

**USO DE SENSORES REMOTOS EN LA CRIANZA DE ABEJAS PARA LA
PRODUCCIÓN DE MIEL Y LA CONSERVACIÓN DE POLINIZADORES**



**UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ADMINISTRADOR
AMBIENTAL Y DE LOS RECURSOS NATURALES**

Maikol Daniel Córdoba Ramírez

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL Y DE LOS RECURSOS NATURALES

MEDELLÍN

2021

**USO DE SENSORES REMOTOS EN LA CRIANZA DE ABEJAS PARA LA
PRODUCCIÓN DE MIEL Y LA CONSERVACIÓN DE POLINIZADORES**

*USE OF REMOTE SENSING IN BEEKEEPING FOR HONEY PRODUCTION AND
CONSERVATION OF POLLINATORS*



UNIVERSIDAD
SANTOTOMÁS

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ADMINISTRADOR
AMBIENTAL Y DE LOS RECURSOS NATURALES**

MAIKOL DANIEL CÓRDOBA RAMÍREZ

DIRECTORA

**ESTRELLA CÁRDENAS CASTRO
BIÓLOGA, MSC. CIENCIAS AGRARIAS**

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL Y DE LOS RECURSOS NATURALES

MEDELLÍN

2021

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
JUSTIFICACIÓN	9
OBJETIVOS	11
Objetivo general	11
Objetivos específicos	11
MARCO REFERENCIAL	12
MARCO TEÓRICO.....	14
MARCO CONCEPTUAL.....	17
Polinización.....	17
Polinizadores	17
Abejas	18
Crianza de abejas	18
Problemática asociada a la extinción de abejas	19
Teledetección.....	20
MARCO LEGAL	21
METODOLOGÍA.....	22
Estrategia de búsqueda	22
Criterios de selección de la información.....	22
Evaluación de la información	23
RESULTADOS.....	26
Crianza de abejas como actividad productiva y sus beneficios en la conservación de la biodiversidad	26
Generalidades de la crianza de abejas.....	26
Crianza de abejas y su importancia en la polinización	36
La polinización y su importancia en los ecosistemas.....	38
Actividad Productiva y sus beneficios en la conservación de la biodiversidad	40
Uso de sensores remotos en la solución de problemáticas ambientales asociadas a polinizadores.....	44
Generalidades de los sensores remotos.....	44
Uso de sensores remotos y la polinización y crianza de abejas	44

Uso de sensores remotos en la crianza de abejas con fines productivos y de conservación en Colombia.....	51
DISCUSIÓN	54
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES	60
GLOSARIO.....	61
REFERENCIAS.....	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de la colonia y la colmena en la apicultura y meliponicultura	26
Tabla 2. Descripción de los comportamientos en la apicultura y meliponicultura.....	28
Tabla 3. Manejo de la colonia en la apicultura y meliponicultura	29
Tabla 4. Proceso de cosecha de miel en la apicultura y meliponicultura.....	33
Tabla 5. Plagas en la apicultura y meliponicultura.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema metodológico para el desarrollo de la monografía. Fuente: Elaboración propia.....	24
Figura 2. Colmena tecnificada. Elaboración propia. Adaptado de: Argüello Najera (2010)27	
Figura 3. Colmena tecnificada modelo INPA. Elaboración propia. Adaptado de: Lotero, (2020)	27
Figura 4. Estructura colmena. Fuente: Lotero (2020).....	27
Figura 5. Estructura colmena. Fuente: Lotero (2020).....	29
Figura 6. Colmena rústica en guadua. Elaboración propia. Adaptado de: Lotero (2020) ...	29
Figura 7. Colmena rústica en madera. Elaboración propia. Adaptado de: Lotero (2020)..	30
Figura 8. Colmena moderna tipo Kenya. Elaboración propia. Adaptado de: Argüello-Najera (2010).....	30
Figura 9. Colmena semi-tecnificada. Elaboración propia. Adaptado de: Lotero (2020)	30
Figura 10. Colmena tecnificada. Elaboración propia. Adaptado de: Argüello Najera (2010)	31
Figura 11. Colmena tecnificada. Elaboración propia. Adaptado de: Lotero (2020)	31
Figura 12. Componentes básicos para el monitoreo de colmenas de abejas a través de sensores remotos. Elaboración propia. Conceptos tomados de: (Rodríguez <i>et al.</i> , 2017) 46	
Figura 13. A. Modelo de colmena tradicional para la crianza de abejas (Tomado de Besora, 2015). B. Modelo modificado con la incorporación de sensores remotos. Elaboración propia (Basado en Eslava <i>et al.</i> , 2012; Rodríguez <i>et al.</i> , 2017; König, 2019).	47
Figura 14. Distribución porcentual por país (No incluido Colombia) de la información recopilada relacionada con la crianza de abejas y su importancia en la conservación.....	55

INTRODUCCIÓN

Las abejas son los insectos polinizadores más especializados debido a su capacidad para transportar y almacenar polen de manera eficiente, por lo que su presencia en los ecosistemas es determinante para garantizar la permanencia de diferentes plantas y cultivos (Nates-Parra, 2005).

De igual manera, la dinámica de las poblaciones de abejas y sus productos derivados, han permitido la crianza de estos organismos como una actividad productiva lucrativa, convirtiéndola en una alternativa a la presencia de amplios cultivos u otras actividades de producción con gran afectación ambiental (Kouchner *et al.*, 2019; Kritsky, 2017)

En Colombia la crianza y conservación de abejas son un tema aún en desarrollo, sin embargo, se ha visto su aplicación en el sector productivo de algunos municipios del país, principalmente en los departamentos de Antioquia y Córdoba. Adicionalmente, algunas universidades públicas y privadas han aunado esfuerzos para la investigación, tecnificación y desarrollo de esta actividad (Llácer, 2020; Organización de la Cadena Productiva de las Abejas y la Apicultura en Colombia - CPPA, 2011).

Si bien en Colombia la crianza de abejas con fines económicos o de conservación es un tema creciente y con gran potencial como actividad productiva, la tecnificación de los procesos de crianza y la incorporación de tecnologías como la teledetección y los sensores remotos en la optimización de diferentes acciones relacionadas con esta actividad es baja. En contraste, su incorporación en el monitoreo y seguimiento de abejas en ambientes artificiales y naturales ha sido documentada en otros países con resultados prometedores, tanto con fines económicos como de conservación (Decourtye, Alaux, Le Conte, y Henry, 2019; Kouchner *et al.*, 2019; Requier *et al.*, 2019), razón por la cual se hace necesario el análisis y recopilación de información relacionada con el tema.

En esta monografía se pretende documentar a través de artículos científicos, la aplicación de sensores remotos en la crianza y conservación de diferentes especies de abejas, con un enfoque especial en especies autóctonas del país, reconociendo su importancia como insectos polinizadores principales y la aplicación de la teledetección para la optimización de procesos en diferentes ámbitos de carácter ambiental. Para esto se presentan inicialmente aspectos básicos de la aplicación de la teledetección en estudios relacionados con el tema y su importancia económica y ecológica el país; posteriormente, se relacionan ambas temáticas a través de la exposición de estudios relacionados y sus principales resultados.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La aplicación de la teledetección y el uso de sensores remotos en múltiples problemáticas y procesos ambientales ha optimizado y facilitado la intervención del ser humano en estas, posibilitando un desarrollo más amplio de las actividades de producción y un mayor conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas. Un ejemplo de estas problemáticas ambientales es la creciente disminución en la población de polinizadores, por lo que la crianza de abejas tanto para el sector productivo como con fines específicos de conservación puede propiciar un mayor entendimiento asociado a la dinámica poblacional de estos insectos y, por tanto, favorecer su permanencia en el medio ambiente.

En Colombia, la crianza de abejas para la producción es una práctica común en algunas ciudades, sin embargo, la tecnificación de los procesos es aún incipiente. Por lo que se plantea la pregunta ***¿En qué procesos de la crianza de abejas para fines productivos y de conservación es posible el uso de sensores remotos para la optimización de actividades?*** De este modo, en el presente trabajado se hace una revisión del uso de sensores remotos en el proceso de crianza de las abejas, tanto para fines de conservación como con fines productivos.

JUSTIFICACIÓN

La presencia de polinizadores es ecológicamente fundamental para la persistencia y diversidad de los bancos de semillas de diferentes plantas florales, permitiendo su permanencia en ecosistemas terrestres y por tanto, en el bienestar de la humanidad (Klein *et al.*, 2007; Kremen, Williams y Thorp, 2002). Es por esto por lo que, existen en todo el mundo, diversos movimientos dirigidos a proteger, conservar y recuperar los polinizadores y sus interacciones en los ecosistemas, razón por la cual se han creado diferentes organizaciones, congresos y convenciones con el objetivo de avanzar en el conocimiento de las especies polinizadoras, con un foco especial en las abejas.

Este amplio movimiento en pro del mantenimiento de la población de abejas ha generado un aumento en las prácticas agrícolas relacionadas con las abejas. En Colombia, esta actividad agropecuaria ha reflejado un alto crecimiento en los últimos años, y cuenta con la presencia de un gran número de apicultores cuyos productos provenientes de las abejas son comercializados en el mercado nacional (Eslava, Baquero, Márquez, Méndez, y Gutiérrez, 2012).

El desarrollo creciente de esta actividad en Colombia requiere de un aumento paralelo de los conocimientos, investigaciones y nuevas tecnologías que promuevan su aplicación de acuerdo con las condiciones específicas del país y su potencial agropecuario. Por ejemplo, la aplicación de la teledetección en sectores productivos y con fines de conservación ha presentado igualmente un crecimiento acelerado a nivel mundial, por lo que se han documentado diversos estudios en los cuales los sensores remotos han ejecutado un papel esencial en el monitoreo, entendimiento y productividad de las colonias y, por tanto, en la mejora de la crianza de abejas como actividad productiva. Sin embargo, en Colombia el uso de sensores remotos como instrumentos clave en el desarrollo de esta actividad es aún incipiente.

Para ampliar las ventajas de la crianza de abejas como actividad y sus beneficios ambientales y de conservación, es necesario difundir conocimiento y aprovechar la tecnología, con el fin de mejorar procesos, reducir costos y ampliar la brecha de conocimiento que posibiliten un mejor desarrollo del tema.

OBJETIVOS

Objetivo general

Reconocer el uso de los sensores remotos en la optimización de procesos asociados con la crianza de abejas para fines productivos y de conservación.

Objetivos específicos

1. Describir aspectos importantes de la crianza de abejas como actividad productiva y sus beneficios en la conservación de la biodiversidad.
2. Identificar el uso de sensores remotos en la solución de problemáticas ambientales asociadas a polinizadores.
3. Analizar el uso de sensores remotos en la crianza de abejas con fines productivos y de conservación en Colombia.

MARCO REFERENCIAL

En Colombia la crianza y conservación de abejas nativas son temas aún en desarrollo, sin embargo, se ha visto su aplicación en el sector productivo de algunos municipios del país, principalmente en los departamentos de Antioquia y Córdoba (Nates-Parra y Gonzales, 2000). La Resolución 282 de 2012 de Colombia reconoce a Consejo Nacional de la Cadena Productiva de las Abejas y la Apicultura (CPAA), el cual está conformado por la Federación Colombiana de Criadores de Abeja (FEDEABEJAS) como representantes de los productores del país y con la presencia eventual de instituciones del sector público y privado como el ICA, el INVIMA, el SENA, El Banco Agrario, la ANLA; instituciones académicas como la Universidad Militar, la Universidad del Tolima, la Universidad Nacional de Colombia; diferentes institutos de investigación como el Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander Von Humboldt, el cual diseñó la Guía Ambiental Apícola que busca incentivar la inversión y el comercio de productos asociados a la crianza de abejas, desde un enfoque de conservación de la biodiversidad (Silva-G., Arcos-D. y Gómez-D., 2006).

Si bien en Colombia la crianza de abejas con fines económicos o de conservación es un tema creciente tanto en la apicultura como la meliponicultura, no se tiene recopilada información clara sobre los diferentes procesos asociados a estas prácticas (Nates-Parra y Gonzales, 2000), a pesar de que en el país se tiene la Organización de la Cadena Productiva de las Abejas y la Apicultura en Colombia, una institución específicamente dedicada a la crianza de abejas (CPPA, 2018), en conjunto con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Además, es aún menor el conocimiento relacionado con la aplicación de la teledetección en la optimización de diferentes acciones relacionadas con estas actividades. La aplicación de técnicas de teledetección en la creación, desarrollo, monitoreo y supervisión de apiarios y meliponarios ha sido documentada en otros países con resultados prometedores, tanto con fines económicos como de conservación, por lo cual se

hace necesario el análisis y recopilación de información relacionada con el tema en el país.

Partiendo de lo anterior, la crisis por la que atraviesan los polinizadores en la actualidad es un tema que preocupa a los diferentes organismos encargados de monitorear su estado, pues la apicultura y la meliponicultura representa una actividad que sustenta la economía de muchas familias, ayuda a la recuperación de los ecosistemas y hacen parte de la base que conforman los servicios ambientales. En el país, cerca de 43.024.740 hectáreas están representadas por uso agropecuario, esto es, el 38,6% del total del territorio nacional; de los 43 millones de hectáreas, solo el 19% corresponde a uso agrícola, que en su mayoría se basa en cultivos extensivos que utilizan agroquímicos (Fonseca *et al.*, 2019). Aunque lo anteriormente mencionado representa por sí solo una amenaza significativa para los polinizadores, entre ellos las abejas nativas, los problemas asociados a su declive son aún mayores, pues como argumentan Cordero, Moreno-Díaz y Kosmus (2008) los ecosistemas se han modificado en los últimos 50 años a un ritmo alarmante debido a las actividades llevadas a cabo por el hombre; el cambio climático, la deforestación, los incendios provocados por el hombre, la contaminación de fuentes hídricas y del suelo y el desconocimiento de la fauna y flora del país ha llevado a estas especies a atravesar un punto crítico en su supervivencia (Nates-Parra, 2016).

MARCO TEÓRICO

La polinización es el proceso de transferencia de polen de la flor masculina a la femenina, garantizando su reproducción. Aunque puede realizarse a través de factores ambientales como el viento y el agua, la parte principal del proceso se da a través de insectos polinizadores. Las abejas son los insectos polinizadores más especializados debido a su capacidad para transportar y almacenar polen de manera eficiente (Nates-Parra, 2016), por lo que su presencia en los ecosistemas es determinante para garantizar la permanencia de diferentes plantas y cultivos (I. Aguilar, 2001).

