

ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE EN EL USO DE LAS TECNOLOGÍAS  
INTERNET DE LAS COSAS PARA SISTEMAS DE MONITOREO EN LA  
APICULTURA A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

YEISON FABIAN LOZANO ARENAS

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS TECNOLOGÍA E INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRONICA  
IBAGUÉ - TOLIMA  
2024

ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE EN EL USO DE LAS TECNOLOGÍAS  
INTERNET DE LAS COSAS PARA SISTEMAS DE MONITOREO EN LA  
APICULTURA A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

**YEISON FABIAN LOZANO ARENAS**

Monografía para Optar al Título de Ingeniero Electrónico

Director de Trabajo de Grado: Juan Esteban Tapias Baena

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS TECNOLOGÍA E INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRONICA  
IBAGUÉ - TOLIMA  
2024

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Ibagué, mayo 2024

Dedicado a mi esposa, a mis  
padres, familia y a la gente que  
me motivo y apoyo para seguir  
adelante.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la sabiduría y la salud para alcanzar tan anhelado logro, aun cuando los momentos se tornaron difíciles. También a las personas que intervinieron para que no desfalleciera en el camino, familiares y amigos que me acompañaron en el trayecto de este pregrado.

## CONTENIDO

1. Resumen .....	12
2. Introducción .....	14
3. Objetivos .....	17
3.1 Objetivo general.....	17
3.2 Objetivos específicos.....	17
4. Planteamiento del problema .....	18
4.1 Definición del problema .....	18
4.2 Justificación .....	22
5. Marco teórico .....	27
7. Estudio sobre el uso de tecnología que mejoren y faciliten el ejercicio de la apicultura y el bienestar de las abejas a nivel nacional e internacional. ....	35
7.1 Campos de aplicación de la apicultura .....	37
7.2 IOT aplicado a la apicultura .....	39
7.3 Variables utilizadas para el monitoreo constante aplicado a la apicultura. ...	41
7.4 Componentes electrónicos utilizados en la tecnología IOT para la apicultura. .....	42
7.4.1 Microcontroladores .....	43
7.4.2 Sensores .....	44
7.4.3 Módulos adicionales .....	46
7.5 Software de código abierto utilizados para aplicaciones IOT en la apicultura. .....	47
7.6 Desarrollo de IOT aplicados en la apicultura. ....	48
7.6.1 Internacional .....	49
7.6.2 Nacional.....	59

8. Análisis del estado del arte en publicaciones, e investigaciones sobre proyectos IOT aplicado a cultivos aeropónicos e hidropónicos y trabajos futuros.....	69
8.1 Sistemática de literatura .....	69
8.2 Síntesis del estado del arte.....	72
8.3 Análisis de tendencias en el estado del arte .....	102
9. Trabajos a futuro y campos de acción .....	108
10.Conclusiones .....	112
11. Bibliografía .....	114

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Elementos de un sistema IOT .....	28
Tabla 2. Síntesis del estado del arte .....	73

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico FAOSTAT de colmenas .....	20
Figura 2. Gráfico de patentes a nivel mundial .....	21
Figura 3. Gráfico de producción de miel en las regiones de Colombia .....	24
Figura 4. Campos de aplicación de la apicultura .....	37
Figura 5. Ilustración de IOT aplicado a la apicultura .....	40
Figura 6. Sistema de monitoreo mecatrónico .....	50
Figura 7. Sistema apícola de precisión .....	52
Figura 8. Sistema de monitoreo IOT y predicción de actividad de abejas con alarma .....	54
Figura 9. Sistema de adquisición remota de datos .....	56
Figura 10. Sistema de detección y conteo automático de abejas melíferas .....	57
Figura 11. Diagrama de flujo programación Beehive .....	59
Figura 12. Prototipo electrónico para medición de variables de una colmena .....	61

Figura 13. Diseño de alimentación eléctrica .....	62
Figura 14. Diagrama electrónico de instrumentación de colmena. ....	63
Figura 15. Diseño de colmena hexagonal.....	64
Figura 16. Ilustración de monitoreo en un apiario .....	66
Figura 17. Sistema de monitoreo IOT implementado.....	67
Figura 18. Gráfico de publicaciones de IOT en la apicultura Scopus.....	70
Figura 19. Gráfico de publicaciones de sensores en la apicultura Scopus .....	71
Figura 20. Gráfico de publicaciones de IOT en la apicultura IEE Xplore .....	72
Figura 21. Gráfico porcentajes de variables .....	103
Figura 22. Gráfico de sistemas embebidos usados .....	104
Figura 23. Gráfico de sensores usados .....	105
Figura 24. Gráfico software de visualización .....	106
Figura 25. Gráfico protocolo de comunicación.....	107

## GLOSARIO

**APICULTURA.** Es la actividad agropecuaria que se encarga de criar abejas con el fin de obtener los diversos beneficios a través de la explotación artesanal o de carácter industrial.

**TAXONOMIA DE LAS ABEJAS.** Orden: Himenóptera Familia: apidae Género: Apis Especie: melífera.

**ENJAMBRE.** Es el conjunto de abejas reunido por fuera de la colmena. Por lo general, se crea con el fin de radicarse en otro lado, para hacer otra colonia.

**COLMENA.** Es el lugar donde habitan las abejas, construidos por ellas para la producción de miel y su supervivencia, como su hogar y sitio de trabajo.

**ABEJA REINA.** Es la única hembra de las abejas que es fértil, puede generar huevos fecundados donde nacen las abejas obreras y huevos no fecundados de donde nacen los machos o zánganos.

**OBRERAS.** Son la mayoría de las abejas que a través de las diversas actividades velan por el bienestar de la colonia. Hay diversas clases de obreras que se distribuyen por su edad, las abejas obreras pueden realizar cada una de las actividades según en la etapa en que se encuentre.

**APICULTOR.** Es la persona que realiza la apicultura, en este caso las abejas no son animales convencionales que requieren una atención intensa como otros animales, pero el apicultor hace que las condiciones externas puedan mejorar para las abejas.

**APIARIO.** Zona donde el apicultor reúne a cierto grupo de abejas. Existe control humano.

**SENSOR.** "Un sensor es todo aquello que tiene una propiedad sensible a una magnitud del medio, y al variar esta magnitud también varía con cierta intensidad la propiedad, es decir, manifiesta la presencia de dicha magnitud, y también su medida" ("Sensor - Wikipedia, la enciclopedia libre").

**SENSORES DE TEMPERATURA.** Son aparatos eléctricos o electrónicos que miden la temperatura.

**TECNOLOGIA IOT.** Es la agrupación de objetos o dispositivos mediante una red donde pueden interactuar entre sí y ser visibles.

**WIFI.** "Tecnología que permite conectar diferentes equipos informáticos a través de una red inalámbrica de banda ancha" ("Test módulo 06 tic - preparatoria abierta nuples - Tests Online").

**BIG DATA.** Es el procesamiento masivo de datos y la transferencia de estos de entre dispositivos. Es uno de los términos más utilizados, puesto que es una de las esencias de esta tecnología (RAONA CODING CORPORATE FUTURES, 2023).

**SOFTWARE.** Es el procesamiento masivo de datos y la transferencia de estos de entre dispositivos. Es uno de los términos más utilizados, puesto que es una de las esencias de esta tecnología (RAONA CODING CORPORATE FUTURES, 2023).

## 1. Resumen

En el planeta tierra existen entre veinticinco mil (25.000) y treinta cinco mil (35.000) especies de abejas, las cuales, son muy importantes para la agricultura debido a que estas polinizan entre el 75% o más de los cultivos alimenticios y el 90% de la flora silvestre en el mundo (FAO, 2018). El deterioro que se ha evidenciado en las condiciones de vida de las abejas podría ser un impedimento al desarrollo de la agricultura, a la lucha contra el hambre a nivel mundial y a la supervivencia de la raza humana; siendo necesario implementar la tecnología para contrarrestar estos efectos.

En consecuencia, al identificar el problema objeto de este trabajo de investigación, se busca realizar un análisis sistemático sobre cuales podrían ser las condiciones de vida mínimas que deberá tener una colmena de abejas y el impacto que produce la aplicación de las tecnologías de Internet de las cosas (IOT) para dar solución a nivel nacional e internacional.

Reconociendo que, aunque el uso del internet de las cosas (IOT) se ha efectuado mayormente a nivel mundial, nuestro gobierno nacional ha iniciado este camino, implementando estrategias en sus planes de desarrollo y políticas públicas, para mejorar la apicultura como oficio, facilitando la extracción de miel y dirimiendo los ataques de los agentes externos que perjudican la salud de la colmena.

Finalmente, con este trabajo se podrá conocer las tecnologías más importantes en este sector, las mejores técnicas empleadas en los cultivos apícolas, las áreas de investigación futuras en el uso de la tecnología en este campo y como el uso del internet de las cosas (IOT) puede garantizar la productividad de la colmena, conservando a la abeja como especie en número y en condiciones de vida a través de su constante y adecuado monitoreo.

**PALABRAS CLAVE:** Apicultura, miel, Sensores, Internet de las cosas (IOT), monitoreo, abeja.

## 2. Introducción

La apicultura tiene un papel muy importante en la agricultura y en la preservación de la biodiversidad, debido a que entre el 75% y el 90% de los cultivos alimentarios y de flora silvestre, dependen directamente de la polinización realizada por las abejas (FAO, 2018).

No obstante, existe un deterioro en las condiciones de supervivencia de las abejas amenazando el desarrollo integral de la agricultura y de la seguridad alimentaria a nivel mundial. Ante el problema, se desarrollaron estrategias nacionales e internacionales, empleando el uso eficaz de la tecnología para mejorar la apicultura y el cuidado de las abejas.

Por tanto, este trabajo de investigación se encamina en el análisis sistemático del impacto de las tecnologías de Internet de las cosas (IOT) en el desarrollo de la apicultura.

Planteándonos un objetivo que consiste en realizar una investigación sobre el uso de tecnologías que mejoren y faciliten la apicultura y el bienestar de las abejas, nacional e internacional. Seleccionando información relevante y destacada sobre proyectos tecnológicos y técnicas aplicadas a los cultivos apícolas; clasificando el uso de las tecnologías según su impacto en la apicultura, comparando los beneficios

de su implementación y determinando las áreas de investigación futuras en el uso de la tecnología en este campo.

Recayendo la justificación de este proyecto, en la importancia de comprender las necesidades de la apicultura y el cuidado de las abejas para garantizar nuestra supervivencia y preservar la biodiversidad existente en nuestro país. Del cual se ha iniciado, con el gobierno colombiano que ha promulgado leyes y políticas que respaldan el desarrollo de la apicultura, pero se requiere un enfoque en el uso adecuado de las tecnologías para mejorar la eficiencia y calidad de vida de las abejas.

En consecuencia, destacamos el potencial económico de la apicultura, que impulsa el interés en el desarrollo de técnicas y aparatos tecnológicos que pueden beneficiar no solo a los apicultores y a las abejas sino también a la economía del país. Por lo tanto, este estudio contribuirá a promover el uso adecuado del internet de las cosas (IOT) en la preservación de las abejas en nuestra sociedad.

En el desarrollo de este trabajo se podrá encontrar una parte inicial donde se describirán los campos de aplicación, las variables que afectan a una colmena, los componentes electrónicos, los microcontroladores, los módulos, el software de código abierto utilizados en la tecnología iot para la apicultura, visto desde una perspectiva nacional e internacional. Seguidamente, se encontrará un análisis del estado del arte en publicaciones, e investigaciones sobre proyectos iot aplicado a

cultivos aeropónicos e hidropónicos. Para finalmente, evidenciar el campo de acción su tendencia, seguido de las conclusiones.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Elaboración de un estado del arte sobre el uso del internet (IOT) de las cosas en la apicultura a nivel nacional e internacional.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Seleccionar la información y los documentos más importantes sobre proyectos de internet de las cosas aplicados a los cultivos apícolas a nivel nacional e internacional.

Clasificar el uso del internet de las cosas (IOT) de acuerdo con el impacto en los cultivos apícolas.

Comparar los beneficios del uso del internet de las cosas (IOT) aplicadas a los cultivos apícolas;

Determinar áreas o temas de investigación futuros relacionados en el uso de la tecnología IOT en la apicultura a nivel nacional e internacional.

## **4. Planteamiento del problema**

### **4.1 Definición del problema**

Gracias al adecuado uso de la agricultura y que aún no superamos el número de personas por recursos (estamos próximos a agotarlos), es que se puede encontrar con facilidad en los mercados locales de Colombia, gran variedad de hortalizas, frutas y demás alimentos necesarios para el adecuado desarrollo físico del ser humano, pero en un plano no muy lejano, podríamos estarnos imaginando que el acceso a estos alimentos sea limitado, como ya ocurre en algunos otros países (DOMINGUEZ, 2019). Uno de los factores más importantes que causan esta condición es si las abejas dejan de existir, considerando que este insecto es fundamental para mantener la biodiversidad, su labor en el medio ambiente es esencial y hasta ahora no hay quien la sustituya. A nivel mundial el 80% de los cultivos alimentarios son polinizados por estas productoras de miel, insectos de dos colores que, aunque muy pequeños abastecen al mundo en un porcentaje cercano al 100, por eso la lucha por la vida de estos seres es luchar directamente por la nuestra (ONU, 2018).

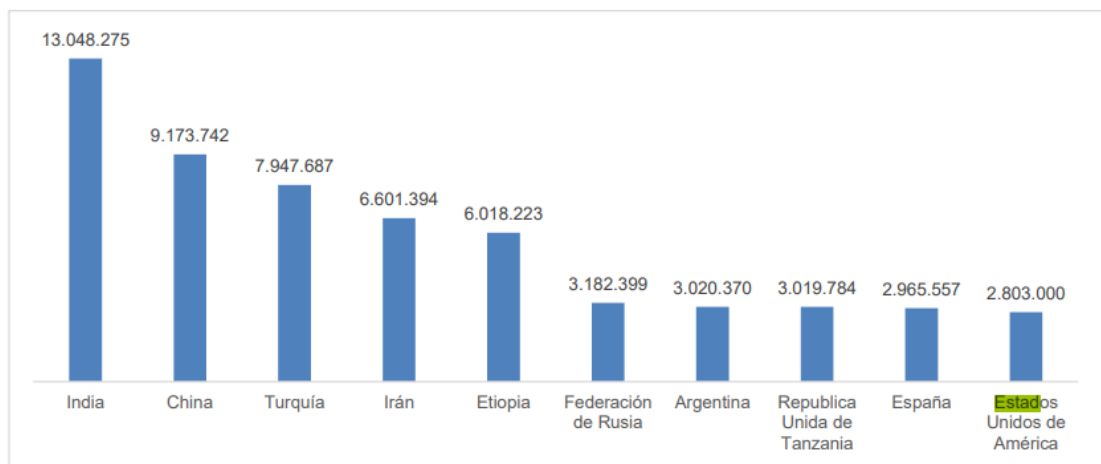
Diversas investigaciones han arrojado que la población mundial de estos insectos se ha reducido drásticamente, debido a los pesticidas usados en la actividad

agrícola, pérdida de hábitat, los cambios en los patrones climáticos, según la ONU también se cree que la contaminación del aire está afectando las abejas en la busca de alimentos de manera eficiente haciéndolas más lentas y menos eficaces en la polinización (ONU, 2019). A causa de lo anterior, se han tomado medidas en mayo de 2018, Europa mantuvo la prohibición de tres pesticidas para mitigar la amenaza letal que supone para las abejas, también busco reducir la producción de pesticidas al menos en dos tercios para el 2030, cita lo siguiente: *"Aumentar la diversidad de los cultivos y de las explotaciones agrícolas regionales, así como la conservación, la gestión o la restauración de hábitats específicos, es una forma de combatir el cambio climático y promover la biodiversidad"*, afirma la especialista en biodiversidad del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Marieta Sakalian. *"Los gobiernos deben tomar la iniciativa"*, sin embargo, no solo los apicultores y el gobierno pueden hacer algo por ellas mediante herramientas tradicionales, también se puede hacer algo a través de la concientización de la sociedad y la implementación del avance tecnológico, que pueden marcar la diferencia (ONU, 2022).

En Colombia, a través de la expedición de la Ley 2193 de 2022 se crean mecanismos en pro de la apicultura, entre estos se previó la capacitación sobre la tecnología y su uso en el sector, que deben implementarse dentro de un año de la expedición de esta ley. Esto abre un camino que puede renovar los viejos sistemas de monitoreo de las colmenas y abrir paso al uso legal y necesario de la tecnología dentro de este sector.

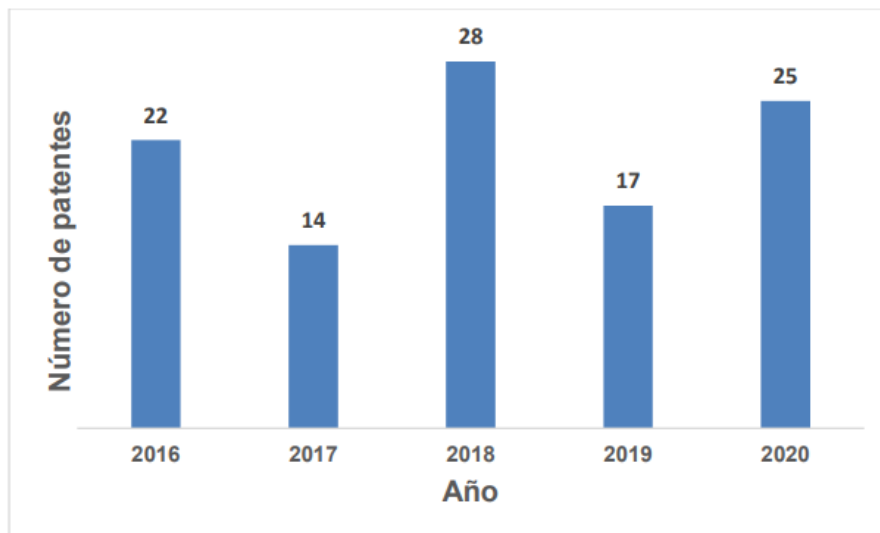
De conformidad con los datos de FAOSTAT (2020), en el mundo existen más de 90 millones de colmenas, de los cuales se encuentra el mayor número en la India, China, Turquía, Irán y Etiopía (FAOSTAT, 2020).

