

**Paisajes agroecológicos y polinización: un análisis de las Estructuras Agroecológicas  
Principales (EAP) en la conservación de polinizadores y su relación con la apicultura**

Sandra Elena Manrique Zuluaga

Asesor:

Juan Pablo Herrera

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Ciencias Agrarias Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Ingeniería Ambiental

2025

## Resumen

En los últimos años, la relación entre las Estructuras Agroecológicas Principales (EAP), la conservación de polinizadores y la apicultura ha adquirido un papel central en el estudio de los agroecosistemas, dada su importancia para la resiliencia ecológica y la provisión de servicios ecosistémicos. Sin embargo, la producción científica en este campo ha crecido de manera dispersa, lo que dificulta comprender cómo han evolucionado los enfoques, cuáles son las tendencias actuales y qué vacíos persisten en la literatura. El objetivo de este trabajo fue analizar el impacto documentado de las EAP sobre los polinizadores y la apicultura mediante una revisión sistemática y un análisis bibliométrico de la literatura científica reciente.

La búsqueda se llevó a cabo en la base de datos Web of Science (WoS), aplicando una ecuación que integró términos relacionados con paisaje agroecológico, sistemas agroforestales, polinizadores y apicultura. Se revisó el periodo comprendido entre 2015 y 2024. El proceso siguió los lineamientos PRISMA e incluyó análisis en VOSviewer para redes de coautoría, cocitación y coocurrencia de palabras clave. Adicionalmente, se aplicó el método Tree of Science para clasificar la literatura en raíces, troncos y ramas. En total, se identificaron 73 documentos potencialmente relevantes, de los cuales 51 cumplieron todos los criterios de inclusión y fueron analizados en profundidad.

Los resultados muestran un aumento sostenido de publicaciones a partir de 2016 y la consolidación de tres grandes clústeres temáticos: (1) conectividad ecológica y configuración del paisaje, (2) biodiversidad de polinizadores y servicios ecosistémicos, y (3) sistemas agroforestales y prácticas apícolas sostenibles. Los autores más influyentes y los artículos raíz destacan la importancia de la heterogeneidad del paisaje, los corredores biológicos y la disponibilidad floral en la permanencia y salud de los polinizadores. Las

ramas del Árbol de la Ciencia evidencian líneas emergentes como la evaluación funcional de comunidades de abejas, la integración de métricas de resiliencia ecológica y los efectos del cambio climático sobre la polinización.

Las conclusiones generales indican que las EAP contribuyen de manera consistente a mejorar la diversidad y abundancia de polinizadores y a crear condiciones más favorables para la práctica apícola. No obstante, la literatura revela limitaciones importantes, como la falta de estudios que integren variables productivas apícolas, la escasez de investigaciones a escala local y la débil conexión entre la ciencia del paisaje y la formulación de políticas públicas. Estas brechas abren oportunidades para fortalecer futuras líneas de investigación y avanzar hacia paisajes agrícolas más sostenibles.

***Palabras clave:*** Agroecosistemas, polinización, bases de datos, apicultura

## Abstract

In recent years, the relationship between Main Agroecological Structures (EAP), pollinator conservation, and beekeeping has become a central topic in agroecosystem research due to its relevance for ecological resilience and ecosystem service provision. However, scientific production in this field has grown in a dispersed manner, limiting the understanding of how research trends have evolved and what conceptual or methodological gaps persist. The aim of this study was to analyze the documented impact of EAP on pollinators and beekeeping through a systematic review and a bibliometric analysis of recent scientific literature.

The search was conducted in the Web of Science (WoS) database using a search equation that combined terms related to agroecological landscapes, agroforestry systems, pollinators, and beekeeping. The review covered the period from 2015 to 2024 and followed PRISMA guidelines. Bibliometric analyses were performed in VOSviewer to examine co-authorship, co-citation, and keyword co-occurrence networks. Additionally, the Tree of Science method was applied to classify the literature into roots, trunks, and branches. A total of 73 potentially relevant documents were identified, of which 51 met all inclusion criteria and were analyzed in depth.

Results show a steady increase in publications since 2016 and the consolidation of three major thematic clusters: (1) ecological connectivity and landscape configuration, (2) pollinator biodiversity and ecosystem services, and (3) agroforestry systems and sustainable beekeeping practices. Influential authors and root articles highlight the importance of landscape heterogeneity, biological corridors, and floral availability for pollinator health and persistence. Branch documents reveal emerging lines of research related to functional assessments of bee communities, ecological resilience metrics, and climate-change effects on pollination.

Overall, the findings indicate that EAP consistently enhance pollinator diversity and abundance while improving environmental conditions for beekeeping. Nonetheless, the literature reveals key limitations, including scarce integration of apicultural productivity variables, limited local-scale studies, and weak alignment between landscape science and public policy. These gaps underscore the need to strengthen future research and advance toward more sustainable agricultural landscapes.

***Keywords:*** Agroecosystems, pollination, databases, beekeeping

## Tabla de Contenido

Introducción.....	11
Contextualización .....	14
Planteamiento del Problema.....	16
Justificación.....	19
Objetivos .....	22
Objetivo General .....	22
Objetivos Específicos .....	22
Marco de Referencia.....	23
Marco Teórico.....	23
Polinización y Servicios Ecosistémicos.....	23
Abejas (Silvestres vs. Apis Mellifera) .....	24
EAP (Origen, Componentes, Conectividad Ecológica, Funciones) .....	26
Apicultura y Paisaje (Biodiversidad, Productividad, Resiliencia) .....	28
Marco Conceptual .....	30
Apicultura sostenible .....	30
<i>Agroecosistema</i> .....	30
<i>Polinizador</i> .....	31
<i>Estructura Agroecológica Principal (EAP)</i> .....	31
<i>Conectividad del paisaje</i> .....	32
<i>Biodiversidad funcional</i> .....	32
<i>Servicios ecosistémicos</i> .....	32
<i>Paisaje agroecológico, intensificación ecológica y resiliencia socioecológica</i> .....	33
Marco Normativo .....	33

Decreto Ley 2811 de 1974 .....	33
Ley 99 de 1993 .....	34
Ley 165 de 1994 .....	34
Decreto 1076 de 2015 .....	35
Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) .....	35
Ley 2193 de 2022 .....	35
Documento CONPES 3680 de 2010.....	36
Síntesis del marco normativo .....	36
Metodología.....	37
Tipo de Estudio .....	37
Ecuación de Búsqueda.....	37
Resultados y Análisis .....	44
Indicadores de Producción Científica.....	44
Indicadores de Producción Científica .....	45
Productividad por Países .....	46
Autores más Influyentes.....	48
Revistas más Relevantes .....	49
Redes de Colaboración, Cocitación y Coocurrencia .....	50
Colaboración entre Autores.....	52
Colaboración entre Países .....	53
Cocitación entre Autores.....	53
Coocurrencia de Palabras Clave.....	54
Clasificación del Árbol de la Ciencia (ToS) y Análisis Sistemático.....	55

Documentos Clásicos (Raíz) .....	56
Documentos Clásicos (Raíz) .....	56
Documentos Estructurales (Tronco) .....	59
Recientes .....	61
Tendencias Emergentes (Ramas).....	61
Investigaciones Recientes (Hojas) .....	64
Síntesis Integradora de Resultados.....	67
Evidencias del Impacto de las EAP sobre la Biodiversidad de Polinizadores .....	67
Beneficios y Limitaciones Identificados en la Literatura .....	68
Tendencias y Vacíos de Investigación Identificados .....	69
Síntesis Final .....	69
Discusión .....	71
Referencias .....	77

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Producción de Artículos por Países</i> .....	47
<b>Tabla 2.</b> <i>Autores más Relevantes</i> .....	49
<b>Tabla 3.</b> <i>Revistas más Relevantes</i> .....	50

### Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Ruta metodológica para el estudio bibliométrico y análisis sistemático</i> .....	40
<b>Figura 2</b> <i>Producción Científica de las Estructuras Agroecológicas en la Apicultura por Año</i> .....	45
<b>Figura 3</b> <i>Redes</i> .....	52

## Introducción

En la última década, el estudio de la interacción entre agricultura, biodiversidad y servicios ecosistémicos ha cobrado especial relevancia debido a las evidencias crecientes sobre el deterioro funcional de los paisajes rurales. Los agroecosistemas, tradicionalmente concebidos como espacios productivos aislados, hoy se reconocen como sistemas socioecológicos que dependen de procesos ecológicos fundamentales para su estabilidad y productividad. Entre estos procesos, la polinización destaca como un servicio ecosistémico crítico para la reproducción de plantas silvestres y cultivadas, así como para la seguridad alimentaria y la resiliencia agroecológica (Potts et al., 2016; Klein et al., 2007).

Sin embargo, diversos estudios han documentado un declive sostenido de los polinizadores a nivel global, asociado a factores como la intensificación agrícola, la pérdida y fragmentación del hábitat, el uso indiscriminado de agroquímicos y la simplificación estructural de los paisajes (Kremen & M'Gonigle, 2022; Nates-Parra, 2005). Estas transformaciones reducen la disponibilidad floral, limitan los refugios naturales y afectan tanto a las abejas nativas como a las especies manejadas, comprometiendo la estabilidad de la polinización y, con ello, la productividad agrícola.

Ante este panorama, las Estructuras Agroecológicas Principales (EAP) han emergido como una estrategia relevante para mejorar la conectividad ecológica, conservar la biodiversidad funcional y fortalecer la sostenibilidad de los agroecosistemas. Las EAP comprenden elementos del paisaje como cercas vivas, corredores biológicos, franjas de vegetación, sistemas agroforestales y áreas de regeneración, los cuales actúan como soportes ecológicos que permiten el flujo de organismos, la disponibilidad constante de recursos florales y la regulación microclimática (León-Sicard, 2010a; Cleves-Leguízamo et al., 2017). Su papel adquiere especial relevancia en la apicultura, actividad cuyos niveles de

productividad, sanidad y estabilidad dependen de la diversidad y continuidad de las floraciones, así como de la calidad ecológica del entorno (Agostini et al., 2023; García-García, 2021).

Si bien la literatura científica ha documentado avances significativos sobre polinizadores y prácticas agroecológicas, el conocimiento asociado a las EAP presenta aún dispersión conceptual, enfoques metodológicos heterogéneos y limitada integración entre estudios ecológicos, productivos y socioeconómicos. Además, son escasos los análisis que sistematizan y evalúan de manera articulada la evolución científica del campo, las tendencias investigativas, los vacíos existentes y la relación entre EAP, polinizadores y apicultura en un marco integrador. Esta ausencia dificulta la formulación de estrategias fundamentadas que contribuyan a consolidar paisajes agroecológicos resilientes.

A partir de esta brecha surge la necesidad de analizar de manera sistemática cómo la literatura científica ha abordado el impacto de las EAP sobre la biodiversidad de polinizadores y la actividad apícola, así como identificar los beneficios, limitaciones y tendencias investigativas del campo. De este vacío conceptual y metodológico se desprende la pregunta orientadora de esta monografía: ¿cómo ha evolucionado la producción científica relacionada con las Estructuras Agroecológicas Principales, la conservación de polinizadores y la apicultura, y qué aportes permiten comprender su papel en la sostenibilidad de los paisajes agrícolas?

Con el fin de responder a este interrogante, el presente trabajo desarrolla una revisión sistemática y un análisis bibliométrico de la literatura científica publicada entre 2012 y 2025, integrando indicadores de producción, impacto, redes de colaboración y contenidos temáticos. Esta aproximación permite caracterizar el estado del conocimiento,

identificar autores y países líderes, reconocer clústeres conceptuales y detectar vacíos que orienten futuras investigaciones.

La contribución de esta monografía se centra en ofrecer una visión comprehensiva y estructurada del campo de estudio, proporcionando evidencia que puede servir como base para fortalecer la planificación agroecológica, orientar la formulación de políticas públicas, apoyar procesos de conservación de biodiversidad y potenciar la apicultura como actividad estratégica en territorios rurales. Así, este trabajo no solo sintetiza los avances teóricos y metodológicos existentes, sino que también aporta elementos útiles para la toma de decisiones en torno a la sostenibilidad de los agroecosistemas.

## Contextualización

Los territorios rurales han experimentado transformaciones profundas en las últimas décadas, especialmente asociadas a la intensificación agrícola y a la expansión de modelos productivos homogéneos. Paisajes que tradicionalmente integraban mosaicos de cultivos, remanentes de vegetación nativa, árboles dispersos, fuentes de agua y áreas de regeneración natural han sido reemplazados por sistemas extensivos de producción con baja diversidad estructural y funcional. Este proceso ha reducido la complejidad ecológica de los agroecosistemas, afectando funciones esenciales como la regulación biológica y la polinización (Altieri & Nicholls, 2017; Guariguata & Ostertag, 2001).

La literatura científica ha documentado ampliamente que estos cambios en el uso del suelo tienen efectos directos sobre las poblaciones de polinizadores. La fragmentación del hábitat, la eliminación de corredores biológicos, la disminución de la oferta floral y el uso intensivo de agroquímicos constituyen factores que limitan la permanencia y movilidad de abejas, mariposas, abejorros y otros insectos polinizadores (Kremen & M'Gonigle, 2022; Potts et al., 2016). Esta problemática adquiere relevancia considerando que una proporción significativa de la producción agrícola global depende de la acción de estos organismos para el mantenimiento del rendimiento y la calidad de los cultivos (Klein et al., 2007).

En regiones donde la agricultura familiar y la apicultura forman parte de las economías rurales, la disminución de polinizadores tiene efectos tangibles en la estabilidad productiva. La salud de las colonias apícolas, su productividad y su capacidad para sostener procesos de polinización dependen de la integridad ecológica del territorio, particularmente de la disponibilidad de recursos florales continuos y de la calidad ambiental del paisaje (García-García, 2021; Agostini et al., 2023).

Ante este escenario, han surgido enfoques de planificación territorial que buscan integrar procesos ecológicos dentro de las matrices productivas. Entre estos, las Estructuras Agroecológicas Principales (EAP) se destacan como elementos estratégicos del paisaje rural, conformados por corredores biológicos, cercas vivas, setos, franjas de vegetación natural, rondas hídricas y árboles dispersos, entre otros. Estas estructuras cumplen funciones esenciales para la conectividad ecológica, la biodiversidad funcional y la resiliencia de los agroecosistemas, permitiendo mantener flujos de organismos y procesos ecológicos dentro del territorio agrícola (León-Sicard, 2010a; Cleves-Leguízamo et al., 2017).

La importancia de las EAP se acentúa al considerar el crecimiento de la apicultura en los territorios rurales. La continuidad del recurso floral, la diversidad vegetal y la existencia de refugios adecuados constituyen requisitos indispensables para el bienestar de las abejas, tanto silvestres como manejadas (Farina, 2000; Bridi & Montenegro, 2017). La pérdida de estos elementos compromete directamente la sostenibilidad de la actividad apícola.

En este contexto, se vuelve necesario analizar cómo la literatura científica ha abordado las relaciones entre cambios en el paisaje agrícola, conservación de polinizadores y apicultura. Las transformaciones productivas y ecológicas descritas justifican el desarrollo de un estudio bibliométrico y una revisión sistemática que permitan identificar tendencias de investigación, enfoques predominantes, vacíos conceptuales y oportunidades de fortalecimiento en torno a las EAP, la polinización y la apicultura. Este análisis es fundamental para comprender la evolución del conocimiento científico y orientar futuras estrategias de gestión agroecológica en territorios rurales.