De igual manera, la dinámica de las poblaciones de abejas y sus productos derivados, han permitido la crianza de estos organismos como una actividad productiva y lucrativa, convirtiéndola en una alternativa a la presencia de amplios cultivos u otras actividades de producción con gran afectación ambiental.

Los esfuerzos enfocados en la protección de los polinizadores, se enmarcan dentro de la dinámica de protección de la biodiversidad del país, siendo la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos (MADS e Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2012), el marco de referencia conforme a lo planteado en la Iniciativa Colombiana de Polinizadores (Nates-Parra, 2016).

Así mismo, diferentes instituciones académicas y de investigación han consolidado esfuerzos que permitieron comprender la dinámica de las abejas desde su eje poblacional en el ámbito nacional, lo cual estuvo a cargo del Laboratorio de Abejas (Labun) de la Universidad Nacional de Colombia y que tuvo como eje integrador, los procesos de tecnificación y optimización de la crianza de abejas (Llácer, 2020; Soler, 2019).

Por otra parte, la crianza de abejas con fines productivos se registra como una actividad agropecuaria con una extensa trayectoria en Colombia, sin embargo,

según Silva-G. *et al.* (2006) esta actividad aún enfrenta diversos retos en cuanto a desarrollo relacionado con el mejoramiento tecnológico e industrialización de sus procesos y procedimientos.

Con respecto a lo anterior, La Iniciativa Colombiana de Polinizadores (2016) es quizás el documento más importante en el contexto de los polinizadores y la conservación de las abejas, dedicando un capítulo a la descripción de abejas nativas. Esta Iniciativa reúne estudios técnicos y de investigaciones de las diferentes especies de abejas del país, describiendo su dinámica en la interacción con los ecosistemas urbanos como rurales (Nates-Parra, 2016).

El Consejo Nacional de la Cadena Productiva de las Abejas y la Apicultura (CPAA), es el principal consultor encargado de la orientación del Gobierno Colombiano en el desarrollo y puesta en marcha de las medidas y políticas que abarcan los temas relacionados con la apicultura (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012) y está conformado por los representantes de los productores melíferos a nivel nacional, entidades gubernamentales y no gubernamentales e instituciones de educación superior entre otras.

Integrando las aplicaciones y fundamentos de la teledetección a los procesos productivos y de conservación de las abejas, en el 2015 en una alianza entre el gigante Intel Corporation, CSIRO y la Agencia Nacional de Ciencias de Australia, en el marco de las investigaciones adelantadas para monitorear la salud de las abejas, desarrollaron e instalaron chips de la interfaz Intel Edison en colmenas y cuerpo de más de 10.000 abejas, que les permitió observar y captar datos que se enviaban de manera remota mediante señales de los sensores al portal CSIRO. Este modelo permitió crear un escenario 3D del paisaje en el cual se movían e interactuaban las abejas con los elementos ambientales, dando una visión más amplia a los investigadores en cuanto al comportamiento y respuesta a factores estresantes de las abejas (Souza, 2020).

Por su parte, en el ámbito nacional, el Sistema de Telemetría Apícola SITAP, utilizaron un sistema que vigilaba y hacía seguimiento el estado de las colmenas, el cual se encargaba de transmitir información de manera remota a un centro de control que registraba las variables cruciales para la salud de la colmena mediante sensores instalados en su interior (Eslava *et al.*, 2012).

MARCO CONCEPTUAL

Polinización

La polinización se define como el proceso mediante el cual el polen (unidad portadora de las células sexuales masculinas de las plantas con floraciones) viaja desde la parte masculina (anteras) de una flor hacia la parte femenina (estigma) de la misma o de otra flor, lo que hace posible la fecundación, para luego producir frutos y semillas. La polinización es esencial en la conservación de la diversidad, pues la gran mayoría de las especies de plantas floríferas sólo producen semillas a través de la acción de un agente especializado que contribuya a su reproducción o específicamente llamados polinizadores (Jardin Botánico de Atlántico, 2013; Nates-Parra and Gonzales, 2000).

Polinizadores

Los agentes polinizadores se clasifican en dos grupos; polinizadores abióticos y polinizadores bióticos. En el primer grupo, se encuentran aquellos factores asociados al clima como el viento y el agua; mediante estos agentes polinizadores, el polen es transportado de manera natural hasta encontrar en las flores el órgano femenino y llevar a cabo el proceso de reproducción. Por otro lado, los polinizadores bióticos, son aquellos animales en su mayoría insectos voladores, encargados de la polinización de las plantas y flores por medio de la transferencia del polen, el cual transportan de una flor a otra, haciendo posible que se lleve a cabo este importante servicio ecosistémico al permitir la reproducción vegetal, y en muchos casos, encontrándose en relación directa con alguna especie botánica (Nates-Parra, 2016; Observatorio de Agentes Polinizadores, 2013).

Abejas

Las abejas son más comúnmente conocidas como un grupo de insectos visitantes de plantas con flores de las cuales obtienen el polen y el néctar para alimentar a sus larvas. Este grupo, representa una importancia ecológica y socioeconómica para la humanidad gracias a la producción de miel y sus derivados y para los ecosistemas al permitir llevar a cabo la polinización de un número significativo de plantas. Se estima que alrededor del 73% de cultivos realizados por seres humanos y más del 80% de la flora silvestre a nivel mundial son polinizadas por abejas (Del Coro Arizmendi, 2009; Nates-Parra, 2016).

Según Nates Parra (2009), en el Neotrópico existen alrededor de 6000 especies de abejas; en Colombia, se estiman aproximadamente 1000 especies representadas por abejas con aguijón (especies del género *Apis Mellifera*) y sin aguijón (representadas en su mayoría por el género meliponini).

Crianza de abejas

Esta práctica consiste básicamente en criar abejas con aguijón y sin aguijón para múltiples propósitos, ya sea económicos o ecológicos. En el contexto de la agricultura y la crianza de abejas, el beneficio de ambas actividades es mutuo; allí los agricultores obtienen beneficios de las abejas por la acción de la polinización al obtener frutos y semillas en mayor cantidad y calidad; por otra parte, al trabajar con abejas, se obtienen productos como mieles y ceras (Nates Parra, 2016). Con respecto a la conservación, la interacción planta-polinizador es el componente básico de recuperación y mantenimiento de la diversidad biológica, permitiendo potencializar aspectos estructurales de la diversidad biológica y el mantenimiento y preservación de los servicios ambientales (Fonseca *et al.*, 2019; Michener, 2007).

Problemática asociada a la extinción de abejas

A nivel mundial existe una preocupación creciente por la reducción en la población de polinizadores. El hecho de que las abejas sufran una disminución o desaparición impactará drásticamente sobre los servicios de los ecosistemas asociados a ellas, principalmente en la polinización de plantas nativas y cultivadas (Nates Parra, 2016).

Diferentes problemáticas se han relacionado con el declive en la población de abejas, por ejemplo, los cambios en los patrones de uso del suelo a monocultivos de gran extensión que limitan los recursos para la alimentación, supervivencia y reproducción de las abejas (Food and Agriculture Organization (FAO), 2008). Adicionalmente, el uso excesivo de plaguicidas y agroquímicos afectan la supervivencia de estos organismos, también afectados por la presencia de especies invasoras principalmente introducidas por el hombre (Del Coro Arizmendi, 2009). Por otro lado, afectaciones asociadas al cambio climático también han sido reportadas como perjudiciales para estos polinizadores, concretamente asociados con desplazamientos en las áreas de distribución de las especies y por tanto de las plantas con las que interactúa, así como cambios en el ciclo de vida de las flores y la actividad de los polinizadores (Obeso y Herrera, 2018). Adicionalmente, en los últimos años se ha presentado un aumento en los patógenos que afectan las abejas, esto principalmente asociado con malas prácticas en el cuidado de la colmena, la incorporación de sustancias químicas en el ambiente y el comercio mundial de abejas que promueve la introducción de especies no nativas que no soportan condiciones específicas del medio o que incorporan nuevos patógenos al ambiente introducido (Ritter, 2014).

De acuerdo con lo presentado en la Iniciativa Colombiana de Polinizadores Nates Parra (2016) “La polinización no es solamente un servicio ecosistémico sino también un insumo esencial en la producción agrícola al lado de otros más convencionales como los fertilizantes y el agua”. Sin embargo, paradójicamente,

una de las principales afectaciones a los polinizadores es la pérdida de áreas para la polinización asociadas a cambios en los usos del suelo, por ejemplo, por la implementación de agricultura a gran escala y monocultivos. Debido a esto, diferentes autores han enfocado sus estudios en la determinación de prácticas agrícolas que favorezcan la conservación de polinizadores (Eardley, Roth, Clarke, Buchmann y Gemmil, 2006; Kevan y Fonseca, 2002; Mader, Spivak y Evans, 2010; Pantoja, Smith-Pardo, García, Sáenz y Rojas, 2014). Kevan y Fonseca (2002) presentan algunas técnicas de cultivos que favorecen la presencia y mantenimiento de polinizadores asociadas con el mantenimiento de áreas de preservación como vegetación nativa, presencia de polinizadores nativos a través de cultivos nativos sin la necesidad de introducir nuevas especies y la disminución de plaguicidas, una de las causas principales de la pérdida de polinizadores.

Teledetección

Como herramienta de integración y trabajo unificado de las diferentes áreas encargadas de la protección y conservación de los recursos naturales, la teledetección adaptada a las necesidades en materia de biodiversidad consiste en la adquisición de información (datos e imágenes) a distancia de la biosfera, cuyas propiedades están compuestas por radiación electromagnética que interactúa con los elementos de la tierra. Como argumenta Sacristán (2005), cada uno de estos elementos que componen la naturaleza, están compuestos a su vez por una señal espectral denominada “signatura espectral”.

Así pues, la teledetección estudia y procesa las variaciones de las señales espectrales, del espacio terrestre y sus ondas electromagnéticas, poniendo al descubierto las correlaciones y características relacionadas con los elementos de la tierra. En otras palabras, el objetivo principal de la teledetección se basa en identificar los elementos que componen la superficie terrestre y los fenómenos que allí se desencadenan por medio de la signatura espectral (Sacristán, 2005).

MARCO LEGAL

La crianza de abejas en el ámbito nacional es un tema que aparte de faltarle mucho estudio, también carece de reglamentación, siendo la **Resolución 282 de 2012**, la norma que reconoce al Consejo Nacional de la Cadena Productiva de las Abejas y la Apicultura (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012).

METODOLOGÍA

Se realizó una recopilación y revisión sistemática de la información relacionada con la implementación de los sensores remotos en los procesos de crianza de abejas y producción de miel, ya sea para mejorar su rendimiento y producción o con un enfoque conservacionista de los polinizadores. La búsqueda incluyó publicaciones de instituciones públicas y privadas, entre las que se encuentran el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, repositorios de universidades públicas de Colombia y del Laboratorio de Abejas de la Universidad Nacional de Colombia; adicionalmente, se implementó la búsqueda en bases de datos de artículos científicos como Scopus, ScienceDirect y ResearchGate.

Estrategia de búsqueda

La búsqueda de información se limitó a estudios cuyas publicaciones estén en un rango de 20 años (2000 – 2020), incluyendo estrictamente trabajos que contengan resumen y metodología; a su vez, se incluyeron trabajos escritos en español e inglés. Se emplearon palabras claves como sensores remotos, meliponicultura, abejas nativas, polinizadores y sus respectivas traducciones en inglés.

Criterios de selección de la información

En la búsqueda y recopilación de la información se incluyeron todo tipo de trabajos de las instituciones y bases de datos científicas, en donde el principal criterio de inclusión se aplicó a aquellos documentos que contenían información contundente del uso de los sensores remotos en las actividades que se relacionen con la crianza de abejas, producción de miel y conservación de polinizadores.

Evaluación de la información

Para orientar la clasificación y evaluación de la información recopilada se agruparon los artículos encontrados en 3 categorías que responden a los objetivos específicos planteados (Figura 1).

1. *Crianza de abejas para la producción y conservación:* en esta categoría se agruparon los documentos que describen la crianza de abejas, usando como referencia principal los procesos descritos en las guías Aprendiendo el manejo de las abejas sin aguijón: Meliponicultura (Loteró, 2020) y la Guía Ambiental Apícola (Silva-G. *et al.*, 2006) y los siguientes subtemas:

- Abejas con y sin aguijón
- Estructuración y composición del nido y la colonia
- Comportamiento y biología de las abejas
- Manejo de la colonia
- Cosecha de miel

Esta primera categoría permitió comprender los procesos de crianza y el uso potencial de sensores remotos y teledetección en la optimización de actividades.

2. *Problemáticas asociadas a polinizadores:* esta categoría agrupó aquellos documentos que asociaban problemáticas ambientales específicas de los polinizadores y el uso de sensores remotos y teledetección para la solución de problemáticas, la generación de nuevo conocimiento y la tecnificación de procesos de conservación y producción.

3. *Crianza de abejas en Colombia:* esta categoría permitió agrupar la información publicada en el país, en la cual se relacionan los procesos de crianza de abejas con el uso de tecnologías de teledetección y sensores remotos.

De esta forma, se identificaron aquellos vacíos de información en el país, aquellos actores esenciales en la ejecución de actividades relacionadas con los polinizadores y los usos potenciales de la detección en la crianza de abejas.