Figura 1. Gráfico FAOSTAT de colmenas



Según la gráfica anterior, se puede identificar que, a nivel mundial, han aumentado las investigaciones en los países que buscan implementar en sus modelos de colmena posean factores tecnológicos que incidan en estos aspectos: el método de cría de las abejas reinas, el desarrollo de colmenas inteligentes, la suplementación nutricional de las abejas, el uso de materiales innovadores en la construcción de las colmenas y su instalación, entre otros.

Figura 2. Gráfico de patentes a nivel mundial



Fuente: Análisis a partir de la información disponible en la base de datos de artículos Scopus, procesada en Microsoft Excel®. Fecha de búsqueda: 25/09/2021

El reto se centra en el uso adecuado de estas tecnologías, teniendo en cuenta un estudio realizado en Cundinamarca frente al uso de los medio tecnológicos en la apicultura, arrojando como resultado que “La mayor debilidad identificada está en las tecnologías blandas, es decir que el problema no radica en las herramientas y la maquinaria a la que tienen acceso los apicultores, sino en el uso que se les da a estas” (UNAL, 2022), por lo tanto el gobierno se centra en la capacitación para el uso adecuado de estos instrumentos que se han ido implementando pero que requieren de un sencillo aprendizaje, como cuando se usa una aplicación.

## **4.2 Justificación**

La importancia en la realización de este estudio de investigación radica en comprender que tecnologías del internet de las cosas (IOT) a nivel nacional e internacional pueden ayudar con las necesidades que se presentan en la apicultura como oficio y el cuidado de las abejas para nuestra supervivencia. Se ha detectado un gran potencial en el desarrollo de técnicas y aparatos tecnológicos, que permitan cubrir dichas necesidades e inclusive facilitar la labor apícola. Incrementando el interés de las personas para realizar este oficio sin dejar de garantizar el estado óptimo de las abejas.

El aporte del gobierno nacional en Colombia para la protección del hábitat de las abejas y el oficio apicultor se centra en el dotar herramientas, diversos conocimientos y data, materializando estas intenciones mediante la promulgación y sanción de Ley 2139 de 2022. A partir de este año, el Ministerio de Agricultura reforzará los mecanismos usados en el sector apícola para que el país se convierta en un referente internacional por el aumento en la producción y la calidad de vida de estos animales.

Por lo tanto, se conoce que la Ley implementa programas de financiación y de crédito para las personas que se encarguen de este oficio, esto permitirá que se incremente la producción y se puedan usar recursos para mejorar los sistemas de

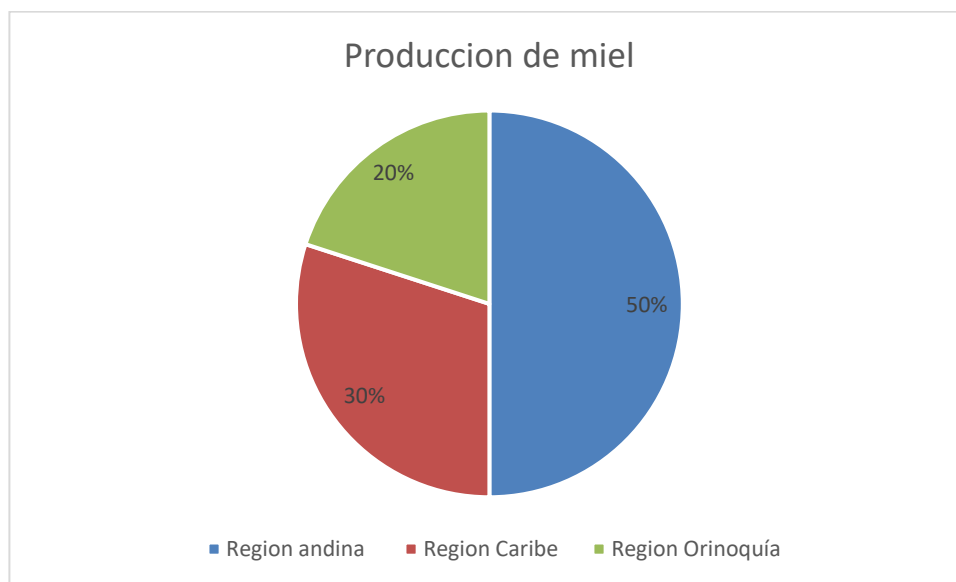
obtención de miel. Se prevé la implementación de estudios biológicos que permitan el mejoramiento genético de las abejas. Sanciones más severas a los comercializadores de productos falsos que hagan pasar por miel, esto ayudara a los apicultores para que los compradores no tengan forma de sustituir el producto consciente o inconscientemente. De igual forma, se busca la certificación de los lugares que, si produzcan miel real y de calidad, por medio del Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, se dispondrá de estas certificaciones (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018).

Por otro lado, a través del SENA y AGROSAVIA se implementará el uso de herramientas técnicas y tecnológicas, en coordinación con el Ministerio de Ciencia, Tecnología e innovación para mejorar la infraestructura de un apiario, capacitaciones y fomento a la investigación. La intención del gobierno de incentivar este oficio responde al incremento de los beneficios económicos que puede llegar a recibir el país a causa del ejercicio de esta actividad, *“según cifras de la organización Research & Markets , “Se espera que el mercado mundial de la apicultura crezca a una tasa compuesta anual del 3,12% para alcanzar un tamaño de mercado de 10,074 millones de dólares para 2023, en comparación con 8,378 millones de dólares en 2017”, convirtiéndola en una práctica más que rentable para países en desarrollo”* (CARACOL RADIO, 2021).

*“La apicultura es un importante actor de la producción de alimentos y de la seguridad alimentaria, debido a que el 75% de los cultivos alimentarios del mundo dependen*

de la polinización para su producción, y a que las abejas corresponden al mayor grupo de insectos, entre miles de especies nativas. Todo ello asegura la reproducción de estos productos agrícolas, lo cual hace que mejore su calidad y cantidad. Durante los últimos cinco años, en Colombia la apicultura ha crecido de forma constante, en un 10% anual, contando hoy con más de 135.000 colmenas en desarrollo y alcanzando una producción promedio de 4.000 toneladas de miel, procedente de las regiones Andina, Caribe y Orinoquía, con una participación del 50%, 30% y 20%, respectivamente” (SAN MARTÍN, 2021).

Figura 3. Gráfico de producción de miel en las regiones de Colombia



Adaptado de (SAN MARTÍN, 2021).

Internacionalmente empresas se han aliado para comprender como la tecnología puede ayudar a las abejas, el trabajo del World Bee Project, una iniciativa que

agrupa a entidades como Oracle, BeeHero, las universidades de Reading, Edimburgo y Cambridge o la firma AgriSound entre varias instituciones más. Su objetivo es comprender mejor cómo las abejas se relacionan con su entorno en actividades tan importantes para los ecosistemas como la polinización. Para ello, han creado una red de 50000 'colmenas inteligentes' repartidas por muchos países de todo el mundo. Todas ellas están monitorizadas con diferentes sensores, especialmente micrófonos. El ingente volumen de información que recogen esos sensores es almacenado y procesado por el gigante informático Oracle en sus servidores en la nube que, a su vez, devuelven datos organizados útiles para investigadores y apicultores (Apicultura y miel, 2022).

Chile está liderando los esfuerzos en investigación y desarrollo tecnológico en apicultura en el continente. Dirigiendo la Red de Salud Apícola Latinoamericana, una iniciativa que busca mejorar las prácticas apícolas y la salud de las poblaciones de abejas. Hay también empresas de tecnología en esta área. Una de estas es el Consorcio de Desarrollo Tecnológico Apícola, donde se han propuesto hacer investigación para agregar valor a las colmenas chilenas, con miras a desarrollar productos del tipo nutracéutico y dermocosmético para el mercado global (Hernandez,2020).

El principal desafío de los apicultores es establecer realmente cuales son las condiciones de la colmena, internamente que está sucediendo y como impacta los agentes externos a la intimidad de la colmena. Por otro lado, estudios han

demostrado que el 30% de las colmenas del mundo se pierden cada invierno por factores estresantes, parásitos, enfermedades, riesgos ambientales y mala nutrición.

Estos factores pueden contrarrestarse mediante tecnología, como los proyectos IOT que nos permiten gestionar una gran información por el flujo de datos. Conectando sensores de temperatura, sensores de humedad, sensores acústicos, sensores de peso estos sistemas electrónicos de monitoreo no son nuevos, pero interactuando entre sí y analizando los datos se puede definir la salud de la colmena.

El punto de referencia para identificar la buena salud de la colmena es la producción de miel, en la que incide el peso de las abejas y la temperatura dentro del límite ideal. De manera secundaria, encontramos los zumbidos que nos demuestran la frecuencia de trabajo en la colmena. Todos estos factores se pueden rastrear con las tecnologías IOT, brindando conocimientos sólidos de la salud y estabilidad de las colmenas usadas para la apicultura (IOT PARA SALVAR ABEJAS, 2021).

## 5. Marco teórico

**IOT:** Es el conjunto e interacción de dispositivos conectados a una red bien sea privada o internet, donde cada dispositivo será visible y podrán interactuar entre sí.

Kevin Ashton, el director ejecutivo de Auto-ID Labs en MIT, fue el primero en describir el Internet de las cosas, mientras hacía una presentación para Procter & Gamble. Durante su discurso de 1999, el Sr. Ashton declaró: «Hoy las computadoras y, por lo tanto, Internet, dependen casi por completo de los seres humanos para obtener información. Casi todos los aproximadamente 50 petabytes (un petabyte es 1.024 terabytes) de datos disponibles en Internet fueron primero capturados y creados por seres humanos escribiendo, presionando un botón de grabación, tomando una imagen digital o escaneando un código de barras. El problema es que las personas tienen tiempo, atención y precisión limitados.

Kevin Ashton creía que la identificación por radiofrecuencia (RFID) era un requisito previo para Internet de las cosas. Concluyó que, si todos los dispositivos estaban «etiquetados», las computadoras podrían administrarlos, rastrearlos e inventariarlos. Hasta cierto punto, el etiquetado de las cosas se ha logrado a través de tecnologías como marcas de agua digitales, códigos de barras y códigos QR. El control de inventario es una de las ventajas más obvias de Internet of Things (Detri,2023).

**Funcionamiento:** Un sistema de IOT consiste en sensores o dispositivos que se comunican con la nube mediante una forma de conectividad. Una vez que los datos llegan a la nube, el software los procesa y define si es necesario realizar alguna acción, como ajustar los sensores o dispositivos, sin que el usuario deba intervenir o enviar una alerta.

Existen cuatro elementos diferentes en un sistema de IOT completo: sensores o dispositivos, conectividad, procesamiento de datos y una interfaz de usuario (Kaspersky,2023).

*Tabla 1. Elementos de un sistema IOT*

Elementos	Función
Sensores o dispositivos	Recopilan datos de su entorno. Un dispositivo puede tener varios sensores; por ejemplo, un teléfono inteligente contiene un GPS, una cámara, un acelerómetro, y demás. Básicamente, el sensor o los sensores recopilan datos del entorno para un propósito particular.
Conectividad	Una vez que el dispositivo recopiló los datos, debe enviarlos a la nube. Esto se produce de diferentes formas: puede ser por conexión Wi-Fi, Bluetooth, satélite, redes de baja potencia y área amplia (LPWAN, por sus siglas en inglés) o mediante conexión directa a Internet vía Ethernet. La opción particular de conectividad dependerá de la aplicación de IOT.
Procesamiento de datos	Una vez que los datos llegan a la nube, el software los procesa y determina si realizar o no una acción. Puede ser

	enviar una alerta o ajustar automáticamente los sensores o dispositivos sin intervención del usuario. Sin embargo, hay momentos en que el usuario debe intervenir; allí es donde entra en juego la interfaz de usuario.
Interfaz de usuario	Si la intervención del usuario es necesaria o si quiere controlar el sistema, la interfaz de usuario lo hace posible. Cualquier acción realizada por el usuario se envía en la dirección opuesta a través del sistema. Desde la interfaz de usuario a la nube, y de vuelta a los sensores o dispositivos para llevar a cabo el cambio solicitado.

Adaptado de (Kaspersky,2023).

**Protocolos de comunicación con los cuales se innova en el internet de las cosas:**

**Protocolo de comunicación SIGFOX:** Sigfox es una red global de comunicación celular especialmente diseñada para el Internet de las cosas (IOT). Su enfoque principal es ofrecer conexión a dispositivos IOT de baja velocidad, lo que reduce costos y consumo de energía para dichos dispositivos. Esta red opera en una banda estrecha, lo que permite que los dispositivos conectados tengan una mayor capacidad de incidencia a través de las adversidades, estableciendo una mejor comunicación a larga distancia, aún en áreas urbanas densamente pobladas.

Sigfox utiliza una infraestructura compuesta por antenas y estaciones base distribuidas en todo el territorio. Estas antenas y estaciones se comunican con los

sensores finales y envían los datos al servidor de Sigfox, donde se almacenan y gestionan. En España, la empresa Cellnex ha sido la encargada de instalar y operar esta red de antenas y estaciones base en colaboración con Sigfox (“Sigfox: ventajas y funcionalidades de la tecnología IOT - Productos IoT”).

A nivel tecnológico, Sigfox emplea la banda UNB (Ultra Narrow Band), diseñada para operar a velocidades bajas con una transferencia de datos que oscila entre 10 y 1,000 bits por segundo. Esta tecnología utiliza un canal de espectro muy estrecho, con menos de 1 kHz de ancho, lo que le permite alcanzar una amplia cobertura inalámbrica de hasta 20 km en áreas abiertas y 1.5 km en zonas urbanas. Por consiguiente, la utilización de la banda UNB es esencial para proporcionar una red escalable, con gran capacidad y un consumo de energía sumamente bajo (WooCommerce, 2023).

**Protocolo de comunicación MQTT:** MQTT es un protocolo de comunicación basado en estándares utilizado para facilitar la mensajería entre diferentes dispositivos. Es especialmente empleado por sensores inteligentes, dispositivos portátiles y otros dispositivos del Internet de las cosas (IOT) que necesitan transmitir y recibir datos a través de una red con recursos limitados y un ancho de banda restringido. La ventaja de MQTT radica en su facilidad de implementación y su eficiencia para la transmisión de datos IOT. Este protocolo permite la comunicación bidireccional entre dispositivos y la nube, lo que lo hace muy versátil en el contexto de la IOT.

**Ligero y eficiente:** MQTT es ideal para dispositivos IOT debido a su bajo consumo de recursos. Incluso en pequeños microcontroladores, se puede utilizar sin problemas. Un mensaje básico de control MQTT puede ser tan pequeño como dos bytes de datos, lo que lo hace altamente eficiente y ayuda a optimizar el uso del ancho de banda de la red.

**Escalable:** El uso de MQTT implica una mínima cantidad de código, lo que resulta en un bajo consumo de energía para las operaciones del dispositivo. Además, el protocolo está diseñado con funciones incorporadas que permiten comunicarse con muchos dispositivos IOT. Por lo tanto, es posible implementar el protocolo MQTT para conectar millones de estos dispositivos sin problemas.

**Fiable:** En muchas ocasiones, los dispositivos IOT se conectan a redes celulares poco confiables que tienen limitaciones de ancho de banda y alta latencia. Sin embargo, MQTT cuenta con funciones integradas que agilizan el proceso de reconexión del dispositivo IOT con la nube. Además, el protocolo establece tres niveles de calidad de servicio distintos para asegurar la fiabilidad en los casos de uso de IOT: "como máximo una vez" (nivel 0), "al menos una vez" (nivel 1) y "exactamente una vez" (nivel 2). Estas opciones garantizan que los datos se transmitan y procesen adecuadamente, evitando pérdidas o repeticiones innecesarias.

**Seguro:** MQTT proporciona a los desarrolladores facilidades para cifrar mensajes y autenticar dispositivos y usuarios mediante protocolos de autenticación modernos, como OAuth, TLS1.3 y certificados administrados por el cliente, entre otros. Estas características de seguridad permiten proteger la integridad y privacidad de los datos transmitidos a través de la red. Los desarrolladores pueden implementar estas medidas para garantizar que solo los dispositivos y usuarios autorizados tengan acceso a la información, asegurando así la confidencialidad de la comunicación y protegiendo contra posibles ataques o vulnerabilidades.

**Admitido:** El protocolo MQTT cuenta con un amplio soporte en varios lenguajes de programación, como Python, lo que facilita su implementación por parte de los desarrolladores. Gracias a este soporte, los desarrolladores pueden integrar MQTT rápidamente en cualquier tipo de aplicación con una codificación mínima. Esto permite agilizar el proceso de desarrollo y facilitar la comunicación entre los dispositivos IOT y la infraestructura de la red, lo que contribuye a la eficiencia y versatilidad de las soluciones basadas en MQTT. Al tener la posibilidad de utilizar diferentes lenguajes de programación, se abre un abanico de opciones para adaptar MQTT a las necesidades específicas de cada proyecto, lo que lo convierte en una opción popular y flexible en el desarrollo de aplicaciones para el Internet de las cosas (Amazon Web Services, 2023).

Frente a este tema, diversos escritores y trabajos de grado han versado sobre esta temática, identificando en todos los estudios que el uso de las tecnologías ha

permitido una mejora notable en la producción de miel, el trabajo “Transformación digital de explotaciones apícolas”, en este trabajo de investigación se analizan los factores que intervienen en la apicultura con el fin de generar un sistema que mejore los procesos para la explotación apícola (Sánchez, 2016).

Otro proyecto de grado es *“Perspectivas De Innovación En La Tecnología Apícola Apoyada En Computación Móvil”*, que es un estudio que gira en torno a los *“apoyos tecnológicos, en la detección de parámetros visuales o sonoros registrados y enviados a través de dispositivos móviles, el apicultor podrá tener información de primera mano e incluso podrá interpretarla a través de aplicativos, que además apoyen la toma de decisiones en relación a establecer y mantener condiciones adecuadas en las colmenas”* (Lizcano, 2022).

