestría]. Facultad de Ciencias.
- Bezerra, A. D. M., Pacheco Filho, A. J. S., Bomfim, I. G., Smagghe, G., y Freitas, B. M. (2019). Agricultural area losses and pollinator mismatch due to climate changes endanger passion fruit production in the Neotropics. *Agricultural Systems*, 169, 49-57. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.12.002>
- Bravo-Monroy, L., Tzanopoulos, J., y Potts, S. G. (2015). Ecological and social drivers of coffee pollination in Santander, Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 211, 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.06.007>
- Brieva-Oviedo, E., y Núñez-Avellaneda, L. A. (2020). Biología reproductiva de la palma amarga (*Sabal mauritiformis*: Arecaceae): especie económicamente importante para la Costa Caribe colombiana. *Caldasia* 42(2), 278-293. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v42n2.75595>
- Buchholz, S., Gathof, A. K., Grossmann, A. J., Kowarik, I., y Fischer, L. K. (2020). Wild bees in urban grasslands: Urbanisation, functional diversity and species traits. *Landscape and Urban Planning*, 196, 103731. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103731>
- Buchmann, S. L. (1983). Buzz pollination in angiosperms. En C. E. Jones, y R. J. Little, (Eds.). *Handbook of experimental pollination biology* (pp. 73-113). Scientific and Academic Editions.
- Calle, Z., Guariguata, M. R., Giraldo, E., y Chará, J. (2010). La producción de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Colombia: perspectivas para la conservación del hábitat a través del servicio de polinización. *Interciencia*, 35(3), 207-212.
- Cadotte, M. W., Carscadden, K., y Mirotnick, N. (2011). Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology*, 48(5), 1079-1087. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02048.x>
- Casanoves, F., Pla, L., y Di Rienzo, J. A. (2011). *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*, CATIE, pp.119.
- Chauzat, M. -P., Carpentier, P., Martel, A. C., Bougeard, S., Cougoule, N., Porta, P., Lachaize, J., Madec, F., Aubert, M., y Fauconet J.-P. (2009). Influence of pesticide residues on honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony health in France. *Environmental Entomology*, 38(3), 514-523. <https://doi.org/10.1603/022.038.0302>
- Da Silva, C. I., Gomes, N., Correia da Rocha, L., y Garófalo, C. A. (2012). The importance of plant diversity in maintaining the pollinator bee, *Eulaema nigrita* (Hymenoptera: Apidae) in sweet passion fruit fields. *Revista de Biología Tropical*, 60(4), 1553-1565. <https://doi.org/10.15517/rbt.v60i4.2073>
- De Luca, P. A., y Vallejo-Marin, M. (2013). What's the 'buzz' about? The ecology and evolutionary significance of buzz-pollination. *Current Opinion in Plant Biology*, 16(4), 429-435. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2013.05.002>
- Decourtye, A., Alaux, C., Le Conte, Y., y Henry, M. (2019). Toward the protection of bees and pollination under global change: present and future perspectives in a challenging applied science. *Current Opinion in Insect Science*, 35, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.008>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, y M., Robledo, C. W. (2008). *InfoStat, versión 2008*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Díaz, S., y Lavorel, S., De Bello, F., Quétier, F., y Grigulis, K., y Robson, M. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceeding of National Academy of Sciences of the United States of America*. 104(52), 20684-20689. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704716104>
- Dodge, B. (01 enero de 2005). *Motores de búsqueda y álgebra booleana*. Recuperado el 15 noviembre de 2020 de <http://usuaris.tinet.cat/mrpte/recursos/motors.pdf>
- Ellis, K. E., y Barbercheck, M. E. (2015). Management of overwintering cover crops influences floral resources and visitation by native bees. *Environmental Entomology*, 44(4), 999-1010. <https://doi.org/10.1093/ee/nw086>
- FAO. (2008). FAOSTAT. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. La Papa. <http://faostat.fao.org>
- FAO. (2016). FAOSTAT. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <http://faostat.fao.org>
- Forrest, J. R., Thorp, R. W., Kremen, C., y Williams, N. M. (2015). Contrasting patterns in species and functional trait diversity of bees in an agricultural landscape. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 706-715. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12433>
- Franco, Y., Alzate, F., y Peláez, J. M. (2007). Factores ambientales incidentes en la población de *Xylocopa* y su efecto en el cultivo de granadilla en tres veredas del municipio de Guarne (Colombia). *Revista Universidad Católica de Oriente*, 24, 73-86.