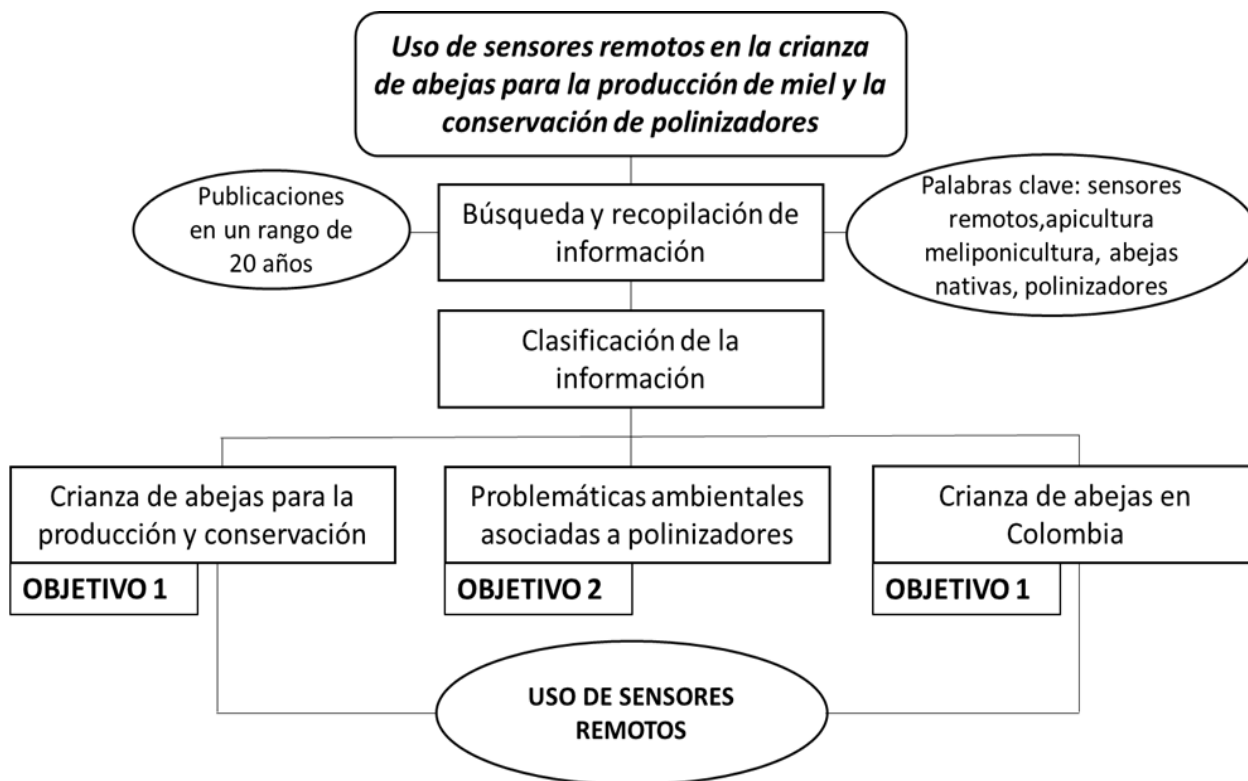


Figura 1. Esquema metodológico para el desarrollo de la monografía. Fuente: Elaboración propia

El desarrollo temático del documento se realizó a través de tres apartados principales. El primero de estos es *Crianza de abejas como actividad productiva y sus beneficios en la conservación de la biodiversidad*, por medio del cual se plantean aspectos esenciales de los polinizadores en los ecosistemas, así como la descripción de los procesos de crianza de las abejas. El segundo, *Uso de sensores remotos en la solución de problemáticas ambientales asociadas a polinizadores* permitió establecer un análisis global del uso de sensores remotos y la teledetección en diversos procesos ambientales asociados a la polinización, con el fin de comprender sus múltiples aplicaciones y el uso que se hace de estos a nivel mundial. Finalmente, en *Uso de sensores remotos en la crianza de abejas con fines*

productivos y de conservación en Colombia se recopiló y analizó información publicada sobre la crianza de abejas y el uso de sensores remotos en el país, con el fin de identificar la aplicación actual de estas tecnologías y posibles aplicaciones futuras.

RESULTADOS

Crianza de abejas como actividad productiva y sus beneficios en la conservación de la biodiversidad

Generalidades de la crianza de abejas

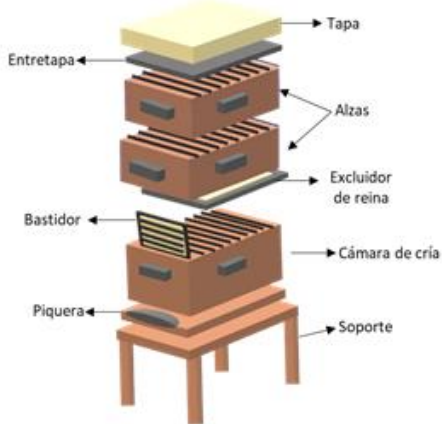
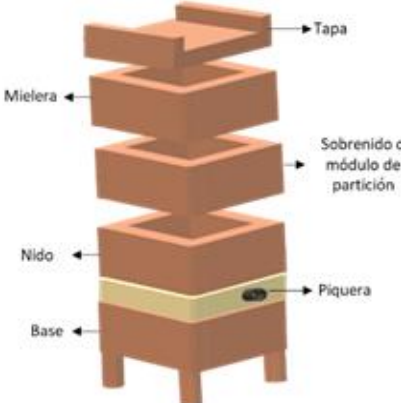
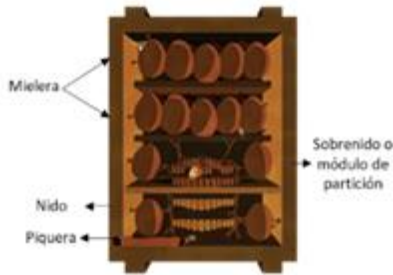
La apicultura y meliponicultura son las principales técnicas utilizadas desde tiempos remotos para la producción de miel y la obtención de productos derivados de las abejas, por lo que sus principales procesos difieren de las labores ancestrales y métodos tecnificados en su crianza (Nates-Parra, 2016; Aguilar, 2001). A continuación, de manera general se describen los principales procesos asociados a estas dos técnicas, pues estas varían de acuerdo con las condiciones geográficas, ambientales, culturales y socioeconómicas (Villas-Bôas, 2012; Nates-Parra, 2001):

Estructura y composición de la colmena y la colonia

Con el fin de realizar un pareado que permita identificar las diferencias entre las actividades de apicultura y meliponicultura, en la Tabla 1 se describe para ambas las características de la colmena y la colonia.

Tabla 1. Descripción de la colonia y la colmena en la apicultura y meliponicultura

PROCESO		APICULTURA	MELIPONICULTURA
COLONIA	Reina	Es el individuo más voluminoso de la colmena. Vive de 5 a 8 años, pero su vida fértil es de 1 a 2 años. Una colmena puede tener varias reinas. Puede colocar entre 1500 y 3000 huevos diarios (Aguilar, Fernandez, Paz y Vivas, 2000)	Individuo de mayor tamaño de la colmena. Única hembra fértil. Vive 3,5 años. Puede colocar entre 20 y 500 huevos por día. Es fecundada por un solo zángano (Loterio, 2020)
	Zánganos	Fecundan a las reinas. Son más grandes que las obreras. No manipula ni cera ni néctar (Aguilar et al., 2000).	Fecundan reinas. Manipulan cera y néctar. No poseen corbícula. Son más pequeños que las obreras (Loterio, 2020)
	Obreras	Hembras infértiles. Realizan la mayoría de los procesos dentro y fuera de la colmena (Aguilar et al., 2000).	Cumplen el 85% de las labores dentro y fuera de la colmena. Hembras infértiles

PROCESO	APICULTURA	MELIPONICULTURA
COLMENA	 <i>Figura 2. Colmena tecnificada. Elaboración propia. Adaptado de: Argüello Najera (2010)</i>	 <i>Figura 3. Colmena tecnificada modelo INPA. Elaboración propia. Adaptado de: Lotero, (2020)</i>
		 <i>Figura 4. Estructura colmena. Fuente: Lotero (2020)</i>

Comportamiento y biología

Estudiar el comportamiento de las abejas, es una estrategia que permite obtener conocimientos sobre la especie de abeja utilizada en apiarios y meliponarios (Tabla 2), permitiendo de esta manera un efectivo desarrollo técnico con respecto a cada una de sus características (Silva-G. *et al.*, 2006).

Tabla 2. Descripción de los comportamientos en la apicultura y meliponicultura

COMPORTAMIENTO	APICULTURA	MELIPONICULTURA
COMUNICACIÓN	Sistema de comunicación muy bien definido. Utilizan danzas, sonidos y feromonas para comunicar a la colonia las actividades en el interior y exterior de la colmena, como también para orientar a las demás abejas la dirección y distancia de los alimentos y su disponibilidad. Las abejas perciben los aromas de las flores y las feromonas de otras abejas; para orientarse utilizan el sol, la colmena y la fuente de alimento (Silva-G. <i>et al.</i> , 2006)	Comunican a las demás mediante secreción de feromonas sobre la ubicación de fuentes de alimento, el cual marcan en su viaje exploratorio. Las obreras se orientan también por medio del sol (Kwapong, Aidoo, Combey, and Karikari, 2010; Lotero, 2020)
DEFENSA DE LA COLONIA	Son abejas muy sensibles a los fenómenos físicos, químicos y biológicos, dándoles la característica de animales muy defensivos. Las obreras son alertadas, incitadas y orientadas a atacar por cualquier perturbación (golpe, vibración, ruidos, olores u objetos en movimiento) en la colmena o sus alrededores. Según el nivel de perturbación de la colonia, pueden permanecer a la defensiva durante varios días, como también recorrer grandes distancias persiguiendo al sujeto perturbador (Silva-G. <i>et al.</i> , 2006)	Las abejas del género Meliponini son más dóciles que las abejas utilizadas en la apicultura; en varias regiones del país suelen ubicarlas y criarlas en los jardines y patios de las casas. Al no poseer aguijón, estas abejas desarrollaron estrategias de defensa que varían según su especie. Los ataques defensivos van desde mordiscos (<i>Melipona Eburnea</i>) hasta impregnación de sustancias pegajosas o cáusticas (<i>Oxytrigona</i>) (Lotero, 2020). Otras especies como la <i>Nannitrigona</i> sp, cierran la piquera ante el ataque de sus agresores y otras como la <i>Hypotrigona ruspollii</i> , utilizan propóleos para sellar las entradas a la colmena (Kwapong <i>et al.</i> , 2010)
ENJAMBRAZÓN	Presentan tres tipos de enjambrazón: migratorios, cuando hay escasez de alimento; reproductivos, cuando los enjambres reproducen nuevas colonias; y evasivos, normalmente cuando existe mal manejo y cuidado del apiario. En general este comportamiento se presenta cuando hay constante ataque de enfermedades y agresores, cuando se presentan condiciones climáticas adversas, por espacio reducido de la	Estas abejas presentan enjambrazón cuando la colonia cuenta con una alta población y cuando existe buena disponibilidad de alimentos en el campo, de este modo la colonia está lista para dividirse y escoger una nueva morada. Inicialmente las obreras emprenden un viaje exploratorio para identificar un sitio con las condiciones adecuadas para albergar a la nueva colonia; luego, son enviadas un grupo de abejas obreras a sellar grietas y a

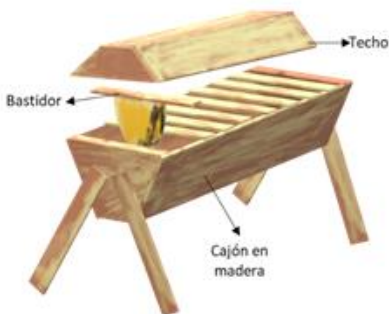
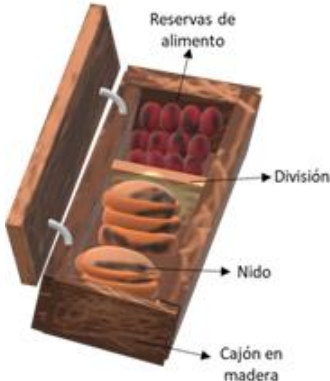
COMPORTAMIENTO	APICULTURA	MELIPONICULTURA
	colmena y por escasez o exceso de néctar y polen (Silva-G. <i>et al.</i> , 2006)	transportar alimento al nuevo lugar; las abejas escogen a una reina virgen y migran con una parte de la colonia en donde por medio del vuelo nupcial la reina es fecundada e inicia la postura en la nueva colonia (Kwapong <i>et al.</i> , 2010; Lotero, 2020)
PILLAJE	Se presenta robo de miel y demás sustancias dulces entre colmenas, lo cual afecta principalmente a aquellas que tengan una población débil o inmadura (Silva-G. <i>et al.</i> , 2006)	No se presenta este comportamiento entre colmenas de la misma especie. La especie <i>Lastrimelitta opita</i> , se alimenta del saqueo de otras colonias (Kwapong <i>et al.</i> , 2010; Lotero, 2020)

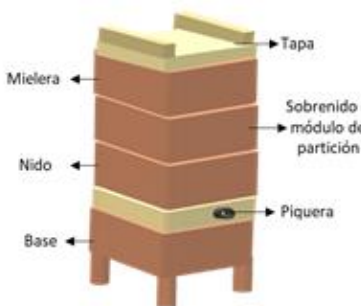
Manejo de la colonia

En la Tabla 3 se describen los procesos asociados al manejo de la colonia por parte de los apicultores y meliponicultores.

Tabla 3. Manejo de la colonia en la apicultura y meliponicultura

PROCESO	APICULTURA	MELIPONICULTURA
	Rústica	Rústica
TIPOS DE COLMENAS	 <i>Figura 5. Estructura colmena. Fuente: Lotero (2020)</i> <i>Las abejas instalan los panales en techo y pared. Todos los procesos se realizan en un mismo lugar</i>	 <i>Figura 6. Colmena rústica en guadua. Elaboración propia. Adaptado de: Lotero (2020)</i>

PROCESO	APICULTURA	MELIPONICULTURA
		 <i>Figura 7. Colmena rústica en madera. Elaboración propia. Adaptado de: Lotero (2020)</i> En este tipo de colmenas el nido y el área de producción de miel se encuentran en el mismo lugar
	Moderna  <i>Figura 8. Colmena moderna tipo Kenya. Elaboración propia. Adaptado de: Argüello-Najera (2010)</i> Esta colmena cuenta con piezas movibles (bastidores) en donde las abejas instalan los panales.	Semi - tecnificada  <i>Figura 9. Colmena semi-tecnificada. Elaboración propia. Adaptado de: Lotero (2020)</i> Las abejas cuentan con un área para el nido y otra para las reservas de alimento.