## Planteamiento del Problema

En numerosos territorios rurales se ha evidenciado un cambio profundo en la manera en que se estructura y gestiona el paisaje agrícola. La expansión de modelos productivos intensivos ha generado agroecosistemas cada vez más homogéneos, con baja diversidad funcional y una marcada reducción de la conectividad ecológica. Este proceso, ampliamente documentado por la literatura científica, ha contribuido al declive global de los polinizadores, al afectar directamente la disponibilidad de hábitat, la oferta floral y las rutas de movilidad (Kremen & M'Gonigle, 2022).

Aunque los polinizadores cumplen un papel esencial en la reproducción de numerosas plantas cultivadas y silvestres, y sostienen procesos ecológicos críticos para la productividad agrícola, su conservación continúa siendo relegada frente a sistemas de producción orientados principalmente al rendimiento inmediato. Elementos del paisaje como cercas vivas, setos, corredores biológicos, franjas de vegetación natural y árboles dispersos, actualmente reconocidos como Estructuras Agroecológicas Principales (EAP), han sido eliminados o reducidos, afectando servicios ecosistémicos clave como la polinización. Tal como lo afirman Altieri y Nicholls (2017), la pérdida de complejidad estructural disminuye la capacidad de los agroecosistemas para mantener procesos ecológicos esenciales y limita su resiliencia frente a perturbaciones ambientales.

La reducción de estas estructuras impacta de forma directa a los polinizadores al restringir la disponibilidad de recursos florales, limitar los refugios y dificultar su desplazamiento. Estudios como los de Potts et al. (2016) han demostrado que la simplificación del paisaje agrícola y la pérdida de hábitats se encuentran entre las principales causas del descenso de poblaciones de abejas y otros polinizadores, lo que repercute negativamente en el rendimiento de los cultivos y en la estabilidad productiva.

La apicultura, actividad fundamental para muchas economías rurales, también se ve afectada por estas transformaciones. La salud y productividad de las colonias dependen de paisajes diversos, ecológicamente funcionales y con disponibilidad floral continua. En paisajes simplificados, las abejas enfrentan estrés nutricional, mayores riesgos sanitarios y disminución de la productividad (García-García, 2021). En este sentido, el estado de las abejas manejadas constituye un indicador sensible de la calidad ecológica del entorno agrícola.

Si bien existe un conjunto creciente de investigaciones que destaca la relación positiva entre biodiversidad, conectividad ecológica y conservación de polinizadores, gran parte de este conocimiento se encuentra disperso y abordado desde perspectivas disciplinares aisladas. La literatura evidencia la ausencia de análisis integradores que sintetizen de manera sistemática cómo las EAP han sido estudiadas en relación con los polinizadores y con la apicultura, y que permitan identificar tendencias, vacíos conceptuales, patrones de colaboración y oportunidades de investigación (Nicholls & Altieri, 2018).

Esta dispersión limita la capacidad para comprender de manera holística el aporte de las EAP a la sostenibilidad de los agroecosistemas y dificulta la formulación de estrategias agroecológicas basadas en evidencia. De allí surge la necesidad de realizar un estudio que articule un análisis bibliométrico con una revisión sistemática, permitiendo evaluar la evolución del conocimiento científico, los enfoques predominantes y las contribuciones más relevantes en torno a esta temática.

A partir de este vacío académico, se plantea la pregunta de investigación que orienta la presente monografía:

¿Cómo ha sido estudiada, desde la literatura científica, la relación entre las Estructuras Agroecológicas del Paisaje (EAP), la conservación de los polinizadores y la sostenibilidad de la apicultura?

## **Justificación**

La conservación de los polinizadores se ha convertido en una prioridad global debido a su papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas y en la sostenibilidad de la producción agrícola. En diversos territorios rurales, la transformación acelerada del paisaje, caracterizada por la reducción de vegetación natural, la pérdida de conectividad ecológica y la expansión de monocultivos, ha generado afectaciones directas sobre los procesos ecológicos que sostienen la productividad, siendo la polinización uno de los más comprometidos. Estas dinámicas han impulsado un creciente interés científico por comprender de manera integral las relaciones entre biodiversidad, estructura del paisaje y sostenibilidad productiva.

En este contexto, las Estructuras Agroecológicas Principales (EAP) han emergido como elementos clave para promover paisajes agrícolas funcionales. La evidencia científica demuestra que la presencia de corredores biológicos, setos vivos, sistemas agroforestales y otras estructuras vegetales contribuye a mantener la diversidad de polinizadores y a fortalecer servicios ecosistémicos esenciales como la polinización, el control biológico y la regulación microclimática (Altieri & Nicholls, 2017). Pese a ello, la investigación disponible se caracteriza por enfoques fragmentados, centrados en estudios de caso o en análisis ecológicos específicos, sin una visión integradora que permita comprender la evolución del conocimiento científico en torno a las EAP, los polinizadores y la apicultura.

Desde una perspectiva académica, se identifica un vacío significativo: la falta de revisiones sistemáticas y análisis bibliométricos que articulen de manera conjunta los aportes conceptuales, tendencias investigativas, patrones de colaboración y vacíos de conocimiento sobre esta temática. Aunque existen trabajos que documentan el declive de polinizadores asociado a la pérdida de hábitat (Kremen & M'Gonigle, 2022) y estudios que

relacionan características del paisaje con la productividad apícola (García-García, 2021), estos hallazgos no han sido consolidados en una síntesis rigurosa que facilite la comprensión integral del campo.

La presente monografía se justifica por su contribución científica al abordar este vacío mediante una revisión sistemática y un análisis bibliométrico de la literatura indexada en Web of Science (WoS). Esta base de datos ofrece altos estándares de calidad, consistencia en metadatos y amplia cobertura internacional, lo que permite analizar de manera objetiva la evolución del campo, identificar autores influyentes, revistas especializadas, redes de colaboración y clústeres temáticos. Además, el uso de técnicas bibliométricas complementa la revisión cualitativa, garantizando mayor rigor metodológico y permitiendo visualizar tendencias emergentes y vacíos persistentes.

Asimismo, este estudio aporta valor práctico al fortalecer el puente entre la ciencia y la gestión del territorio. Contar con una síntesis estructurada del conocimiento disponible facilita la formulación de estrategias agroecológicas, la integración de las EAP en planes de ordenamiento y el diseño de políticas públicas orientadas a la conservación de polinizadores y al fortalecimiento de la apicultura. Como señalan Nicholls y Altieri (2018), la recuperación de la complejidad del paisaje es fundamental para avanzar hacia agroecosistemas resilientes, pero ello requiere decisiones basadas en evidencia sólida y sistematizada.

En suma, esta investigación se justifica por su relevancia ecológica, productiva y académica. Contribuye a ordenar el conocimiento existente, identifica oportunidades de investigación futura y ofrece insumos aplicables para el diseño de paisajes sostenibles. De esta manera, la monografía no solo llena un vacío en la literatura científica, sino que

también aporta elementos esenciales para comprender y fortalecer la relación entre estructura del paisaje, conservación de polinizadores y sostenibilidad de la apicultura.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar el impacto de las Estructuras Agroecológicas Principales (EAP) en la conservación de polinizadores y la apicultura a través de una revisión sistemática y un análisis bibliométrico de la literatura científica.

### **Objetivos Específicos**

Analizar el impacto documentado de las Estructuras Agroecológicas Principales (EAP) sobre la biodiversidad de polinizadores en agroecosistemas.

Identificar los principales beneficios y limitaciones reportados en la literatura científica respecto a la implementación de EAP para la conservación de polinizadores.

Determinar las tendencias científicas y los autores clave relacionados con el uso de las EAP en la apicultura y la conservación de polinizadores.

## Marco de Referencia

### Marco Teórico

#### *Polinización y Servicios Ecosistémicos*

La polinización constituye un servicio ecosistémico fundamental que sostiene tanto la biodiversidad como la producción agrícola, debido a que este proceso ecológico no solo permite que se dé la reproducción de las plantas con flores, sino que también genera múltiples beneficios para los seres humanos, incluyendo la producción de alimentos, miel, semillas, fibras y materias primas, así como contribuciones culturales y educativas (Agostini, Galetto, Vieli, Murúa, Chacoff & Franco, 2023).

Se estima que aproximadamente dos tercios de las especies que son cultivadas de las que se alimenta la humanidad dependen o se benefician de la polinización, de ahí parte la diversidad de polinizadores, que incluye desde abejas silvestres, moscas, mariposas, aves y murciélagos, las cuales son determinantes para la eficiencia y estabilidad de este servicio. De hecho, las comunidades de polinizadores más diversas realizan una polinización que es mucho más eficiente que la proporcionada por una sola especie manejada, como la abeja de la miel (*Apis mellifera*) (Agostini et al., 2023).

La apicultura, que está centrada principalmente en *Apis mellifera*, se ha consolidado como una actividad económica bastante relevante, ya que es la que proporciona productos tales como miel, cera, polen y propóleo, generando ingresos para las comunidades rurales, sin embargo, la contribución de los polinizadores silvestres al rendimiento de los cultivos y al mantenimiento de los ecosistemas naturales sigue estando muy subestimada, por lo que resulta esencial que se implementen prácticas que favorezcan su conservación y diversidad (Agostini et al., 2023).

Entre las estrategias que son más efectivas para poder potenciar el servicio de polinización se encuentran la conservación de hábitats naturales, la diversificación de cultivos, la creación de corredores ecológicos, la plantación de cercos vivos y la recuperación de áreas degradadas con especies nativas. Además de esto, las prácticas agrícolas sostenibles, como la reducción del uso de agroquímicos y la intensificación ecológica del paisaje, son las que contribuyen a mantener poblaciones que sean saludables de polinizadores y, al mismo tiempo, aumentan los temas de la productividad y la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios (Agostini et al., 2023).

En este contexto, la polinización no solo es un servicio ecológico, sino un componente integral de los paisajes agrícolas que conecta la biodiversidad, la producción y el bienestar humano, demostrando que existe la necesidad de integrar políticas y prácticas que promuevan la coexistencia de la apicultura con la conservación de polinizadores silvestres.

### ***Abejas (Silvestres vs. Apis Mellifera)***

Las abejas quienes son las que representan uno de los grupos de insectos más importantes para la polinización de plantas, tanto silvestres como cultivadas, y su diversidad son las que determinan en gran medida la eficiencia de este servicio ecosistémico. En el Neotrópico se estima la existencia de casi 6.000 especies de abejas, que están divididas entre especies de lengua larga, como las Apidae y Megachilidae, y especies de lengua corta, como las Colletidae, Andrenidae y Halictidae, siendo así en Colombia se registran aproximadamente 1.000 especies, distribuidas en 90 géneros y cinco familias (Nates-Parra, 2005).

A diferencia de la abeja de la miel (*Apis mellifera*), que ha sido introducida y manejada para fines apícolas, las abejas silvestres o no-Apis son las que constituyen

aproximadamente el 90% del total de las especies de abejas en el mundo, dichas especies no han sido domesticadas y, en su mayoría, presentan hábitos que son solitarios, construyendo nidos en el suelo, troncos o tallos de plantas, sin formar colonias que sean grandes ni producir miel en cantidades comerciales, sin embargo, desempeñan un papel muy importante en la polinización de numerosas especies vegetales y en la conservación de la biodiversidad (Nates-Parra, 2005).

Dentro de las familias de abejas silvestres presentes en Colombia se destacan:

Colletidae, quienes son las abejas solitarias que construyen nidos en el suelo o en madera.

Andrenidae, que son las abejas solitarias que suelen ser oligoléticas, recolectando polen de especies específicas.

Halictidae, abejas solitarias o primitivamente sociales, las cuales son conocidas como “abejitas del sudor”.

Megachilidae, abejas cortadoras de hojas que son las que transportan el polen en la escopa esternal.

Apidae, que incluye tanto especies solitarias como sociales, como los abejorros (*Bombini*), las abejas de las orquídeas (*Euglossini*) y las abejas sin aguijón (*Meliponini*) (Nates-Parra, 2005).

Por su parte, *Apis mellifera*, que fue introducida en el continente americano desde la época colonial, se ha naturalizado y ha sido utilizada ampliamente en la apicultura comercial, debido a que su manejo permite que se dé la producción de miel, cera, polen y propóleo, constituyendo una fuente importante de ingresos rurales, no obstante, aunque su aporte es significativo, la diversidad y abundancia de polinizadores silvestres complementa

y a menudo supera la polinización proporcionada por las colonias manejadas, asegurando mayor estabilidad y eficiencia en los ecosistemas agrícolas y naturales (Nates-Parra, 2005).

La conservación de ambos grupos de abejas es esencial, ya que la pérdida de polinizadores silvestres debido a la deforestación, la expansión urbana y el uso de agroquímicos afecta de una manera que es directa la producción de alimentos y la reproducción de muchas plantas, por ello, las estrategias de conservación deben considerar tanto la protección de los hábitats naturales de las abejas silvestres como el manejo sostenible de *Apis mellifera* para garantizar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos asociados a la polinización (Nates-Parra, 2005).

#### ***EAP (Origen, Componentes, Conectividad Ecológica, Funciones)***

La Estructura Agroecológica Principal (EAP) surge como un concepto que se considera innovador en el marco de la agroecología, que está destinado a la planificación y gestión de los agroecosistemas mayores, como lo son las fincas o unidades productivas, en donde su origen se relaciona con los trabajos de Van der Hammen (1998) y Van der Hammen y Andrade (2003) sobre la Estructura Ecológica de Soporte de la Nación, que distinguieron la Estructura Ecológica Principal del paisaje y la Infraestructura Ecológica, reconociendo la importancia que tienen los remanentes de vegetación en los agroecosistemas. No obstante, fue León-Sicard (2010a) quien realizó la formalizó el concepto de EAP, definiéndola como la configuración espacial interna de la finca y la conectividad entre sus sectores, parches y corredores de vegetación o sistemas productivos, la cual permite el movimiento e intercambio de especies vegetales y animales, ofrece hábitat, alimento y refugio, y contribuye a que se hagan regulaciones microclimáticas, producción y conservación de recursos (Cleves-Leguízamo et al., 2017; León-Sicard, 2010a).

El concepto de agroecosistema mayor se relaciona de forma directa con la EAP, por cuanto cada finca integra diversos agroecosistemas menores, como lo son los cultivos, áreas forestales o sistemas silvopastoriles, quienes interactúan entre sí y con el entorno, generando una red de relaciones ecológicas, sociales y culturales, en donde la EAP refleja estas relaciones y permite que se pueda analizar la resiliencia y la capacidad de adaptación de los sistemas productivos frente a disturbios naturales o antropogénicos (Altieri & Nicholls, 2009; León-Sicard, 2014).

Los componentes de la EAP incluyen conectores tanto internos como externos, corredores biológicos, coberturas vegetales y sistemas productivos diversificados, es así que la conectividad interna y externa de estos elementos es fundamental, puesto que facilita la circulación de organismos polinizadores, controladores biológicos y nutrientes, al mismo tiempo que genera efectos sinérgicos sobre la biodiversidad y la productividad (León-Sicard et al., 2011; Cleves-Leguízamo et al., 2017). La evaluación de la EAP se realiza a través de unos parámetros que incluyen la conexión con la estructura ecológica del paisaje, extensión y diversificación de conectores, manejo del suelo, control de arvenses, percepción de los productores y capacidad de acción (León-Sicard, 2014).