La tesis *“Influencia del nivel tecnológico en la productividad y competitividad de apicultores en Cundinamarca”* hace una revisión frente a los conceptos relacionados con la tecnología, la productividad y competencia empresarial, *“se expone la situación de la apicultura en el contexto internacional y nacional en el agronegocio de la miel y el polen y se apoya con un análisis de tendencias en investigación y en el desarrollo tecnológico al respecto de tecnologías enfocadas en la mejora de la productividad”* (Chaves, 2022).

## **6. Métodos usados en la investigación**

De acuerdo con el problema y a los objetivos planteados, esta investigación tiene componentes cualitativos, teniendo en cuenta que nos encontramos verificando los sistemas que se han desarrollado al emplear las tecnologías en la apicultura y su eficacia en dicho campo. De igual forma, se hará un análisis descriptivo de cada uno de los trabajos aquí expuestos, considerando el nivel nacional e internacional.

Para direccionar la investigación, desde una visión cualitativa, se ha previsto que sea de naturaleza descriptiva y analítica, por cuanto la realización del análisis requiere de la descripción de las condiciones de cada uno de los sistemas desarrollados en beneficio de las colmenas.

Para desarrollar lo anterior, se hará uso como información primaria y secundaria, obtenida en las bases de datos de la Universidad, IEEE XPLORE, SCOPUS y en Google Scholar. Se clasificó dicha información en los tipos de comunicación más generados, los elementos que más se usaron, y los sensores que más se emplearon.

## **7. Estudio sobre el uso de tecnología que mejoren y faciliten el ejercicio de la apicultura y el bienestar de las abejas a nivel nacional e internacional.**

En este capítulo se encontrará la información y los documentos seleccionados que se consideraron más importantes sobre los proyectos de internet de las cosas aplicados a los cultivos apícolas a nivel nacional e internacional. De igual forma, se clasificó el uso del internet de las cosas (IOT) de acuerdo con el impacto en los cultivos apícolas a nivel nacional e internacional.

En el artículo publicado en la Conferencia internacional IEEE 2022 sobre ciencia de datos y sistemas de información (ICDSIS), los investigadores R. Anaghaa, H. Guha, CG Raghavendra, HH Adithya y HJ Lekhashree, determinaron que los métodos tradicionales de inspección manual aunque han ayudado durante mucho tiempo para evitar la pérdida total de las colonias, estos métodos causan estrés a las abejas, atraen plagas, debilitan las colonias por la pérdida de abejas que se produce tras la inspección semanal. Por lo anterior, es que los apicultores se encuentran limitados por la cantidad y calidad de los datos obtenido con este método. *"Aplicación de redes de sensores inalámbricos para avances en la apicultura de precisión no intrusiva"* (Conferencia internacional IEEE, 2022).

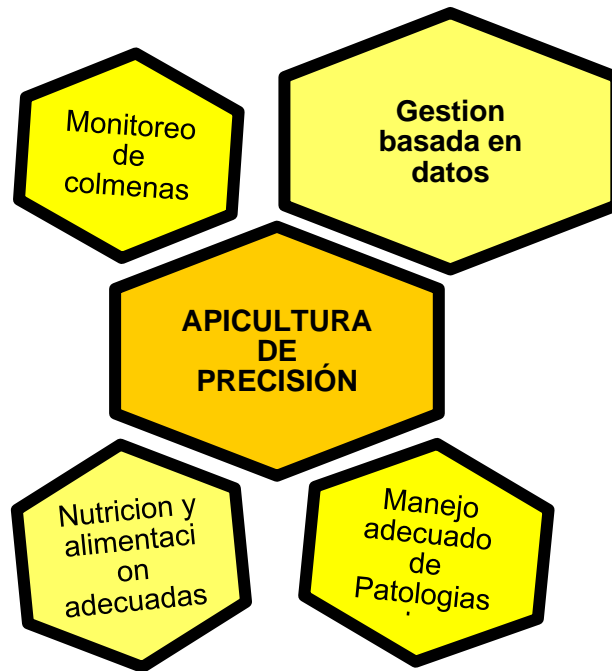
La inspección manual se basa en la experiencia y la observación visual sobre los datos numéricos, pero no permite predecir el comportamiento de las abejas o los peligros inmediatos como enjambres y fugas, lo que enfatiza la necesidad de

mejores métodos de monitoreo. *"Aplicación de redes de sensores inalámbricos para avances en la apicultura de precisión no intrusiva"* (Conferencia internacional IEEE, 2022).

Esto ha llevado a desarrollar la apicultura de precisión mediante el uso de conceptos de Internet de las cosas (IOT) y redes de sensores inalámbricos. Con el uso de estas técnicas se busca maximizar la productividad y reducir los requisitos de mano de obra y el consumo de recursos financieros. El monitoreo continuo basado en sensores ayuda a predecir las fases anuales de crianza, el tiempo de extracción de la miel, la pérdida de población de abejas y la salud de la abeja reina. Como se puede apreciar la *"Aplicación de redes de sensores inalámbricos para avances en la apicultura de precisión no intrusiva"* (Conferencia internacional IEEE, 2022).

## 7.1 Campos de aplicación de la apicultura

Figura 4. Campos de aplicación de la apicultura



Tomado de (*Apicultura y miel, 2022*).

La aplicación de IOT en la apicultura de precisión puede evidenciarse en cuatro aspectos fundamentales, los cuales son:

**Monitoreo de colmenas:**

La tecnología, como los sensores y las herramientas de monitoreo, se usan en la apicultura de precisión, para recopilar datos en tiempo real frente a factores importantes; por ejemplo: la temperatura, la humedad, el peso de la colmena y la actividad de las abejas. Conocer esta información, permite un control más preciso del estado de la colmena y contribuye con la detección temprana de los problemas o desequilibrios latentes (Ivars, 2020).

#### **Gestión basada en datos:**

A los apicultores se les puede facilitar la gestión de sus colmenas gracias a la recolección y análisis de datos. Empleando la información recolectada en los informes de gestión, revelando el estado de salud de las abejas y las medidas oportunas para el aumento en la producción de miel, el flujo de néctar y otros factores relevantes (Frąckiewicz, 2023).

#### **Nutrición y alimentación adecuada:**

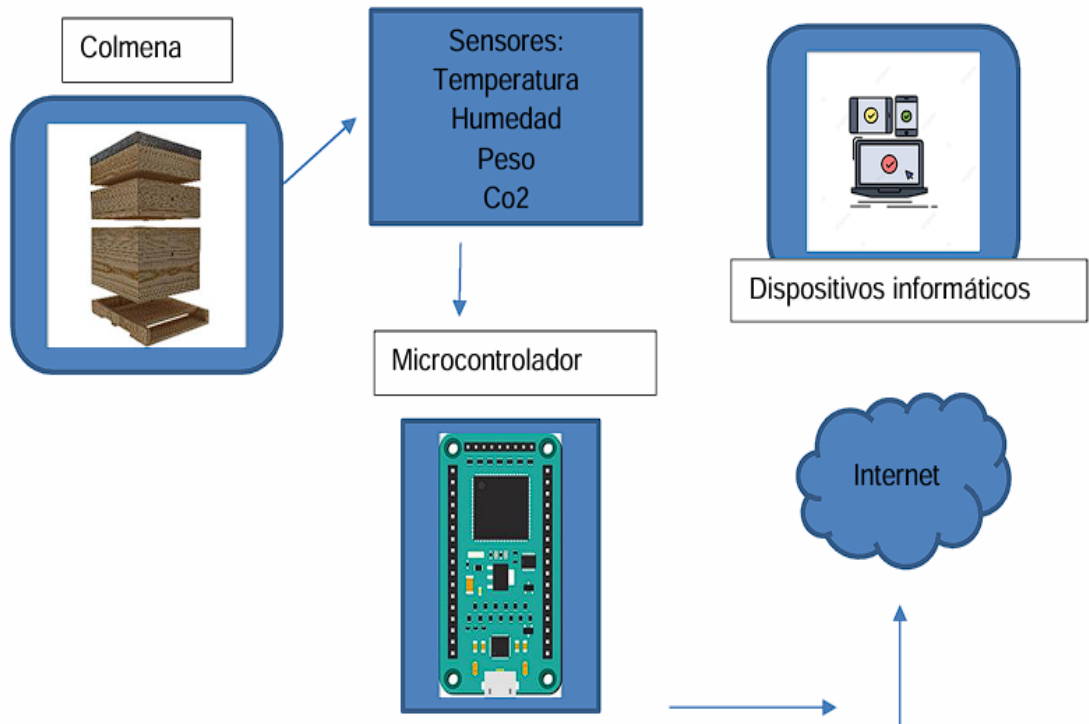
La nutrición de las abejas recibe una consideración especial en la apicultura de precisión. Garantizando una dieta equilibrada para las abejas mediante el análisis de las muestras de polen y del néctar, verificando si existe una deficiencia nutricional. Al detectar esto, se podrá reforzar con ciertos alimentos la mejoría de dichas patologías controlables alimentariamente (Castillo, 2023).

#### **Manejo adecuado de patologías y plagas:**

El monitoreo constante y el uso de técnicas de apicultura de precisión pueden ayudar a identificar tempranamente la presencia de enfermedades o plagas en las colmenas. Esto permite tomar medidas preventivas o aplicar tratamientos específicos de manera selectiva, reduciendo la propagación de enfermedades y minimizando el uso innecesario de productos químicos en el apiario (Organización mundial de sanidad animal, 2021).

## **7.2 IOT aplicado a la apicultura**

Figura 5. Ilustración de IOT aplicado a la apicultura



Adaptado de (Ruiz y Martín, 2022).

La IOT aplicada a la apicultura permite tener la información recolectada por los sensores en dispositivos móviles, permitiendo que el acceso y en tiempo real sea cómodo permitiendo a los apicultores tomar decisiones acertadas y a tiempo; mejorando la gestión y la productividad de la colmena y la salud de esta; sin afectar al entorno, lo cual no es posible cuando se hace manualmente, considerando que

la manipulación, al abrir la etapa y revisar cada aspecto, perturba la tranquilidad de estas.

En la figura anterior, se aprecia que los datos los recolectan sensores, Temperatura, Humedad, Peso y CO<sub>2</sub>; y se conectan a una placa base o microcontrolador como lo hemos llamado, que lee los datos e interpreta para enviarlos a través de internet y transmitirlos para que los visualice el apicultor, el usuario final del proyecto. De acuerdo con la interpretación de estos datos, el apicultor a partir de su conocimiento y experiencia puede tomar una decisión para mejorar o mantener la calidad de la colmena (Ruiz y Martín, 2022).

### **7.3 Variables utilizadas para el monitoreo constante aplicado a la apicultura.**

Al monitorear y evaluar los factores físicos de una colmena, se puede verificar la salud de las abejas. Las siguientes son algunas variables físicas que se pueden medir:

- **Temperatura:** Es un indicador importante teniendo en cuenta que las crías requieren una temperatura de 35°C para vivir y las abejas obreras requieren que la temperatura se encuentre en óptimas condiciones para no desgastarse haciendo que la colmena se encuentre bajo las condiciones requeridas. Se puede medir utilizando termómetros o sensores de temperatura colocados dentro y fuera de la colmena. (Ivars, 2020)

- **Humedad:** El nivel de humedad dentro de la colmena también es importante, debido a que las abejas mantienen ciertos niveles de humedad para garantizar el correcto desarrollo de las crías y el almacenamiento adecuado de la miel y el polen. Los sensores de humedad son útiles para medir este parámetro (Ivars, 2020).
- **Peso de la colmena:** Medir el peso de la colmena permite obtener información sobre la cantidad de néctar y miel que se ha producido, así como la actividad y el tamaño de la colonia. Se utilizan básculas o sensores de peso para obtener la información (Ivars, 2020).
- **Actividad de las abejas:** Observando y registrando la actividad de entrada y salida de abejas de la colmena es una forma indirecta de conocer el estado de la colonia. Se pueden utilizar contadores de abejas analógicos o registrar visualmente con una cámara la actividad para evaluar la salud y la vitalidad de la colonia (Ivars, 2020).

#### **7.4 Componentes electrónicos utilizados en la tecnología IOT para la apicultura.**

### 7.4.1 Microcontroladores

- **Arduino Mega:** Placa de desarrollo con microcontroladores AVR de Atmel. Siendo una versión mejorada del Arduino con más memoria, procesamiento con mayor potencia y pines de entrada/salida. Con frecuencia, es empleado en proyectos que requieren más conexiones y recursos, como sistemas de control o automatización (Arduino, 2023).
- **La placa ESP32:** Es un microcontrolador de consumo bajo y de rendimiento alto, que incluye la conectividad Bluetooth y Wi-Fi. Esta placa ESP32 es muy valorada para el mundo IOT, por la capacidad que tiene de conectividad inalámbrica, amplia gama de pines de E/S y memoria. La placa se emplea usualmente para comunicación inalámbrica y capacidades de procesamiento más sofisticado (Digikey, 2023).
- **Raspberry Pi:** Es conocida también como la computadora de placa única, la Raspberry Pi es diminuto y se puede usar para proyectos informáticos y de IOT. Además de tener procesador, memoria, puertos USB, conectividad Ethernet, Wi-Fi y Bluetooth, puede ejecutar un sistema operativo completo como Linux. Raspberry Pi es un dispositivo flexible que se puede utilizar para una variedad de tareas, desde servidores domésticos hasta sistemas de automatización y control (Raspberrypi, 2019).

- **NodeMCU 3:** Es una plataforma de desarrollo basada en el módulo ESP8266, que combina un microcontrolador y conectividad Wi-Fi. Con el lenguaje de programación Lúa o el entorno de desarrollo Arduino, ofrece una interfaz de programación sencilla. Debido a su bajo precio, tamaño pequeño y simplicidad de uso para proyectos que requieren conectividad inalámbrica, es muy apreciado en las aplicaciones de IOT (Wikipedia, 2023).

#### 7.4.2 Sensores

- **DHT22:** Es un sensor de temperatura y humedad relativa. Proporciona mediciones precisas de temperatura y humedad en el ambiente circundante. Se comunica a través de una interfaz digital y es ampliamente utilizado en proyectos de monitoreo ambiental (Todomicro, 2023).
- **SHT15:** Es otro sensor de temperatura y humedad relativa que ofrece mediciones de alta precisión. Al igual que el DHT22, utiliza una interfaz digital para la comunicación y es adecuado para aplicaciones donde se requiere una precisión más fina (ELECTROFUN, 2023).
- **DHT11:** Es similar al DHT22, ya que también mide la temperatura y la humedad relativa. Sin embargo, el DHT11 es más económico y tiene una menor precisión en comparación con el DHT22. Aunque puede ser menos

preciso, sigue siendo útil en muchas aplicaciones de monitoreo básico (Naylampmechatronics, 2023).

- **Celda de carga con HX711:** Este conjunto de sensor y amplificador se utiliza para medir el peso o la fuerza aplicada. La celda de carga convierte la fuerza en una señal eléctrica y el HX711 amplifica y convierte esa señal en valores legibles por un microcontrolador. Se utiliza comúnmente en proyectos de pesaje y monitoreo de colmenas de abejas (Naylampmechatronics, 2023).
- **DS18B20:** Es un sensor de temperatura digital de alta precisión. (“Acerca del sensor de temperatura DS18B20 1-Wire - Makerguides.com”) Utiliza el protocolo One-Wire, lo que significa que solo requiere un cable para la comunicación con el microcontrolador. Es popular debido a su fácil integración y precisión en la medición de la temperatura (Programarfacil, 2017).
- **MMA73612:** Es un acelerómetro de tres ejes que mide la aceleración en un rango determinado. Proporciona mediciones en términos de fuerzas de gravedad (g) y se utiliza en proyectos que requieren la detección y medición del movimiento o la inclinación (Hetpro, 2023).

- **STH25:** Es un sensor ambiental que mide la temperatura, humedad y presión atmosférica. Se usa en aplicaciones meteorológicas y de monitoreo ambiental (NEWARK, 2023).
- **SCD30:** Es un sensor de dióxido de carbono (CO2) y temperatura. (“Sensor de CO2, Temperatura y Humedad SeeedstudioGrove (SCD30)”) Proporciona mediciones precisas de la concentración de CO2 en el aire y también mide la temperatura ambiente. Es utilizado en aplicaciones de control de la calidad del aire y monitoreo de la ventilación (Electronilab, 2023).

#### 7.4.3 Módulos adicionales

- **Módulo GPRS Quectel M66:** Es un módulo de comunicación celular que utiliza tecnología GPRS (General Packet Radio Service). Proporciona conectividad de datos a través de la red de telefonía móvil, lo que permite enviar y recibir datos a través de mensajes SMS, transferencia de datos por GPRS y realizar llamadas de voz. Se utiliza en proyectos de IOT y comunicación remota que requieren conectividad celular (Sigmaelectronica, 2023).
- **Módulo LoRa:** LoRa (Long Range) es una tecnología de comunicación de largo alcance y baja potencia diseñada para aplicaciones de IOT. Los módulos LoRa utilizan una modulación de radiofrecuencia especial para

transmitir datos a larga distancia, incluso en entornos urbanos densos. Estos módulos son ideales para proyectos que requieren comunicación de datos a larga distancia y una vida útil prolongada de la batería, como redes de sensores y aplicaciones de monitoreo remoto (Mokolora, 2023).

- **Módulo WiFi ESP8266:** El módulo WiFi ESP8266 es un pequeño dispositivo que proporciona conectividad inalámbrica a través de la red WiFi. Utiliza un microcontrolador integrado y tiene la capacidad de conectarse a redes WiFi-existent, enviar y recibir datos a través de la red. El ESP8266 es ampliamente utilizado en proyectos de IOT debido a su bajo costo, tamaño compacto y capacidad de programación. Es especialmente popular para la comunicación inalámbrica y control remoto en proyectos de automatización del hogar y monitoreo de sensores (Programarfacil, 2023).

## **7.5 Software de código abierto utilizados para aplicaciones IOT en la apicultura.**

- **HiveTool:** Es otro software de código abierto desarrollado para el monitoreo y gestión de colmenas. Permitiendo la visualización de variables como la temperatura, peso, humedad y actividad de las abejas. Además, proporciona las herramientas para el análisis y visualización de datos (Apkpure, 2023).
- **Hiveeyes:** Es un proyecto de código abierto que ha desarrollado su hardware y software para el monitoreo y seguimiento de colmenas. Suministra una plataforma completa para el registro y análisis de datos de colmenas, incluyendo las variables de temperatura, humedad, peso y otros indicadores de salud de las abejas (Hiveeyes, 2023).