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Kremen, C., Morales, J. M., Bommarco, R., Cunningham, S. A., Carvalheiro, L. G., Chacoff, N. P., Dudenhöffer, J. H., Greenleaf, S. S., Holzschuh, A., Isaacs, R., Krewenka, K., Mandelik, Y., Mayfield, M. M., Morandin, L. A., Potts, S. G., Ricketts,

- T. H., Szentgyörgyi, H... Klein A. M. (2011). Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology Letters*, 14, 1062-1072. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01669.x>
- González-Betancourt, V. H., González, M., y Cuellar, Y. (2009). Notas biológicas y taxonómicas sobre los abejorros del maracuyá del género *Xylocopa* (Hymenoptera: Apidae, Xylocopini) en Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 14(2), 31-40.
- Guerrero-Olaya, N. Y., y Núñez-Avellaneda, L. A. (2017). Ecología de la polinización de *Syagrus smithii* (Arecaceae), una palma cantarofila de la Amazonia Colombiana. *Revista Peruana de Biología*, 24(1), 43-54. <https://doi.org/10.15381/rpb.v24i1.13102>
- Gutiérrez-Chacón, C., Fornoff, F., Ospina-Torres, R., y Klein, A. M. (2018). Pollination of granadilla (*Passiflora ligularis*) benefits from large wild insects. *Journal of Economic Entomology*, 111(4), 1526-1534. <https://doi.org/10.1093/jee/toy133>
- Herrera, O. V., y Sabogal-Sabogal, J. E. (2016). *Evaluación de la polinización de café Coffea arabica con abejas nativas (Apidae: Meliponini) en un cultivo agroecológico en la Mesa—Cundinamarca*. [Tesis]. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Hoiss, B., Krauss, J., Potts, S. G., Roberts, S., y Steffan-Dewenter, I. (2012). Altitude acts as an environmental filter on phylogenetic composition, traits and diversity in bee communities. *Proceedings of the Royal Society B. Biological Sciences*, 279(1746), 4447-4456. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1581>
- Inouye, D. W. (1980). The terminology of floral larceny. *Ecology*, 61, 1251-1252. <https://doi.org/10.2307/1936841>
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). (2020). *Boletín Alertas Tempranas Deforestación*.
- Jaramillo-Delgado, A. (2012). *Efecto de las abejas silvestres en la polinización del café (Coffea arabica: Rubiaceae) en tres sistemas de producción en el departamento de Antioquia*. [Tesis de Maestría]. Escuela de Biociencias.
- Janzen, D. H. (1985). *The natural history of mutualisms* (pp. 40-99). En: *The biology of mutualism*.
- Kaluza, B. F., Wallace, H., Keller, A., Heard, T. A., Jeffers, B., Drescher, N., Blüthgen, N., y Leonhardt, S. D. (2017). Generalist social bees maximize diversity intake in plant species-rich and resource-abundant environments. *Ecosphere*, 8(3), e01758. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1758>
- Kleijn, D., Winfree, R., Bartomeus, I., Carvalheiro, L. G., Henry, M., Isaacs, R., Klein, A.-M., Kremen, C., M'Gonigle, L. K., Rader, R., Ricketts, T. H., Williams, N. M., Adamson, N. L., Ascher, J. S., Báldi, A., Batáry, P., Benjamin, F., Biesmeijer, J. C., Blitzer, E. J... Potts, S. G. (2015). Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nature Communications*, 6(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/ncomms8414>
- Klein, A. -M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., y Tschardtke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B*, 274(1608), 303-313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Labiberté, E., Wells, J. A., DeClerck, F., Metcalfe, D. J., Catterall, C. P., Queiroz, C., Aubin, I., Bonser, S. P., Ding, Y., Fraterrigo, J. M., McNamara, S., Morgan, J. W., Sánchez Merlos, D., Vesik P. A., Margaret, y Mayfield, M. (2010). Land-use intensification reduces functional redundancy and response diversity in plant communities. *Ecology letter*, 13(1), 76-86. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01403.x>
- Leal, D. A., Gómez, A. P., Bautista, G. V., y Barbosa, D. C. (2018). Oferta alimenticia para abejas *Apis mellifera* en café. Pasuncha-Cundinamarca. *Perspectivas*, 11, 20-28.
- Linsley, E. (1958). The ecology of solitary bees. *Hilgardia*, 27(19), 543-599.
- McCravy, K. W., Geroff, R. K., y Gibbs, J. (2019). Bee (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) functional traits in relation to sampling methodology in a restored tallgrass prairie. *Florida Entomologist*, 102(1), 134-140. <https://doi.org/10.1653/024.102.0122>
- Medina-Gutiérrez, J., Ospina-Torres, R., y Nates-Parra, G. (2012). Efectos de la variación altitudinal sobre la polinización en cultivos de gulupa (*Passiflora edulis F. edulis*). *Acta Biológica Colombiana*, 17(2), 379-393.