PROCESO	APICULTURA	MELIPONICULTURA
	Tecnificada  <i>Figura 10. Colmena tecnificada. Elaboración propia. Adaptado de: Argüello Najera (2010)</i> En este tipo de colmenas las abejas realizan sus procesos en áreas separadas.	Tecnificada  <i>Figura 11. Colmena tecnificada. Elaboración propia. Adaptado de: Lotero (2020)</i> Esta colmena cuenta con compartimentos en donde las abejas separan el nido de las reservas de alimento.
INSTALACIÓN DE COLMENAS	Las Colmenas deben estar alejadas a una distancia de por lo menos 200 m de asentamientos humanos, animales y perturbaciones por olor o ruido. Es recomendable no instalar más de 35 colmenas, pues se podría presentar alta defensividad (Y. Aguilar et al., 2000; Argüello-Nájera, 2010; Silva-G. et al., 2006)	Al tratarse de abejas dóciles se pueden instalar las colmenas cerca de viviendas; sin embargo, estas deben estar alejadas de perturbaciones por olores, vientos fuertes y ruido. No se encontraron restricciones con respecto al número de colmenas en un meliponario. (Kwapong et al., 2010; Lotero, 2020; Vit, Pedro y Roubik, 2013)
HERRAMIENTAS BÁSICAS DE MANEJO	Los materiales y herramientas básicas necesarias para llevar a cabo la crianza de estas abejas se listan a continuación: - Velo - Sombrero - Guantes - Calzado - Overol - Espátula - Ahumador	Para la crianza de estas abejas, son necesarios los siguientes materiales: - Velo - Espátula - Pinzas
ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL	En momentos de escasez de alimentos se debe suministrar alimentación artificial a base de azúcares y proteínas, por lo general agua + azúcar + polen. Para la reina, se debe suministrar jalea real, pues esto la incitará a ovipositar y	La alimentación debe suministrarse si se presenta escasez de polen y néctar, si las colonias han sido divididas o para estimulación en la víspera de la floración. Se suministra un alimento artificial a base de azúcar sin refinar, agua y miel



PROCESO	APICULTURA	MELIPONICULTURA
	que al término de la temporada de escasez haya suficientes abejas obreras para llevar a la normalidad a la colmena en un corto tiempo (Aguilar <i>et al.</i> , 2000; Argüello-Najera, 2010; Silva-G <i>et al.</i> , 2006)	(Kwapong <i>et al.</i> , 2010; Lotero, 2020; Vit <i>et al.</i> , 2013).
DIVISIÓN Y MULTIPLICACIÓN DE COLONIAS	Antes de la división se deben criar las reinas y fortalecer los núcleos o colonias hijas (Argüello-Najera, 2010). Existen tres maneras de multiplicar las colonias: 1. <i>División de colonias</i>: la colonia a dividir debe contar con mínimo 2 bastidores con miel y 4 con cría operculada y abierta. Debe haber abundancia de abejas. Se pasan al nuevo cajón un bastidor con polen, con miel y 2 bastidores con crías. Se pasan también abundantes abejas obreras y la reina se queda en la antigua colonia. Se colocan bastidores con cera en ambas colmenas (antigua y nueva). Se debe realizar constante supervisión de la nueva colonia (Aguilar <i>et al.</i>, 2000; Argüello-Najera, 2010; Silva-G <i>et al.</i>, 2006) 2. <i>Formación de núcleos</i>: es una de las técnicas para división o multiplicación de colmenas más utilizadas (Silva-G <i>et al.</i>, 2006). Un núcleo corresponde a la mitad de una colmena tipo Langstroht conformada por mínimo dos panales con abundante cría operculada y abierta y suficiente alimento (polen y miel). Se deben pasar suficientes abejas obreras y se debe tener especial cuidado de no incluir a la reina en la nueva colonia. Los núcleos deben llevarse a por lo menos 1 Km de distancia del apiario y a las 24 horas se debe introducir a la nueva reina (Aguilar <i>et al.</i>, 2000; Argüello-Najera, 2010; Silva-G <i>et al.</i>, 2006)	Para la división de las colonias en diversas fuentes se sugiere utilizar dos métodos: 1. <i>Método de donación de panales</i>: es uno de los métodos más utilizados para multiplicar colonias y aplica para cualquier tipo de colmena. Es indispensable diferenciar entre la cría verde de la madura. La colmena madre dona de 2 a 4 panales con cría madura la cual se pasa a una nueva colmena. Las abejas de campo ocuparán la nueva colmena para posteriormente postular a la nueva reina; con abejas Trigonas (<i>Tetragonisca angustula</i>), es importante asegurarse de que los panales donados que vayan a la nueva colmena, contengan celdas reales. La colmena madre quedará con la reina, cría verde y reservas de alimento. Se debe suministrar alimentación artificial a la nueva colmena durante 24 horas y se sugiere ubicarlas temporalmente a una distancia de por lo menos 10 m. Se debe monitorear el estado de las 2 colmenas en los días siguientes a la división (Kwapong <i>et al.</i>, 2010; Lotero, 2020; Paris, Peraza Lope, Masson, Delgado Kú y Escamilla Ojeda, 2018; Villas-Bôas, 2012) 2. <i>Método de perturbación mínima</i>: este método consiste en pasar a la nueva colmena módulos que contengan cría verde, una reina y reservas de alimento; la colmena antigua debe quedar con módulos de cría madura y con reservas de alimento. Como en el primer método, se sugiere separarlas por lo menos a 10

PROCESO	APICULTURA	MELIPONICULTURA
	3. <i>Fusión de colmenas</i> : en este proceso se fusiona una colonia débil con otra fuerte. Se debe tener cuidado de no pasar a la reina de la colonia débil a la nueva colonia (Argüello-Najera, 2010)	m, se debe supervisar las dos colmenas y de ser necesario suministrar alimentación artificial en los próximos días (Kwapong <i>et al.</i> , 2010; Lotero, 2020; Paris <i>et al.</i> , 2018; Villas-Bôas, 2012).

Cosecha de miel

En ambas técnicas, la cosecha de la miel se realiza con colmenas fuertes y en buen estado de salud. En la apicultura se presentan métodos muy invasivos que requieren de un proceso en el cual se deben retirar por completo los panales que se encuentren listos para recolectar miel y demás productos (Argüello-Nájera, 2010; Silva-G. *et al.*, 2006). Por su parte, en la meliponicultura las técnicas de extracción de miel y otros productos de las abejas se pueden realizar en el mismo sitio de ubicación de las colmenas y con menos equipos y materiales (Lotero, 2020; Villas-Bôas, 2012)

Tabla 4. Proceso de cosecha de miel en la apicultura y meliponicultura

PROCESO	APICULTURA	MELIPONICULTURA
COSECHA DE MIEL	Para la cosecha se debe preparar la colonia de 1 a 2 meses antes, con el fin de que estén en óptimas condiciones: <i>Estimulación de postura</i>: las colonias débiles o recién divididas deben ser estimuladas con alimento artificial para mejorar la postura de las reinas, incrementando de esta manera el número de abejas de la colonia un mes después. Si la colonia cuenta con un buen número de abejas, en la época de floración se verán buenos resultados con respecto a la producción de miel, propóleos, polen y jaleas (Aguilar <i>et al.</i>, 2000; Argüello-Najera, 2010; Silva-G <i>et al.</i>, 2006) <i>Cambio de reinas</i>: durante la estimulación del paso anterior, puede	En la meliponicultura las técnicas de cosecha de miel son menos invasivas que en la apicultura. Se sugieren 3 métodos para extraer la miel de los potes: <i>Prensado</i>: se extraen los potes de las colmenas y se presan por medio de un colador y una espátula. La miel se recoge en un recipiente para su posterior tratamiento. El módulo extraído debe ser reemplazado por uno nuevo, suministrando sobras de los involucros y potes de miel. Este método es el más invasivo de los tres (Lotero, 2020; Reyes-González, Camou-Guerrero, and Gómez-Arreola, 2016; Villas-Bôas, 2012)

PROCESO	APICULTURA	MELIPONICULTURA
	presentarse un rechazo al alimento artificial por parte de la colonia; en esta situación, es oportuno cambiar las reinas. El apicultor se debe anticipar a la cría de reinas con el propósito de tener disponibilidad en el momento que las necesite (Aguilar <i>et al.</i>, 2000; Argüello-Najera, 2010; Silva-G <i>et al.</i>, 2006) <i>Colocación de alzas:</i> en el inicio de la floración se deben colocar alzas de inmediato, pues por el exceso de alimento la miel tiende a ser muy clara (Aguilar <i>et al.</i>, 2000; Argüello-Najera, 2010) De esta manera el ciclo productivo de la colonia termina, repitiéndose anualmente con el inicio de las floraciones.	<i>Escurrimiento por gravedad:</i> cuando todos los pots estén sellados y la miel se encuentre lista para extraer, se retira el módulo que los contiene y se rompe cada uno en la parte superior con ayuda de una espátula. Se prepara el recipiente con un embudo y se voltea el módulo para permitir que la miel escurra. El módulo puede ser colocado nuevamente en la colmena para que las abejas llenen los pots nuevamente (Loter, 2020; Reyes-González <i>et al.</i>, 2016; Villas-Bôas, 2012) <i>Succión:</i> en este método, cuando los pots con miel estén completamente llenos y sellados se rompe cada uno de ellos en la parte superior con ayuda de una espátula. Luego se procede a realizar la succión por medio de una jeringa, bomba de succión manual o automática. De los tres métodos, este es el menos invasivo, pues se puede realizar la cosecha in situ (Loter, 2020; Reyes-González <i>et al.</i>, 2016; Villas-Bôas, 2012)

Plagas

En la apicultura se presentan numerosas amenazas para las abejas provenientes de insectos y parásitos; el más conocido es el ácaro varroa, causante de grandes pérdidas en apiarios, pues ataca directamente a larvas y abejas (Y. Aguilar *et al.*, 2000; Phillips, 2020). En el caso de la meliponicultura, gracias a sus hábitos de limpieza, las abejas lograron conformar una estrecha relación con bacterias que inhiben el crecimiento de otros organismos en la colonia, dándoles una importante resistencia a enfermedades y parásitos (Villas-Bôas, 2012; Vit *et al.*, 2013).

Tabla 5. Plagas en la apicultura y meliponicultura

PLAGA	APICULTURA	MELIPONICULTURA
POLILLAS	Existen dos tipos de polillas que atacan a los apiarios; la polilla mayor y la polilla de cera. Las hembras de las polillas, colocan huevos entre celda y celda. Las larvas, al nacer perforan las celdas hasta alcanzar la cera y demás reservas de alimentos (Aguilar <i>et al.</i> , 2000; Argüello-Najera, 2010)	No es una plaga reconocida en esta actividad
FÓRIDOS	No es una plaga reconocida en esta actividad	Son moscas pequeñas que buscan cualquier espacio, incluido la piquera, para introducirse en la colmena y alimentarse de las reservas de las abejas y de las crías. Se reproducen por miles y son uno de los mayores inconvenientes de los meliponicultores (Loteró, 2020; Villas-Bôas, 2012)
HORMIGAS	Estos insectos construyen sus nidos en las esquinas de las colmenas y en ocasiones en los panales, perturbando a la colmena en gran medida (Aguilar <i>et al.</i> , 2000; Argüello-Najera, 2010)	Las especies reportadas que atacan a los meliponarios son numerosas. Estos insectos pueden acabar con una colmena en una sola noche, alimentándose de las reservas, abejas y de sus crías, como también llevando materiales para la construcción de sus colonias (Loteró, 2020; Villas-Bôas, 2012)
PIOJO DE LAS ABEJAS O BRAULA	Este molesto insecto, se pega de la cabeza de la abeja y cuando desea comer se acerca a su boca para alimentarse de restos de néctar. Pone sus huevos dentro de las celdas operculadas (Aguilar <i>et al.</i> , 2000; Argüello-Najera, 2010)	No es una plaga reconocida en esta actividad
MOSCA SOLDADO	No es una plaga reconocida en esta actividad	Este insecto es atraído por materia orgánica descompuesta, en su mayoría restos de abejas, crías y desechos de las colmenas. Colocan sus huevos en las ranuras de las colmenas (Loteró, 2020; Villas-Bôas, 2012).

PLAGA	APICULTURA	MELIPONICULTURA
AVISPAS	Vuelan alrededor de las colmenas esperando por la llegada de las abejas obreras, para luego asaltarlas y robarles los alimentos que traen (Aguilar <i>et al.</i> , 2000; Argüello-Najera, 2010).	Estos insectos depredan a las abejas y atacan las colonias consumiendo todas sus reservas y sus crías (Loteró, 2020; Villas-Bôas, 2012).
ÁCARO VARROA	Este ectoparásito succiona la sangre de las abejas causándoles debilidad, malformaciones y la muerte. Las hembras colocan los huevos dentro de las celdas. Tienen un gran poder de diseminación (Aguilar <i>et al.</i> , 2000; Argüello-Najera, 2010; Phillips, 2020).	No es una plaga reconocida en esta actividad
APIS MELLIFERA	No es una plaga reconocida en esta actividad	Son peligrosas cuando se manipulan las colmenas en época de escasez nectarífero (Loteró, 2020; Villas-Bôas, 2012).

Crianza de abejas y su importancia en la polinización

Las abejas juegan un papel ecológico esencial como polinizadores de muchas especies de plantas y son un eslabón importante de la industria comercial de diferentes países (Suwannapong, Eric y Nieh, 2011). Reconociendo la importancia de las abejas en funciones ecosistémicas esenciales, se ha presentado una preocupación generalizada por su conservación, lo que ha llevado al incremento de la crianza de abejas, la cual hace referencia a la actividad de poseer y criar abejas con diferentes propósitos, ya sea económicos o de conservación.

Dentro de la crianza de abejas se reconocen principalmente dos actividades productivas: la apicultura y la meliponicultura. La apicultura es la ciencia aplicada que estudia y practica específicamente el cultivo de *Apis mellifera* o abeja doméstica (Silva-G. *et al.*, 2006). Por su parte, los meliponicultores son los encargados de criar y mantener las colonias de abejas sin aguijón, con el propósito de obtener miel y sus derivados para consumo familiar o comercial.

El creciente movimiento dirigido a la protección de polinizadores, especialmente abejas, a través de su crianza, no ha sido ajeno a la dinámica ambiental de Colombia. Específicamente en el país, la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos, menciona la importancia de proteger la biodiversidad y los ecosistemas en general, incluyendo dentro de sus ejes temáticos la elaboración de propuestas encaminadas a la protección y conservación de los polinizadores y su dinámica con la vegetación, de acuerdo con lo presentado en la Iniciativa Colombiana de Polinizadores (Nates Parra, 2016). En este documento, se hace un diagnóstico preliminar de la situación de los polinizadores-abejas en el país a través de la recopilación y análisis de diferentes trabajos e investigaciones relacionadas.

Si bien la crianza de abejas asociada a *Apis mellifera* es más común debido a la amplia distribución de esta abeja en el mundo, en zonas tropicales como Colombia se encuentra un grupo importante de abejas perteneciente a la subfamilia Apinae y el cual agrupa a todas aquellas abejas comúnmente llamadas “abejas sin aguijón” de gran importancia ecosistémica para el país al ser abejas nativas y uno de los principales polinizadores en regiones tropicales (Nates-Parra, 2001). Aunque en Colombia su implementación con fines agrícolas es apenas emergente, en países como Japón, Australia y México se han utilizado abejas sin aguijón para polinizar diversos cultivos al aire libre, dejando resultados favorables (I. Aguilar, 2001).