Las tecnologías IOT en la apicultura les proporcionan a los apicultores herramientas poderosas para mejorar la gestión y la productividad de sus colmenas, así como para proteger la salud de las abejas. Al tener a su alcance un monitoreo más preciso con toma de decisiones respaldadas por datos, convirtiendo a la apicultura en algo más eficiente y sostenible (Telcel, 2023). Al aplicar el internet de las cosas se puede tener colmenas no solo en el campo si no también en las ciudades es por eso por lo que en la siguiente etapa podemos ver la aplicación de estas tecnologías en proyectos desarrollados a nivel nacional e internacional.

## **7.6 Desarrollo de IOT aplicados en la apicultura.**

### 7.6.1 Internacional

El uso de las tecnologías IOT aplicadas en la apicultura ha aumentado en gran manera, teniendo en cuenta que en muchas partes del mundo los apicultores han adaptado los estudios en materia más relevantes, de los cuales resaltamos los siguientes:

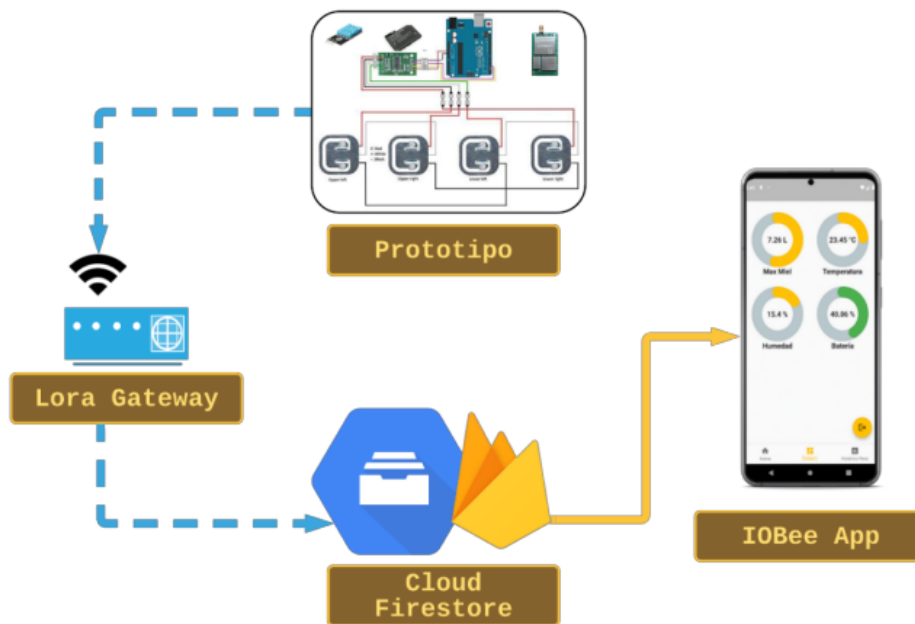
*Proyecto de un sistema de monitoreo mecatrónico para la determinación de tiempos de cosecha de la miel en tiempo real (“Sabando, 2021).*

Este proyecto se enfoca en el diseño de un sistema de monitoreo mecatrónico para conseguir que los tiempos de cosecha de la miel se midan en tiempo real; con la utilización de sensores, software de control y visualización. Este sistema busca mejorar la eficiencia y productividad en la apicultura, ofreciendo información precisa y oportuna para la toma de decisiones a tiempo.

Para los sensores fueron empleadas 4 celdas con peso de 50 kg, ubicándolas en el módulo de producción de miel. Esto permite el monitoreo permanente proporcional al incremento del peso, estableciendo el peso adecuado de la cosecha de miel; y un sensor DHT22 que permite la medición de temperatura y la humedad simultánea en el módulo de la cosecha de miel.

Estas variables son importantes para reconocer la calidad de la miel, siendo procesadas por el Arduino nano el cual con un módulo lora envía la información a la nube iCloud Firestone donde la aplicación de móvil desarrollada hace los llamados para visualizar la información.

Figura 6. Sistema de monitoreo mecatrónico



Tomado de (José Ortiz, Gustavo Sabando, 2021).

El principal propósito de la infraestructura anteriormente referenciada, es ayudar al apicultor para que tenga control sobre las colmenas, evitando la intervención humana sino el acceso seguro y eficaz en la aplicación en su celular. No obstante,

el proyecto solo se ejecutó en una colmena dejando abierta la posibilidad a mejoras y más estudios.

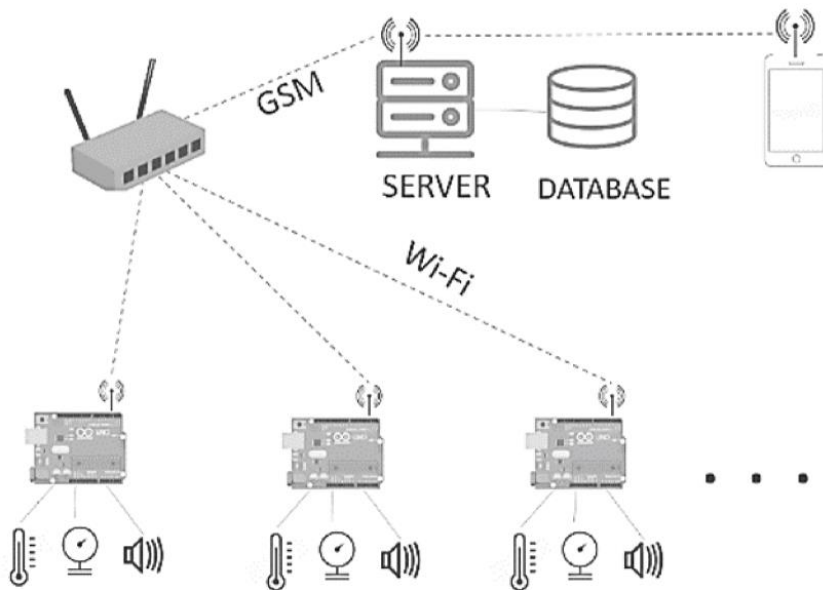
*Implementación del Sistema Apícola de Precisión para el Monitoreo de Colonias de Abejas ( Fiedler, y otros, 2021).*

Es un proyecto que se lleva a cabo dentro del marco del sistema SAMS - Smart Apiculture Management Services, que fue financiado por la Unión Europea. En dicho proyecto, se describe la implementación exitosa del sistema Precisión Beekeeping en dos países en desarrollo, Etiopía e Indonesia.

Incluye un hardware y software para monitorear a las colonias de abejas, recopilar y analizar los datos. Para cada país se generaron desafíos específicos para su respectiva instalación, como las prácticas de manejo en las colmenas y los aspectos económicos en cada país.

Se emplea una Raspberry Pi Zero W como controlador principal del sistema, junto con sensores de temperatura, humedad, peso y acústica. El software del sistema incluye una solución de almacenamiento de datos en la nube, modelos de análisis de datos y una interfaz web para el monitoreo y visualización remotos de los datos.

Figura 7. Sistema apícola de precisión



Tomado de ( Fiedler, y otros,2021).

Su implementación permitió que fuera posible la disminución del estrés de las abejas, ayudo a prevenir la muerte, la fuga y los trastornos en las colonias.

*Integración de básculas y cámaras en el monitoreo electrónico no disruptivo de colmenas: sobre la relación intradía del peso de la colmena y el tráfico en colonias de abejas melíferas (Apis mellifera) en colmenas Langstroth. EE. UU. 2022 (Kulyukin, y otros, 2022).*

Para este trabajo, los investigadores desarrollaron una relación entre el peso de la colmena con el tráfico de abejas, y la importancia de verificar esta variable en el monitoreo electrónico de colmenas y la apicultura digital. En dicho trabajo fueron

realizadas una serie de investigaciones empleando un sistema que no se interrumpa (no disruptivo) de dos sensores (una balanza y una cámara) para recopilar los datos de peso y video en seis colmenas de abejas (*Apis mellifera*) en el Centro de Investigación de Abejas Carl Hayden del USDA-ARS en Tucson, Arizona, Estados Unidos, durante un período de tres meses.

Se obtuvo como resultado que, de tres colmenas, dos de ellas tuvieron la correlación negativa. Pero en una colmena, no se encontró ninguna correlación entre el peso y el tráfico. Además, se observó que la fuerza de la correlación entre el peso y el tráfico era más fuerte en intervalos de tiempo más largos.

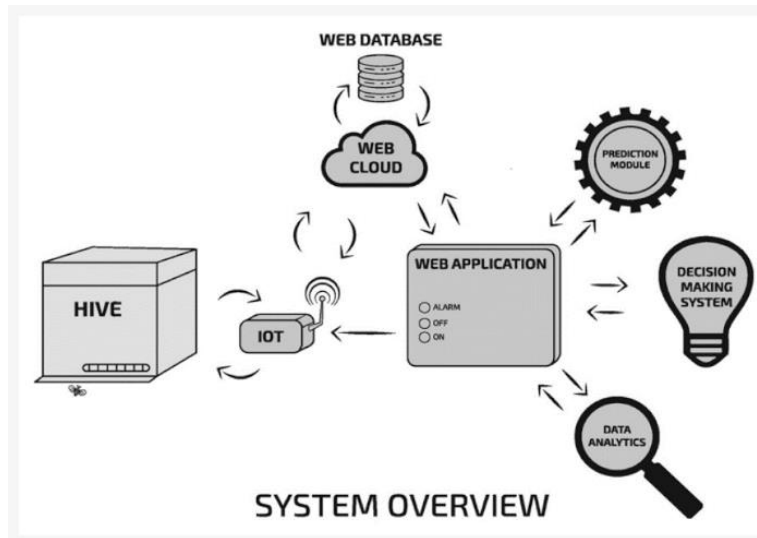
Frente a la distribución y la media del tráfico, no se evidencia un impacto significativo en la correlación entre el peso y el tráfico. En cambio, los conteos exactos de tráfico obtenidos de los videos fueron más influyentes. Además, se encontró que el tráfico lateral no tenía un impacto significativo en el peso de la colmena.

*Monitoreo de IOT y modelado de predicción de actividad de abejas con alarma (Andrijević, y otros, 2022).*

Para este trabajo, los autores implementaron un sistema de apicultura de precisión usando la tecnología IOT en el monitoreo y con el fin de predecir el comportamiento de las abejas en la colmena. Este sistema tiene una estación base IOT modular que recopila los datos de sensores en la colmena y cuenta las abejas en la entrada. Los

datos se envían a la nube para su almacenamiento, análisis y generación de alarmas.

Figura 8. Sistema de monitoreo IOT y predicción de actividad de abejas con alarma



Tomado de (Andrijević, Urosević, Arsić, Herceg y Savić, 2022).

En este trabajo, se desarrolló un modelo de pronóstico de series de tiempo que emplea redes neuronales recurrentes para calcular el flujo de entrada y de salida de las abejas por hora, teniendo en cuenta la variable de las condiciones ambientales.

Por lo anterior, los modelos matemáticos aplicados ilustraron un gran acierto al predecir lo ocurrido empleando los resultados obtenidos. Alcanzando el mejor modelo una predicción confiable de la actividad de las abejas, con un margen de

error por solo 8,9 abejas perdidas por hora en las salidas y de 7,8 abejas perdidas por hora en las entradas a la colmena.

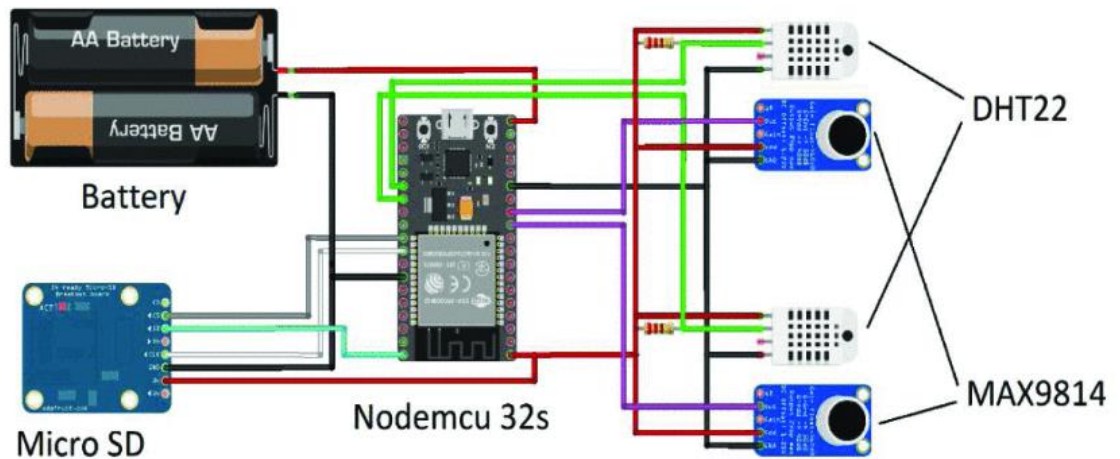
Se prevé que en las estaciones de primavera y verano se produzca un mayor margen de error al efectuarse una mayor circulación en las entradas y salidas de las abejas en la colmena.

Por otro lado, crearon una aplicación web donde se puede ilustrar en tiempo real los parámetros, valores medidos y alarmas predictivas y analíticas. Aclarando que el componente predictivo emplea inteligencia artificial y métodos analíticos avanzados para que puedan detectar patrones de comportamiento de las abejas y generar alarmas en caso de desviaciones. El componente analítico emite alarmas cuando los valores medidos se encuentran fuera de los límites de seguridad establecidos.

*Sistema de Adquisición Remota de Datos para el Monitoreo de Colmenares (Rybin, y otros, 2021).*

En la investigación se diseñó un sistema compuesto por un hardware y software. En el hardware se incluyeron sensores básicos para que se puedan recopilar indicadores biométricos de las colmenas (Temperatura, humedad y Sonido). En cambio, el software emplea un sistema de información que permite recibir información en tiempo real sobre el estado del apiario y responder rápidamente a amenazas externas.

Figura 9. Sistema de adquisición remota de datos



Tomado de (Rybin, y otros, 2021).

En dicho estudio, en la parte experimental, se puede apreciar los resultados de las pruebas realizadas con el sistema anteriormente referenciado. De igual forma, se desarrolló un programa prototipo para analizar el ruido automatizado para signos de enjambre.

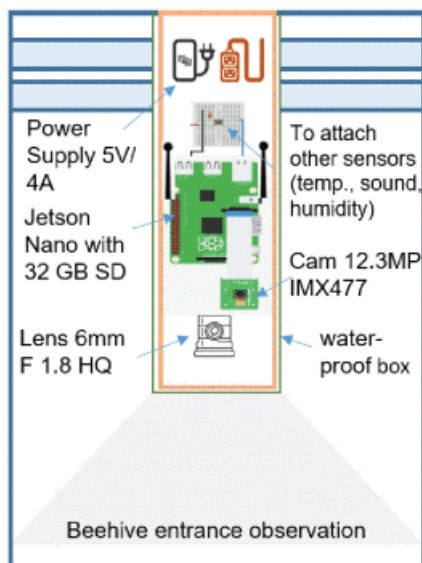
Es importante denotar de este trabajo, que las pruebas preliminares del sistema de recolección de datos en la colmena real y los datos de la colmena de control fueron transferidas a un servidor remoto.

*Un método para la detección y conteo automático de abejas melíferas a partir de imágenes con alta densidad de abejas (Nguyen, y otros, 2022).*

Se construye con una placa de ordenador Jetson Nano y una cámara de alta resolución. Usando las técnicas de aprendizaje profundo se cuentan las abejas y en tiempo real. Se incluye una red neuronal YOLO para predecir la posición de las abejas en las imágenes, y se utiliza un estimador de densidad basado en kernel para áreas de alta densidad.

Al detectar un área de alta densidad, se usa una red neuronal llamada FAMNET, optimizada para contar objetos en escenarios de alta densidad. Se mide el rendimiento del sistema comparando los resultados estimados con el conteo realizado por los apicultores, y se encuentra un promedio de diferencia del 10%.

*Figura 10. Sistema de detección y conteo automático de abejas melíferas*



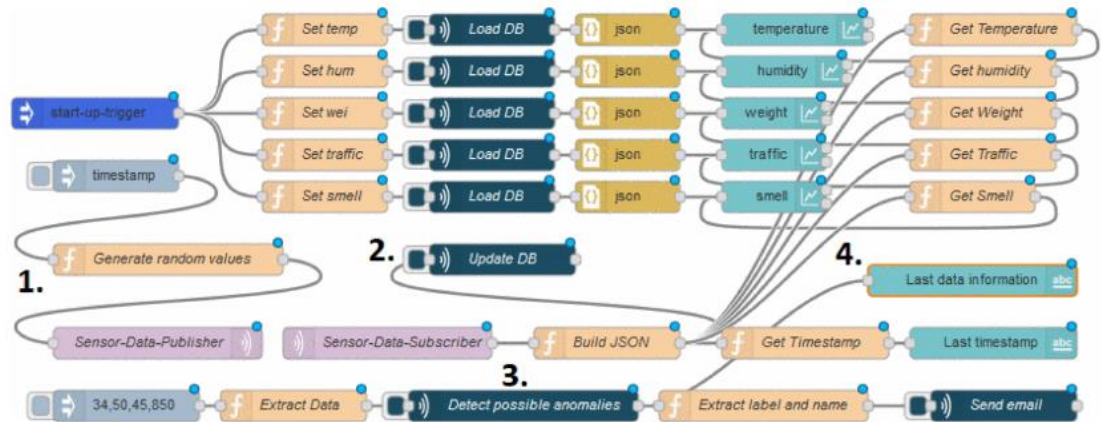
Tomado de (Nguyen, y otros, 2022).

Los resultados demostraron que el sistema propuesto es prometedor para implementar un sistema IOT que automáticamente pueda monitorear la salud de las abejas en una granja de abejas. Al emplear técnicas de visión por computadora y aprendizaje profundo permite contar las abejas de manera precisa y eficiente, brindando una solución innovadora para el monitoreo de las colonias de abejas.