- Michener, C. D. (1969). Comparative social behavior of bees. *Annual Review of Entomology*, 14(1), 299-342. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.14.010169.001503>
- Michener, C. D. (1964). Evolution of the nests of bees. *American Zoologist*, 4(2), 227-239. <https://www.jstor.org/stable/3881295>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (pp. 84). M&T-Manuales y Tesis SEA.
- Nates-Parra, G. (2006). *Abejas Corbiculadas de Colombia: Hymenoptera: Apidae* (pp.156). CO-BAC.
- Nates-Parra, G. (2016). *Iniciativa Colombiana de Polinizadores - Abejas – ICPA* (pp. 364). Bogotá, D. C. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia.
- Nagamitsu, T., y Inoue, T. (1997). Aggressive foraging of social bees as a mechanism of floral resource partitioning in an Asian tropical rainforest. *Oecologia*, 110(3), 432-439. <https://doi.org/10.1007/s004420050178>
- Nicholls, C. I., y Altieri, M. A. (2013). Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. *Agronomy for Sustainable Development*, 3(2), 257-274. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0092-y>
- Núñez, L. A., y Carreño, J. (2013). Biología reproductiva de *Mauritia flexuosa* en Casanare, Orinoquia colombiana. En C. A. Lasso, A. Rial, y V. González, (Eds.). *Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y pesqueros Continentales de Colombia*

- (pp. 119-150) Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Núñez, L. A., y Carreño, J. (2016). Las abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) visitantes florales de palmas (Arecaceae) en Colombia, y su papel en la polinización. En G. Nates-Parra. *Iniciativa Colombiana de Polinizadores-Abejas-ICPA* (p. 215-238). Bogotá, DC Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia.
- Núñez-Avellaneda, L. A. y Carreño, J. I. (2017). Polinización por abejas en *Syagrus orinocensis* (Arecaceae) en la Orinoquia colombiana. *Acta Biológica Colombiana*, 22(2), 221-233.
- Ollerton, J. (2017). Pollinator diversity: distribution, ecological function, and conservation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48, 353-376. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022919>
- Patel, V., Pauli, N., Biggs, E., Barbour, L., y Boruff, B. (2020). Why bees are critical for achieving sustainable development. *Ambio*, 50, 49-59. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01333-9>
- Plaza-Ortega, V., Velasco, Y. M., y Gallego-Ropero, M. C. (2017). Oferta polínica para abejas en sistemas cafeteros en el municipio de Popayán, Cauca. *BMEUV*, 17(2), S15-S15.
- Rao, S., y Stephen, W. P. (2010). Abundance and diversity of native bumble bees associated with agricultural crops: the Willamette Valley experience. *Psyche: A Journal of Entomology*, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2010/354072>
- Ricotta, C., de Bello, F., Moretti, M., Caccianiga, M., Cerabolini, B. E., y Pavoine, S. (2016). Measuring the functional redundancy of biological communities: a quantitative guide. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(11), 1386-1395 <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12604>
- Rodríguez-Calderón, A. T. (2016). Abejas del Maracuyá: Género *Xylocopa* Latreille, 1802. En G. Nates-Parra. *Iniciativa Colombiana de Polinizadores-Abejas-ICPA* (pp. 173-184). Bogotá, DC Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez-Parilli, S. A., y Velásquez, M. (2013). Contribución de biomasa de la comunidad de abejas (Hymenoptera: Apoidea) en bosque de galería del estado Guárico, Venezuela. *Entomotropica*, 27(3), 111-117.
- Sepúlveda-Cano, P. A. (2013). *Diversidad de abejas (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) en cultivos de papa (Solanum tuberosum L.) y su efecto en la Polinización*. [Tesis Doctoral]. Facultad de Ciencias Agrarias.
- Sepúlveda-Cano, P. A., Smith-Pardo, A. H., y Hoyos, R. A. (2017). Efecto del arreglo espacial del agroecosistema sobre la diversidad de abejas (Hymenoptera: Apoidea) en cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) en Antioquia, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 43(1), 55-63.
- Shaw, J. P., Taylor, S. J., Dobson, M. C., y Martin, N. H. (2017). Pollinator isolation in Louisiana iris: legitimacy and pollen transfer. *Evolutionary Ecology Research*, 18(4), 429-441.
- Suárez, J. C., Pérez, J. O., y Gómez, R. U. (2016). Sistemas de polinización en granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) como base para estudios genéticos y de conservación. *Acta Agronomica*, 65(2), 197-203. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n2.49278>
- Villéger, S., Mason, N. W., y Mouillot, D. (2008). New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, 89(8), 2290-2301. <https://doi.org/10.1890/07-1206.1>