Dada la importancia de las abejas en los servicios ecosistémicos y el mantenimiento de la producción agrícola, diferentes entidades académicas y de investigación han enfocado esfuerzos en el estudio de la dinámica poblacional de las abejas, con el fin de generar nuevo conocimiento orientado a la conservación especialmente a través de los inventarios de abejas a nivel nacional a cargo principalmente del Laboratorio de Abejas de la Universidad Nacional de Colombia

(LABUN), así como en la tecnificación y optimización de los procesos productivos asociados con la crianza de abejas (Llácer, 2020; Soler, 2019).

Uno de los documentos más importantes del país en el marco de polinizadores, es el capítulo Abejas, creado por la Iniciativa Colombiana de Polinizadores en el año 2016, documento técnico en el cual se resumen estudios e investigaciones relacionadas con diferentes especies de abejas y su dinámica en el país, así como un análisis de la situación de Colombia con relación a estos polinizadores en la presente década.

En cuanto a la crianza de abejas con fines productivos, esta es una actividad agropecuaria con gran trayectoria en el país, pero que se encuentra aún en desarrollo con relación a aspectos tecnológicos e industrializados para el mejoramiento de sus procesos (Silva-G. *et al.*, 2006).

La polinización y su importancia en los ecosistemas

La polinización es el proceso a través del cual un ente polinizador (biótico o abiótico) transfiere el polen de una flor a otra, propiciando la fecundación y el proceso de desarrollo de la planta, como la producción de semillas y la presencia de frutos (Nates-Parra, 2016; Observatorio de Agentes Polinizadores, 2013), siendo esencial para mantener la diversidad y soportar las actividades agrícolas.

Los polinizadores bióticos (animales principalmente insectos) y abióticos (viento y agua) son aquellos que se encargan de polinizar plantas y flores, reconociendo los insectos como los principales agentes polinizadores (Nates-Parra, 2016; Pantoja *et al.*, 2014).

Dentro de este importante grupo polinizador, se reconoce a las abejas como una especie esencial para la polinización y, por tanto, para la reproducción sexual de la mayoría de las plantas con flores, e incluso, plantas de interés agrícola (Michener, 2007). Esta clasificación especial de las abejas dentro de los

polinizadores se debe a sus hábitos alimenticios, puesto que al alimentarse casi exclusivamente de polen y néctar requieren visitar una gran cantidad de flores por día (Nates-Parra and Gonzales, 2000; Suwannapong *et al.*, 2011). De acuerdo con Del Coro (2009) se estima que cerca de 73% de las especies vegetales que se cultivan y más de 75% de la vegetación mundial son polinizadas por abejas. Sin embargo, la importancia de las abejas no radica únicamente en la polinización, sino también en la producción de miel, polen y otros productos como ceras y resinas (Decourtye *et al.*, 2019).

En la región Neotropical se han encontrado cerca de 6000 especies de abejas siendo la más conocida *Apis mellifera*. En Colombia se han reportado alrededor de 1000 especies de abejas en todo el territorio nacional repartidas en cinco familias: Colletidae, Andrenidae, Halictidae, Megachilidae y Apidae (Nates Parra, 2005). Por ejemplo, en el país son de gran importancia las abejas sin aguijón, pertenecientes a la familia Apidae, con una representación de 13 géneros y 10 subgéneros en el territorio colombiano (Nates Parra, 2001), su importancia radica en el sostenimiento de la diversidad autóctona de los trópicos, al ser polinizadores nativos, por lo que su integración en sistemas agroforestales puede traer altos beneficios a los cultivos, permitiendo además, la continuidad de la dinámica habitual de los sistemas naturales del país y la restauración del equilibrio ecológico (Aguilar, 2001)

En resumen, la polinización es un proceso esencial, tanto para los ecosistemas naturales como para los manejados por los seres humanos, al posibilitar la diversidad de diferentes plantas florales y el mantenimiento de cultivos agrícolas de alta productividad, pues la gran mayoría de frutas y vegetales de importancia agrícola a nivel mundial dependen de la polinización, obteniéndose productos de mejor calidad y en mayores cantidades (Aizen, Garibaldi, Cunningham y Klein, 2009). Por tal motivo, el proceso de polinización es esencial para la reproducción de múltiples cultivos de interés agrícola, siendo de igual manera, un

determinante para la obtención de alimentos y nutrientes para seres humanos; de hecho, según Klein *et al.* (2007) “el 70% de los cultivos dependen en diversos grados de los polinizadores para la producción de semillas y frutos de alta calidad y gran cantidad”.

Actividad Productiva y sus beneficios en la conservación de la biodiversidad

La relación del ser humano con las abejas tiene su origen en el aprovechamiento de los procesos inherentes a las abejas, como lo es la apropiación de la miel de los nidos de abejas silvestres, pasando posteriormente a la creación de cavidades artificiales dentro de las cuales las abejas pudieran construir panales para su supervivencia y posteriormente producir la miel que sería aprovechada por los seres humanos, siendo una actividad ancestral que se remonta aproximadamente a los años 2450 a. C. (Kritsky, 2017). Se registra que esta actividad fue evolucionando de manera diferente en los diferentes continentes, reconociendo en algunos el uso principalmente de abejas *Apis mellifera*, mientras que en otros el aprovechamiento estuvo enfocado en abejas sin aguijón como *Melipona beecheii* (Kritsky, 2010).

Diferentes estudios han identificado la crianza de abejas como una actividad económicamente rentable que además incentiva a conservar y rehabilitar los recursos naturales (Malkamäki, Toppine y Kanninen, 2016; Minja y Nkumilwa, 2016), debido a que ofrece a los productores y a entes gubernamentales, alicientes económicos asociados a la producción que a la vez están directamente relacionados con la conservación de los hábitats naturales, siendo una actividad ideal en cualquier programa de conservación forestal (Agera, 2011).

Por ejemplo, de acuerdo con Agera (2011), las zonas de ubicación de las colmenas son especialmente protegidas por los apicultores, razón por la cual se evitan incendios forestales, y se disuade a las personas de cortar madera, postes y otros recursos forestales, por lo que con el paso del tiempo las áreas de cultivo

permiten la recuperación de la cubierta vegetal permitiendo la regeneración de bosques. Adicionalmente, las personas evitan las colmenas por temor a picaduras, por lo que se dejan zonas de aislamiento indirecto que permitan también el crecimiento de otras plantas y por tanto la conservación de recursos naturales.

Los beneficios asociados a la presencia de estos polinizadores no se relacionan únicamente con ecosistemas protegidos y zonas rurales, en ambientes urbanos y semi-rurales, los agentes polinizadores desempeñan un papel fundamental asociado no solo con la conectividad reproductiva entre individuos de la misma especie mediante el transporte de polen, sino también en los programas de silvicultura y vegetación urbana al ser reguladores genéticos naturales de diferentes especies arbóreas que conforman las ciudades (Fonseca *et al.*, 2019) siendo por tanto indispensables en la mejora de la calidad ecosistémica y por tanto, de los niveles de contaminación asociados a la dinámica de las grandes urbes.

Con relación al mantenimiento de la producción agrícola mundial, se estima que un tercio de los alimentos cultivados está disponible gracias a la acción de los polinizadores (Nates Parra, 2009). De acuerdo con Fonseca *et al.* (2019) de 1.330 cultivos tropicales, aproximadamente el 70% obtiene mejor calidad y cantidad gracias a la polinización, además de contribuir con la producción alimentaria, incide también en la producción de medicamentos, biocombustibles (aceite de palma), fibras como el algodón y materiales de construcción como la madera.

En Colombia, productos de interés económico y de exportación como el café, el cacao, el banano, el aguacate, la palma de cera y diferentes especies florales son polinizados por abejas como *Apis mellifera*, razón por la práctica de la apicultura en zonas de cultivos favorece la permanencia y desarrollo de prácticas agrícolas de productos como los mencionados (Fonseca *et al.*, 2019).

Por otro lado, con respecto a las abejas sin aguijón, se conoce que su presencia favorece el desempeño de múltiples cultivos a través del proceso de

polinización, por lo cual se han implementado estrategias para la instauración de abejas en actividades agrícolas, de este modo los agricultores se benefician de las funciones ecosistémicas proporcionadas por estos insectos y se promueve la preservación de las abejas sin afectar de forma negativa la actividad productiva. De acuerdo con lo mencionado por Aguilar (2001), en el trópico las abejas sin aguijón contribuyen significativamente en la productividad de los cultivos, por lo que son una alternativa para la implementación de proyectos agroforestales.

Debido a la buena relación de las abejas meliponas con diferentes especies forestales para usarlos como sustratos para sus colmenas, el uso de estas abejas en sistemas agrícolas favorece también el establecimiento de especies arbóreas (Aguilar, 2001), en ocasiones nativas, beneficiando no solo los cultivos que las abejas pueden polinizar sino también, fomentando los procesos de reforestación a través de actividades económicas con múltiples beneficios, pues puede llegar a aprovecharse la miel de las colmenas, el beneficio productivo de los cultivos y en ocasiones, el valor maderable de los árboles sembrados para la protección de las abejas, posibilitando la instauración de sistemas agroforestales sustentables y con resultados económicos y ecosistémicos.

Adicionalmente, la crianza de abejas como actividad económica puede ser practicada con relativa facilidad por diferentes comunidades, por lo que se ha implementado con éxito en programas gubernamentales de alivio de la pobreza. (Henry y Rodet, 2020). El cuidado de abejas con fines económicos requiere en general pocos recursos para iniciar la producción; adicionalmente, puede ser practicada por hombres y mujeres, con habilidades fácilmente transmitidas de generación en generación. La mayoría del material necesario para esta práctica agrícola en pequeña escala están naturalmente disponibles por lo que su desarrollo es relativamente simple, especialmente en áreas tropicales y en áreas forestales donde las abejas aún abundan en su hábitat natural (Wagner, Meilby y Cross, 2019).

Este tipo de prácticas productivas también han sido estudiadas para su implementación en zonas rurales de países en desarrollo, donde la agricultura suele ser el principal sustento económico, por lo que emergencias como inundaciones, enfermedades, el aumento de los precios de los alimentos y la disminución de las ventas agrícolas pueden afectar fácilmente la capacidad del hogar para subsistir. Debido a esto, la crianza de abejas ha sido usada como “red de seguridad” a través de ingresos adicionales asociados a la venta de miel y otros productos derivados de las abejas (Agera, 2011).

Si bien la crianza de abejas puede considerarse una medida comercial y protectora viable que puede integrarse a las prácticas agrícolas nacionales y otros programas de planificación estratégica, especialmente aquellos con fines paralelos a la conservación, su importancia económica y ecológica todavía se conoce muy poco lo cual dificulta su aprovechamiento. Su potencial en la conservación de los bosques y el alivio de la pobreza aún ha sido poco explorado. A pesar de ser una actividad desarrollada desde hace miles de años y de las utilidades de producción y los servicios ecosistémicos asociados, la crianza de abejas es poco entendida y estudiada como una actividad agrícola profesional (Kouchner *et al.*, 2019) por lo que la optimización y tecnificación de sus procesos sigue aún en desarrollo y el valor de la crianza de abejas como actividad de producción y su relación con la seguridad alimentaria y la conservación está apenas en estudio, constituyendo un reto para productores, profesionales y científicos relacionados con esta área del conocimiento.

Uso de sensores remotos en la solución de problemáticas ambientales asociadas a polinizadores

Generalidades de los sensores remotos

El término teledetección proviene de la palabra Remote Sensing, haciendo referencia a la captura de datos a distancia a través de un sensor remoto y el posterior procesamiento y análisis de información (Ellis, 2016). De acuerdo con Parra (2010) “La percepción remota se define como el proceso de adquirir información acerca de un objeto, área o fenómeno desde la distancia”. Según Jensen (2007) “los sensores remotos tienen la capacidad de obtener información de un objeto en tiempo real sin entrar en contacto físico con este”, por lo que indudablemente se reconoce su principal uso en ambientes de difícil acceso, fenómenos de amplia magnitud espacial o temporal y eventos en los cuales la capacidad del hombre para recolectar información puede verse limitada.

El uso de sensores remotos en los últimos años ha crecido rápidamente, siendo usado en diferentes ámbitos contrastantes como la planificación urbana, prospección de yacimientos de petróleo y minería, información asociada a bienes raíces, manejo de cultivos, entre muchos otros (Ellis, 2016), teniendo una amplia gama de aplicaciones que aprovechan el desarrollo de la tecnología actual.

Uso de sensores remotos y la polinización y crianza de abejas

Asociado al amplio abanico de aplicaciones de los sensores remotos, su uso en problemáticas ambientales ha ido creciendo en los últimos años, por lo que ha sido utilizado en ambientes terrestres y acuáticos, a escalas espaciales y temporales, en periodos de tiempo largos y cortos y en procesos y fenómenos ambientales complejos, permitiendo el desarrollo y avance de diferentes ciencias ambientales como la geografía, la ecología y la agricultura (Paruelo, 2008).

Con relación específicamente al uso de sensores remotos en problemáticas asociadas a la polinización y la crianza de abejas con fines productivos o de conservación ha permitido la recopilación y evaluación de información de las colmenas de abejas a través de un monitoreo y con menor perturbación en la dinámica natural de los insectos (König, 2019).

Con el propósito precisamente de reducir la perturbación en el monitoreo de colmenas y evitar factores de estrés para la población Crawford (2017) presenta un diseño e implementación de un sistema para la recopilación de datos desde el interior de las colonias, conocido como BeeMon. El sensor de este sistema captura automáticamente los datos y los envía a un servidor remoto para su análisis, operando continuamente al aire libre y con información en tiempo real.

Dentro de esta misma línea de investigación, König (2019) a través de su proyecto denominado IndusBee 4.0, midió variables importantes en las colmenas incorporando micro y nanotecnología para medir variables como temperatura, humedad y peso de las colmenas, además de identificar posibles presencias parasitarias que afecten el desarrollo de estas. Según el mismo autor, enfoques más avanzados extienden esto al análisis de imágenes y video, por ejemplo, para el monitoreo de patrones de vuelo, monitoreo acústico y análisis de aire dentro de la colmena mediante sensores de gas para diversos fines.