*Supervisión visual programada de IOT Beehive para ayuda en la toma de decisiones mediante detección de anomalías basada en aprendizaje automático (Machhamer, y otros, 2020).*

Para apoyar a los apicultores, se desarrolló un escenario de programación visual que permitiera a las personas sin experiencia en el uso de tecnologías avanzadas lograr manejarlas de manera más fácil. Este sistema no solo recopila datos, sino que también detecta e informa anomalías, como vandalismo o enfermedades en la colmena, el VPE implementado en Python/JavaScript permite la creación de bloques de código propios. En estos bloques se pueden definir campos editables por el usuario. Por lo tanto, es posible integrar secciones de programa complejas de forma semiautomática, que el usuario final puede adaptar individualmente de acuerdo con sus necesidades.

Figura 11. Diagrama de flujo programación Beehive



Tomado de (Machamer, y otros, 2020).

La capacidad del sistema es muy buena, teniendo en cuenta que se logró implementar aplicaciones complejas de forma simplificada utilizando el ejemplo de una colmena de IOT con DAS. El SVM capacitado por DBSCAN asigna conjuntos de datos únicos entrantes (simulados) en tiempo real a los grupos existentes para distinguir entre el estado normal y las cinco anomalías definidas en la investigación, obteniendo resultados sobresalientes en la detección de anomalías que se han insertado en datos ficticios. Esto ciertamente disminuirá cuando se opere con datos reales, pero muestra el potencial básico de la aplicación.

## 7.6.2 Nacional

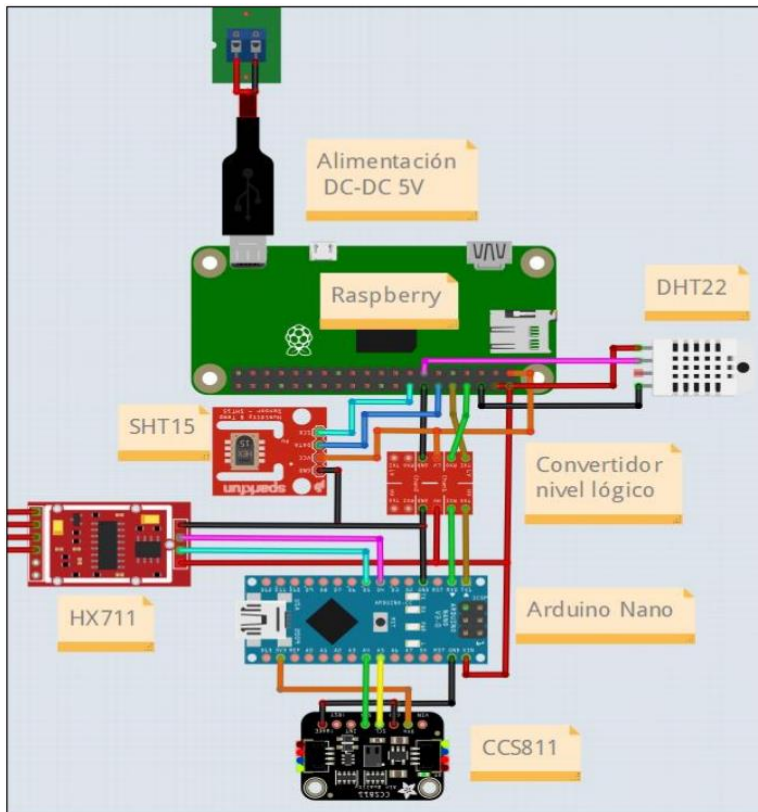
En Colombia la apicultura de precisión se encuentra como una herramienta valiosa para mejorar la productividad, la salud y el bienestar de las abejas y optimizar la gestión de las colmenas. La adopción de tecnologías avanzadas y la implementación de sistemas de monitoreo y análisis de datos están permitiendo a los apicultores colombianos tomar decisiones más informadas y eficientes, y contribuir a la conservación de las abejas y la sostenibilidad de la apicultura en el país (Cecchi, y otros, 2020).

A continuación, se presentará algunos de los resúmenes de los proyectos más relevantes desarrollados implementando la apicultura de precisión en el país, evaluando los resultados positivos, negativos del desarrollo, y posibles mejoras en el futuro.

*"Prototipo electrónico para la medición de variables físicas de una colmena artificial de abejas Apis mellífera" (Salas Pérez, 2021).*

En dicho trabajo, se presenta un proyecto diseñado para cooperar con la expansión, desarrollo e investigación de la apicultura en la región de Sabana de Torres, Santander, Colombia. El proyecto se centra en la implementación del Internet de las Cosas (IOT) en la apicultura, utilizando un sistema de instrumentación electrónica para medir variables físicas en una colmena artificial.

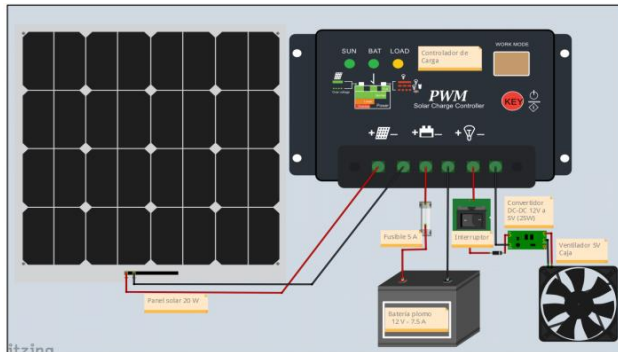
Figura 12. Prototipo electrónico para medición de variables de una colmena



Tomado de (María Celeste Salas Pérez, 2021).

Diseño de la alimentación eléctrica del sistema propuesto.

Figura 13. Diseño de alimentación eléctrica



Tomado de (María Celeste Salas Pérez, 2021).

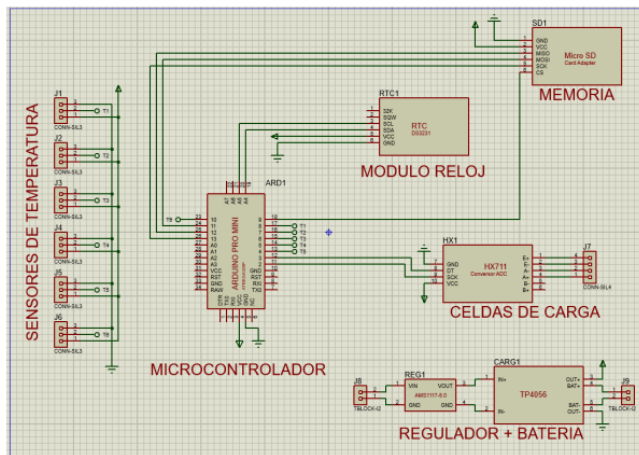
Se mencionan algunas variables físicas de interés, como la temperatura, la humedad relativa, el peso de la colmena y la concentración de CO<sub>2</sub>. Se destaca la importancia de monitorear y controlar estas variables para comprender el comportamiento de la colmena y optimizar la producción.

Se resalta la importancia de tener un buen conocimiento técnico sobre los dispositivos utilizados en el proyecto. Dado que estos dispositivos son sensibles y están expuestos a diferentes condiciones climáticas, siendo crucial comprender cómo funcionan y cómo se comportarán bajo estas condiciones.

*"Diseño y fabricación de un prototipo instrumentado de colmena que favorezca la manipulación de los apicultores y el confort productivo de las abejas en el apiario del páramo Pan de Azúcar de la corporación Tibairá del departamento de Boyacá"* (Puentes, y otros, 2021).

Se enfoca en la problemática de la actividad apícola, donde los apicultores deben realizar inspecciones periódicas de las colmenas, lo que genera esfuerzos ergonómicos y afectan el confort térmico de las abejas. El objetivo de este estudio se centra en desarrollar un prototipo de colmena instrumentada que facilite la manipulación de los apicultores y monitoree el confort productivo de las abejas.

Figura 14. Diagrama electrónico de instrumentación de colmena.

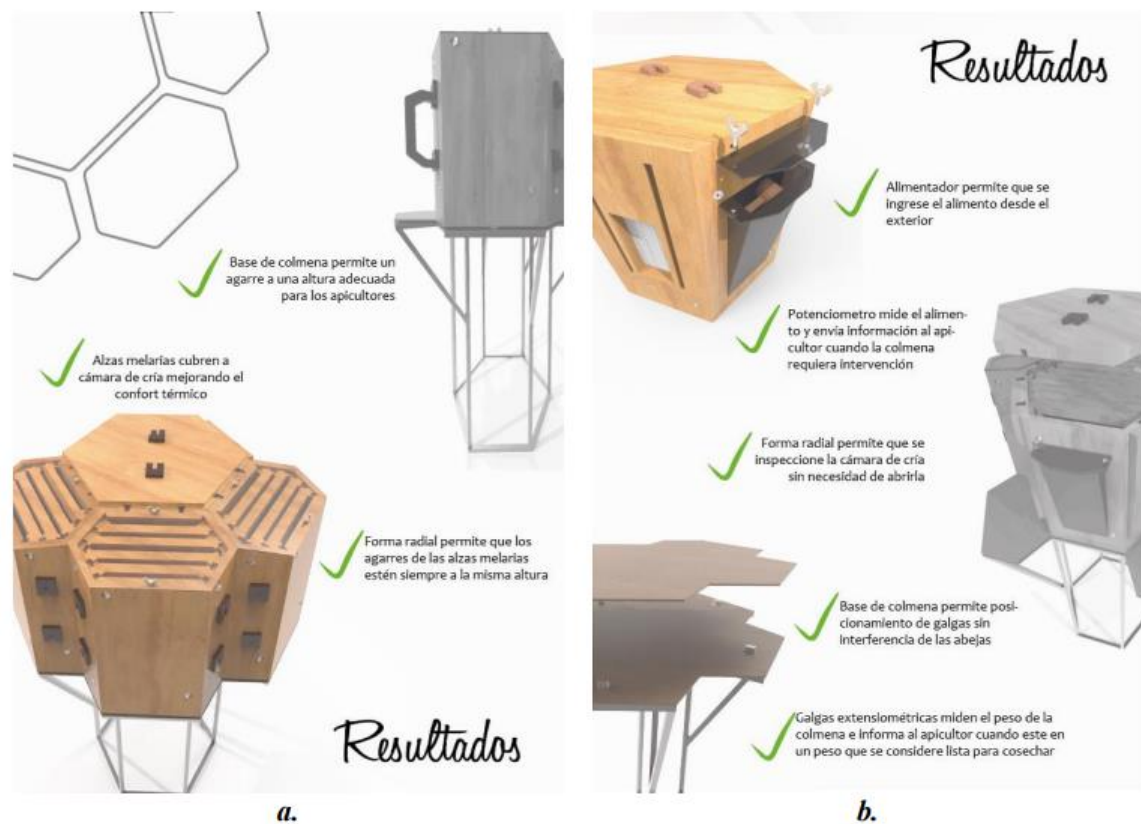


Tomado de (Puentes, y otros, 2021).

Para este trabajo, se realizaron entrevistas y encuestas a 56 apicultores en Colombia, y se realizó un análisis ergonómico de las posturas adoptadas durante la inspección de las colmenas. Se instrumentó una colmena Langstroth para medir temperatura, humedad y masa, encontrando que las abejas interactúan con los sensores.

Se diseñó una colmena hexagonal para evitar levantar secciones y medir el peso individual de las zonas de recolección de miel. Además, el diseño radial de la colmena mantiene la temperatura interna necesaria para las abejas y facilita el monitoreo del alimento. El nuevo diseño de la colmena mejora las posturas ergonómicas de los apicultores, conserva el confort térmico de las abejas y permite el monitoreo de la producción apícola (UPTC, 2022).

Figura 15. Diseño de colmena hexagonal



Tomado de (Puentes, y otros, 2021).

La colmena Langstroth, que es ampliamente utilizada en la apicultura debido a su facilidad de fabricación y disponibilidad. Sin embargo, se ha observado que esta colmena no está equipada con instrumentación adecuada y las abejas necesitan invertir más energía para regular la temperatura en su interior.

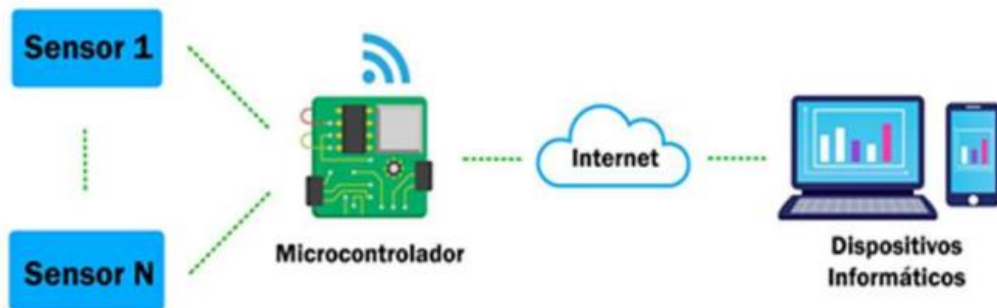
El diseño de la colmena desarrollado cumple con los requisitos ergonómicos, asegurando que las articulaciones involucradas (cuello, columna y muñeca) no se vean sometidas a ángulos incómodos. Esto tiene como resultado una mejor calidad de vida para el apicultor, reduciendo la probabilidad de desarrollar enfermedades laborales durante la ejecución de la actividad y, al mismo tiempo, aumentando la productividad al permitir inspeccionar las colmenas en menos tiempo.

El sistema de instrumentación elegido permite medir variables importantes como el peso, la temperatura y el alimento de las abejas. Esto da al apicultor la capacidad de evitar visitas frecuentes al apiario, lo que afecta positivamente a su economía y calidad de vida. Se reducen los costos asociados al transporte hacia el apiario y se evitan inspecciones innecesarias, lo que permite un manejo más eficiente y conveniente de las colmenas.

*Sistema de monitoreo de un apiario basado en el internet de las cosas (Loaiza, y otros, 2022).*

En este artículo se presenta el diseño e implementación de un sistema de monitoreo de un apiario utilizando IOT. El sistema permite al apicultor conocer el estado de las colmenas a través de una computadora o teléfono celular, reduciendo la necesidad de visitas frecuentes y garantizando un ambiente adecuado para las abejas.

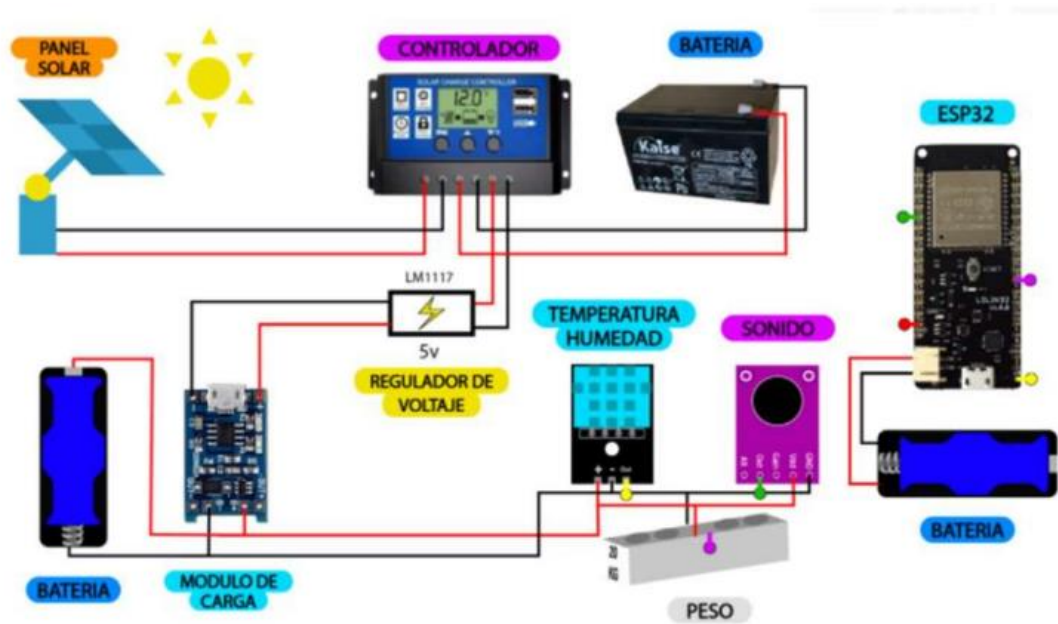
Figura 16. Ilustración de monitoreo en un apiario



Tomado de (Loaiza, y otros, 2022).

Se emplearon cuatro variables principales: temperatura, humedad relativa, sonido y peso. Estos datos son recopilados mediante sensores y procesados por un microcontrolador (ESP32), luego son enviados en tiempo real a una plataforma IOT llamada ThingSpeak.

Figura 17. Sistema de monitoreo IOT implementado



Tomado de (Loaiza, y otros, 2022).

Para garantizar la energía necesaria para la colmena, se utiliza un sistema fotovoltaico con paneles solares, un controlador de carga y una batería, permitiendo que el sistema sea portátil y funcione en áreas remotas sin acceso directo a la red eléctrica. La implementación de este sistema de monitoreo en la apicultura proporciona información relevante para estudiar el comportamiento de las colmenas y verificar su estado general, lo que contribuye a la supervivencia y producción de miel de manera óptima. Además, se destaca la importancia de adoptar técnicas que mejoren el medio ambiente y promuevan la preservación de las abejas en su entorno natural.

Este artículo destaca el avance logrado al adaptar y desarrollar nuevas técnicas relacionadas con el uso de sistemas basados en IOT. Estas técnicas pueden ser aplicadas en futuros sistemas para mejorar el cuidado del medio ambiente y la preservación de las abejas en su entorno natural. Es un aporte significativo que impulsa la investigación y el desarrollo de soluciones más eficientes y sostenibles en el ámbito de la apicultura.