La EAP se concibe además como una estructura disipativa, es decir, un sistema que está abierto y intercambia continuamente materia, energía e información con el entorno, manteniendo su funcionalidad a pesar de perturbaciones que existan a nivel externo. Este enfoque permite que se pueda comprender mucho mejor cómo la diversificación y conectividad de los agroecosistemas contribuyen a la resiliencia frente a cambios climáticos, plagas o alteraciones socioeconómicas, facilitando la realización de intervenciones culturales y ecológicas que potencien la sostenibilidad de las fincas (Prigogine, 1983; Wagensberg, 1998; León-Sicard, 2010a).

En estudios de campo realizados en Colombia, se ha evidenciado que fincas con EAP más desarrollada presentan una mayor resiliencia, diversidad biológica y riqueza de polinizadores, en comparación con aquellas con estructuras que son muy débiles o poco conectadas (Córdoba & León-Sicard, 2013; Cepeda et al., 2014). Esto lo que haces es que refuerza la importancia de la EAP como una herramienta estratégica para el diseño de agroecosistemas sostenibles, en donde la interacción entre biodiversidad, prácticas culturales y manejo productivo se convierte en un pilar para la conservación ambiental y la seguridad alimentaria.

### ***Apicultura y Paisaje (Biodiversidad, Productividad, Resiliencia)***

La apicultura se reconoce como una actividad que es estratégica y que contribuye tanto a la producción de alimentos como a la conservación de los ecosistemas forestales, promoviendo que exista una sostenibilidad socioecológica en paisajes rurales y naturales. En este contexto, la apicultura no solo tiene un papel económico por la producción de miel y otros productos apícolas, sino que también cumple con unas funciones ecológicas esenciales, tales como lo son la polinización, la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de servicios ecosistémicos (Skewes et al., 2018; Farina, 2000).

En particular, la apicultura puede integrarse de manera socialmente inclusiva en la conservación de bosques nativos, como los esclerófilos y templados de Chile, generando que exista un equilibrio entre el uso productivo y la protección ambiental, ahora bien, la clave está en la articulación que tienen las prácticas apícolas con la conservación de la cobertura vegetal, reconociendo que esta relación depende en gran medida de condiciones sistémicas complejas y no es automática (Skewes et al., 2018), es aquí en donde los sistemas socioecológicos permiten que se pueda analizar estas relaciones, identificando

cómo la actividad apícola puede llegar a fortalecer la resiliencia de los ecosistemas y de las comunidades humanas que dependen de ellos (Berkes et al., 2003).

El impacto positivo de la apicultura sobre la biodiversidad se evidencia en la promoción de la polinización de especies nativas y cultivadas, facilitando la regeneración de bosques degradados y aumentando la riqueza de especies en el paisaje (Elías, 2014; Guariguata & Ostertag, 2001). Además, la diversificación de hábitats y floraciones en distintos estratos vegetales permite que las colonias de abejas y otros polinizadores encuentren de forma más fácil alimento y refugio durante todo el año, potenciando la productividad apícola y la estabilidad ecológica de los sistemas (Montenegro et al., 2008; Bridi & Montenegro, 2017).

Por otro lado, la apicultura contribuye a la resiliencia del paisaje, la cual es entendida como la capacidad del sistema de adaptarse y mantener sus funciones frente a perturbaciones ambientales o socioeconómicas. La introducción de *Apis mellifera* L. y la gestión responsable de colmenas en contextos forestales permiten que los apicultores intervengan en procesos de regeneración natural, mejorando la capacidad de respuesta del ecosistema ante cambios climáticos, degradación del suelo o pérdida de biodiversidad (Skewes et al., 2018; Hodges, 2008).

Finalmente, la apicultura constituye un vínculo entre la biodiversidad, la productividad y la resiliencia del paisaje, integrando objetivos ecológicos, económicos y culturales. La práctica apícola moderna se convierte así en una herramienta para desarrollar paisajes multifuncionales, donde la conservación ambiental y el bienestar humano se apoyan mutuamente, fomentando sistemas sostenibles y adaptativos en los territorios rurales y forestales (Shapiro, 1995; Skewes et al., 2018).

## **Marco Conceptual**

El marco conceptual de este trabajo reúne los términos clave que orientan el análisis de la relación entre las Estructuras Agroecológicas Principales, la conservación de los polinizadores y la apicultura. Estas definiciones no se presentan solo de manera descriptiva, sino que cumplen una función operativa dentro del estudio, ya que permiten delimitar categorías de búsqueda, análisis e interpretación de la literatura científica revisada mediante un enfoque sistemático y bibliométrico.

### ***Apicultura sostenible***

La apicultura sostenible se entiende como la práctica de manejo de colmenas orientada no solo a la obtención de miel y otros productos apícolas, sino también al cuidado del entorno y a la conservación de las abejas y del paisaje donde se desarrolla la actividad. Este enfoque busca mantener un equilibrio entre la productividad económica, la salud de las colmenas y la conservación de la biodiversidad, reconociendo el valor de la polinización como servicio ecosistémico y la participación de las comunidades rurales en procesos de largo plazo (Bradbear, 2009; Skewes et al., 2018).

entro de este estudio, la apicultura sostenible funciona como una categoría central de análisis bibliométrico, ya que permite identificar cómo la literatura científica ha abordado la relación entre actividad apícola, diversidad vegetal, paisaje agrícola y conservación de polinizadores en distintos contextos territoriales.

### ***Agroecosistema***

El agroecosistema se define como un sistema ecológico transformado por la acción humana en el que interactúan cultivos, suelos, clima, organismos vivos y prácticas culturales con fines productivos. A diferencia de los ecosistemas naturales, el

agroecosistema mantiene funciones ecológicas mientras responde a decisiones de manejo, por lo que su estabilidad y resiliencia dependen en gran medida de la forma como se organiza el paisaje y se usan sus recursos (Altieri, 2009; León-Sicard, 2010a).

En el marco de la revisión sistemática, el agroecosistema permite contextualizar los estudios analizados y clasificar las investigaciones según el tipo de sistema productivo, el manejo del paisaje y el papel que cumplen las EAP en la conservación de polinizadores.

### ***Polinizador***

Se entiende por polinizador cualquier organismo que facilita la transferencia de polen entre las flores, permitiendo la reproducción sexual de las plantas y el mantenimiento de la diversidad genética vegetal. Entre los principales polinizadores se destacan las abejas, tanto la especie manejada *Apis mellifera* como las abejas silvestres, las cuales aportan de manera significativa a la productividad agrícola y al funcionamiento de los ecosistemas naturales (Klein et al., 2007).

En este estudio, el concepto de polinizador es una unidad de análisis clave que permite identificar tendencias de investigación, enfoques predominantes y vacíos de conocimiento relacionados con biodiversidad, pérdida de hábitat, conectividad ecológica y efectos del paisaje sobre la polinización.

### ***Estructura Agroecológica Principal (EAP)***

La Estructura Agroecológica Principal hace referencia a la configuración espacial y a la conectividad interna y externa de un agroecosistema, integrando elementos como parches de vegetación, corredores biológicos, cercas vivas, franjas forestales y sistemas productivos diversificados. Estas estructuras permiten el movimiento de especies, ofrecen refugio y alimento, regulan condiciones microclimáticas y fortalecen la resiliencia del sistema productivo (León-Sicard, 2010a; Cleves-Leguízamo et al., 2017).

En el análisis bibliométrico, la EAP funciona como eje articulador del estudio, ya que permite examinar cómo la literatura científica ha abordado la relación entre paisaje agroecológico, conectividad del paisaje y conservación de polinizadores, así como su vínculo con la sostenibilidad de la apicultura.

### ***Conectividad del paisaje***

La conectividad del paisaje se refiere al grado en que los elementos del territorio permiten el movimiento de organismos, el flujo de energía y la circulación de procesos ecológicos. Una mayor conectividad facilita la sobrevivencia de los polinizadores, reduce los efectos de la fragmentación y mejora la prestación de servicios ecosistémicos en agroecosistemas complejos. Este concepto es clave para interpretar cómo las EAP influyen en la estabilidad ecológica y productiva de los paisajes agrícolas.

### ***Biodiversidad funcional***

La biodiversidad funcional hace referencia al conjunto de organismos que cumplen funciones ecológicas específicas dentro de un sistema, como la polinización, el control biológico o el reciclaje de nutrientes. En este trabajo, este concepto permite comprender que no solo importa la cantidad de especies, sino su aporte funcional dentro del agroecosistema, aspecto recurrente en la literatura reciente sobre polinizadores y paisajes diversificados.

### ***Servicios ecosistémicos***

Los servicios ecosistémicos son los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, entre ellos la polinización, la regulación del clima, la conservación del suelo y la provisión de alimentos. Este concepto permite vincular la conservación de polinizadores y la presencia de EAP con beneficios ecológicos, productivos y sociales ampliamente abordados en la literatura científica.

### ***Paisaje agroecológico, intensificación ecológica y resiliencia socioecológica***

El paisaje agroecológico se concibe como un mosaico de usos del suelo donde coexisten producción agrícola, elementos naturales y prácticas de manejo sostenible. La intensificación ecológica propone mejorar la productividad sin aumentar los impactos ambientales, apoyándose en procesos ecológicos como la polinización y la biodiversidad funcional. Por su parte, la resiliencia socioecológica hace referencia a la capacidad de los sistemas agrícolas y de las comunidades para adaptarse y mantener sus funciones frente a cambios ambientales y sociales.

Estos conceptos complementarios permiten interpretar los resultados de la revisión sistemática y el análisis bibliométrico desde una visión integradora, reforzando la articulación entre EAP, conservación de polinizadores y apicultura sostenible en el marco de los objetivos del estudio.

### **Marco Normativo**

En Colombia existe un marco legal amplio que orienta la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de los recursos naturales y la gestión de los agroecosistemas, y este conjunto de normas es clave para comprender cómo se respaldan, desde lo normativo, acciones relacionadas con la protección de polinizadores, la planificación del paisaje agrícola y la promoción de prácticas agroecológicas. Este marco no solo establece obligaciones y principios, sino que también da soporte a investigaciones que, como este estudio, buscan analizar de manera sistemática y académica la relación entre paisaje, biodiversidad y apicultura.

### ***Decreto Ley 2811 de 1974***

El Decreto Ley 2811 de 1974, conocido como el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, constituye una de las bases del

ordenamiento ambiental en Colombia. Este decreto reconoce que los recursos naturales y el ambiente son patrimonio común de la nación y que su uso debe realizarse de forma racional y sostenible. Su relación con este estudio se da en la medida en que establece la protección de suelos, coberturas vegetales, fuentes hídricas y áreas estratégicas, elementos que hoy se reconocen como componentes esenciales del paisaje y que cumplen funciones clave para la conservación de polinizadores y para el fortalecimiento de las Estructuras Agroecológicas Principales.

### ***Ley 99 de 1993***

La Ley 99 de 1993 creó el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y organizó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), definiendo las responsabilidades del Estado en materia de gestión y conservación ambiental. Esta ley declara la biodiversidad como patrimonio nacional y establece que su protección es prioritaria. En el contexto de esta monografía, esta norma se vincula directamente con la necesidad de conservar los servicios ecosistémicos, entre ellos la polinización, y de promover modelos productivos que integren la sostenibilidad ecológica dentro de los paisajes agrícolas.

### ***Ley 165 de 1994***

Mediante la Ley 165 de 1994, Colombia aprueba el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), comprometiéndose a conservar la biodiversidad, usarla de manera sostenible y garantizar una distribución justa de los beneficios derivados de su utilización. Esta ley es particularmente relevante para el análisis de las EAP y los polinizadores, ya que respalda la importancia de mantener hábitats funcionales dentro de los sistemas productivos y promueve la generación de conocimiento científico, lo cual se conecta de manera directa con el enfoque bibliométrico desarrollado en este trabajo.

***Decreto 1076 de 2015***

El Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, compila y organiza la normativa ambiental vigente en el país. Este decreto incluye lineamientos relacionados con la conservación de la biodiversidad, la protección de ecosistemas estratégicos, la gestión del paisaje y el uso sostenible de los recursos naturales. Su importancia para esta investigación radica en que establece el marco operativo que permite implementar prácticas agroecológicas y acciones de conservación en el territorio, incluyendo aquellas que favorecen la conectividad ecológica y la protección de polinizadores.

***Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)***

La PNGIBSE adopta un enfoque socioecológico que reconoce la interdependencia entre los sistemas sociales y los sistemas naturales. Esta política identifica como principales motores de pérdida de biodiversidad el cambio en el uso del suelo, la degradación de ecosistemas y la transformación de agroecosistemas, factores que están estrechamente relacionados con el deterioro de los hábitats de los polinizadores. La política promueve la generación de conocimiento, la gestión del paisaje y la integración de la biodiversidad en la planificación territorial, aspectos que justifican la necesidad de analizar, desde la literatura científica, el papel de las EAP en la conservación de los servicios ecosistémicos.

***Ley 2193 de 2022***

La Ley 2193 de 2022 representa un avance normativo clave, ya que está orientada al fomento y desarrollo de la apicultura y a la protección de los polinizadores en Colombia. Esta ley reconoce de manera explícita la importancia de las abejas y otros polinizadores para la seguridad alimentaria, la biodiversidad y la sostenibilidad de los sistemas

productivos. Además, promueve la articulación entre producción apícola, conservación ambiental y planificación del territorio, lo cual se relaciona directamente con los objetivos de este estudio y con la necesidad de comprender cómo la literatura científica aborda estas interacciones.

### ***Documento CONPES 3680 de 2010***

El Documento CONPES 3680 de 2010 define los lineamientos para la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). Aunque su enfoque principal son las áreas protegidas, este documento es relevante porque promueve la conectividad ecológica y la integración de la conservación en el ordenamiento territorial, elementos que también pueden extrapolarse a paisajes agrícolas y agroecosistemas donde las EAP cumplen un papel fundamental.

### ***Síntesis del marco normativo***

En conjunto, este marco normativo evidencia que en Colombia existen bases legales sólidas que respaldan la conservación de polinizadores, la gestión del paisaje y el impulso de prácticas agroecológicas y apícolas sostenibles. Sin embargo, también muestra que la aplicación práctica de estas normas requiere mayor articulación con el conocimiento científico disponible. En este sentido, el análisis bibliométrico y la revisión sistemática que se desarrollan en esta monografía permiten identificar cómo la literatura científica ha abordado estas relaciones y cómo puede aportar insumos técnicos y conceptuales que fortalezcan la implementación efectiva de las políticas y normas en los territorios rurales.

## **Metodología**

### **Tipo de Estudio**

La presente investigación adopta una estrategia metodológica mixta, que combina un análisis bibliométrico con una revisión sistemática de la literatura científica. Esta combinación permite, por un lado, describir y cuantificar la evolución del conocimiento sobre las Estructuras Agroecológicas Principales (EAP) y su relación con polinizadores y apicultura; y, por otro lado, analizar en profundidad el contenido de los estudios para identificar el impacto documentado de las EAP sobre la biodiversidad de polinizadores, así como los beneficios, limitaciones y tendencias de investigación asociadas.

El material de análisis estuvo conformado por artículos científicos y artículos de revisión indexados en Web of Science (WoS), que abordaran explícitamente la relación entre EAP, polinizadores y apicultura en contextos agrícolas o agroforestales.