Estudios como el anterior, pueden solucionar una de las mayores problemáticas asociadas a la crianza de abejas: el ataque de parásitos, insectos, arañas, aves, reptiles/anfibios y mamíferos (Ellis, 2016); facilitando la inspección que los criadores de abejas hacen en las colmenas. En la misma línea anterior, la investigación de Schurischuster, Zambanini, Kampel y Lamp (2016) se enfoca en el monitoreo a través de sensores remotos de la salud de las abejas, enfocado en la detección del parásito *Varroa destructor*, detectando diferencias en los espectros de sonido que producen las abejas cuando comienzan a enfermarse de parásitos.

De igual forma, Howard, Duran y Hunter (2018) diseñaron una red de sensores para el monitoreo de colonias de abejas, midiendo igualmente variables como temperatura, humedad y masa de la colmena; adicionalmente, el esfuerzo de su investigación está enfocado en la creación de sensores remotos de bajo costo que promuevan la crianza amigable de abejas y reduzcan situaciones de estrés que afecten la colonia y reduzcan su capacidad productiva y su conservación. Dentro de esta misma línea de investigación, en México Rodríguez, Ibarra, Rodríguez, Esquivel y Ruiz (2017) diseñaron un sistema de monitoreo a través de sensores remotos para la medición de variables al interior y exterior de las colmenas, también con el propósito de diseñar un sistema de bajo costo.

El diseño fundamental y esquema básico de un sistema para el monitoreo de colmenas a través de sensores remotos (Figura 12) se basa en mantener un ambiente controlado, lo que beneficia el desarrollo de la comunidad de abejas y la producción de miel.

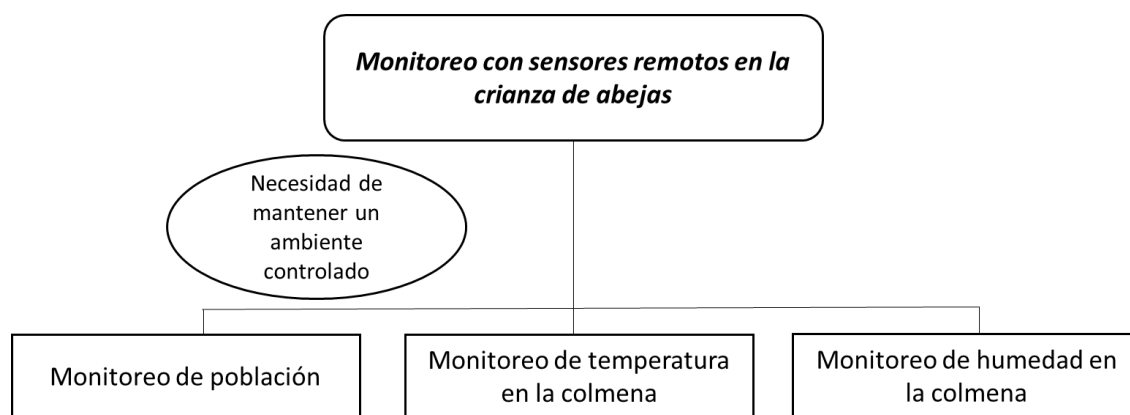


Figura 12. Componentes básicos para el monitoreo de colmenas de abejas a través de sensores remotos. Elaboración propia. Conceptos tomados de: (Rodríguez et al., 2017)

Con el fin de mantener las variables ambientales básicas monitoreadas y controladas, al interior de la colmena se ubican sensores para la medición principalmente de humedad y temperatura, propiciando un desarrollo favorable para la comunidad de abejas. La metodología de crianza en relación con la morfología

de la colmena es igual a la crianza habitual cuando no se hace uso de teledetección, el aspecto fundamental en la incorporación de sensores remotos está en la modificación parcial de la colmena para incluir diferentes sensores que faciliten el monitoreo de estas, como se observa en la Figura 3 A y B.

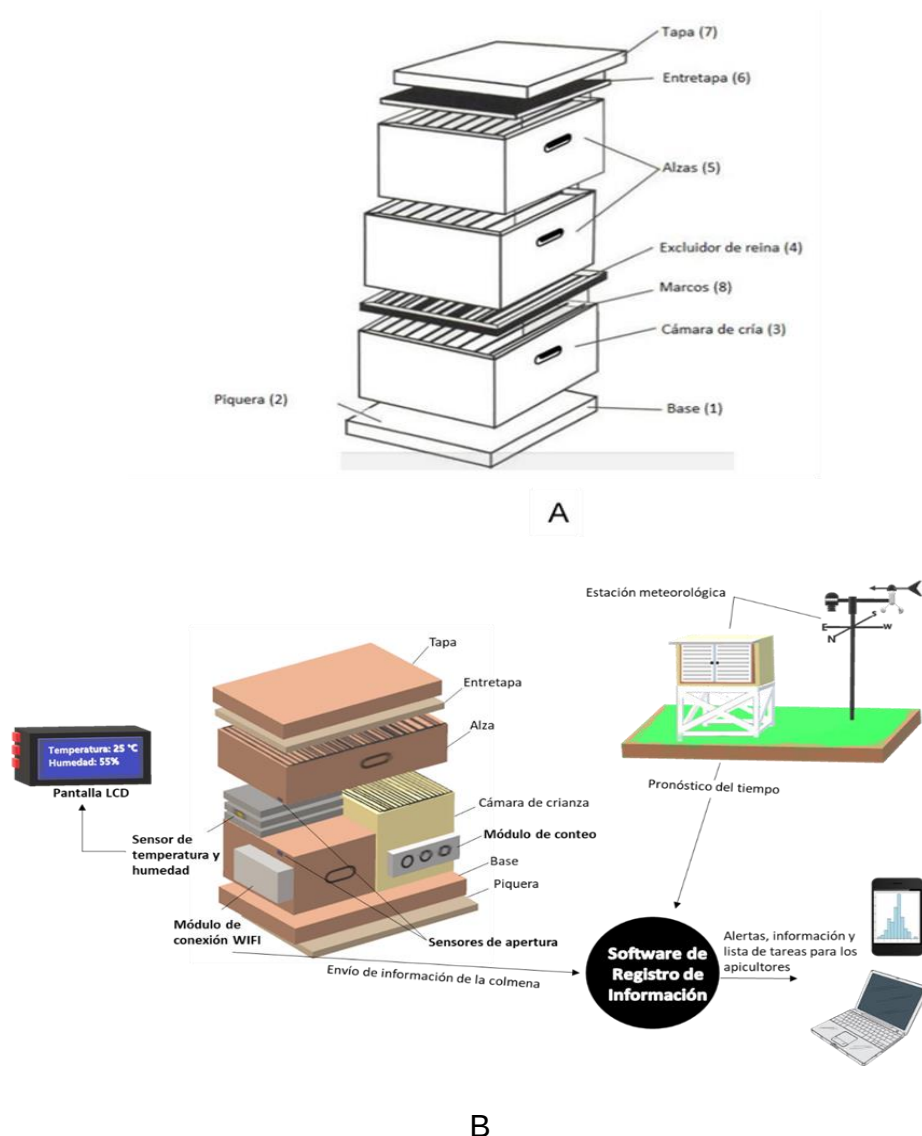


Figura 13. **A.** Modelo de colmena tradicional para la crianza de abejas (Tomado de Besora, 2015).
B. Modelo modificado con la incorporación de sensores remotos. Elaboración propia (Basado en Eslava et al., 2012; Rodríguez et al., 2017; König, 2019).

En la Figura 13A, se muestra un diseño de las siguientes partes fundamentales:

- Tapa: Techo de la colmena con el fin de protegerla de la acción del agua, el viento y el sol directo.
- Entretapa: Su función principal es ser una cámara de aire aislante y facilitar el manejo de la colmena.
- Alza: Puede constar de una o varias alzas, es la zona de almacenaje de la miel.
- Cámara de cría: Primera caja ubicada sobre la base es el lugar donde se almacenan la reina y sus crías.
- Piquera: Entrada y salida de las abejas a la colmena.
- Base: Es el soporte o piso de la colmena, por lo que debe ser suficientemente resistente para soportar todo el peso de esta.

De igual forma, como se observa en la Figura 13B, la incorporación de sensores remotos realiza una leve modificación de diseño con el fin de incluir las partes adicionales que servirán para el monitoreo remoto y el envío de información (Basados en el modelo de Eslava *et al.*, (2012):

- Sensor principal: Sensor para la medición de temperatura y humedad en la colmena.
- Sensores de apertura: Dos sensores ubicados en la cámara de cría y la alza, con el fin de generar alertas en el caso de aperturas indeseadas en la colmena, ya sea por depredadores de las abejas o por eventos fortuitos.
- Módulo de conteo: Con el fin de mantener un control en el crecimiento poblacional. Funciona a través del conteo del paso de las abejas por pequeñas ranuras ubicadas en el módulo.
- Módulo de conexiones wifi: encargado de registrar la información transmitida por los sensores y enviar vía wifi a los encargados de la crianza de abejas.

Aplicaciones como las anteriores han sido comunes a nivel internacional (Krishnasamy, Sundaraguru y Amala, 2019; Zacepins, Kviesis, Stalidzans, Liepniece y Meitalovs, 2016) encontrándose además en el mercado productos con fines similares como ARNIA2, HOBOS3 y BeeHive Lab (Schurischuster *et al.*, 2016).

Así mismo, destacando la importancia de conocer la dinámica poblacional de las abejas, trabajos como el de Heino, Virkkala y Toivonen (2009) y los autores Orr *et al.* (2020) identifican comportamientos poblacionales y su distribución en los ecosistemas, tanto para estudios ecológicos como para la conservación y las actividades productivas. Este tipo de estudios mapean y modelan la distribución de abejas a través de información verificada y publicada de la distribución mundial de estas con el fin de identificar una distribución global de abejas y generar puntos críticos de riqueza de abejas y reducción de poblaciones, identificando patrones y finalmente modelando la riqueza mundial de estos insectos.

A través del uso de la teledetección, estudios como el de Carrié, Lopes, Ouin, y Andrieu (2018) incorporan imágenes satelitales para medir parámetros de los ecosistemas como la pendiente y la capa vegetal, pudiendo utilizar información a escala de paisaje para determinar patrones en la riqueza, abundancia y distribución de las abejas. El estudio destaca la importancia de considerar los recursos de anidación en zonas agrícolas para mantener la diversidad de las abejas silvestres.

En un trabajo similar Muñoz, (2007) usó imágenes satelitales tomadas de la plataforma LANDSAT y MODIS para identificar correlaciones entre la superficie de cultivo y las zonas adecuadas para la polinización de abejas y la instauración de colmenas, determinando un índice verde alrededor de los apiarios. En la misma línea, Feilhauer, Doktor, Schmidtlein y Skidmore (2016) y el trabajo de Luo, Silva, De Marco Júnior, Pimenta y Caldas (2020) identificaron patrones en diferentes tipos de polinización asociados a las características del dosel y la cobertura vegetal con imágenes satelitales.

Paralelamente, también se hace uso de la dinámica poblacional de las abejas y sus relaciones con el entorno. Por ejemplo, el estudio de Bajić (2014) analiza a través de sensores remotos el comportamiento de las abejas en campos minados y zonas con presencia de explosivos con la premisa de que las abejas pueden detectar productos químicos y otros agentes dañinos que pueden estar presentes en explosivos. Otro estudio asociado con las relaciones de las abejas con su medio es el de Liang, Chuang, Jiang y Yang (2016), en el cual monitorean la capacidad de las abejas para detectar el campo magnético de la tierra introduciendo microsensores que posteriormente emiten la información a procesadores para su análisis.

Por otro lado, estudios aún más avanzados como el proyecto ASSISlb de Croacia Griparić, Haus, Miklić, Polić y Bogdan (2017) realiza investigaciones de la dinámica poblacional de las abejas a través de la incorporación de un sistema robótico que diferencia aspectos específicos como las características físicas, sensoriomotoras y de comportamiento de las abejas (específicamente *Apis mellifera*) a cambios en el calor, la vibración o el flujo de aire. Otros estudios, como los realizados por CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation incorporaron dispositivos en más de 5000 abejas con el fin de monitorear su recorrido y distribución al salir de la colmena a través de sensores remotos; de acuerdo con los investigadores el dispositivo no interfiere en el ciclo de vida de las abejas al tener un peso inferior al del polen, por lo que puede brindar información esencial para las actividades de preservación de estos individuos.

Integrando todo lo anterior, el artículo de revisión de Willcox, Robson, Howlett y Rader (2018) hace una importante recopilación de publicaciones asociadas al uso de tecnologías de teledetección, incluidos los sensores satelitales, aéreos y terrestres, aplicados en la crianza de abejas con fines productivos y de conservación. De acuerdo con ellos, aunque la aplicación de sensores remotos en diferentes problemáticas ambientales es común, el uso de estos en temas de

polinización y crianza de abejas aún es limitado y se restringe principalmente a las características de la colmena para monitorear el rendimiento en la producción de miel o derivados, lo que se conoce como Precision Beekeeping. Debido a esto, hacen un llamado al sincronizar diferentes campos del conocimiento para aplicar tecnologías de teledetección en diferentes temas asociados con las abejas y otros polinizadores, principalmente porque a través de estos pueden abarcarse áreas de estudio de mayor magnitud, facilitando la detección y el monitoreo ecológico y productivo a gran escala.

Uso de sensores remotos en la crianza de abejas con fines productivos y de conservación en Colombia

Los reportes asociados al uso de la teledetección y sensores remotos en la crianza de abejas con múltiples fines en el país son escasos, a pesar de ser una práctica aplicada desde tiempos precolombinos (Aguilar, 2001) y de que en el país se tiene una institución específicamente dedicada a la crianza de abejas (CPAA, 2018), en conjunto con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. De acuerdo con el informe para el año 2018 de la Organización de la Cadena Productiva de las Abejas del Ministerio de Agricultura Colombiano, aunque el número de colmenas en el país ha incrementado por la instalación de nuevos proyectos, también la producción de miel disminuyó debido a la pérdida de colmenas (CPA, 2018), debido, entre muchos otros factores, a la falta de tecnificación y poca divulgación científica sobre los métodos de crianza.

El reporte menciona, además, que el departamento de Antioquia ha pasado a ser el líder en la producción de miel en el territorio nacional, gracias al incremento de las prácticas principalmente en el oriente antioqueño. Aun así, Colombia no es un país exportador de miel de abejas, aunque presente un alto potencial del producto en condiciones de mejora de las técnicas de crianza, de acuerdo con la visión establecida por la institución.