## **8. Análisis del estado del arte en publicaciones, e investigaciones sobre proyectos IOT aplicado a cultivos aeropónicos e hidropónicos y trabajos futuros**

En este capítulo se encontrará una comparación de los beneficios del uso del internet de las cosas (IOT) aplicadas a los cultivos apícolas; y se determinan las áreas o temas de investigación futuros relacionados en el uso de la tecnología IOT en la apicultura a nivel nacional e internacional.8

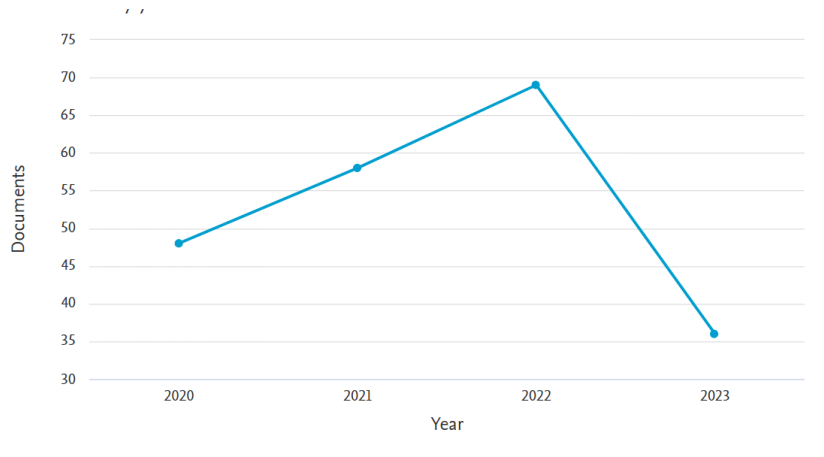
### **8.1 Sistemática de literatura**

A continuación, se efectuará un resumen frente a las estadísticas usadas en los motores de búsqueda implementados para la revisión literaria: Scopus y IEEE Xplore

## Scopus

Cadena de búsqueda: IOT AND bee

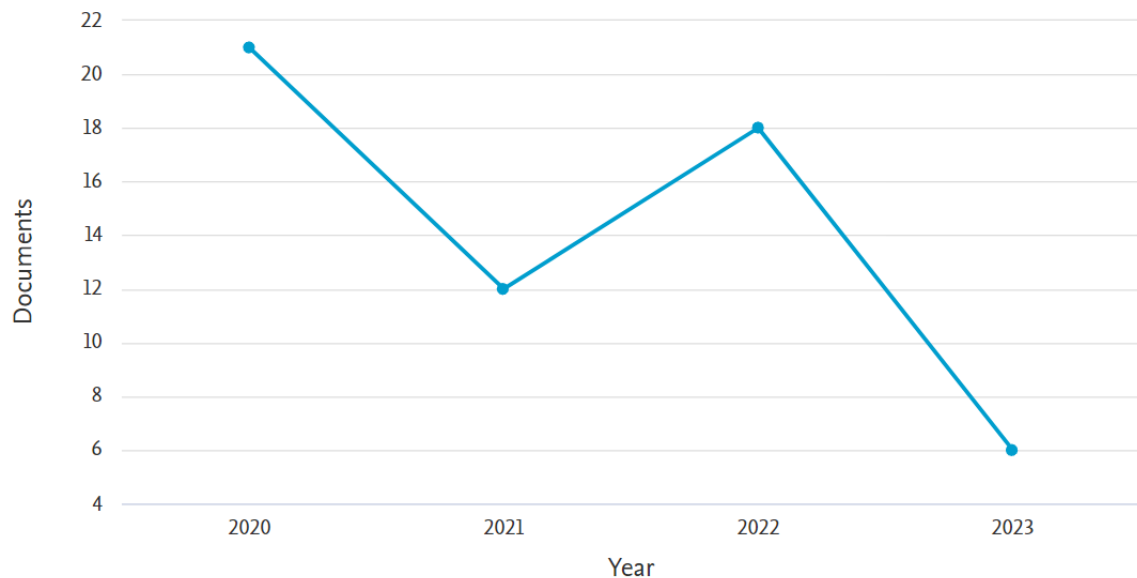
*Figura 18. Gráfico de publicaciones de IOT en la apicultura Scopus*



Se obtuvieron 211 resultados desde el 2020 hasta el presente año, donde el 2022 fue donde más documentos fueron publicados con 69 artículos, evidenciando un aumento exponencial comparado a los años anteriores.

## Cadena de búsqueda: Sensors and beekeeping

Figura 19. Gráfico de publicaciones de sensores en la apicultura Scopus



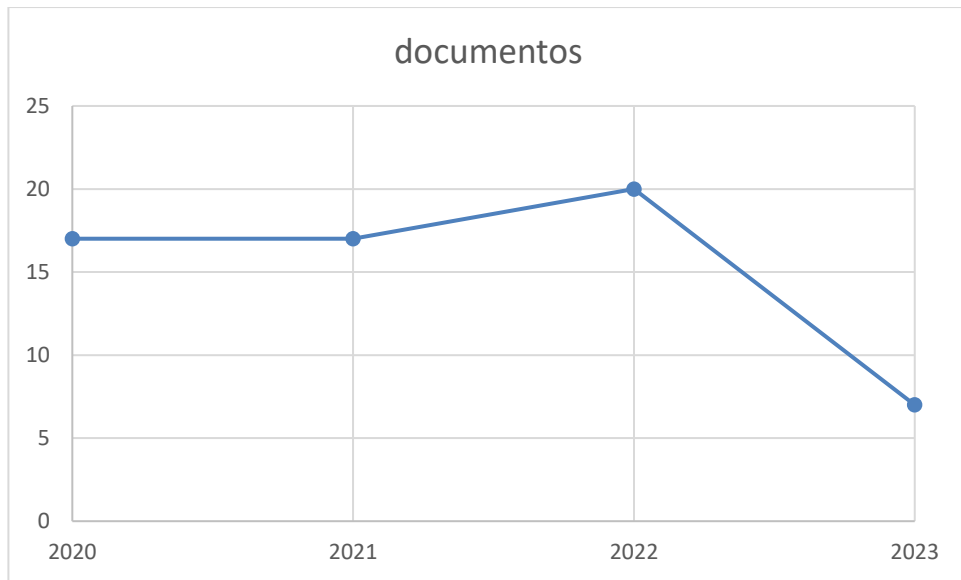
Se obtuvieron 96 resultados desde 2020 hasta hoy, donde en 2020 fue el año con más publicaciones con 21 documentos, el siguiente cayó la publicación y para el 2022 subió un poco la tendencia.

## IEEE Xplore

### Cadena de búsqueda: IOT AND bee

Se obtuvieron 61 resultados desde el 2020 hasta el presente año, donde el 2022 fue el año con más publicaciones a diferencia de los años anteriores, para los cuales tuvieron la misma cantidad de documentos: 17.

Figura 20. Gráfico de publicaciones de IOT en la apicultura IEE Xplore



Cadena de búsqueda: Sensors and beekeeping

Se obtuvieron 13 resultados desde 2020 hasta el presente año, donde el mayor número de publicaciones se tomaron del 2020 con 6 artículos y en los siguientes años hubo un decrecimiento respecto al anterior.

## 8.2 Síntesis del estado del arte

Síntesis del estado del arte

Tabla 2. Síntesis del estado del arte

SCOPUS					
IT E M	AUTOR	TITULO	AÑO	TÍTULO DE FUENTE	OBJETIVO
1	(Braga y otros, 2020)	A method for mining combined data from in-hive sensors, weather and apiary inspections to forecast the health status of honey bee colonies	2020	(2020) Computers and Electronics in Agriculture, 169, art. no. 105161	Desarrolla un método para calibrar un algoritmo de clasificación basado en un enfoque de aprendizaje automático supervisado, con el fin de estimar el estado de salud de las colonias de abejas.

2	(Braga y otros, 2023)	Prototyping a system for detection and notification of damage or theft in beehives	2023	Ecological Informatics Volume 75, July 2023, 102015	Implementa el uso de los métodos IoT como el monitoreo más exacto del entorno y la adecuada comunicación, con el fin de captar cualquier comportamiento anormal a las partes interesadas, para reducir el robo y/o vandalismo en las colmenas.
---	-----------------------	--	------	---	--

3	(Uthoff y otros, 2023)	Acoustic and vibration monitoring of honeybee colonies for beekeeping-relevant aspects of presence of queen bee and swarming	2023	Computers and Electronics in Agriculture Volume 205, February 2023, 107589	Describe los estudios que utilizan registros acústicos y de vibración para determinar la presencia de abejas reinas y los indicadores de enjambre. Con el fin de presentar los métodos y análisis comunes y las posibles dificultades para aumentar su uso en la apicultura.
---	------------------------	--	------	---	--

4	(Szczurek y otros, 2022)	Monitoring System Enhancing the Potential of Urban Beekeeping	2022	This article belongs to the Section Green Sustainable Science and Technology	Describe las capacidades del sistema de monitoreo automático, el cual cumple con los objetivos de la apicultura urbana. Con el fin de evidenciar que el conjunto de equipos optimo consta de un módulo sensor, cámaras de video, una unidad de adquisición de datos y un sistema de transmisión de datos, presentación y visualización.
---	--------------------------	---	------	--	---

5	(Sharif, 2022)	Monitoring honeybees (Apis spp.) (Hymenoptera: Apidae) in climate-smart agriculture: A review	2022	Applied Entomology and Zoology volume 57	Implementa el analisis de big data, IoT, sistemas de monitoreo basados en redes de sensores inalámbricos (WSN), aprendizaje automático y algoritmos de inteligencia artificial con el fin de innovar
---	----------------	---	------	--	--

6	(Stergios y otros, 2022)	Bee Sound Detector: An Easy-to-Install, Low-Power, Low-Cost Beehive Conditions Monitoring System	2022	This article belongs to the Special Issue Applications for Distributed Networking Systems	Desarrolla una solución integrada de bajo costo llamada BeeSD, con el fin de realizar el control de calidad de las colmenas. Incorpora la combinación de sensores de temperatura, humedad y sonido para el monitoreo en tiempo real.
---	--------------------------	--	------	---	--

7	(Wachowicz y otros, 2022)	Edge Computing in IoT-Enabled Honeybee Monitoring for the Detection of Varroa Destructor	2022	Volume & Issue: Volume 32 (2022) - Issue 3 (September 2022) - Recent Advances in Modelling, Analysis and Implementation of Cyber-Physical Systems (Special section, pp. 345-413), Remigiusz Wiśniewski, Luis Gomes and Shaohua Wan (Eds.)	Determina la necesidad de un diagnóstico inmediato, con el uso de dispositivos de Internet de las cosas (IoT) para aumentar significativamente la velocidad de detección de problemas de fácil propagación. Prevenir el contagio de enfermedades entre colmenas vecinas.
---	---------------------------	--	------	---	--

8	(Andrijević y otros, 2022)	IoT Monitoring and Prediction Modeling of Honeybee Activity with Alarm	2022	This article belongs to the Topic Computational Intelligence in Remote Sensing	Utiliza en los sistemas de la apicultura de precisión. Usando una estación base modular IoT que recopila una amplia gama de parámetros de sensores en la colmena y un contador de abejas en la entrada de la colmena.
---	----------------------------	--	------	--	---

9	(Bellino y otros, 2022)	An Integrated Multi-Sensor System for Remote Bee Health Monitoring	2022	2022 IEEE Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)	Implementa los sistemas de monitoreo inteligente que evalúan la salud de la colonia y la producción de miel. Se presento un prototipo de un sistema multisensor embebido para el monitoreo de colmenas con el objetivo de brindar una solución simple a los apicultores.
---	-------------------------	--	------	---	--

10	(Bratek y otros, 2021)	Energy-Efficient Wireless Weight Sensor for Remote Beehive Monitoring	2021	This article belongs to the Section Physical Sensors	Demuestra una metodología en el diseño preliminar con el fin de ahorrar los recursos energéticos que son escasos pero necesarios para la operación remota de una red inalámbrica de colmenas
IEEE XPLORE					
11	(Fiedler y otros, 2020)	Implementation of the Precision Beekeeping System for Bee Colony Monitoring in Indonesia and Ethiopia	2020	2020 21th International Carpathian Control Conference (ICCC)	Implementa el sistema de Precision Beekeeping incluyendo el desarrollo del hardware y software de monitoreo de las colonias de

					abejas con el fin de recopilar la información. Se centro en el desarrollo del sistema en dos países.
12	(Vyacheslav y otros, 2021)	Remote Data Acquisition System for Apiary Monitoring	2021	2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)	Describe un sistema de adquisición de datos para un apiario, que permite una evaluación oportuna del estado de las colonias de abejas.

13	(Nguyen y otros, 2022)	A method for automatic honey bees detection and counting from images with high density of bees	2022	2022 IEEE Ninth International Conference on Communications and Electronics (ICCE)	Verifica el conte de abejas con alta densidad de presencia frente a la entrada de la colmena. Esta es una situación común en una granja de abejas cuando los apicultores observan la apariencia de las abejas melíferas para monitorear su salud.
----	------------------------	--	------	---	---

14	(Machhame r y otros, 2020)	Visual Programmed IoT Beehive Monitoring for Decision Aid by Machine Learning based Anomaly Detection	2020	2020 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)	Demuestra que su herramienta se basa en un sistema de monitoreo de IoT que no solo recopila datos, sino que también detecta e informa anomalías como vandalismo o enfermedades en la colmena.
----	----------------------------------	--	------	---	---

15	(Anaghaa y otros, 2022)	Application of Wireless Sensor Networks for Advancements in Non Invasive Precision Beekeeping	2022	2022 IEEE International Conference on Data Science and Information System (ICDSIS)	Aprecia la inspección manual de la colmena, lo que se puede detectar visualmente al abrir la colmena. Método basado puramente en la experiencia del apicultor, por lo tanto, se encuentra sujeto al error humano.
----	-------------------------	---	------	--	---

16	(Johannsen y otros, 2020)	A DIY sensor kit, Gaussian Processes and a multi-agent system fused into a smart beekeeping assistant	2020	2020 16th International Conference on Intelligent Environments (IE)	Implementado por BeeObserver siendo datos abiertos sobre la colmena. Sincronizando con las mediciones de los sensores y las observaciones realizadas por los apicultores son recopiladas mediante una aplicación web.
----	---------------------------	---	------	---	---

17	(Buitrago y otros, 2020)	Development of A Data Acquisition System for Remote Monitoring of Environmental Variables in The Apis Mellifera Bee Hive	2020	2020 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)	Desarrolla un sistema de monitoreo remoto de temperatura interna y externa, humedad interna y externa, luminosidad y velocidad del viento en una colmena de abejas para generar un sistema de información básico para los apicultores.
----	--------------------------	--	------	--	--

18	(Senger y otros, 2020)	Unsupervised Anomaly Detection on Multisensory Data from Honey Bee Colonies	2020	2020 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM)	Soluciona la problemática que se genera al revisar la colmena generando estrés o alteraciones al estado de ánimo de las abejas. Configurando un sensor para recopilar datos multisensoriales dentro de la colonia de abejas y centrandose en la detección de valores atípicos en el flujo de datos como indicadores de situaciones
----	------------------------	---	------	--	--

					críticas durante el desarrollo de la colonia.
--	--	--	--	--	---

19	(Senger y otros, 2022)	Anomaly detection at the apiary: predicting state and swarming preparation activity of honey bee colonies using low-cost sensor technology	2022	2022 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)	Porpone un enfoque para una predicción automatizada de anomalías en las colonias de abejas melíferas que se centra en los eventos de enjambre, así como en el estado de salud de la colonia utilizando un bricolaje de bajo presupuesto.
----	------------------------	--	------	---	--

20	(Hong y otros, 2020)	Long-Term and Extensive Monitoring for Bee Colonies Based on Internet of Things	2020	IEEE Internet of Things Journal ( Volume: 7, Issue: 8, August 2020)	Desarrolla un sistema que pueda detectar cada hora múltiples características, como la temperatura y la humedad dentro de la colmena, el peso de los panales de abejas, los sonidos de la colonia de abejas y el número de abejas que pasan por la entrada de la colmena.
Google Académico					

21	(Garzón. 2022)	Diseño y desarrollo de un sistema de monitorización de colmenas utilizando arduino	2022	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática	Integra las tecnologías actuales como redes IoT, microcontroladores y sensorización con estructuras tradicionales como son los colmenares de abejas, probando un prototipo de colmena inteligente en un entorno real
22	(Mazuera, 2020)	Sistema de monitoreo para colmenas como herramienta de ayuda en el control de la calidad y la producción de la miel de	2020	AAF. Ingeniería Electrónica [28]	Desarrolla un sistema de monitoreo para colmenas como herramienta de ayuda en el control de la calidad y la producción de la miel de los apiarios de la Asociación Colombiana – APROMIEL

		los apiarios de la asociación colombiana -apromiel.			
--	--	---	--	--	--

23	(Echavarría y otros, 2022)	Sistema de monitoreo de un apiario basado en el internet de las cosas	2022	2022: Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2022	Implementa un sistema de monitoreo de un apiario basado en IOT ubicado en la universidad del Quindío, el cual permite al apicultor conocer el estado general de una colmena a través de una computadora o teléfono celular, reduciendo el número de visitas a las mismas y garantizando un ambiente apropiado para las abejas.
----	----------------------------	---	------	---	--

24	(Palacios y otros, 2020)	estudio de afectación de abejas en un apiario por extracción de apitoxina monitoreado por sistema automatizado de medición de variables.	2020	Revista Agropecuaria Y Agroindustrial La Angostura, 7	Investiga con un diseño experimental puro de tipo cuasiexperimental, donde hubo 3 grupos de colmenas experimentales y 1 grupo de control. Se instalo un sistema de monitoreo electrónico a las colmenas, reportando datos de temperatura, humedad, ingreso y salida de abejas, y un sistema de alarma por destapado.
----	--------------------------	--	------	---	--

25	(Cantor y otros, 2021)	Diseño y fabricación de un prototipo instrumentado de colmena que favorezca la manipulación de los apicultores y el confort productivo de las abejas en el apiario del Páramo Pan de Azúcar de la Corporación Tibairá del	2021	Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Diseña y fabrica un prototipo instrumentado de colmena que favorezca la manipulación de los apicultores y el monitoreo del confort productivo de las abejas.
----	------------------------	---	------	--	--

		departamen to de Boyacá			
26	(Meléndez y otros, 2020)	Sistema de monitoreo apícola mediante el uso de redes neuronales artificiales para identificar la	2020	Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Electrónica y	Implementa un sistema de monitoreo apícola mediante el uso de redes neuronales artificiales para identificar la variación de población.

		variación de población		Comunicaciones	
27	(Pérez y otros, 2021)	Prototipo electrónico para la medición de variables físicas de una colmena artificial de abejas Apis Melífera	2021	Unab Ingeniería Mecatrónica [263]	Diseña un sistema de instrumentación electrónica para medición de variables físicas dentro de una colmena artificial de abejas Apis melífera.