### **Ecuación de Búsqueda**

La búsqueda bibliográfica se realizó en la base de datos Web of Science (WoS), seleccionada por su rigurosidad en la indexación, su amplia cobertura internacional y su uso consolidado en estudios bibliométricos y revisiones sistemáticas en ciencias ambientales y agroecología.

Se utilizó la siguiente ecuación de búsqueda, diseñada para capturar estudios relacionados con estructuras agroecológicas del paisaje y su vínculo con la apicultura y los polinizadores:

("Agroecological Structure" OR "Main Agroecological Structure" OR  
"Agroecological Connectivit\*" OR "Agroecological Planning" OR "Agroecological  
Landscape\*" OR "Landscape Agroecolog\*" OR "Agroecological System\*" OR

"Agroforestry System\*") AND ("Apicultur\*" OR "Beekeeping" OR "Bee" OR "Bees" OR "Pollinator\*" OR "Floral Visitor\*" OR "Visitante Floral\*")

La ecuación se aplicó sobre los campos Title, Abstract y Author Keywords, que recogen el núcleo conceptual de cada publicación.

El periodo de análisis se delimitó entre 2015 y 2024, seleccionado estratégicamente para capturar la evolución reciente del conocimiento y las tendencias emergentes sobre la interacción entre EAP, biodiversidad de polinizadores y apicultura en paisajes agrícolas.

### **Criterios de inclusión y exclusión**

Con el fin de garantizar transparencia y trazabilidad, se siguieron los lineamientos del protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses).

#### **Criterios de inclusión:**

- **Tipo de publicación:** artículos científicos y artículos de revisión publicados en revistas indexadas y arbitradas.
- **Relevancia temática:** estudios que abordaran de manera explícita la relación entre EAP, paisaje agroecológico o sistemas agroforestales y polinizadores y/o apicultura, incluyendo provisión de hábitats, conectividad ecológica y servicios ecosistémicos.
- **Periodo de publicación:** 2015–2024.
- **Estado editorial:** trabajos sometidos a revisión por pares.
- **Metadatos completos:** presencia de información básica (autores, año, revista, título, palabras clave, DOI).

#### **Criterios de exclusión:**

- Documentos sin vínculo claro entre agroecología o estructuras del paisaje y polinizadores o apicultura.
- Literatura gris (informes, memorias de eventos, tesis, documentos técnicos no arbitrados).
- Publicaciones con metadatos incompletos o sin acceso al resumen.

No se definió un umbral mínimo de citas, con el propósito de incluir tanto estudios fundacionales como *trabajos emergentes* con alto potencial, independientemente de su antigüedad o impacto actual.

### **Proceso de selección de documentos (PRISMA)**

El proceso de selección se desarrolló en cuatro etapas, siguiendo el esquema PRISMA:

#### **1. Identificación:**

- Aplicación de la ecuación de búsqueda en WoS.
- Descarga de todos los registros obtenidos en formato de texto (.txt), incluyendo autores, título, año, revista, DOI y palabras clave.

#### **2. Cribado:**

- Eliminación de registros duplicados.
- Revisión preliminar de título, resumen y palabras clave para excluir estudios claramente no pertinentes al eje EAP–polinizadores–apicultura.

#### **3. Evaluación de elegibilidad:**

- Lectura detallada del resumen (y, cuando fue necesario, del texto completo) para verificar el cumplimiento de los criterios de inclusión.

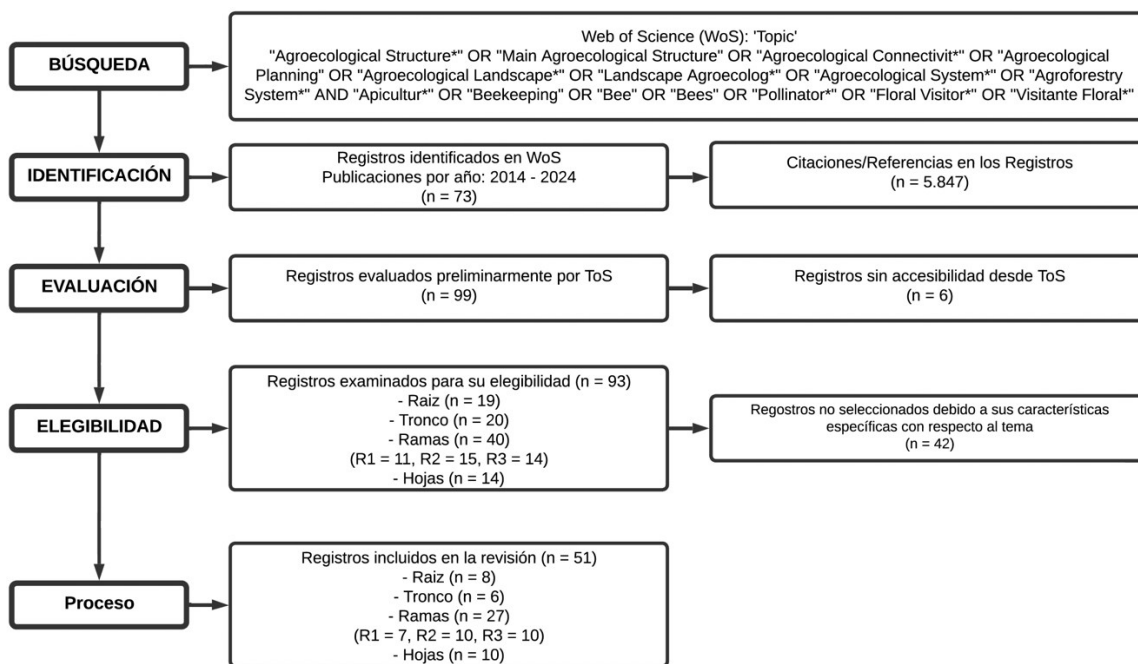
#### **4. Inclusión final:**

- Consolidación del corpus definitivo de análisis, integrado por 73 documentos (64 artículos científicos y 9 artículos de revisión) que cumplieron con todos los criterios temáticos y metodológicos.

Este proceso se sintetiza en un diagrama de flujo tipo PRISMA (Figura 1), el cual muestra con detalle el número de registros identificados ( $n = 73$ ), evaluados preliminarmente mediante Tree of Science ( $n = 99$ ), examinados para elegibilidad ( $n = 93$ ) y finalmente incluidos en la revisión sistemática ( $n = 51$ ). La figura también presenta los motivos de exclusión en cada fase, garantizando transparencia y trazabilidad metodológica.

**Figura 1**

*Ruta Metodológica para el Estudio Bibliométrico y Análisis Sistemático*



### Variables bibliométricas

El análisis bibliométrico se organizó en torno a un conjunto de variables clave, que permitieron caracterizar la estructura y dinámica de la producción científica:

1. Número total de publicaciones por año.

2. Autores con mayor número de publicaciones.
3. Instituciones con mayor producción científica.
4. Países líderes en publicaciones.
5. Revistas y fuentes científicas más productivas y con mayor impacto.
6. Palabras clave de autor más frecuentes.
7. Coocurrencia de palabras clave y formación de clústeres temáticos.
8. Tendencias en Keywords Plus.
9. Uso de palabras clave en títulos y resúmenes.
10. Evolución temática y líneas emergentes.

Estas variables permiten:

- Responder al objetivo específico 3 (tendencias científicas y autores clave),
- Contextualizar el estado del arte del campo EAP–polinizadores–apicultura,
- Y fundamentar la interpretación posterior en la discusión.

### **Recolección y análisis de datos bibliométricos**

Los registros obtenidos desde WoS se exportaron en formato .txt, incorporando metadatos como autores, título, resumen, año de publicación, DOI, revista, palabras clave de autor y referencias citadas.

El análisis se desarrolló en dos niveles:

#### **1. Análisis descriptivo y de producción científica:**

- Procesado inicial mediante las herramientas internas de WoS (“Analyze Results”), para obtener distribución por año, país, institución y revista.

#### **2. Análisis de redes y estructuras temáticas:**

Procesamiento de los datos en VOSviewer, utilizado para construir mapas de:

- Colaboración (autores y países),
- Coocurrencia de palabras clave,
- Y co-citación,

Lo que permitió visualizar comunidades científicas, clústeres temáticos y relaciones entre conceptos.

El uso combinado de WoS y VOSviewer permitió construir redes robustas de autores, instituciones y conceptos clave, proporcionando la base empírica para identificar tendencias científicas y líneas de investigación emergentes.

### **Análisis sistemático de los documentos (Tree of Science)**

Para profundizar en el contenido de los artículos seleccionados y comprender la evolución conceptual del campo, se utilizó la plataforma Tree of Science (ToS), que aplica teoría de grafos a las redes de citación.

ToS clasifica los documentos en tres categorías:

- **Raíces:** artículos fundacionales, altamente citados, que constituyen el marco teórico base.
- **Troncos:** estudios estructurales que conectan los aportes clásicos con desarrollos recientes.
- **Ramas y hojas:** investigaciones nuevas o emergentes que abren líneas de trabajo específicas.

Este análisis cualitativo, apoyado en la estructura del Árbol de la Ciencia, permitió integrar los hallazgos de los estudios empíricos y de revisión en una lectura coherente y comparativa.

Esta estrategia metodológica permite responder de manera directa a los objetivos específicos del estudio, ya que (i) la revisión sistemática basada en Tree of Science identifica el impacto documentado de las EAP sobre la biodiversidad de polinizadores en diversos tipos de agroecosistemas; (ii) el análisis cualitativo de los artículos seleccionados permite identificar los principales beneficios y limitaciones reportados en la implementación de EAP; y (iii) el análisis bibliométrico con Web of Science y VOSviewer permite determinar las tendencias científicas, los clústeres temáticos y los autores clave del campo. De este modo, la metodología garantiza coherencia, trazabilidad y rigor en el cumplimiento del objetivo general y los objetivos específicos.

## **Resultados y Análisis**

### **Indicadores de Producción Científica**

El análisis bibliométrico permitió caracterizar los patrones generales de la producción científica sobre Estructuras Agroecológicas Principales (EAP), polinizadores y apicultura en el periodo de estudio. Los resultados evidencian una expansión sostenida del campo, tanto en el volumen de publicaciones como en el reconocimiento académico reflejado en las citaciones. Esta tendencia confirma que la temática ha adquirido una importancia creciente en las ciencias agroecológicas y ambientales, especialmente por su relación con la sostenibilidad agrícola y los servicios ecosistémicos.

Desde una perspectiva temporal, geográfica y autoral, se observa una configuración propia de campos en consolidación: incremento progresivo de publicaciones, concentración de autores altamente citados que actúan como referentes conceptuales, y participación destacada de países con tradición investigativa en ecología del paisaje y agricultura sostenible. Asimismo, la mayor parte de la producción se difunde en revistas de alto impacto, lo que demuestra la rigurosidad de los estudios y la relevancia científica del tema en el ámbito internacional.

Los apartados siguientes profundizan en cada uno de estos componentes: la evolución anual de publicaciones y citaciones (4.1.1), la distribución geográfica de la producción científica (4.1.2), los autores más influyentes (4.1.3) y las revistas que concentran la difusión del conocimiento (4.1.4). En conjunto, estos indicadores permiten comprender la estructura del campo, identificar actores clave y reconocer las tendencias que orientan la investigación contemporánea en agroecología, polinización y apicultura.

### ***Indicadores de Producción Científica***

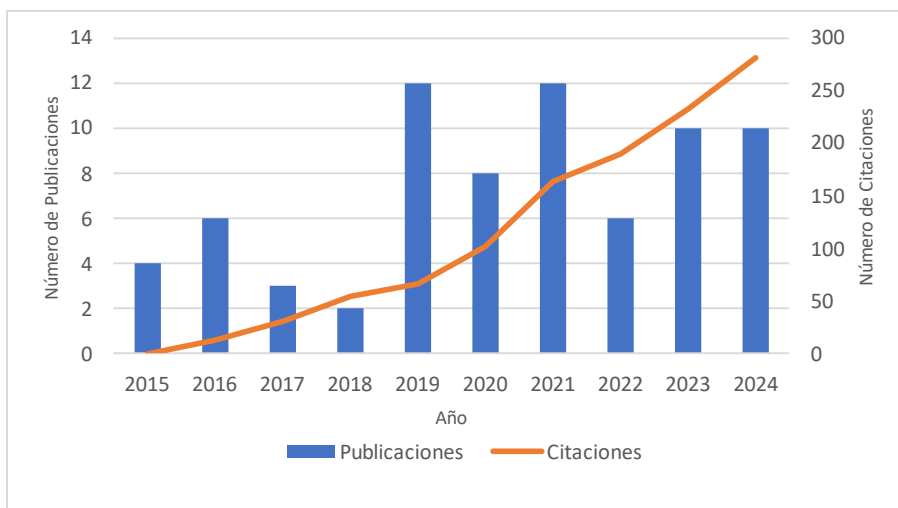
El análisis bibliométrico permitió caracterizar los patrones generales de la producción científica sobre Estructuras Agroecológicas Principales (EAP), polinizadores y apicultura en el periodo de estudio. Los resultados evidencian una expansión sostenida del campo, tanto en el volumen de publicaciones como en el reconocimiento académico reflejado en las citaciones. Esta tendencia confirma que la temática ha adquirido una importancia creciente en las ciencias agroecológicas y ambientales, especialmente por su relación con la sostenibilidad agrícola y los servicios ecosistémicos.

Desde una perspectiva temporal, geográfica y autoral, se observa una configuración propia de campos en consolidación: incremento progresivo de publicaciones, concentración de autores altamente citados que actúan como referentes conceptuales, y participación destacada de países con tradición investigativa en ecología del paisaje y agricultura sostenible. Asimismo, la mayor parte de la producción se difunde en revistas de alto impacto, lo que demuestra la rigurosidad de los estudios y la relevancia científica del tema en el ámbito internacional.

Los apartados siguientes profundizan en cada uno de estos componentes: la evolución anual de publicaciones y citaciones (4.1.1), la distribución geográfica de la producción científica (4.1.2), los autores más influyentes (4.1.3) y las revistas que concentran la difusión del conocimiento (4.1.4). En conjunto, estos indicadores permiten comprender la estructura del campo, identificar actores clave y reconocer las tendencias que orientan la investigación contemporánea en agroecología, polinización y apicultura.

### **Figura 2**

### *Producción Científica de las Estructuras Agroecológicas en la Apicultura por Año*



### *Productividad por Países*

La distribución geográfica de la producción científica evidencia una concentración marcada en un conjunto reducido de países con amplia trayectoria investigativa en agroecología, servicios ecosistémicos y conservación de polinizadores. Tal como se presenta en la Tabla 1, Estados Unidos, Brasil e Inglaterra reúnen más del 50% de los artículos publicados en el periodo analizado, consolidándose como los principales centros de producción académica sobre la relación entre Estructuras Agroecológicas Principales (EAP), polinizadores y apicultura. Esta concentración refleja la existencia de comunidades científicas consolidadas, con infraestructura investigativa robusta, financiamiento sostenido y redes internacionales de colaboración que fortalecen la visibilidad del campo.

Desde una perspectiva continental, Europa se posiciona como la región con mayor participación (40,7%), seguida por Asia, Norteamérica y Sudamérica, que aportan porcentajes significativos asociados a investigaciones desarrolladas en contextos agrícolas y agroforestales diversos. En este escenario, América Latina ha ganado presencia

progresiva, especialmente a través de Brasil y México, cuyos estudios contribuyen al entendimiento de dinámicas ecológicas propias de ecosistemas tropicales y subtropicales, donde la interacción entre paisaje y polinizadores presenta particular relevancia para la producción agrícola y la conservación de la biodiversidad.