Adicionalmente, Colombia por ser un país megadiverso cuenta con una amplia variedad de sistemas productivos, asociados a las múltiples especies de abejas que habitan las regiones del país, por lo que existe un sistema de crianza amplio con alto potencial, que puede ajustarse a múltiples necesidades y procesos productivos de acuerdo con la especie de abeja, el producto asociado y la zona de ubicación (CPPA, 2011). Los principales productos asociados a la industria colombiana de la crianza de abejas van desde la miel y diversos tipos de jaleas, hasta material biológico como reinas y larvas, con una mayor tendencia hacia la producción de miel. Según el Acuerdo de Competitividad (2011 – 2015) de la CPPA, adicional a los productos asociados y a los fines productivos y económicos, las abejas realizan un importante aporte a la productividad de diversos cultivos colombianos a través de la polinización.

La CPPA en alianza con el Ministerio de Agricultura como principales organizaciones del país relacionadas con la crianza de abejas, han realizado diversas publicaciones, encuestas y cursos asociados con la tecnificación del método a través de la participación libre de múltiples actores, sin embargo, la divulgación del tema es escasa y las prácticas agrícolas continúan haciéndose con base en conocimientos tradicionales, que si bien son efectivos, pueden ser potenciados a través de la incorporación de tecnología como los sensores remotos.

Una de las publicaciones del país en temas de crianza de abejas es Sistema de monitoreo para el fomento de la producción apícola automática (Edwin Soler, 2019). En este se describe el proceso de la producción de miel en Colombia y detalles técnicos asociados, adicionalmente, se describe un sistema de monitoreo ambiental para el fomento de la producción apícola a través de la incorporación de sensores en la colmena que informan sobre la temperatura y la humedad relativa. De esta forma, los sensores están programados para crear alertas cuando estas variables estén por fuera de los rangos óptimos de producción. La aplicación de este tipo de tecnologías remotas en la crianza de abejas en el país puede fomentar la

instauración de colmenas en el país con fines comerciales, contribuyendo además a la incorporación de prácticas agrícolas menos invasivas para las abejas que les permitan un ciclo de vida con menos perturbaciones y, además, promuevan los procesos de polinización en las zonas de ubicación de los sistemas de producción.

Otra publicación en el ámbito colombiano asociada al uso de sensores remotos en la crianza de abejas es la publicación de (Eslava *et al.*, 2012), en la cual presentan el desarrollo de un Sistema de Telemetría Apícola, nombrado como SITAP, a través del cual se puede monitorear y transmitir información sobre el estado de una colmena. El sistema SITAP monitorea además de temperatura y humedad, el número aproximado de individuos en las colmenas e informa de alguna perturbación exterior, como movimientos bruscos, que puedan afectar la producción al interior de la colmena. Aunque los autores mencionan la participación de entidades educativas en el fomento a los procesos de tecnificación de la crianza de abejas y la formación de profesionales, haciendo énfasis en la necesidad de incorporar un desarrollo tecnológico para la tecnificación e instrumentación de los procesos, reduciendo las condiciones de estrés en las colmenas asociadas al monitoreo manual y constante que se hace en las colmenas

En síntesis, aunque Colombia presenta un alto potencial en la crianza de abejas y pueda hacer un aporte de gran relevancia en la protección de estos polinizadores a nivel local y global, las técnicas de crianza aún están limitadas al conocimiento de unas pocas personas, limitando la incorporación de nuevas personas en los procesos de crianza de abejas ya sea con fines productivos, integrándolos en sistemas agrícolas y agroforestales o con fines netamente de conservación.

DISCUSIÓN

Por medio de los documentos consultados fue posible identificar la crianza de abejas como una actividad que, además de ser lucrativa y con un alto potencial de desarrollo económico, puede contribuir de forma amplia en la conservación de polinizadores y, por tanto, los servicios ecosistémicos que estos prestan. De igual forma, se identificó la viabilidad en el uso de sensores remotos y teledetección para el desarrollo óptimo de la crianza de abejas y actividades relacionadas con los polinizadores, dadas las múltiples aplicaciones realizadas a nivel mundial.

En la búsqueda y los artículos seleccionados bajo los criterios establecidos, prevalecieron estudios de habla extranjera, principalmente realizados en Países Europeos y Estados Unidos, con poca presencia de estudios elaborados en Latinoamérica que cumplieran con los criterios de búsqueda (Figura 14), sin embargo, se incluyeron estudios realizados en México, Costa Rica, Nicaragua, Argentina, Brasil y Uruguay. En esta etapa de la monografía se identificaron aportes importantes de estudios colombianos, principalmente de la autoría de Nates-Parra (Nates-Parra, 2001, 2016; Nates-Parra and Gonzales, 2000) y su trabajo en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, constituyendo una base teórica esencial para el conocimiento de los polinizadores del país.

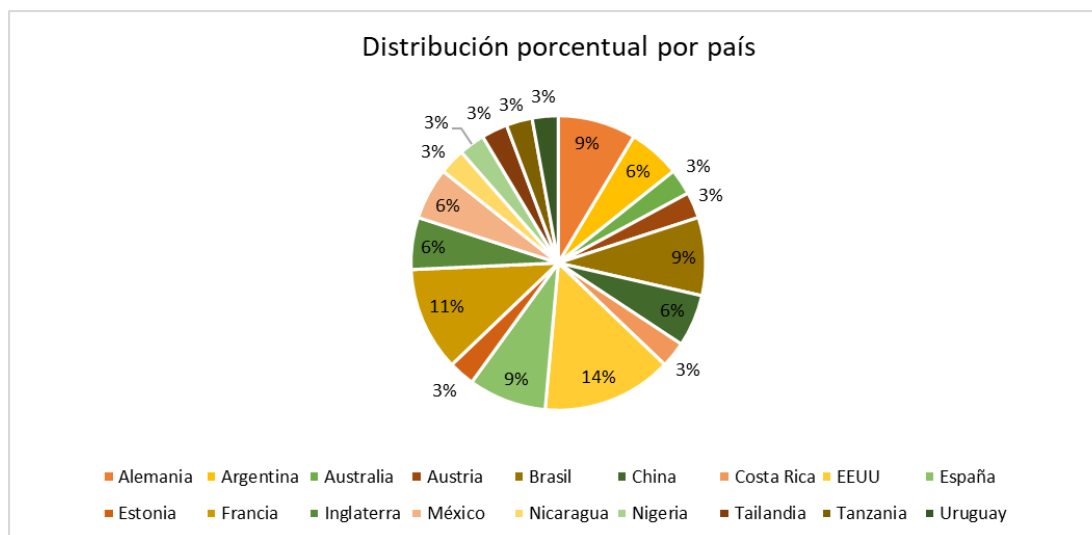


Figura 14. Distribución porcentual por país (No incluido Colombia) de la información recopilada relacionada con la crianza de abejas y su importancia en la conservación

Por medio de la recopilación de información se identificaron diferentes aspectos relevantes. Por ejemplo, conocer el comportamiento de la colonia es determinante para la meliponicultura y la apicultura, dinámica que puede estudiarse por medio de la incorporación de tecnologías de teledetección como se mencionó anteriormente. Además, incorporar sensores remotos podría facilitar el entendimiento de la comunicación entre las colonias, mejorando el manejo que el encargado puede hacer de estas.

De acuerdo con los estudios encontrados, la tecnificación en las colonias por medio de incorporación de sensores remotos permite un ambiente controlado, que no solo informe de las condiciones internas, sino también que alerte de condiciones externas que puedan afectar a las mismas (presencia de depredadores o fenómenos naturales como lluvias fuertes).

Otro aspecto relevante del manejo de las colonias es la administración artificial de alimento, el cual habitualmente se hace de forma manual y que aunque no se hayan identificado publicaciones asociadas con esto, podría considerarse como otro proceso en el cual el uso de sensores remotos optimizaría su ejecución,

informando por ejemplo eventos de escasez de comida dentro de las colonias (la reducción de los productos dentro de las colonias significaría un consumo de estos por parte de las abejas y por tanto, escases de comida en el ecosistema) generando alertas a los agricultores y propiciando la aplicación manual o incluso mecánica del alimento artificial.

Por otro lado, en procesos de crianza a gran escala podría incorporarse la teledetección por medio de la identificación de imágenes satelitales y la diferenciación de coberturas vegetales, como se explica en algunos estudios consultados, identificando zonas propicias para el alimento de las abejas, reducción en los cultivos circundantes u otros aspectos ambientales de importancia para estos polinizadores y que pueden ser determinantes para los agricultores.

Se reconoce principalmente la importancia de la crianza de abejas nativas con el fin de evitar la incorporación de nuevas especies a los ecosistemas y poner en riesgo no solo la permanencia y desempeño en su hábitat de los polinizadores propios del entorno, sino también, de otros organismos que puedan ser afectados por la presencia de organismos introducidos. Sin embargo, son escasos los estudios específicos de abejas nativas en los cuales se incorporen sensores remotos y teledetección para su investigación y mucho menos para su crianza.

Otro aspecto identificado en la recopilación de información es una escasa conexión entre la academia y la investigación y los procesos productivos asociados con la crianza de abejas. Si bien el trabajo investigativo se centra en la crianza de abejas, como parte de los objetivos de este trabajo se revisó información asociada con los sensores remotos y la polinización, encontrando una tendencia principal a las investigaciones orientadas al análisis de abejas y otros polinizadores en su ambiente natural y su asociación con los ecosistemas y por el contrario, un menor número de estudios se orientaban específicamente a la actividad de crianza de abejas, por lo que hay un aporte reducido por parte de la academia hacia el sector de la apicultura y meliponicultura.

Particularmente en Colombia, aunque la crianza de abejas sea una actividad común en diferentes ciudades y a nivel generacional, los procesos de tecnificación para el manejo de colmenas siguen siendo principalmente rústicos, primando métodos ancestrales en todos los procesos involucrados en la actividad. Aun así, es necesario destacar los artículos de Eslava *et al.* (2012) y Soler (2019), los cuales constituyen un punto de partida de gran relevancia e importancia técnica, pudiendo ser una guía inicial para la aplicación de sensores remotos en la crianza de abejas en el país.

CONCLUSIONES

La presencia de diferentes especies de abejas en Colombia es una muestra más de la amplia diversidad del país, sin embargo, aunque institucional y gubernamentalmente se realizan algunos esfuerzos principalmente orientados a la protección y conservación de las abejas como principales polinizadores, la información generalizada sobre el tema es aún escasa y el desarrollo de los procesos tecnológicos asociados a la crianza de abejas es un tema incipiente, con escasas bases académicas y con una baja participación de entidades con amplio conocimiento.

En general, no es amplio el conocimiento de la población colombiana sobre la importancia de las abejas y la presencia de las diversas especies en el país, resaltando un conocimiento sesgado hacia la especie *Apis mellifera* y con un conocimiento reducido sobre la presencia de abejas nativas (como las abejas sin aguijón) y su importancia en la estructura ecológica rural y urbana. Esta situación resalta la necesidad de divulgación y los esfuerzos conjuntos entre entidades gubernamentales, investigativas y sociales que acerquen y faciliten el acceso de información al público interesado y, además, promuevan la adquisición de conocimientos en pro de la conservación de estos insectos.

Aunque en el país la aplicación de la teledetección y el uso de sensores remotos puede ser común en algunas problemáticas ambientales, su aplicación en la crianza de abejas para la tecnificación de procesos es escaso y aún más en temas de conservación, lo que coincide de nuevo con la necesidad de aunar esfuerzos entre diversas entidades vinculadas con el tema.

A nivel global, se reconoce la importancia del uso de sensores remotos y teledetección con la crianza de abejas para fines económicos y de conservación, sin embargo, se tiene un conocimiento sesgado y con fines principales hacia la tecnificación de procesos para el monitoreo del cultivo con el fin de optimizar la

optimización de la producción, limitando las amplias posibilidades de aplicación de estas herramientas y la generación de nuevo conocimiento que permitan la incorporación de prácticas agrícolas en beneficio de la conservación y de actividades eficientes para la permanencia de estos polinizadores en los ambientes naturales y modificados.

En síntesis, la aplicación de sensores remotos en la crianza de abejas con fines productivos y de conservación es un tema aún en desarrollo, especialmente en el país. Sin embargo, se reconocen los múltiples beneficios asociados con la generación de conocimiento en relación con la tecnificación de procesos de crianza y diferentes aspectos ecológicos como la estructura y dinámica de la comunidad, sus procesos de desarrollo en diferentes ambientes naturales y artificiales, factores de estrés asociados a su desaparición y claves importantes relacionadas con su protección, que benefician la producción y potencien el desarrollo económico de múltiples sectores y que, principalmente, permitan su conservación y por lo tanto, la continuidad de las funciones ecológicas y ambientales vinculadas a la permanencia de las abejas en los ecosistemas.

RECOMENDACIONES

Dadas las múltiples características de los ecosistemas tropicales y la diversidad de especies polinizadoras presentes en el país, es necesario continuar con el estudio de estos organismos por su importancia en el bienestar ambiental y la permanencia de diferentes cultivos. Adicionalmente, es necesario profundizar a una escala espacial menor, por ejemplo, escala regional o departamental, con el fin de identificar metodologías actuales en la crianza de abejas y el potencial uso de los sensores remotos y la teledetección como herramientas para la optimización de las colonias y un manejo menos invasivo de estas.

De igual forma, es necesario el estudio de otras especies polinizadoras que, aunque no presten un servicio con fines comerciales y económicos, si son de vital importancia para el bienestar de los ecosistemas al tener una alta especificidad en la polinización. Debido a que el presente estudio se orientaba a la crianza de abejas desde un enfoque combinado de producción económica y conservación, especies como los abejorros (organismos del género *Bombus*) no fueron incorporados en la recopilación de información, pues no son utilizados para la generación de productos como en el caso de las abejas. Sin embargo, debe reconocerse la importancia de este tipo de organismos en la permanencia de múltiples especies cuya reproducción depende de la polinización de animales con características muy específicas.

Por último, sería importante también realizar una evaluación en campo de las técnicas y metodologías para la apicultura y meliponicultura usadas actualmente, pues muchas de estas técnicas pueden no estar publicadas en la literatura y, por tanto, no ser de conocimiento público y fácil acceso.