28	(Ramírez y otros, 2021)	Uso de sensores remotos en la crianza de abejas para la producción de miel y la conservación de polinizadores	2021	Universidad Santo Tomás Pregrado Administración Ambiental y de los Recursos Naturales [170]	Reconoce el uso de los sensores remotos en la optimización de procesos asociados con la crianza de abejas para fines productivos y de conservación
29	(Gainzara In y otros, 2021)	Bee-Smart: monitoreo remoto de colmenas. Diagnostico y acciones no presenciales.	2021	Universidad de la Republica Uruguay Facultad de Ingeniería	Diseña y Construye un sistema que permita al apicultor monitorear datos relevantes de las colmenas en un apiario y poder actuar sobre el mismo en tiempo real y de forma remota.

30	(Molina y otros, 2021)	Diseño de un sistema de monitoreo mecatrónico para la determinación de tiempos de cosecha de la miel en tiempo real	2021	Tesis de Mecatrónica	Diseña un sistema de monitoreo mecatrónico que notifique el progreso de producción de miel en las colmenas.
----	------------------------	---	------	----------------------	---

Como se puede evidenciar en la tabla anterior, se consultaron 30 artículos los cuales se seleccionaron por el nivel de implementación de tecnología afines a la electrónica y sobre temas importantes y pertinentes para este trabajo.

### **8.3 Análisis de tendencias en el estado del arte**

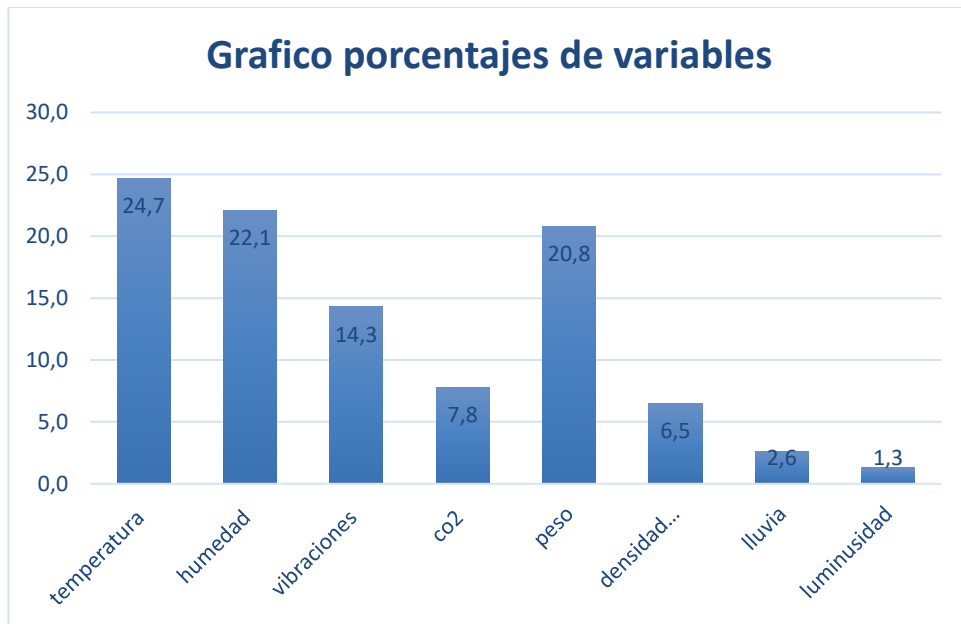
Tras clasificar la información y analizar las publicaciones y proyectos enfocados en las tecnologías IOT aplicadas a la apicultura, se presentará el análisis a variables usadas, dispositivos relevantes, sensores y sistemas embebidos implementados en los proyectos que ya hemos explicado ampliamente.

#### **Variables recolectadas e importantes en la apicultura**

Los datos fueron recolectados de los 30 artículos, tesis y proyectos, por lo cual se presentan, los resultados a continuación:

#### **Porcentajes de variables**

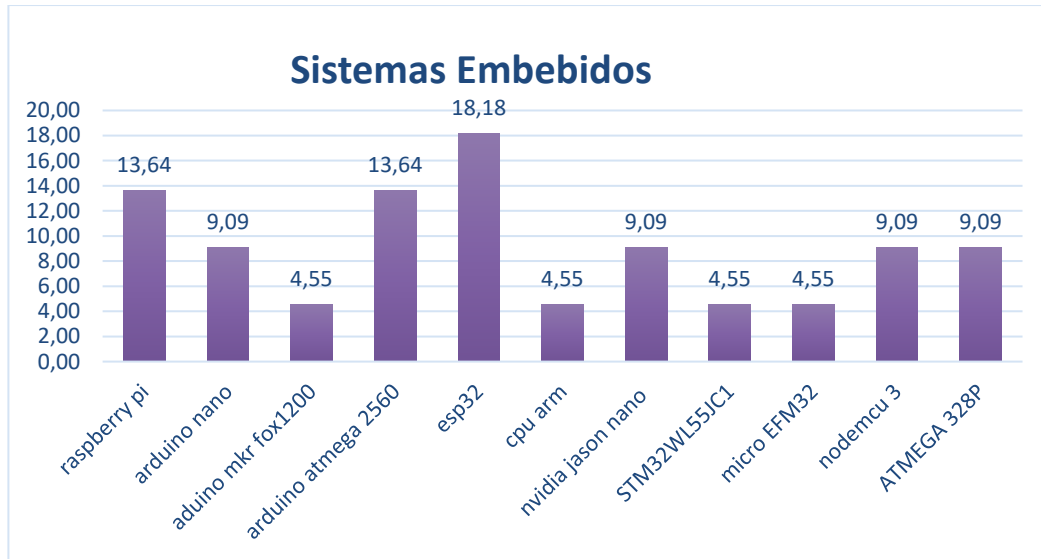
Figura 21. Gráfico porcentajes de variables



Como se puede observar en el gráfico de la figura No. 22 el porcentaje de las tres variables más importantes son temperatura, humedad y peso que representan el 67.6% en la cual se basaron las investigaciones y proyectos a nivel nacional e internacional para aplicar las tecnologías de IOT. La recolección es la revisión de variables mediante sensores y procesadas por sistemas, siendo estas las más importantes para tener un control adecuado de las colmenas pudiendo identificar la estabilidad y salud de las abejas correlacionada con la productividad de la colmena.

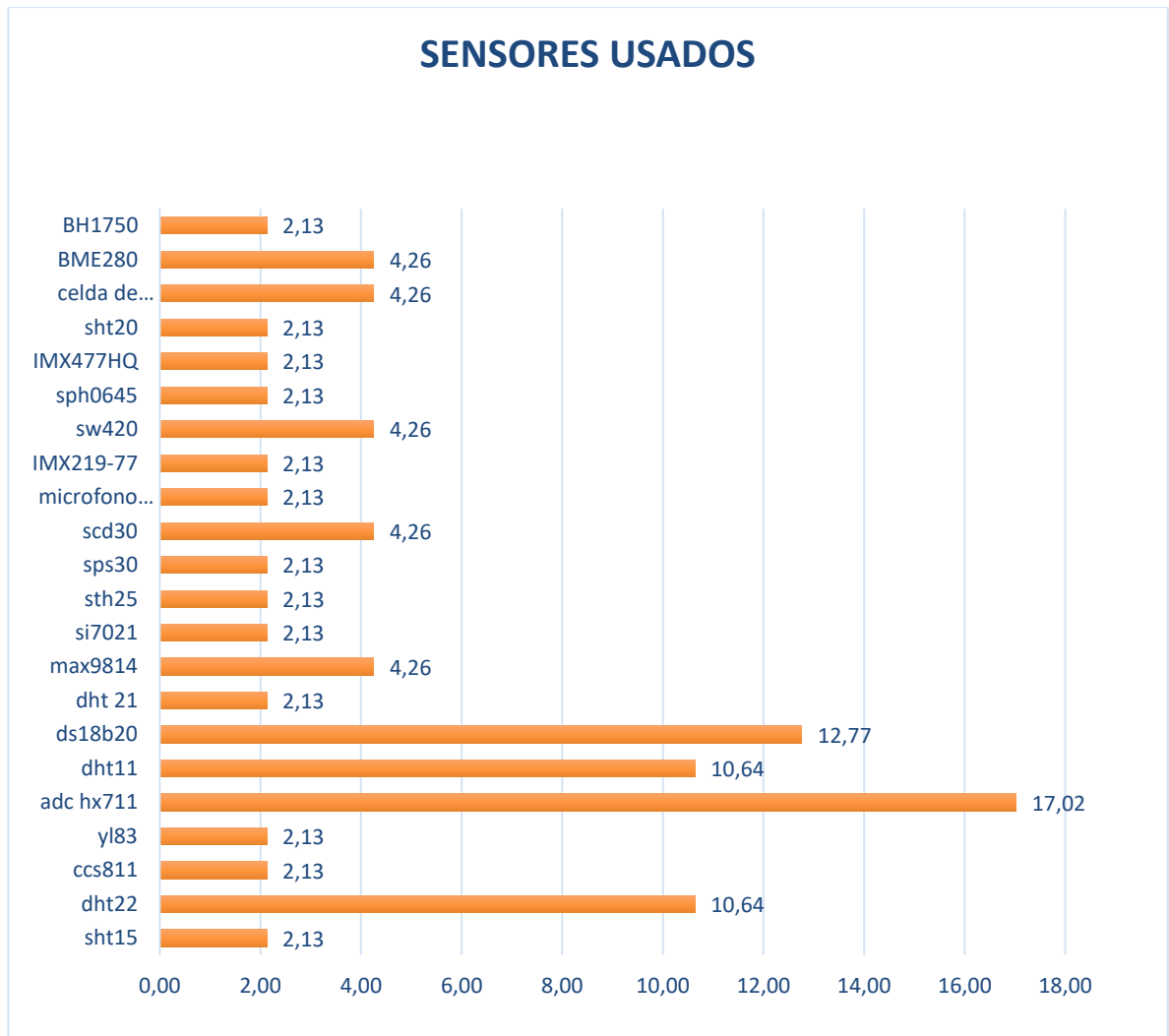
### **Sistemas embebidos usados**

Figura 22. Gráfico de sistemas embebidos usados



Como se puede observar en el gráfico de la figura 23, la tendencia del uso del sistemas embebido a nivel nacional e internacional es la esp32 con 18% seguida por la rap Berry pi y Arduino atmega con un porcentaje de 13.64% hay una tendencia en nuevos sistemas embebidos debido a la capacidad que se puede manejar con ellos que fueron los proyectos en los cuales intervenía el conteo poblacional el cual su desarrollo consistía en utilizar cámara de alta resolución lo que involucraba un procesamiento mucho mayor los cuales se destacaron nvidia Jasón nano y nodemcu 3 con el 9.09%.

Figura 23. Gráfico de sensores usados

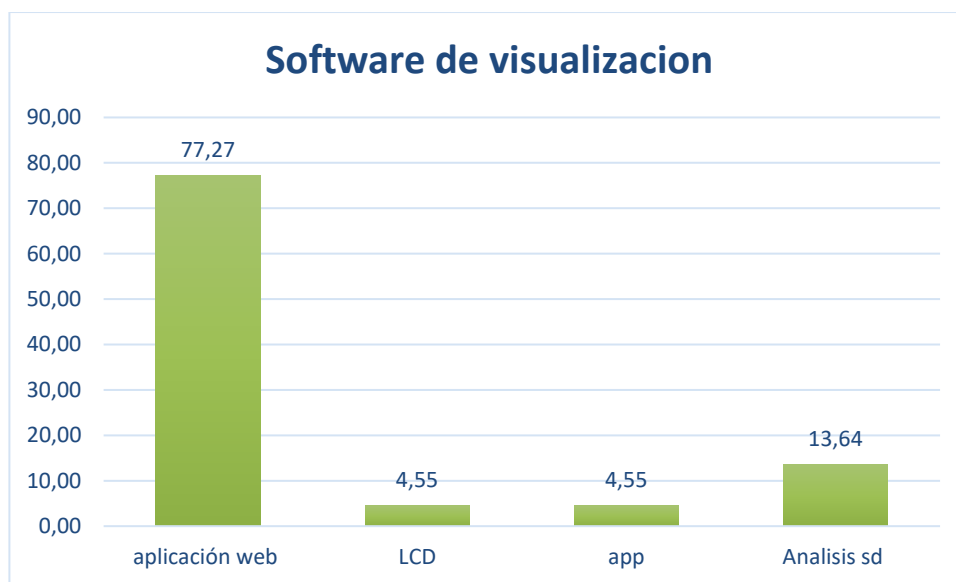


Como se puede verificar en la figura 24, los sensores usados a nivel nacional e internacional para la medición de las variables tenemos el hx711 convertidor análogo digital con las celdas de carga para evaluar el peso de la colmena con un 17.02% seguido del DS18B20 sensor de temperatura tipo termocupla con un 12.77% y un lugar más abajo los sensores de medición DHT22 Y DHT11 los cuales

miden las variables temperatura y humedad tiene el mismo valor de 10.64% estos sensores destacaron por su costo beneficio y la facilidad en la configuración sin la necesidad de sistemas robustos con muy buenos resultados.

### Software de visualización

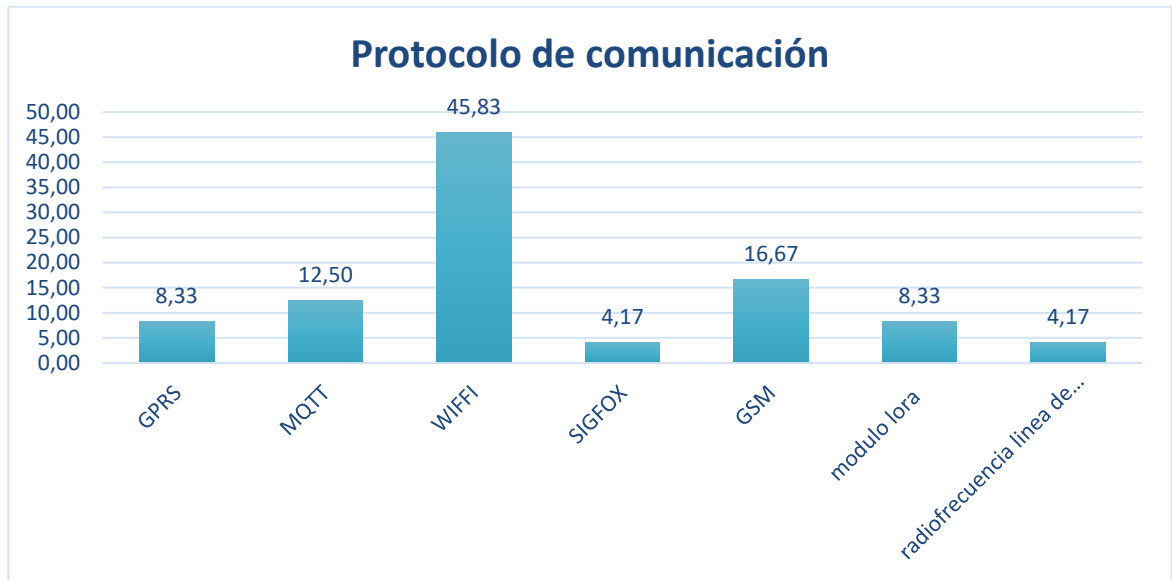
Figura 24. Gráfico software de visualización



Como se puede evidenciar en el gráfico de la figura 25, las aplicaciones web llevan la delantera hacia los demás sistemas de visualización con 77.27% esto es causado por el crecimiento que ha tenido en los últimos años el desarrollo de software y lo amigable que se ha vuelto a los protocolos de comunicación.

## Software de visualización

Figura 25. Gráfico protocolo de comunicación



Como se observa en la figura 26, el gráfico nos dice que el protocolo más usado internacional y nacional es el protocolo de comunicación WIFFI con un 45.83 %, siendo el más empleado, se generó por la facilidad de la información directamente en la red a una base de datos y de ahí solo llamar a la información procesada y establecerla en app web o aplicaciones móvil, seguido por el protocolo GSM, que su facilidad de conectarse a la red móvil, y en muchos lugares donde no hay acceso a internet es una solución a este problema.

## 9. Trabajos a futuro y campos de acción

Aún quedan desafíos que enfrenta la apicultura en el uso de internet, estos problemas se dividieron en: procesamiento de señales acústicas, inteligencia artificial, consumo de energía y hardware.

**Señales acústicas:** Es un tema del que aún falta mucha información por abordar, debido a que los estudios realizados siguen el método general que es colocar el sensor e interpretar datos; por lo cual, se podrían con los nuevos avances en tecnología como la inteligencia artificial, big data y redes neuronales; potencializar las colmenas inteligentes. Aunque dicha aplicación requiera incluir sistemas más robustos, los beneficios aumentarían, sobre todo en la toma de decisiones tempranas, al interpretar adecuadamente las señales acústicas al interior de la colmena, prediciendo problemas causados por el abandono de la reina a la colmena y ataques externos de otros animales.

**Inteligencia artificial:** La inteligencia artificial ha llegado para revolucionar el mundo y entre las ramas de aplicación no podía ser la excepción las colmenas inteligentes, las cuales, con la aplicación de big data permiten el análisis de muchos datos entre ellos diferentes condiciones ambientales, ubicaciones a nivel mundial de cada una de las colmenas, como también el aprendizaje automático y toma de decisiones acertadas en tiempos cortos.

**Consumo de energía:** Este es un tema importante considerando que las colmenas están expuestas a condiciones climáticas adversas por sus ubicaciones, al encontrarse en medio de la naturaleza, alejadas de caminos o lugares concurridos. Esto constituye un desafío porque la tecnología empleada requiere una fuente cercana y constante de energía que la mayoría de estos lugares no posee, así que una forma práctica de conseguirla sería mediante paneles solares, energía eólica, biomasa entre otras.