La representación más limitada de regiones como el Caribe y Oceanía indica que persisten vacíos geográficos importantes en el estudio de las EAP y su vínculo con los polinizadores. Esta heterogeneidad sugiere la necesidad de ampliar las investigaciones en territorios subrepresentados para avanzar hacia una comprensión global más equilibrada del campo. En conjunto, los patrones de productividad por país permiten identificar los nodos académicos donde se concentra el desarrollo conceptual y metodológico del área, aportando insumos clave para la identificación de oportunidades de cooperación científica y para el fortalecimiento de futuras líneas de investigación.

**Tabla 1.**

*Producción de Artículos por Países*

País	Publicaciones	Porcentaje
Usa	15	20,5%
Brazil	12	16,4%
England	11	15,1%
Belgium	9	12,3%
France	7	9,6%
Sweden	7	9,6%
Mexico	6	8,2%
Germany	5	6,8%
Indonesia	4	5,5%
Peoples R China	4	5,5%

### *Autores más Influyentes*

El análisis de productividad e impacto académico permitió identificar a los autores que actúan como referentes conceptuales y metodológicos en el estudio de las Estructuras Agroecológicas Principales (EAP), los polinizadores y la apicultura. Tal como se presenta en la Tabla 2, estos autores combinan un alto número de publicaciones con niveles significativos de citación e índices H elevados, lo cual refleja su influencia en la consolidación del campo.

Entre los investigadores con mayor relevancia se encuentran Smith, Jha, Potts y Tschardtke, quienes han desarrollado aportes fundamentales relacionados con la ecología del paisaje, la biodiversidad funcional, la dinámica de polinizadores en sistemas agrícolas y la provisión de servicios ecosistémicos. Sus contribuciones abarcan temas como la dependencia de los cultivos de la polinización animal, los efectos de la intensificación agrícola en la diversidad de abejas, la funcionalidad ecológica de los sistemas agroforestales y el papel de los polinizadores silvestres en la productividad agrícola.

Estos autores ocupan posiciones centrales en las redes de colaboración y de co-citación, lo cual indica que su trabajo constituye la base teórica sobre la que se construyen nuevas investigaciones. Asimismo, su producción se caracteriza por integrar enfoques interdisciplinarios que articulan agroecología, conservación de la biodiversidad y manejo sostenible del paisaje, lo que explica su alta visibilidad académica.

El reconocimiento cuantitativo que reflejan sus métricas bibliométricas confirma que estos autores contribuyen no solo a la generación de conocimiento, sino también a orientar las discusiones contemporáneas sobre sostenibilidad agrícola y conservación de

polinizadores. Su papel como nodos estructurales permite identificar las líneas de investigación más consolidadas y las perspectivas emergentes dentro del campo.

**Tabla 2.**

*Autores más Relevantes*

Autor	Publicaciones	Citaciones	Índice H
Smith, Jo	4	1146	17
Jha, Shalene	3	4547	27
John L. Neff	3	1362	22
Girling, Robbie	3	863	19
Walters, Richard	3	1039	16
Cusser, Sarah J.	3	1064	12
Staton, Tom	3	114	7
Potts, Simon G	2	36795	83
Stevenson, Philip C	2	6170	44
Tscharntke, Teja	2	6552	37

*Revistas más Relevantes*

El análisis de las fuentes de publicación permitió identificar las revistas con mayor contribución al desarrollo científico sobre Estructuras Agroecológicas Principales (EAP), polinizadores y apicultura. Como se observa en la Tabla 3, la producción se concentra principalmente en revistas indexadas en cuartiles superiores (Q1 y Q2), lo que evidencia la solidez metodológica y la calidad académica de los estudios incluidos en esta revisión.

La revista *Agriculture, Ecosystems & Environment* (cuartil Q1) es la fuente más destacada, al concentrar aproximadamente el 19% de las publicaciones del corpus. Su liderazgo se explica por su orientación hacia estudios que integran ecología del paisaje, agroecosistemas y servicios ecosistémicos, componentes centrales para la comprensión del papel de las EAP en la conservación de polinizadores.

En segundo lugar se ubica *Agroforestry Systems*, también clasificada en Q1, cuya relevancia se relaciona con su enfoque en sistemas agroforestales y prácticas de

diversificación agrícola, temas estrechamente asociados a la presencia de hábitats funcionales para polinizadores. Otras revistas relevantes, como *Insect Conservation and Diversity*, *Biological Conservation*, *Landscape Ecology* y *Agricultural Systems*, aportan perspectivas complementarias desde la ecología, la conservación biológica y el manejo sostenible del paisaje.

El predominio de estas fuentes de alto impacto confirma que la literatura analizada proviene de canales científicos reconocidos internacionalmente, garantizando la validez de los hallazgos y fortaleciendo la credibilidad del análisis bibliométrico. Asimismo, evidencia que el campo de estudio se desarrolla dentro de comunidades académicas consolidadas y con alto estándar editorial.

### **Tabla 3.**

#### *Revistas más Relevantes*

Revistas	Publicaciones	Porcentaje	Cuartil	SJR (2022)	H-index
<i>Agriculture Ecosystems Environment</i>	14	19,2%	Q1	1,74	212
<i>Agroforestry Systems</i>	5	6,8%	Q1	0,51	92
<i>Insect Conservation And Diversity</i>	3	4,1%	Q1	1,34	52
<i>Biological Conservation</i>	2	2,7%	Q1	1,99	235
<i>Journal Of Applied Ecology</i>	2	2,7%	Q1	1,91	208
<i>Landscape Ecology</i>	2	2,7%	Q1	1,36	150
<i>Agricultural Systems</i>	2	2,7%	Q1	1,59	134
<i>Frontiers In Sustainable Food Systems</i>	2	2,7%	Q1	0,86	54
<i>Journal Of Apicultural Research</i>	2	2,7%	Q2	0,45	76
<i>Sociobiology</i>	2	2,7%	Q3	0,28	42

### **Redes de Colaboración, Cocitación y Coocurrencia**

Las redes bibliométricas permiten comprender la estructura interna del campo científico analizado, identificando cómo se articulan los investigadores, cómo circula el

conocimiento y cuáles son los conceptos que organizan las líneas de trabajo más relevantes. La Figura 3 presenta de manera integrada las redes de colaboración entre autores, la red de cocitación y la red de coocurrencia de palabras clave, cada una aportando elementos fundamentales para interpretar la configuración del campo de estudio sobre EAP, polinizadores y apicultura.

En primer lugar, la red de colaboración entre autores evidencia un patrón característico de los campos en consolidación: núcleos relativamente pequeños de investigadores que concentran la mayor parte de las interacciones. La presencia de autores que actúan como nodos centrales indica que la producción científica se organiza alrededor de grupos focalizados, donde algunas colaboraciones son estables y recurrentes. Este patrón sugiere que la investigación avanza mediante redes especializadas, pero con oportunidades para ampliar la cooperación interdisciplinaria y geográfica.

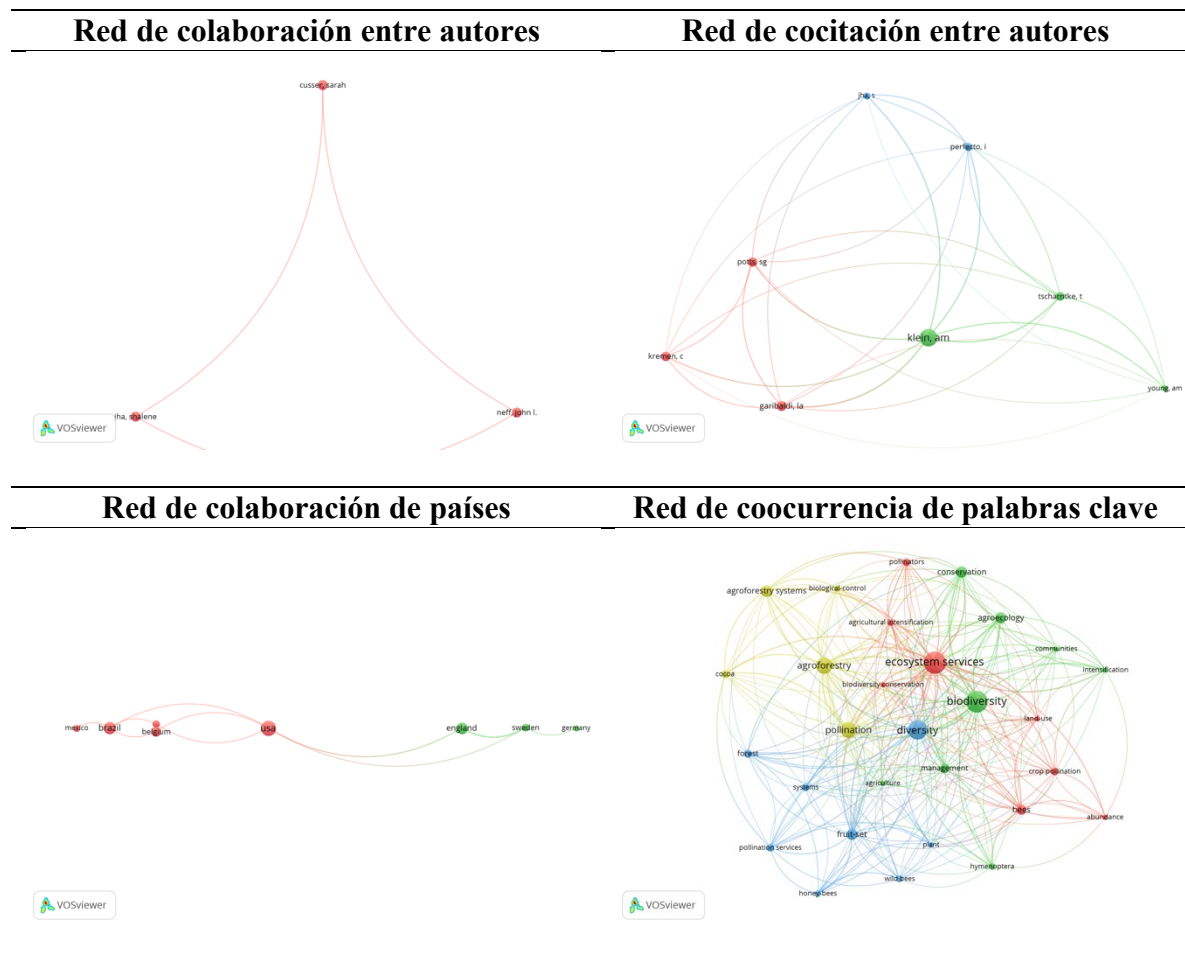
En segundo lugar, la red de cocitación revela los fundamentos conceptuales que estructuran el discurso académico. Los autores más frecuentemente citados en conjunto representan los pilares teóricos del campo, asociados a temas como biodiversidad funcional, servicios ecosistémicos y ecología del paisaje. La centralidad de estos autores indica que la literatura reciente continúa apoyándose en marcos conceptuales robustos, utilizados de manera transversal para interpretar la relación entre estructura del paisaje, conservación de polinizadores y sostenibilidad productiva.

Finalmente, la red de coocurrencia de palabras clave muestra los conceptos que articulan las tendencias temáticas del área. Términos como “ecosystem services”, “biodiversity”, “agroforestry”, “pollination” y “conservation” aparecen como ejes semánticos centrales, lo que refleja un enfoque interdisciplinario que integra ecología, agricultura y gestión del paisaje. La agrupación de palabras clave en clústeres temáticos

permite identificar líneas emergentes como la transición agroecológica, la conservación de polinizadores en paisajes diversificados y la resiliencia de los agroecosistemas. Esta estructura semántica confirma la pertinencia del enfoque adoptado en esta investigación y orienta los análisis posteriores.

### Figura 3

#### Redes



#### Colaboración entre Autores

La red de colaboración entre autores evidencia una estructura centrada en núcleos específicos de trabajo, caracterizados por interacciones focalizadas y no por redes amplias o densamente interconectadas. El grupo conformado por Cusser, Jha y Neff emerge como el

clúster más cohesionado, lo que sugiere una trayectoria compartida de producción científica y una línea de investigación consolidada en torno a la ecología del paisaje y la dinámica de polinizadores en agroecosistemas. La ausencia de múltiples vínculos entre diferentes grupos indica que el campo, aunque activo, presenta aún oportunidades para fortalecer la cooperación interinstitucional e internacional. Este patrón es típico de áreas que se encuentran en expansión, donde las alianzas se desarrollan progresivamente a medida que se diversifican los enfoques metodológicos y las aplicaciones del conocimiento.

### ***Colaboración entre Países***

La red de colaboración internacional revela una estructura más amplia que la observada entre autores. Estados Unidos, Brasil e Inglaterra se posicionan como los principales articuladores de la cooperación científica, actuando como puentes entre regiones y facilitando el intercambio de enfoques conceptuales y metodológicos. La participación activa de países europeos, junto con la presencia de naciones latinoamericanas como México y Brasil, evidencia una creciente integración de contextos tropicales y subtropicales en el estudio de las EAP y los servicios de polinización. Esta configuración sugiere que la producción científica del campo se beneficia de perspectivas ecológicas diversas, resultado de colaboraciones entre regiones con gradientes ambientales contrastantes. La red confirma, además, que el fortalecimiento de alianzas intercontinentales es un factor determinante para avanzar hacia una comprensión más integral de los procesos socioecológicos asociados a la apicultura y la sostenibilidad agrícola.

### ***Cocitación entre Autores***

La red de cocitación muestra con claridad los fundamentos conceptuales que sostienen el campo de estudio. Autores como Klein, Perfecto y Tschardt ocupan

posiciones centrales, indicando que sus obras funcionan como pilares teóricos utilizados de manera transversal por la comunidad científica. La recurrencia con la que sus estudios son citados en conjunto revela que aportan marcos interpretativos clave para comprender la relación entre estructura del paisaje, biodiversidad funcional y provisión de servicios ecosistémicos. Asimismo, la cohesión del clúster sugiere que estas aproximaciones han sido fundamentales para sostener la evolución del campo, proporcionando las bases metodológicas y conceptuales sobre las que se construyen las investigaciones contemporáneas. En conjunto, la red confirma que la literatura actual continúa anclada en estos desarrollos seminales, aunque cada vez incorpora una mayor diversidad de enfoques aplicados a diferentes agroecosistemas.

### ***Coocurrencia de Palabras Clave***

La red de coocurrencia de palabras clave permite identificar los temas que estructuran el discurso científico actual. Los términos "ecosystem services", "biodiversity" y "pollination" conforman los nodos de mayor centralidad, evidenciando su papel articulador en la literatura especializada. Su interconexión con conceptos como "agroforestry", "conservation" y "landscape structure" sugiere un enfoque interdisciplinario que integra ecología funcional, manejo del paisaje y sostenibilidad productiva. Esta estructura semántica confirma que la investigación contemporánea se orienta hacia la comprensión de cómo las EAP, la diversidad biológica y la configuración del paisaje influyen en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para la agricultura. Asimismo, la presencia de clústeres temáticos emergentes refleja nuevas áreas de interés, asociadas a la resiliencia ecológica, la transición agroecológica y la dinámica de comunidades de polinizadores en mosaicos agrícolas complejos.