GLOSARIO

1. **Enjambrazón:** proceso natural por medio del cual las abejas se reproducen
2. **Cerumen:** principal materia prima de una colonia de abejas sin aguijón, formado por la combinación de cera y propóleo.
3. **Colonia:** conjunto completo de determinada población de abejas y sus estructuras naturales.
4. **Colmena:** estructura construida por el hombre para abrigar colonias de abejas. También llamada caja, generalmente es construida en madera.
5. **Corbícula:** estructura anatómica en las patas de las abejas obreras en donde transportan el polen y propóleo.
6. **Involucro:** láminas de cerumen que envuelven los panales de cría para regular la temperatura.
7. **Bastidor:** soporte de madera usado por las abejas para instalar los panales.
8. **Ovipositar:** en hembras ovíparas, es el acto de poner huevos.
9. **Piquera:** orificio o apertura por donde ingresan las abejas al nido o colmena

REFERENCIAS

- Agera, S. (2011). *Role of beekeeping in the conservation of forests*. Global Journal of Agricultural Sciences, 10(1), 27–32. Retrieved from <https://www.ajol.info/index.php/gjass/article/view/79068>
- Aguilar, I. (2001). *¿Como manejar abejas nativas sin aguijon (Apidae: Meliponinae) en sistemas de agroforestales?* Agroforesteria En Las Americas, 8(31), 50–55.
- Aguilar, Y., Fernandez, J., Paz, E., & Vivas, N. (2000). *Cartilla de apicultura*. Retrieved from [http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4817/1/20061024153833_Cartilla de apicultura.pdf](http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4817/1/20061024153833_Cartilla%20de%20apicultura.pdf)
- Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A., & Klein, A. M. (2009). *How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production*. Annals of Botany, 103(9), 1579–1588. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp076>
- Argüello-Nájera. (2010). *Guía Práctica Sobre Manejo Técnico De Colmenas*.
- Bajić, S. Ć. (2014). *Analysis of the Possibility of Utalization of Honey Bees in Explosive Detection*. Polytechnic & Design, 2(1), 58–63. <https://doi.org/10.19279/TVZ.PD.2014-2-1-06>
- Carrié, R., Lopes, M., Ouin, A., & Andrieu, E. (2018). *Bee diversity in crop fields is influenced by remotely-sensed nesting resources in surrounding permanent grasslands*. Ecological Indicators, 90(August 2017), 606–614. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.054>
- Cordero, D., Moreno-Díaz, A., & Kosmus, M. (2008). *Manual Para el desarrollo de mecanismos de pago/compensación por servicios ambientales*.
- CPPA. (2018). *Cadena productiva de las abejas y la apicultura. Cifras sectoriales 2018. Colombia*.
- Crawford, M. (2017). *Automated collection of honey bee hive data using the Rasberry Pi*.
- Decourtye, A., Alaux, C., Le Conte, Y., & Henry, M. (2019). *Toward the protection of bees and pollination under global change: present and future perspectives in a challenging applied science*. Current Opinion in Insect Science, 35, 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.008>
- Del Coro Arizmendi, M. (2009). *La crisis de los polinizadores*. Biodiversitas, 85, 1–5. Retrieved from <https://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv85art1.pdf>
- Eardley, C., Roth, D., Clarke, J., Buchmann, & Gemmil. (2006). *Pollination and Pollination: A resource book for policy and practice*.
- Ellis, J. (2016). *Biotix Stressors of Honey Bee Colonies*. University of Florida, (July), 761–766.
- Eslava, S., Baquero, G., Márquez, O., Méndez, Á., & Gutiérrez, J. (2012). *Sistema de Telemetría Apícola SITAP*.

- (https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/12191/Art%C3%ADculo%20SITAP_v6.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y), 1–15.
- Feilhauer, H., Doktor, D., Schmidtlein, S., & Skidmore, A. K. (2016). *Mapping pollination types with remote sensing*. *Journal of Vegetation Science*, 27(5), 999–1011. <https://doi.org/10.1111/jvs.12421>
- Fonseca, M. R., Chiriví, J. S., Guzmán, A. R., Prada, Y., Moraes, J., & Barrera, S. (2019). *Servicios ecosistémicos un enfoque introductorio con experiencias del occidente colombiano. Capítulo 10. Polinización. Libros Uni*, 188–200.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2008). *Los polinizadores: su biodiversidad poco apreciada, pero importante para la alimentación y la agricultura*. *Tratado Internacional Sobre Los Recursos Fitogenéticos Para La Alimentación Y La Agricultura*, 1–15. Retrieved from <http://www.fao.org/3/be104s/be104s.pdf>
- Griparić, K., Haus, T., Miklić, D., Polić, M., & Bogdan, S. (2017). *A robotic system for researching social integration in honeybees*. *PLoS ONE*, 12(8), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181977>
- Heino, J., Virkkala, R., & Toivonen, H. (2009). *Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions*. *Biological Reviews*, 84(1), 39–54.
- Henry, M., & Rodet, G. (2020). *The apiary influence range: A new paradigm for managing the cohabitation of honey bees and wild bee communities*. *Acta Oecologica*, 105(June 2019), 103555. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103555>
- Howard, D., Duran, O., & Hunter, G. (2018). *A Low-Cost Multi-Modal Sensor Network for the Monitoring of Honeybee Colonies / Hives*. *Intelligent Environments*, 0. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-874-7-69>
- Jensen, J. R. (2007). *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective*.
- Kevan, P. G., & Fonseca, I. (2002). *Pollinating Bees: The Conservation Link between Agriculture and Nature*. Ministry of Environment, Brasília, Brazil.
- Klein, A., Vaissiere, B., Cane, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S., & Kremen, C. (2007). *Importance of pollinators in changing landscapes for world crops*. *Proc Biol Sci.*, 274(1608), 303– 313.
- König, A. (2019). *IndusBee 4.0 – Integrated Intelligent Sensory Systems for Advanced Bee Hive Instrumentation and Hive Keepers' Assistance Systems*. *Sensors & Transducers*, 237(9/10), 109–121.
- Kouchner, C., Ferrus, C., Blanchard, S., Decourtye, A., Basso, B., Le Conte, Y., & Tchamitchian, M. (2019). *Bee farming system sustainability: An assessment framework in metropolitan France*. *Agricultural Systems*, 176(November 2018), 102653. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102653>
- Kremen, C., Williams, N., & Thorp, R. (2002). *Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification*. *Proc Natl Acad Sci USA.*, 99(26), 16812–16816.
- Krishnasamy, V., Sundaraguru, R., & Amala, U. (2019). *Emerging vistas of remote*

- sensing tools in pollination studies. *Sociobiology*, 66(3), 394–399.
<https://doi.org/10.13102/sociobiology.v66i3.4266>
- Kritsky. (2017). *Beekeeping from Antiquity Through the Middle Ages*. *Annual Review of Entomology*, 62, 249–264. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035115>
- Kritsky, G. (2010). *The quest for the perfect hive: a history of innovation in bee culture*.
- Kwapong, P., Aidoo, K., Combey, R., & Karikari, A. (2010). *Stingless Bees: Importance, Management and Utilisation*. In *Notes and Queries* (Kwabena Ag, Vol. 1). Retrieved from [http://zoologie.umons.ac.be/hymenoptera/biblio/01500/Kwapong Stingless bee book pdf.pdf](http://zoologie.umons.ac.be/hymenoptera/biblio/01500/Kwapong%20Stingless%20bee%20book%20pdf.pdf)
- Liang, C. H., Chuang, C. L., Jiang, J. A., & Yang, E. C. (2016). *Magnetic Sensing through the Abdomen of the Honey bee*. *Scientific Reports*, 6(June 2015), 1–7. <https://doi.org/10.1038/srep23657>
- Llácer. (2020). *Colmenas inteligentes para monitorizar el comportamiento de las abejas y garantizar su supervivencia*. pp. 1–5.
- Lotero, G. (2020). *Aprendiendo el manejo de las abejas sin aguijón. Meliponicultura*. Medellín: Unión Gráfica S.A.S.
- Luo, D., Silva, D. P., De Marco Júnior, P., Pimenta, M., & Caldas, M. M. (2020). *Model approaches to estimate spatial distribution of bee species richness and soybean production in the Brazilian Cerrado during 2000 to 2015*. *Science of the Total Environment*, 737, 139674. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139674>
- Mader, E., Spivak, M., & Evans, E. (2010). *Managing Alternative Pollinators*. In *Managing Alternative Pollinators*.
- MADS, M. de A. y D. S., & Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2012). *Política Nacional Para La Gestión Integral De La Biodiversidad Y Sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)*.
- Malkamäki, A., Toppinen, A., & Kanninen, M. (2016). *Impacts of land use and land use changes on the resilience of beekeeping in Uruguay*. *Forest Policy and Economics*, 70, 113–123. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.06.002>
- Michener, C. D. (2007). *The bees of the world*. Johns Hopkins University Press.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. *Resolución 282 de 2012*. , (2012).
- Minja, G. S., & Nkumilwa, T. J. (2016). *The Role Of Beekeeping On Forest Conservation And Poverty Alleviation In Moshi Rural District, Tanzania*. *European Scientific Journal*, ESJ, 12(23), 366. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n23p366>
- Muñoz, C. (2017). *Relación entre la superficie de distintas coberturas vegetales y el Índice de Vegetación Normalizado con el rendimiento melífero de apiarios del centro de la provincia de Buenos Aires*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 21–25. Retrieved from <http://www.elsevier.com/locate/scp>
- Nates-Parra. (2001). *Las Abejas sin Aguijón (Hymenoptera : Apidae : Biota*

- Colombiana, 2(3), 233–248.
- Nates-Parra. (2005). *Abejas silvestres y polinización*. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología, 75, 7–20.
- Nates-Parra, G. (2016). *Iniciativa Colombiana de Polinizadores: abejas ICPA*.
- Nates-Parra, & Gonzales. (2000). *The Colombian wild bees: Why and how to preserve them*. Acta Biológica Colombiana, 5(1), 5–37.
- Obeso, J. R., & Herrera, J. M. (2018). *Polinizadores y cambio climático*. Ecosistemas, 27(2), 52–59. <https://doi.org/10.7818/re.2014.27-2.00>
- Observatorio de Agentes Polinizadores. (2013). *Polinizadores y biodiversidad*. Apolo, Observatorio de Agentes Polinizadores, 160.
- Organización de la Cadena Productiva de las Abejas y la Apicultura en Colombia. (2011). *Acuerdo de competitividad (2011 - 20125)*. 1–10. Retrieved from <https://sioc.minagricultura.gov.co/Apicola/Documentos/004 - Documentos Competitividad Cadena/004 - D.C. - 2011 Abril – Acuerdo de competitividad.pdf>
- Orr, M. C., Hughes, A. C., Chesters, D., Pickering, J., Zhu, C. D., & Ascher, J. S. (2021). *Global Patterns and Drivers of Bee Distribution*. Current Biology, 31(3), 451–458.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.10.053>
- Pantoja, A., Smith-Pardo, A., García, A., Sáenz, A., & Rojas, F. (2014). *Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de latinoamérica y el caribe*.
- Paris, E. H., Peraza Lope, C., Masson, M. A., Delgado Kú, P. C., & Escamilla Ojeda, B. C. (2018). *The organization of stingless beekeeping (Meliponiculture) at Mayapán, Yucatan, Mexico*. Journal of Anthropological Archaeology, 52(July 2017), 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.jaa.2018.07.004>
- Parra, G. (2010). *Sistemas de información geográfica y sensores remotos: aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores*. CES Medicina, 24(2), 75–89.
- Paruelo, J. M. (2008). *Functional characterization of ecosystems using remote sensing*. Ecosistemas, 17(3), 4–22.
- Phillips, C. (2020). *Telling times: More-than-human temporalities in beekeeping*. Geoforum, 108(August), 315–324. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.08.018>
- Requier, F., Garnery, L., Kohl, P. L., Njovu, H. K., Pirk, C. W. W., Crewe, R. M., & Steffan-Dewenter, I. (2019). *The Conservation of Native Honey Bees Is Crucial*. Trends in Ecology and Evolution, 34(9), 789–798. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.04.008>
- Reyes-González, A., Camou-Guerrero, A., & Gómez-Arreola, S. (2016). *From Extraction to Meliponiculture: A Case Study of the Management of Stingless Bees in the West-Central Region of Mexico*. Beekeeping and Bee Conservation - Advances in Research, (May). <https://doi.org/10.5772/62654>
- Ritter, W. (2014). *Las enfermedades de las abejas constituyen un problema de ámbito mundial*. Boletín Organización Mundial de Protección Animal: Proteger Las Abejas Preservar Nuestro Futuro, (Apicultura), 86.

- Rodriguez, O., Ibarra, J., Rodríguez, M., Esquivel, K., & Ruiz, F. (2017). *Sistema Para El Monitoreo Remoto De Colonias De Abejas Melíferas*. Tecnológico Nacional de México En Celaya Pistas Educativas, 127(04), 462–473. Retrieved from <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>
- Sacristán. (2005). *Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental*. Civilizar, 5(0).
- Schurischuster, S., Zambanini, S., Kampel, M., & Lamp, B. (2016). *Sensor study for monitoring varroa mites on honey bees (apis mellifera)*. Visual Observation and Analysis of Vertebrate and Insect Behavior Workshop, 4.
- Silva-G., D., Arcos-D., A. L., & Gómez-D., J. A. (2006). *Guía ambiental apícola* (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander, Ed.).
- Soler, E. (2019). *Sistema de monitoreo para el Fomento de la Producción Apícola Automática*.
- Souza, P. De. (2020). *Tecnología permitirá monitorear actividad de las abejas*. 8–9.
- Suwannapong, G., Eric, M., & Nieh, J. C. (2011). *Biology of Tjai H Oneybees : N Atural H Istory and T Hreats*. In Science.
- Villas-Bôas, J. (2012). *Miel de abejas sin aguijón*. Brasilia: Instituto Sociedade, População e Natureza.
- Vit, P., Pedro, S., & Roubik, D. (2013). *Pot-Honey A legacy of stingless bees*.
- Wagner, K., Meilby, H., & Cross, P. (2019). *Sticky business - Why do beekeepers keep bees and what makes them successful in Tanzania?* Journal of Rural Studies, 66(July 2018), 52–66. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.022>
- Willcox, B. K., Robson, A. J., Howlett, B. G., & Rader, R. (2018). *Toward an integrated approach to crop production and pollination ecology through the application of remote sensing*. PeerJ, 2018(10), 1–17. <https://doi.org/10.7717/peerj.5806>
- Zacepins, Kviesis, A., Stalidzans, E., Liepniece, M., & Meitalovs, J. (2016). *Remote detection of the swarming of honey bee colonies by single-point temperature monitoring*. Biosystems Engineering, 148, 76–80. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.05.012>