**Hardware:** Es necesario el uso de componentes electrónicos los cuales permiten la adquisición de los datos, su procesamiento para ser enviados con posterioridad; estos componentes van ubicados en el lugar donde se encuentran las colmenas que como se ha descrito en este trabajo, son lugares bajo condiciones ambientales adversas; por lo tanto, se requiere disminuir el consumo de energía y optimizar para ese tipo de circunstancias, los cuales en el mercado son muy limitados. Los componentes empleadores en los proyectos son de uso general adaptados.

En consecuencia, los desafíos futuros en la apicultura usando el internet de las cosas (IOT) se centran en áreas como el consumo de energía, la inteligencia artificial y el procesamiento de señales acústicas. Estos aspectos requieren investigaciones y desarrollos adicionales para mejorar la eficiencia y precisión de los sistemas de monitoreo generados; para generar análisis de señales acústicas adecuadas en las colmenas prometedoras para detectar la presencia de abejas

reina; no obstante, aún existen desafíos en cuanto a robustez y generalización de los algoritmos utilizados.

Por lo cual, es necesario encontrar características más adecuadas y desarrollar algoritmos más efectivos para aplicar en diferentes colmenas. Es, aquí donde el uso de inteligencia artificial y big data intervienen en la apicultura al permitir analizar grandes volúmenes de datos y obtener modelos de mejor ajuste.

Sin embargo, la interpretación de los resultados y la correlación adecuada de los parámetros siguen siendo desafíos importantes. Por lo tanto, la integración de enfoques de aprendizaje automático y mecanicistas basados en hipótesis puede ser una solución viable, y para la implementación de estos sistemas robustos es relevante la elección de componentes electrónicos óptimos para la adquisición y envío de datos es fundamental en la monitorización de las abejas.

Existen opciones limitadas en el mercado, no hay un término medio, porque son muy especializados y robustos o no cumplen con las características para el entorno en donde se ubican las colmenas, por lo que se debe buscar la integración perfecta en los sistemas para garantizar un funcionamiento eficiente.

Por último, el consumo de energía es crucial en los sistemas de monitoreo apícola, en congruencia con estos dispositivos que deben funcionar durante largos periodos sin alimentación externa. El rendimiento de las baterías y su capacidad de

almacenamiento son factores clave en el desarrollo y rendimiento de los dispositivos.

## **10.Conclusiones**

La investigación realizada demuestra que una solución eficiente para la protección de las abejas como productoras de miel y como especie, es el uso de tecnología de internet de las cosas integrada a los cultivos apícolas. En ese contexto la IOT ha permitido que los cultivos apícolas tengan mayor producción de miel y expansión a nivel nacional e internacional, tanto así, que año tras año aumentan las investigaciones académicas, el desarrollo de proyectos, la generación de políticas internacionales, y el apoyo en los planes de gobiernos y desarrollos científicos.

En esta investigación se logró apreciar la importancia que tienen los sistemas embebidos como arduino, raspberry pi, y esp32, que permiten una mejor integración con los sensores y actuadores de fácil despliegue que a su vez integra con protocolos de comunicación como WiFi, GSM y Lora que son los encargados de enviar y recibir los datos para su procesamiento y visualización en diferentes dispositivos de visualización.

Esto permite desarrollar sistemas de control y monitoreo de las colmenas facilitando que los apicultores tomen decisiones en su protección e incentivando a otros a producir miel, atacando el principal factor de baja producción de miel y cultivos apícolas. Evitando las rondas a los cultivos de manera presencial disminuyendo traumatismos a las abejas y sobre costos en la producción de productos apícolas.

Finalmente, se resalta que actualmente con el desarrollo de la inteligencia artificial y el análisis de big data se trabaja arduamente en el mejoramiento de la calidad de vida de las abejas como, alimentación, mejoramiento de hábitat y conciencia ciudadana de la importancia de las abejas para el mundo, debido a que conforme avanza la tecnología, nuevos retos se presentan y deben ser cubiertos en las áreas anteriormente mencionadas, dando este enfoque a las tecnologías del internet de las cosas aplicados al monitoreo en la apicultura a nivel nacional e internacional.

## 11. Bibliografía

Andrijević, N.; Urošević, V.; Arsić, B.; Herceg, D.; Savić, B. IoT Monitoring and Prediction Modeling of Honeybee Activity with Alarm. *Electronics* **2022**, 11, 783. <https://doi.org/10.3390/electronics11050783>

Apkpure.com. Recuperado el 24 de septiembre de 2023, de <https://apkpure.com/hivetool-mobile-beekeeping/com.hivetoolmobile>

Arduino Mega 2560. (s/f). Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea. Recuperado el 24 de septiembre de 2023, de <https://arduino.cl/producto/arduino-mega-2560/>

BARROSO, C. Las colmenas 4.0 dan una nueva vida a la apicultura. Obtenido de ABC Economía, (18 de julio de 2022) :<https://www.abc.es/economia/colmenas-nueva-vida-apicultura-20220718202622-nt.html>

Braga, A. R., Fontenele, T. A., Al-Alam, W. G., & De Carvalho Silva, J. (2023). Prototyping a system for detection and notification of damage or theft in beehives. *Ecological Informatics*, 75, 102015. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102015>

Bratek, P.; Dziurdzia, P. Energy-Efficient Wireless Weight Sensor for Remote Beehive Monitoring. *Sensors* **2021**, 21, 6032. <https://doi.org/10.3390/s21186032>

B. L. D. Carolina, C. M. E. Dajanna, C. B. N. Katherine and R. R. I. Adonayt, "Development of A Data Acquisition System for Remote Monitoring of Environmental Variables in The Apis Mellifera Bee Hive," 2020 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), Ixtapa, Mexico, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ROPEC50909.2020.9258695.

C. Johannsen, D. Senger and T. Kluss, "A DIY sensor kit, Gaussian Processes and a multi-agent system fused into a smart beekeeping assistant," 2020 16th International Conference on Intelligent Environments (IE), Madrid, Spain, 2020, pp. 92-99, doi: 10.1109/IE49459.2020.9154974.

CARACOL RADIO. (2021). Obtenido de Sector apícola entre los que más crecieron en 2020 a pesar de la pandemia: [https://caracol.com.co/radio/2021/02/16/economia/1613464635\\_950649.html](https://caracol.com.co/radio/2021/02/16/economia/1613464635_950649.html)

CHAVES LADINO, R. En Influencia del nivel tecnológico en la productividad y competitividad de apicultores en Cundinamarca. UNAD. (2022). Obtenido de Influencia del nivel tecnológico en la productividad y competitividad de apicultores en Cundinamarca: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81283/10160291082022.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

HERNÁNDEZ Cristián, Ciencia y tecnología para cuidar a nuestras Abejas. (2020, junio 4), <https://cristianhernandez.org/blog/ciencia-y-tecnologia-paracuidar-a-nuestras-abejas/>

DEL VALLE HERNÁNDEZ, L. DS18B20 sensor de temperatura para líquidos con Arduino. Programar fácil con Arduino. (2017, septiembre 12) <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/>

Digikey.com. Recuperado el 24 de septiembre de 2023, de <https://www.digikey.com/es/articles/how-to-select-and-use-the-right-esp32-wifi-bluetooth-module> Disponible en Internet: <http://productos-iot.com/sigfox-3/>

DOMINGUEZ, R. Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad. CEPAL. (2019). El país: propuesta de la San Martín: <https://www.sanmartin.edu.co/1/noticias/apicultura-como-motor-de-la-seguridad-alimentaria-del-pais-propuesta-san-martin/>

D. Senger, C. Johannsen and T. Kluss, "Anomaly detection at the apiary: predicting state and swarming preparation activity of honey bee colonies using low-cost sensor technology," 2022 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech), Corona, CA, USA, 2022, pp. 1-7, doi: 10.1109/SusTech53338.2022.9794223.

Enfermedades de las abejas. (2021, marzo 23). OMSA - Organización Mundial de Sanidad Animal; World Organisation for Animal Health. <https://www.woah.org/es/enfermedad/enfermedades-de-las-abejas/>

F. Bellino, G. Turvani, U. Garlando and F. Riente, "An Integrated Multi-Sensor System for Remote Bee Health Monitoring," 2022 IEEE Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), Perugia, Italy, 2022, pp. 334-338, doi: 10.1109/MetroAgriFor55389.2022.9965130.

FRACKIEWICZ, M. Los beneficios de la agricultura de precisión para la apicultura de precisión. TS2 SPACE. (2023, mayo 28). <https://ts2.space/es/los-beneficios-de-la-agricultura-de-precision-para-la-apicultura-de-precision/>

Inteligencia artificial en la apicultura: los dispositivos y aplicaciones que cambiarán el mundo apícola. (2022, abril 21). Apicultura y miel. <https://apiculturaymiel.com/tecnologia/inteligencia-artificial-en-la-apicultura-dispositivos-aplicaciones-cambiaran-mundo-apicola/>

H. C. Nguyen et al., "A method for automatic honey bees detection and counting from images with high density of bees," 2022 IEEE Ninth International Conference

on Communications and Electronics (ICCE), Nha Trang, Vietnam, 2022, pp. 406-411, doi: 10.1109/ICCE55644.2022.9852024.

IOT PARA SALVAR ABEJAS. (2021). Obtenido de <https://www.nobbot.com/futuro/colmenas-inteligentes/#:~:text=El%20proyecto%20de%20colmenas%20inteligentes,el%20peso%20de%20los%20panales>.

IVARS, J. Monitorización de colmenas: Como, cuando y que parámetros controlar. Blog de Apicultura - La Tienda del Apicultor; La Tienda del Apicultor. (2020, marzo 13). <https://www.latiendadelapicultor.com/blog/monitorizacion-de-colmenas/>

Kiromitis, D.I.; Bellos, C.V.; Stefanou, K.A.; Stergios, G.S.; Katsantas, T.; Kontogiannis, S. Bee Sound Detector: An Easy-to-Install, Low-Power, Low-Cost Beehive Conditions Monitoring System. *Electronics* **2022**, 11, 3152. <https://doi.org/10.3390/electronics11193152>

Kulyukin, V.; Tkachenko, A.; Price, K.; Meikle, W.; Weiss, M. Integration of Scales and Cameras in Nondisruptive Electronic Beehive Monitoring: On the Within-Day Relationship of Hive Weight and Traffic in Honeybee (*Apis mellifera*) Colonies in Langstroth Hives in Tucson, Arizona, USA. *Sensors* **2022**, 22, 4824. <https://doi.org/10.3390/s22134824>

LEÓN, C. Diseño y construcción de una colmena Flow Hive automatizada mediante la aplicación de aspectos de Industria 4.0 que permita modernizar el proceso de extracción de miel con una mayor rapidez y seguridad. Latacunga - Ecuador: Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica. (2022).

LIZCANO, R. (s.f.). Obtenido de PERSPECTIVAS DE INNOVACIÓN EN LA TECNOLOGÍA APÍCOLA APOYADA EN COMPUTACIÓN MÓVIL:

[http://www.udi.edu.co/congreso/historial/congreso\\_2010/ponencias/sistemas/04\\_RafaLizcano\\_JavierMedina\\_AlbertoCastellanos.pdf](http://www.udi.edu.co/congreso/historial/congreso_2010/ponencias/sistemas/04_RafaLizcano_JavierMedina_AlbertoCastellanos.pdf)

M66-DS. (s/f). Sigma Electrónica. Recuperado el 24 de septiembre de 2023, de <https://www.sigmaelectronica.net/producto/m66-ds/>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Obtenido de MinAgricultura socializa Proyecto de Ley con el que se busca proteger y fortalecer la apicultura colombiana: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/minagricultura-socializa-proyecto-de-Ley-con-el-que-se-busca-protger-y-fortalecer-la-apicultura-colombiana-.aspx>

MMA7361 Sensor Acelerómetro. (2015, mayo 20). HeTPro-Tutoriales. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/mma7361-sensor-acelerometro/>

Mokolora.com. Recuperado el 24 de septiembre de 2023, de <https://www.mokolora.com/es/what-is-a-lora-module/>

Newark.com. Recuperado el 24 de septiembre de 2023, de <https://www.newark.com/es/sensirion/sht25/humidity-temp-sensor-digital-dfn/dp/20T1173>

Novedades. (s/f). Uned.es. Recuperado el 24 de septiembre de 2023, de <http://open.ieec.uned.es/iot/novedades/>

ONU. (18 de 05 de 2022). ONU Programa para el medio ambiente. Obtenido de Por qué las abejas son esenciales para las personas y el planeta: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/por-que-las-abejas-son-esenciales-para-las-personas-y-el-planeta>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). Obtenido de Es hora de apreciar la labor de los polinizadores: <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1129811/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Obtenido de La reducción de la población de abejas es una amenaza para la seguridad alimentaria y la nutrición: <https://www.fao.org/news/story/es/item/1194963/icode/>

¿QUÉ ES el MQTT? - Explicación del protocolo MQTT - AWS [Anónimo]. Amazon

¿Qué es la Internet de las cosas? Definición y explicación. (2023, abril 19). <https://latam.kaspersky.com/resourcecenter/definitions/what-is-iot>

¿Qué es Raspberry Pi? (2019, febrero 14). Raspberry Pi; MCI Electronics. <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>

R. Anaghaa, H. Guha, C. G. Raghavendra, H. H. Adithya and H. J. Lekhashree, "Application of Wireless Sensor Networks for Advancements in Non Intrusive Precision Beekeeping," 2022 IEEE International Conference on Data Science and Information System (ICDSIS), Hassan, India, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICDSIS55133.2022.9915828.

R. Machhamer y otros, "Visual Programmed IoT Beehive Monitoring for Decision Aid by Machine Learning based Anomaly Detection," 2020 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Budva, Montenegro, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/MECO49872.2020.9134323.

Szczurek, A., Maciejewska, M., & Batog, P. (2023). Monitoring System Enhancing the Potential of Urban Beekeeping. *Applied Sciences*, 13(1), 597. <https://doi.org/10.3390/app13010597>

S. Fiedler y otro, "Implementation of the Precision Beekeeping System for Bee Colony Monitoring in Indonesia and Ethiopia," 2020 21th International Carpathian Control Conference (ICCC), High Tatras, Slovakia, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCC49264.2020.9257278.

SALAS PÉREZ , M. C. (2021). PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES FÍSICAS DE UNA COLMENA ARTIFICIAL DE ABEJAS APIS MELÍFERA. Bucaramanga: Universidad Autonoma de Bucaramanga.

SAN MARTÍN. (2021). Obtenido de La apicultura como motor de la seguridad alimentaria

SCD-30 - Sensor NDIR de CO2 temperatura y humedad. (s/f). Electronilab. Recuperado el 24 de septiembre de 2023, de <https://electronilab.co/tienda/scd-30-sensor-ndir-de-co2-temperatura-y-humedad/>

Sensor De Humedad Y Temperatura DHT22 Arduino. (2021, febrero 19). Todomicro. <https://www.todomicro.com.ar/arduino/225-sensor-de-humedad-y-temperatura-dht22-arduino.html>

Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11. (s/f). Naylamp Mechatronics - Perú. Recuperado el 24 de septiembre de 2023, de <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/57-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11.html>

Sensor de temperatura y humedad Sparkfun - SHT15. (s/f). Electrofun. Recuperado el 24 de septiembre de 2023, de <https://www.electrofun.pt/es/sensores-termicos-y-humedad/sensor-de-temperatura-y-humedad-sparkfun-sht15>

Sharif, M.Z., Di, N. & Liu, F. Monitoring honeybees (*Apis* spp.) (Hymenoptera: Apidae) in climate-smart agriculture: A review. *Appl Entomol Zool* **57**, 289–303 (2022). <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1007/s13355-021-00765-3>

SIGFOX [Anónimo]. Productos IOT [página web]. [Consultado el 19, julio, 2023].

Telcel. (s/f). La salvación de las abejas llegó con el IoT. Telcel.com. Recuperado el 24 de septiembre de 2023, de <https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/salvar-abejas-con-iot-y-colmenas-inteligentes>

TEMPERATURA EN LA COLMENA - Agrupación de Defensa Sanitaria Apícola de la Región de Murcia. (2017, febrero 6). Agrupación de Defensa Sanitaria Apícola de la Región de Murcia. <https://apicultoresmurcia.es/blog/2017/02/06/temperatura-en-la-colmena/>

The Hiveeyes Developers. (s/f). The Hiveeyes Project. The Hiveeyes Project. Recuperado el 24 de septiembre de 2023, de <https://www.hiveeyes.org/> Web Services, Inc. [página web]. [Consultado el 19, julio, 2023]. Disponible en Internet: <https://aws.amazon.com/es/what-is/mqtt/>

Uthoff, C., Homsí, M. N., & Von Bergen, M. (2023). Acoustic and vibration monitoring of honeybee colonies for beekeeping-relevant aspects of presence of queen bee and swarming. *Computers And Electronics In Agriculture*, 205, 107589. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107589>

V. G. Rybin, E. A. Rodionova, A. I. Karimov, E. E. Kopets and E. S. Chernetskiy, "Remote Data Acquisition System for Apiary Monitoring," 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), St. Petersburg, Moscow, Russia, 2021, pp. 1 059-1062, doi: 10.1109/EIConRus51938.2021.9396576.

Wachowicz, Anna, Pytlik, Jakub, Małysiak-Mrozek, Bożena, Tokarz, Krzysztof and Mrozek, Dariusz. "Edge Computing in IoT–Enabled Honeybee Monitoring for the Detection of Varroa Destructor" International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, vol.32, no.3, 2022, pp.355-369. <https://doi.org/10.34768/amcs-2022-0026>

Webmaster\_eco. (2023, enero 5). La alimentación de las abejas Apis mellifera. Ecocolmena; Asociación Ecocolmena. <https://www.ecocolmena.org/la-alimentacion-de-las-abejas-apis-mellifera/>

W. Hong, B. Xu, X. Chi, X. Cui, Y. Yan and T. Li, "Long-Term and Extensive Monitoring for Bee Colonies Based on Internet of Things," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 8, pp. 7148-7155, Aug. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.2981681.

Wikipedia contributors. (s/f). NodeMCU. Wikipedia, The Free Encyclopedia. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=NodeMCU&oldid=149903163>