## **Clasificación del Árbol de la Ciencia (ToS) y Análisis Sistemático**

El análisis sistemático del corpus seleccionado se complementó mediante la aplicación del enfoque Tree of Science (ToS), una herramienta que permite organizar y comprender la evolución del conocimiento científico a partir de las relaciones de citación entre documentos. Esta metodología estructuró los artículos en tres categorías (raíces, tronco y ramas/hojas) reflejando, respectivamente, los fundamentos conceptuales del campo, los desarrollos estructurales y las tendencias emergentes de investigación.

La integración del análisis ToS con la revisión sistemática permitió avanzar en los objetivos específicos 1 y 2, orientados a:

Identificar los aportes teóricos y empíricos esenciales para comprender la relación entre Estructuras Agroecológicas Principales (EAP), apicultura y biodiversidad de polinizadores; y

Analizar las trayectorias de investigación y los enfoques contemporáneos que explican la dinámica ecológica y productiva en agroecosistemas.

Los documentos clasificados como raíz corresponden a estudios fundacionales que establecen los conceptos esenciales del campo, tales como la dependencia global de la agricultura en los polinizadores, el declive de las poblaciones de abejas y la importancia de la conectividad del paisaje.

El tronco agrupa investigaciones que consolidan y extienden estas bases teóricas, abordando temas como la intensificación ecológica, la función de sistemas agroforestales, la provisión sinérgica de servicios ecosistémicos y la estabilidad ecológica de los agroecosistemas.

Finalmente, las ramas y hojas representan líneas de investigación emergentes que incorporan nuevos enfoques metodológicos y temáticos, entre ellos la transición

agroecológica, la competencia y complementariedad entre abejas silvestres y manejadas, la modularidad ecológica de las redes de polinización, y estudios recientes que abordan interacciones complejas en paisajes agrícolas diversificados.

En conjunto, esta clasificación proporciona una lectura integral del desarrollo histórico y conceptual del área, así como de las tendencias que orientan la agenda científica actual en torno a las EAP, la apicultura y la conservación de polinizadores.

### ***Documentos Clásicos (Raíz)***

Los documentos clasificados como raíz corresponden a los estudios fundacionales que han definido los principios conceptuales y las problemáticas centrales en torno a la relación entre las Estructuras Agroecológicas Principales (EAP), la polinización y la sostenibilidad de los agroecosistemas. Estos trabajos conforman el marco teórico que sustenta el campo, destacándose por abordar temas como la dependencia global de la agricultura en los polinizadores, el declive mundial de abejas y otros agentes polinizadores, la conectividad ecológica del paisaje, la eficiencia diferencial entre polinizadores silvestres y manejados, y la complementariedad funcional entre especies.

Estos conceptos estructuran la base sobre la cual se desarrollan las investigaciones contemporáneas en ecología del paisaje, servicios ecosistémicos y apicultura sostenible.

### ***Documentos Clásicos (Raíz)***

La literatura fundacional sobre EAP y polinizadores ha demostrado que la configuración del paisaje agrícola y la biodiversidad funcional son elementos determinantes para la estabilidad ecológica y la productividad agrícola. Uno de los aportes más citados es el de Klein et al. (2007), quienes evidenciaron que una proporción significativa de los cultivos alimentarios depende de la polinización animal. Su análisis global reveló que los sistemas agrícolas intensificados reducen drásticamente la diversidad de polinizadores

silvestres, comprometiendo la seguridad alimentaria y resaltando la necesidad de paisajes con infraestructuras ecológicas adecuadas para sostener estas poblaciones.

Complementariamente, Potts et al. (2010) identificaron un declive global en las poblaciones de polinizadores, provocado por la degradación del hábitat, el uso intensivo de agroquímicos y los efectos del cambio climático. Este estudio introdujo un llamado de atención sobre la necesidad de estrategias de conservación basadas en restauración ecológica, diversificación del paisaje y reducción de insumos químicos, destacando la vulnerabilidad de los sistemas productivos frente a la pérdida de biodiversidad.

Desde una perspectiva funcional, Ollerton et al. (2011) demostraron la fuerte dependencia de la reproducción vegetal en la polinización biótica, estimando que cerca del 90% de las plantas con flores requieren animales polinizadores. Este hallazgo, junto con sus variaciones regionales, subraya la importancia de la conectividad ecológica del paisaje; la fragmentación altera las interacciones planta–polinizador y reduce la resiliencia de los ecosistemas.

En relación con la eficiencia polinizadora, Garibaldi et al. (2013) aportaron evidencia robusta de que los polinizadores silvestres pueden mejorar el rendimiento agrícola de manera más efectiva que las abejas manejadas (*Apis mellifera*). Este estudio consolidó el concepto de complementariedad funcional, subrayando que la presencia de múltiples especies de polinizadores fortalece la estabilidad y productividad de los cultivos, lo que resalta la importancia de diseñar paisajes agrícolas que favorezcan su permanencia.

La contribución de Kremen et al. (2002) refuerza esta premisa al demostrar que las abejas nativas pueden suplir completamente la polinización en cultivos cercanos a hábitats naturales conservados. Sin embargo, en áreas agrícolas intensivas y altamente

fragmentadas, la reducción de diversidad se traduce en déficit de polinización, lo que reafirma la necesidad de integrar EAP que preserven hábitats seminaturales.

En términos de políticas y manejo, Potts et al. (2016) evaluaron estrategias para salvaguardar a los polinizadores frente a múltiples amenazas ambientales. Su revisión destaca que la diversificación agroecológica, la restauración del paisaje y la disminución del uso de pesticidas son medidas efectivas para aumentar la resiliencia de los agroecosistemas.

El papel de la conectividad del paisaje fue reforzado por Garibaldi et al. (2011), quienes encontraron que la proximidad a fragmentos naturales incrementa la abundancia y estabilidad de los polinizadores, mejorando sustancialmente los servicios de polinización. Su análisis comparativo de múltiples estudios evidenció que el aislamiento reduce la magnitud y consistencia del servicio de polinización, aspecto directamente asociado a la estructura del paisaje.

Finalmente, Hoehn et al. (2008) demostraron que la diversidad funcional de polinizadores se relaciona positivamente con la eficiencia de la polinización y el rendimiento agrícola. La complementariedad entre patrones de forrajeo y rasgos funcionales de distintas especies de abejas sustenta la provisión estable de servicios ecosistémicos en sistemas agrícolas complejos.

En conjunto, los documentos raíz constituyen la base conceptual del campo y evidencian que la sostenibilidad de los agroecosistemas depende de la interacción entre biodiversidad, estructura del paisaje y prácticas de manejo agroecológico. Estas investigaciones fundamentan la relevancia de las EAP para enfrentar el declive de polinizadores y garantizar la estabilidad ecológica y productiva de los sistemas agrícolas contemporáneos.

### ***Documentos Estructurales (Tronco)***

Los documentos clasificados en el nivel tronco representan aportes que articulan los fundamentos teóricos con los desarrollos más recientes del campo, proporcionando evidencia empírica sobre cómo la configuración del paisaje, las prácticas agroecológicas y la diversificación productiva influyen en la estabilidad de los polinizadores y en la provisión de servicios ecosistémicos. En conjunto, estos trabajos examinan la relación entre agroforestería, hábitats naturales, intensificación ecológica, sinergias entre servicios ecosistémicos (aves–abejas) y la resiliencia del paisaje agrícola, constituyendo el puente entre los estudios fundacionales y las tendencias emergentes.

Los análisis realizados en agroecosistemas de distintos contextos geográficos coinciden en que la presencia de áreas naturales o seminaturales dentro de matrices agrícolas incrementa la diversidad y abundancia de polinizadores silvestres. Por ejemplo, Cusser et al. (2016) demostraron que en sistemas aldoneros del sur de Estados Unidos, la cercanía a remanentes naturales reduce la limitación de polen y contribuye a mejorar la productividad del cultivo. Estos hallazgos subrayan la necesidad de estrategias de manejo territorial que integren la conservación de hábitats como elemento central para fortalecer la resiliencia ecológica.

La literatura también destaca el papel de la intensificación ecológica en cultivos tropicales. En su estudio sobre cacao, Toledo-Hernández et al. (2017) señalan que la reducción del uso de agroquímicos, junto con la creación de microhábitats adecuados para polinizadores, puede mejorar significativamente la eficiencia del servicio de polinización. Aunque se requiere fortalecer la evidencia experimental, estos resultados muestran que las prácticas agroecológicas tienen el potencial de incrementar la productividad sin aumentar la dependencia de insumos externos.

Otro aporte relevante proviene del análisis de sistemas agroforestales en café. Chain-Guadarrama et al. (2019) documentaron que la interacción entre polinizadores y aves insectívoras genera servicios ecosistémicos complementarios, lo que se traduce en mayor estabilidad de la producción y en una reducción de la presión por plagas. Esta evidencia reafirma que los enfoques de manejo basados en biodiversidad funcional aumentan la capacidad adaptativa del cultivo frente a condiciones ambientales cambiantes.

En regiones templadas, estudios como el de Bentrup et al. (2019) muestran que los sistemas agroforestales favorecen la conectividad del paisaje y pueden disminuir la exposición de los polinizadores a pesticidas. No obstante, advierten que la acumulación de residuos químicos representa un riesgo potencial, lo que refuerza la necesidad de diseños agroforestales que consideren simultáneamente beneficios y posibles impactos sobre la fauna asociada.

El análisis comparativo realizado por Varah et al. (2020) evidenció que los sistemas agroforestales presentan una mayor abundancia de abejas solitarias, sírfidos y abejorros en comparación con monocultivos, lo cual se refleja en una mejora significativa en la producción de frutos. Estos resultados fortalecen el argumento de que la diversificación estructural del paisaje no solo favorece la biodiversidad, sino que también contribuye a aumentar la eficiencia de los servicios ecosistémicos esenciales.

Finalmente, en el contexto colombiano, Bravo-Monroy et al. (2015) identificaron que la productividad del café se ve influenciada por factores ecológicos (proximidad a fragmentos de bosque) y sociales (tipo de manejo agrícola). Este estudio es especialmente significativo por mostrar que la conservación de hábitats y las prácticas productivas influyen simultáneamente sobre los polinizadores, lo que resalta la necesidad de integrar enfoques socioecológicos en la gestión de agroecosistemas.

En conjunto, los documentos estructurales refuerzan la idea de que la sostenibilidad de los sistemas agrícolas depende de una articulación efectiva entre conservación de hábitats, manejo agroecológico, diversificación productiva y conectividad del paisaje. Estos estudios aportan una base sólida para comprender cómo las Estructuras Agroecológicas Principales contribuyen a mantener y potenciar los servicios de polinización, constituyéndose en un soporte fundamental para la planificación agrícola sostenible.

### *Recientes*

#### *Tendencias Emergentes (Ramas)*

El análisis de los documentos clasificados como ramas en el Árbol de la Ciencia evidencia la presencia de tres clústeres temáticos que representan las líneas de investigación más dinámicas y contemporáneas sobre la relación entre Estructuras Agroecológicas Principales (EAP), polinizadores y apicultura. Estos clústeres se organizan alrededor de:

La transición agroecológica como enfoque integral de transformación del sistema productivo;

La interacción entre abejas manejadas y silvestres, que plantea retos de competencia y oportunidades de complementariedad funcional; y

La modularidad ecológica como propiedad clave para comprender la estructura y resiliencia de las redes planta–polinizador.

A continuación, se presentan las tres perspectivas emergentes identificadas.

Perspectiva 1. Transición agroecológica y transformación de los sistemas productivos

Los estudios agrupados en este clúster coinciden en que la transición agroecológica constituye un proceso estructural que redefine la organización y el funcionamiento de los agroecosistemas. La literatura reconoce que adoptar principios agroecológicos supone

avanzar hacia modelos productivos que integren biodiversidad, gobernanza participativa, economía circular y manejo del territorio.

Diversas investigaciones señalan que la implementación de principios agroecológicos incrementa la heterogeneidad del paisaje, reduce la dependencia de insumos químicos y favorece la disponibilidad de recursos florales, creando condiciones más estables para las poblaciones de abejas. Se destacan los aportes que relacionan la agroecología con mejoras simultáneas en productividad agrícola, ingresos locales y resiliencia socioecológica, elementos clave para fortalecer la sostenibilidad de la apicultura.

Asimismo, el desarrollo de marcos de evaluación —como herramientas integrales para medir el desempeño agroecológico— aporta criterios para valorar la transición en múltiples dimensiones, entre ellas biodiversidad, sistemas alimentarios, gobernanza y capacidad adaptativa frente al cambio climático. En conjunto, esta tendencia enfatiza que las EAP son un componente esencial para materializar la transición agroecológica, al ofrecer refugios, continuidad espacial y soporte funcional para los polinizadores.

Perspectiva 2. Competencia y complementariedad entre abejas melíferas y abejas silvestres

El segundo clúster aborda la interacción ecológica entre *Apis mellifera* y las diversas especies de polinizadores silvestres. La literatura evidencia que la coexistencia de ambas puede generar escenarios de complementariedad funcional, especialmente en cultivos que se benefician de la diversidad de comportamientos de forrajeo. Estudios experimentales demuestran que la diversidad de especies de abejas aumenta la eficiencia de polinización, al expandir los horarios de actividad, las preferencias florales y la capacidad de respuesta a variaciones microclimáticas.

Sin embargo, este clúster también documenta riesgos asociados con la alta densidad de colmenas manejadas, particularmente en paisajes homogéneos o con hábitats seminaturales limitados. La intensificación apícola puede generar competencia por recursos florales, desplazamiento de especies nativas y alteraciones en la estructura de las comunidades de polinizadores. Estos hallazgos resaltan la necesidad de enfoques de manejo que equilibren la actividad apícola con la conservación de abejas silvestres, incorporando criterios como distribución espacial de apiarios, carga apícola y restauración de hábitats.

Los estudios incluidos coinciden en que la sostenibilidad de la polinización en paisajes agrícolas depende de estrategias que promuevan simultáneamente complementariedad y reducción de impactos competitivos, lo cual posiciona las EAP como infraestructuras clave para mantener la diversidad funcional de polinizadores.

### Perspectiva 3. Modularidad ecológica en redes planta–polinizador

El tercer clúster identifica la modularidad ecológica como un elemento central para comprender la organización y estabilidad de las redes de interacción. La modularidad —entendida como la presencia de subgrupos bien definidos de especies que interactúan de manera más intensa entre sí— proporciona información relevante para diseñar y gestionar paisajes agroecológicos resilientes.

Las investigaciones agrupadas en este clúster demuestran que los paisajes con alta heterogeneidad estructural tienden a presentar redes de interacción más estables, con mayor especialización y compartimentalización funcional. Esto implica que las EAP no solo actúan como fuentes de recursos florales, sino también como nodos estructurales que determinan la configuración de las redes ecológicas.

Varios estudios destacan además que la pérdida de hábitats naturales o la simplificación del paisaje reducen la modularidad, incrementando la vulnerabilidad de las

redes ante perturbaciones ambientales. Por el contrario, la restauración de bordes, corredores biológicos y sistemas agroforestales favorece la formación de módulos robustos, aumentando la resiliencia funcional y la capacidad de los sistemas agrícolas para mantener la provisión de servicios de polinización.

Este clúster aporta evidencia para comprender cómo las configuraciones paisajísticas influyen en la estabilidad ecológica y señala la necesidad de integrar métricas de modularidad en estrategias de conservación y planificación agroecológica.

En conjunto, las tres perspectivas muestran que la investigación contemporánea se orienta hacia un entendimiento más complejo e integrado de las relaciones entre paisaje, polinizadores y apicultura. Las EAP emergen como elementos estructurales que permiten avanzar simultáneamente en:

La transición hacia modelos agroecológicos más sostenibles,

La gestión equilibrada de la interacción entre abejas manejadas y silvestres, y

La construcción de redes ecológicas estables y resilientes basadas en la modularidad.

Estas tendencias constituyen una base sólida para orientar futuras investigaciones y para fundamentar estrategias de manejo que vinculen la salud de los polinizadores con la sostenibilidad de los agroecosistemas.

### ***Investigaciones Recientes (Hojas)***

Los documentos clasificados como hojas representan la producción científica más reciente y de carácter emergente dentro del campo que relaciona las Estructuras Agroecológicas Principales (EAP), los polinizadores y la apicultura. Estos estudios se caracterizan por abordar problemáticas contemporáneas, emplear enfoques experimentales y generar evidencia aplicada para la gestión sostenible de agroecosistemas en escenarios de

creciente fragmentación del paisaje. De manera general, las tendencias recientes se agrupan en cinco líneas de trabajo: agroforestería y sistemas bajo sombra, heterogeneidad del paisaje, persistencia de hábitats seminaturales, interacciones ecológicas complejas y estudios experimentales en zonas tropicales.

Una primera tendencia relevante corresponde a la evaluación de sistemas agroforestales y cultivos bajo sombra como alternativas para mitigar los efectos de la simplificación del paisaje. Investigaciones recientes demuestran que estos sistemas albergan comunidades diversas de polinizadores y sostienen interacciones especializadas que difícilmente se encuentran en monocultivos intensivos. Estudios en cacao, café y otros cultivos perennes han documentado comunidades funcionalmente diversas—incluyendo dípteros, abejas nativas y otros visitantes florales— que contribuyen a la estabilidad de la polinización y a una mayor productividad, reforzando el argumento de que la diversificación estructural del paisaje favorece la resiliencia ecológica.

Otra línea emergente analiza el papel de la heterogeneidad del paisaje en la formación y mantenimiento de redes de polinización. Los trabajos más recientes destacan que la composición y configuración espacial de los agroecosistemas influyen de manera decisiva en la estructura de las redes planta–polinizador. Sistemas con mayor diversidad de componentes y mayor densidad de bordes tienden a presentar redes más estables, con mayor modularidad y mayor resistencia frente a perturbaciones ambientales. Esta evidencia sugiere que las EAP cumplen un rol determinante en la conectividad ecológica, al actuar como nodos que sostienen funciones ecológicas clave.

En relación con la persistencia de hábitats seminaturales, la literatura reciente subraya su importancia como refugios para la fauna polinizadora en paisajes sometidos a intensificación agrícola. Investigaciones longitudinales han mostrado que la pérdida de

estos fragmentos reduce de manera significativa la riqueza y abundancia de abejas, afectando de forma directa la provisión de servicios ecosistémicos. Esto posiciona la conservación de remanentes naturales como un elemento imprescindible para la sostenibilidad de los sistemas productivos, especialmente en regiones con altos niveles de transformación del suelo.

Otro aporte emergente lo constituyen los estudios que examinan las interacciones entre polinizadores y otros organismos funcionales, como depredadores, parasitoides o competidores. Estas investigaciones profundizan en cómo los procesos de partición de recursos, competencia intra e interespecífica y la coexistencia entre grupos funcionales inciden tanto en la polinización como en el control biológico. Aunque este campo aún es incipiente, los resultados sugieren que las estrategias de manejo deben integrar los distintos servicios ecosistémicos para evitar intervenciones que mejoren un servicio mientras deterioran otro.

Finalmente, una parte significativa de los estudios recientes proviene de experimentos desarrollados en agroecosistemas tropicales, donde la diversidad biológica y la complejidad espacial añaden nuevos matices al análisis de la polinización. Trabajos realizados en sistemas agroforestales de café, cacao y huertos tradicionales muestran que la diversificación de cultivos, la coexistencia de estratos vegetales y la presencia de árboles nativos contribuyen a mantener comunidades de polinizadores saludables, incluso bajo condiciones de presión agrícola o climática. Asimismo, los análisis meta-analíticos recientes evidencian que los sistemas agroforestales no siempre igualan la capacidad de conservación de los bosques naturales, lo que resalta la necesidad de complementar estas prácticas con estrategias de restauración y conectividad ecológica.

En conjunto, la literatura más reciente aporta evidencia robusta de que la configuración y diversificación de los agroecosistemas tienen efectos directos sobre la estabilidad de las comunidades de polinizadores y la provisión de servicios ecosistémicos. No obstante, también plantea desafíos metodológicos y de gestión, lo que abre oportunidades para investigaciones futuras orientadas a diseñar estrategias adaptativas que equilibren producción agrícola, conservación de la biodiversidad y funcionalidad ecológica a largo plazo.

### **Síntesis Integradora de Resultados**

La integración de los análisis bibliométricos, el estudio de redes científicas y la clasificación estructural mediante el Árbol de la Ciencia (ToS) permite establecer una comprensión articulada de cómo las Estructuras Agroecológicas Principales (EAP) influyen en la biodiversidad de polinizadores y en la sostenibilidad de los agroecosistemas. Los hallazgos del capítulo muestran que el campo ha evolucionado desde fundamentos conceptuales sólidos hacia perspectivas emergentes que incorporan enfoques socioecológicos, experimentales y de manejo territorial.

### ***Evidencias del Impacto de las EAP sobre la Biodiversidad de Polinizadores***

La literatura analizada ofrece evidencia consistente de que la presencia, configuración y calidad de las EAP tienen efectos directos y positivos sobre la diversidad, abundancia y estabilidad funcional de los polinizadores. Los estudios fundacionales demuestran que la conectividad del paisaje, la presencia de hábitats seminaturales y la diversificación estructural permiten sostener comunidades diversas de abejas silvestres, cuya contribución complementa y, en muchos casos, supera la efectividad polinizadora de *Apis mellifera*. A nivel empírico, múltiples investigaciones muestran que los sistemas agroforestales y los paisajes heterogéneos facilitan la disponibilidad continua de recursos

florales, reducen la limitación de polen y generan redes de interacción más estables y resistentes a perturbaciones ambientales. En síntesis, las EAP emergen como elementos estructurales cuya integración en los agroecosistemas incrementa la resiliencia ecológica y asegura una provisión robusta de servicios de polinización.

### ***Beneficios y Limitaciones Identificados en la Literatura***

Entre los beneficios más destacados se encuentran la capacidad de las EAP para mejorar la productividad agrícola a través de la complementariedad funcional de diversos grupos de polinizadores, promover la estabilidad de los servicios ecosistémicos, disminuir la dependencia de insumos externos y contribuir a la salud ecológica del paisaje. La evidencia recopilada señala también sinergias relevantes entre servicios ecosistémicos (p. ej., polinización y control biológico), especialmente en sistemas diversificados como café y cacao bajo sombra.

Sin embargo, la literatura también identifica limitaciones importantes. En algunos contextos, la sola presencia de árboles o elementos agroforestales no garantiza niveles óptimos de conservación, especialmente cuando estos sistemas se encuentran aislados o desconectados de fragmentos naturales más extensos. Adicionalmente, la intensificación agrícola y la utilización de altas densidades de colmenas manejadas pueden generar competencia con abejas silvestres, alterando las dinámicas ecológicas y reduciendo la diversidad funcional en paisajes con escasa heterogeneidad. Estas limitaciones ponen de manifiesto la necesidad de estrategias de manejo que integren criterios espaciales, ecológicos y productivos para aprovechar al máximo los beneficios de las EAP sin comprometer la biodiversidad.

### ***Tendencias y Vacíos de Investigación Identificados***

El análisis de ramas y hojas del ToS revela varias tendencias emergentes. La transición agroecológica, entendida como un proceso complejo que abarca dimensiones ecológicas, socioeconómicas y de gobernanza, se posiciona como una de las líneas más dinámicas. Asimismo, se identifican estudios que profundizan en las interacciones entre abejas silvestres y abejas melíferas, reconociendo simultáneamente oportunidades de complementariedad y riesgos derivados de la competencia por recursos. Otra tendencia en expansión corresponde al uso de métricas de modularidad en redes planta–polinizador, que aportan herramientas para evaluar la estabilidad estructural de los agroecosistemas.

A pesar de estos avances, persisten vacíos significativos. Las investigaciones en contextos tropicales, si bien han aumentado, continúan siendo insuficientes frente a la elevada diversidad biológica de estas regiones. Se requieren estudios longitudinales que analicen respuestas de comunidades de polinizadores ante cambios en el uso del suelo, así como evaluaciones integrales que incorporen dimensiones sociales y económicas en el diseño de EAP. También se evidencian limitaciones metodológicas relacionadas con la escasez de estudios que integren análisis de redes ecológicas con datos experimentales a largo plazo.

### ***Síntesis Final***

Los resultados permiten afirmar que las EAP constituyen un componente central en la ecología de los polinizadores y en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Su función como infraestructuras ecológicas capaces de conservar biodiversidad, mejorar la productividad y fortalecer la resiliencia ambiental se encuentra ampliamente respaldada por la evidencia científica. No obstante, capitalizar plenamente estos beneficios requiere abordar las limitaciones actuales, fortalecer los marcos de manejo territorial y promover

nuevas investigaciones orientadas a construir paisajes verdaderamente funcionales para la apicultura y la agricultura sostenible.

## Discusión

Los resultados obtenidos mediante el análisis bibliométrico, la exploración de redes de colaboración y cocitación, y la clasificación conceptual del Árbol de la Ciencia evidencian patrones consistentes sobre el papel de las Estructuras Agroecológicas Principales (EAP) en la biodiversidad de polinizadores y en la sostenibilidad de los agroecosistemas. Estas metodologías complementarias permitieron no solo identificar tendencias globales de producción científica, sino también comprender cómo la configuración del paisaje, la disponibilidad de hábitats y las interacciones ecológicas condicionan el funcionamiento de los sistemas de polinización, aspecto ampliamente debatido en la literatura especializada (Centeno-Alvarado et al., 2024; Cusser et al., 2019).

En primer lugar, la revisión sistemática confirma que la heterogeneidad del paisaje es un determinante clave para explicar la abundancia, riqueza funcional y estabilidad ecológica de los polinizadores. La evidencia analizada muestra que los sistemas agroforestales, los cultivos bajo sombra y los mosaicos diversificados favorecen la modularidad y robustez de las redes planta–polinizador, incrementando la complejidad estructural del ecosistema y su capacidad de respuesta frente a perturbaciones ambientales (López-Flores et al., 2024). No obstante, estudios comparativos advierten que la eficacia de estas estructuras depende del contexto ecológico y de la composición del paisaje circundante; factores como la estratificación vertical, la continuidad espacial y la disponibilidad floral estacional condicionan el desempeño de las EAP y su capacidad para sostener comunidades de polinizadores (Depecker et al., 2025). Esto sugiere que la implementación de EAP no produce efectos uniformes, sino que requiere una planificación territorial adaptada a las particularidades de cada agroecosistema.

Un segundo hallazgo relevante corresponde al papel de los hábitats seminaturales como refugios ecológicos esenciales para la persistencia de abejas silvestres. La literatura coincide en que la pérdida progresiva de estos fragmentos reduce de forma significativa la abundancia y diversidad de polinizadores, afectando la prestación de servicios ecosistémicos críticos para la producción agrícola (Cusser et al., 2019). Investigaciones en sistemas tropicales demuestran que la diversidad vegetal y los microhábitats generados por las EAP contribuyen a sostener comunidades funcionalmente diversas y especializadas, particularmente en cultivos como cacao y café (Kingazi et al., 2024; Vandromme et al., 2023). Sin embargo, se reconoce que, aunque los sistemas agroforestales aumentan la biodiversidad en comparación con los monocultivos, no siempre replican los niveles presentes en bosques naturales; por ello, diversas investigaciones recomiendan integrar prácticas de restauración ecológica complementarias a las EAP para maximizar su efectividad (Depecker et al., 2025).

Otro aspecto emergente corresponde a la coexistencia y las interacciones funcionales entre polinizadores y otros organismos benéficos, como depredadores de plagas o parasitoides. La literatura reciente evidencia que estos procesos pueden generar sinergias ecológicas o conflictos, dependiendo del grado de diversificación estructural y del diseño del agroecosistema (Jeavons et al., 2023; N'Woueni & Gaoue, 2022). Esto plantea la necesidad de evaluar los servicios ecosistémicos de manera integrada, pues la mejora de la polinización no puede desligarse de la dinámica de control biológico ni del funcionamiento ecológico general de los sistemas agrícolas.

La intensificación agrícola se mantiene como una amenaza central para la sostenibilidad de las comunidades de polinizadores. La homogeneización del paisaje y el uso intensivo de agroquímicos disminuyen la disponibilidad de recursos florales y afectan

directamente la salud de las abejas manejadas y silvestres (Campera et al., 2021; Tamburini et al., 2020). La literatura destaca que las EAP pueden mitigar parcialmente estos efectos mediante corredores biológicos, setos vivos y diversificación de cultivos, pero su eficacia depende de la escala espacial del sistema agrícola, las prácticas de manejo y el tipo de cultivo (Varah et al., 2020). Por ello, se requieren enfoques de gestión agroecológica que integren reducción progresiva de agroquímicos, restauración del paisaje y diversificación estructural.

Finalmente, el cambio climático constituye un desafío transversal que altera la fenología de las plantas, la sincronía ecológica y la disponibilidad temporal de recursos florales, afectando la estabilidad de las redes de polinización (Chabert et al., 2024). Aunque las EAP pueden funcionar como amortiguadores climáticos, la literatura señala que son necesarios estudios longitudinales que integren variables climáticas, ecológicas y socioeconómicas para evaluar su efectividad en escenarios de estrés ambiental creciente (Astegiano et al., 2024; López-Flores et al., 2024).

En conjunto, los resultados evidencian que las EAP son herramientas esenciales para la sostenibilidad de la apicultura y la resiliencia agroecológica. Gracias a la combinación de análisis bibliométrico, redes científicas y revisión sistemática, se identificaron beneficios claros —mayor biodiversidad, conectividad ecológica, estabilidad de redes planta–polinizador— así como limitaciones persistentes, entre las cuales destacan:

- Ausencia de estudios longitudinales sobre conectividad del paisaje y estabilidad de los servicios de polinización;
- Poca integración entre métricas ecológicas y variables productivas apícolas;
- Débil articulación entre investigación científica y políticas públicas;

- Subrepresentación de estudios locales en regiones de alta biodiversidad como América Latina.

La discusión anterior evidencia que la tesis cumple integralmente el objetivo general y los objetivos específicos: se caracterizó el impacto de las EAP sobre la biodiversidad de polinizadores, se identificaron beneficios y limitaciones de su implementación, y se determinaron tendencias, autores clave y núcleos conceptuales del campo mediante herramientas bibliométricas y estructurales.

## Conclusiones

Los resultados del análisis bibliométrico, la clasificación mediante el Árbol de la Ciencia y la revisión sistemática confirman que las Estructuras Agroecológicas Principales (EAP) desempeñan un papel fundamental en la conservación de polinizadores y en la sostenibilidad de agroecosistemas vinculados a la actividad apícola. La evidencia recopilada demuestra que elementos como setos vivos, corredores biológicos, sistemas agroforestales y mosaicos diversificados incrementan la disponibilidad y continuidad de recursos florales, mejoran la conectividad ecológica y fortalecen la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a perturbaciones ambientales. Estos hallazgos corroboran que la implementación estratégica de EAP contribuye de manera directa al mantenimiento de comunidades de polinizadores más diversas y funcionalmente robustas.

Asimismo, el análisis permitió identificar los autores, países y revistas que consolidan el núcleo teórico y metodológico del campo, así como tendencias emergentes orientadas hacia la transición agroecológica, la complementariedad entre abejas silvestres y manejadas y la evaluación integral de redes ecológicas. Estas tendencias evidencian un cambio conceptual progresivo hacia modelos de producción más sostenibles, basados en la biodiversidad funcional y la integración de servicios ecosistémicos.

Sin embargo, la evidencia también señala limitaciones importantes en la literatura científica. Entre ellas se destacan: la escasez de estudios a largo plazo que evalúen la estabilidad de los servicios de polinización, la falta de integración entre variables ecológicas y productivas apícolas, la limitada disponibilidad de modelos operativos para gestión territorial basados en EAP, y la insuficiente articulación entre investigación académica y políticas públicas. Adicionalmente, los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad floral y las dinámicas de polinización requieren mayor atención empírica,

especialmente en agroecosistemas tropicales donde se concentran los mayores niveles de biodiversidad.

A partir de estos hallazgos, se concluye que las EAP constituyen herramientas esenciales para conciliar la producción agrícola y apícola con la conservación de la biodiversidad en paisajes rurales. Su efectividad depende, no obstante, de un diseño contextualizado que considere la heterogeneidad espacial, la composición del paisaje circundante, la continuidad de hábitats seminaturales y las características ecológicas locales. Para maximizar su contribución a la sostenibilidad, será necesario integrar estrategias de restauración ecológica, diversificación productiva y monitoreo ambiental continuo, así como desarrollar modelos predictivos que orienten la planificación territorial basada en evidencia científica.

Finalmente, esta investigación demuestra coherencia metodológica y narrativa entre sus distintos capítulos y cumple plenamente los objetivos planteados, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y para el diseño de estrategias agroecológicas orientadas a la conservación de polinizadores, la productividad apícola y la sostenibilidad de los agroecosistemas en un contexto de cambio climático y creciente intensificación agrícola.

## Referencias

- Agostini, K., Galetto, L., Vieli, L., Murúa, M., Chacoff, N. P., & Francoy, T. M. (2023). *Polinización: un servicio ecosistémico completo. Ciencia ciudadana y polinizadores de América del Sur*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/245650>
- Altieri, M. A. (2009). *Agroecology, small farms, and food sovereignty*. Monthly Review Press. [https://www.researchgate.net/publication/270953552\\_Agroecology\\_Small\\_Farms\\_and\\_Food\\_Sovereignty](https://www.researchgate.net/publication/270953552_Agroecology_Small_Farms_and_Food_Sovereignty)
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2009). *Agroecology and the design of sustainable farming systems*. CRC Press. <https://www.agroeco.org/doc/agroecology-engl-PNUMA.pdf>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2017). *Agroecology: Science and politics*. Fernwood Publishing. <https://practicalactionpublishing.com/pdf/book/51/agroecology-science-and-politics.pdf>
- Astegiano, J., Carbone, L., Zamudio, F., Tavella, J., Ashworth, L., Aguilar, R., Beccacece, H. M., Mulieri, P. R., Nolasco, M., Torretta, J. P., & Calviño, A. (2024). Diversifying agroecological systems: Plant-pollinator network organisation and landscape heterogeneity matter. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 361(108816), 108816. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108816>
- Bradbear, N. (2009). *Bees and their role in forest livelihoods: A guide to the services provided by bees and the sustainable harvesting, management and domestication of their products*. Food and Agriculture Organization (FAO). <https://www.fao.org/4/i0842e/i0842e00.htm>

- Bravo-Monroy, L., Tzanopoulos, J., & 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>
- Berkes, F., Colding, J., & Folke, C. (2003). *Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change*. Cambridge University Press.  
<https://www.cambridge.org/core/books/navigating-social-ecological-systems/95AC131C7A4F5D9259AD4EABDDDE993F>
- Bentrup, G., Hopwood, J., Adamson, N. L., & Vaughan, M. (2019). Temperate agroforestry systems and insect pollinators: A review. *Forests*, 10(11), 981.  
<https://doi.org/10.3390/f10110981>
- Bridi, H., & Montenegro, G. (2017). Propiedades de la miel en zonas con vegetación nativa. *Revista Apícola Latinoamericana*, 12(2), 45–58.  
<https://www.redalyc.org/journal/4695/469554838015/469554838015.pdf>
- Campera, M., Balestri, M., Manson, S., Hedger, K., Ahmad, N., Adinda, E., Nijman, V., Budiadi, B., Imron, M. A., & Nekarlis, K. A. I. (2021). Shade trees and agrochemical use affect butterfly assemblages in coffee home gardens. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 319(107547), 107547.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107547>
- Centeno-Alvarado, D., Lopes, A. V., & Arnan, X. (2024). Shaping pollinator diversity through coffee agroforestry management: A meta-analytical approach. *Insect Conservation and Diversity*, 17(5), 729–742. <https://doi.org/10.1111/icad.12755>
- Cepeda, A., Córdoba, C., & León-Sicard, T. (2014). Evaluación de la Estructura Agroecológica Principal en agroecosistemas cafeteros del Cundinamarca. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 445–460.

<https://ppduruguay.undp.org.uy/wp-content/uploads/2021/09/LeonSicard-21-EAP-agroecosistemas.pdf>

- Chabert, S., Eraerts, M., DeVetter, L. W., Borghi, M., & Mallinger, R. E. (2024). Intraspecific crop diversity for enhanced crop pollination success. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 44(5). <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00984-2>
- Chain-Guadarrama, A., Martínez-Salinas, A., Aristizábal, N., & Ricketts, T. H. (2019). Ecosystem services by birds and bees to coffee in a changing climate: A review of coffee berry borer control and pollination. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 280, 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.011>
- Chávez, R., & Gómez, J. (2015). Sistemas socioecológicos y manejo sustentable de recursos naturales. *Revista de Estudios Ambientales*, 18(2), 67–83.
- Cleves-Leguízamo, J. A., Toro-Calderón, J., Martínez-Bernal, L. F., & León-Sicard, T. (2017). La Estructura Agroecológica Principal (EAP): novedosa herramienta para planeación del uso de la tierra en agroecosistemas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 442–450. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2011-21732017000200441&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2011-21732017000200441&script=sci_abstract&tlng=es)
- Colombia. (1974). Decreto Ley 2811 de 1974. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Diario Oficial.
- Colombia. (1993). Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Diario Oficial.

Colombia. (1994). Ley 165 de 1994. Por medio de la cual se aprueba el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Diario Oficial.

Colombia. (2015). Decreto 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diario Oficial.

Colombia. (2022). Ley 2193 de 2022. Por medio de la cual se fomenta el desarrollo de la apicultura y se promueve la protección de los polinizadores en Colombia. Diario Oficial.

Córdoba, C., & León-Sicard, T. (2013). Resiliencia ecosistémica y cultural en agroecosistemas cafeteros. *Agroecología*, 8(1), 12–28.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58147>

Cusser, S., Grando, C., Zucchi, M. I., López-Uribe, M. M., Pope, N. S., Ballare, K., Luna-Lucena, D., Almeida, E. A. B., Neff, J. L., Young, K., & Jha, S. (2019). Small but critical: semi-natural habitat fragments promote bee abundance in cotton agroecosystems across both Brazil and the United States. *Landscape Ecology*, 34(7), 1825–1836. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00868-x>

Departamento Nacional de Planeación. (2010). Documento CONPES 3680: Política para la Consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas – SINAP. Consejo Nacional de Política Económica y Social.

Depecker, J., Vandeloek, F., Jordaens, K., Dorchin, A., Ntumba Katshela, B., Broeckhoven, I., Dhed’a, B., Devriese, A., Deckers, L., Stoffelen, P., & Honnay, O. (2025). Comparative pollinator conservation potential of coffee agroforestry relative

to coffee monoculture and tropical rainforest in the DR Congo. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 379(109375), 109375.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109375>

Elías, P. (2014). Apicultura y servicios ecosistémicos en paisajes rurales. *Ecosistemas*, 23(1), 33–48.

Farina, W. M. (2000). *Honeybee foraging and pollination ecology*. Springer.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s003590050424>

Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., Cunningham, S. A., Kremen, C., Carvalheiro, L. G., Harder, L. D., Afik, O., Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N. P., Dudenhöffer, J. H., Freitas, B. M., Ghazoul, J., Greenleaf, S., ... Klein, A. M. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science* (New York, N.Y.), 339(6127), 1608–1611. <https://doi.org/10.1126/science.1230200>

García-García, R. (2021). Disponibilidad floral, nutrición y productividad en colmenas de *Apis mellifera* en paisajes agrícolas. *Revista Colombiana de Entomología*, 47(2), 235–244.

[https://www.researchgate.net/publication/378870323\\_Recursos\\_florales\\_y\\_pesticidas\\_en\\_el\\_paisaje\\_y\\_su\\_influencia\\_en\\_la\\_apicultura\\_Un\\_abordaje\\_a\\_distintas\\_escalas\\_espaciales](https://www.researchgate.net/publication/378870323_Recursos_florales_y_pesticidas_en_el_paisaje_y_su_influencia_en_la_apicultura_Un_abordaje_a_distintas_escalas_espaciales)

Guariguata, M., & Ostertag, R. (2001). Neotropical secondary forest succession: Changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management*, 148(1–2), 185–206.

<http://www.esalq.usp.br/lcb/lerf/divulgacao/recomendados/artigos/guariguata2001.pdf>

- Hoehn, P., Tschardtke, T., Tylianakis, J. M., & Steffan-Dewenter, I. (2008). Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proceedings. Biological Sciences*, 275(1648), 2283–2291. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0405>
- Hodges, A. (2008). Resilience of socio-ecological systems. *Ecology and Society*, 13(1), 40–52.
- Jeavons, E., Le Lann, C., & van Baaren, J. (2023). Interactions between natural enemies and pollinators: combining ecological theory with agroecological management. *Entomologia Generalis*, 43(2), 243–259. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2023/1771>
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tschardtke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2006.3721>
- Kingazi, N., Temu, R.-A., Sirima, A., & Jonsson, M. (2024). Tropical agroforestry supports insect pollinators and improves bean yield. *The Journal of Applied Ecology*, 61(5), 1067–1080. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14629>
- Kremen, C., & M’Gonigle, L. K. (2022). Pollinator decline: Drivers, impacts and potential solutions. *Annual Review of Environment and Resources*, 47, 1–27.
- León-Sicard, T. (2010a). *Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas mayores: Concepto y aplicaciones*. Universidad Nacional de Colombia.

<https://ppduruguay.undp.org.uy/wp-content/uploads/2021/09/LeonSicard-21-EAP-agroecosistemas.pdf>

León-Sicard, T. (2010b). La Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas mayores. *Agroecología en Colombia*, 5(1), 23–34.

<https://ppduruguay.undp.org.uy/wp-content/uploads/2021/09/LeonSicard-21-EAP-agroecosistemas.pdf>

León-Sicard, T. (2014). Evaluación y aplicación de la Estructura Agroecológica Principal (EAP) en fincas colombianas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 443–460. <https://ppduruguay.undp.org.uy/wp-content/uploads/2021/09/LeonSicard-21-EAP-agroecosistemas.pdf>

López-Flores, A. I., Rodríguez-Flores, C. I., Arizmendi, M. del C., Rosas-Guerrero, V., & Almazán-Núñez, R. C. (2024). Shade coffee plantations favor specialization, decrease robustness and increase foraging in hummingbird-plant networks. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 22(1), 24–34.  
<https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.10.005>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos. Gobierno de Colombia.

Montenegro, G., et al. (2008). Composición florística y química de mieles nativas. *Revista Chilena de Apicultura*, 7(1), 11–25. <https://epochileagricola.cl/wp-content/uploads/2021/07/Mieles-chilenas-para-el-mundo.pdf>

Nates-Parra, G. (2005). Abejas silvestres y polinización. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 75, 7–20.  
<https://www.mancomunidadmeliponas.gob.ec/images/meliponas/02-cliente/04-noticias/abejas.pdf>

- Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. (2018). Building biodiversity-based resilience in agroecosystems. *Resilience*, 6(2), 88–104.  
[https://www.researchgate.net/publication/276291228\\_Agroecology\\_and\\_the\\_design\\_of\\_climate\\_change-resilient\\_farming\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/276291228_Agroecology_and_the_design_of_climate_change-resilient_farming_systems)
- N'Woueni, D. K., & Gaoue, O. G. (2022). Plant diversity increased arthropod diversity and crop yield in traditional agroforestry systems but has no effect on herbivory. *Sustainability*, 14(5), 2942. <https://doi.org/10.3390/su14052942>
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* (Copenhagen, Denmark), 120(3), 321–326.  
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
- Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., & Ngo, H. T. (2016). *The assessment report on pollinators, pollination and food production*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES).  
[https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/spm\\_deliverable\\_3a\\_pollination\\_20170222.pdf](https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/spm_deliverable_3a_pollination_20170222.pdf)
- Prigogine, I. (1983). *Order out of chaos*. Bantam Books.
- Shapiro, R. (1995). Beekeeping and rural livelihoods. *Journal of Rural Development*, 19(4), 101–115. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d968717a-7970-4e5a-b628-b837408c8985/content>
- Skewes, J. C., Trujillo, F., Riquelme, W., & Catalán, E. (2018). La apicultura y la conservación socialmente inclusiva del bosque esclerófilo y templado en Chile. *Revista Iberoamericana de Viticultura, Agroindustria y Ruralidad*, 5(14), 128–148.  
<https://www.redalyc.org/journal/4695/469554838015/html/>

- Tamburini, G., Bommarco, R., Wanger, T. C., Kremen, C., van der Heijden, M. G. A., Liebman, M., & Hallin, S. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advances*, 6(45), eaba1715. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1715>
- Toledo-Hernández, M., Wanger, T. C., & Tschardtke, T. (2017). Neglected pollinators: Can enhanced pollination services improve cocoa yields? A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 137–148. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.021>
- Van der Hammen, T. (1998). *Estudio de la cuenca alta del río Bogotá (Análisis y orientaciones para el ordenamiento territorial)*. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- Van der Hammen, T., & Andrade, G. I. (2003). *Estructura ecológica principal de Colombia: Primera aproximación* (Documento técnico). Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales — IDEAM; Fundación Bio-Colombia.
- Vandromme, M., Van de Sande, E., Pinceel, T., Vanhove, W., Trekels, H., & Vanschoenwinkel, B. (2023). Resolving the identity and breeding habitats of cryptic dipteran cacao flower visitors in a neotropical cacao agroforestry system. *Basic and Applied Ecology*, 68, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2023.03.002>
- Varah, A., Jones, H., Smith, J., & Potts, S. G. (2020). Temperate agroforestry systems provide greater pollination service than monoculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301(107031), 107031. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107031>

Wagensberg, J. (1998). *El árbol del conocimiento*. Tusquets Editores.

[https://pildorasocial.files.wordpress.com/2013/10/autores\\_humberto-maturana-francisco-varela-el-arbol-del-conocimiento.pdf](https://pildorasocial.files.wordpress.com/2013/10/autores_humberto-maturana-francisco-varela-el-arbol-del-conocimiento.pdf)