

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR,  
MODALIDAD DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**TEMA:**

**“SISTEMA IOT PARA MEDICIÓN DE VARIABLES  
AMBIENTALES EN APICULTURA”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Producción Industrial y Tecnología Sostenible

**AUTOR:** Daniela Vanessa Muñoz Hernández

**DIRECTOR:** Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD

Ibarra – Febrero – 2024



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004608350		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Muñoz Hernández Daniela Vanessa		
DIRECCIÓN:	Gral. José María Córdova y Dr. Luis Cristóbal Tobar Subia		
EMAIL:	<a href="mailto:dvmunozh@utn.edu.ec">dvmunozh@utn.edu.ec</a>		
TELÉFONO FIJO:	-	TELÉFONO MÓVIL:	0939737684

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Sistema IOT para medición de variables ambientales en apicultura
AUTOR (ES):	Daniela Vanessa Muñoz Hernández
FECHA: DD/MM/AAAA	08/02/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Xavier Rosero, PhD - Ing. Milton Gavilánez , MSc.

#### 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 08 días del mes de febrero de 2024

EL AUTOR:

(Firma).....  
Nombre: Daniela Muñoz Hernández

# CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 08 de Febrero de 2024

Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de titulación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Unidad Académica de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

  
.....  
Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD.  
C.C.:100251582-1

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Tribunal Examinador del trabajo de titulación “SISTEMA IOT PARA MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES EN APICULTURA” elaborado por Daniela Vanessa Muñoz Hernández, previo a la obtención del título del Ingeniero en Mecatrónica, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f): .....  .....  
Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi, PhD.

(f): .....  .....  
Ing. Milton Alejandro Gavilánez Villalobos, MSc.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, quién me ha regalado el don de la vida  
y me ha dado la fortaleza para enfrentar cualquier obstáculo.

A mis padres Danilo Muñoz y Rubiela Hernández, por su apoyo incondicional durante esta etapa. Sin duda alguna la vida nos sorprendió a todos, trajo consigo enseñanzas y nuevos retos, sin embargo, son y serán siendo mi pilar y ejemplo de superación.

A mi hermana Antonella, gracias por cada palabra de aliento y ser mi compañera de vida y travesuras.

A todos quiénes de una u otra manera me brindaron su apoyo en los momentos que parecía que todo estaba perdido.

*Daniela Muñoz Hernández*

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte por abrirme sus puertas y a mis docentes por su invaluable apoyo en mi formación académica y profesional.

De igual manera, a mi tutor el Ing. Carlos Xavier Rosero por su labor como guía en el desarrollo de este trabajo.

A mi tía Graciela Muñoz, por su predisposición y apoyo en la ejecución del proyecto.

*Daniela Muñoz Hernández*

## RESUMEN

La apicultura es una actividad de gran importancia ya que genera diferentes tipos de emprendimiento y a su vez contribuye a la preservar el medio ambiente. En Ecuador, esta actividad se la realiza en todas las regiones, no obstante, la región sierra en el lugar con más producción de miel por su amplia flora melífera. Actualmente la apicultura se la sigue realizando de manera tradicional por lo que el apicultor, mantiene tiene contacto directo con la colmena, provocando de esta manera irritabilidad o estrés en las abejas.

Debido a los cambios ambientales, los apicultores modifican las técnicas apícolas, de esta manera se ven obligados a mantener un monitoreo de la salud de las colmenas mediante inspecciones, sin embargo, muchas de las veces estas visitas no son realizadas de manera frecuente por lo que en ocasiones las colmenas enferman y mueren. Una solución a esta problemática es el empleo de la apicultura de precisión, es decir la implementación de un sistema IoT.

Este diseño consiste en emplear un sensor que monitore las principales variables ambientales en la apicultura tales como temperatura y humedad. Los datos obtenidos son procesados por un microcontrolador ESP32, posteriormente se visualizan mediante una aplicación y conexión WIFI en el celular del apicultor. La aplicación envía notificaciones sobre el estado de la colmena tomando en consideración los valores de temperatura y la humedad.

A través de pruebas de funcionamiento se verifica el óptimo funcionamiento del sistema mediante un análisis estadístico con una precisión de humedad y temperatura. Además, para comprobar su rendimiento se toma en cuenta el tiempo de retardo de propagación, en este caso se comprueba que existe buena conexión y la diferencia entre tiempos depende de la congestión de la red. El proyecto presenta soluciones a problemas en el cuidado y salud de una colmena en un emprendimiento familiar.

## **ABSTRAC**

Beekeeping is an activity of great importance since it generates different types of entrepreneurship and in turn contributes to the preservation of the environment. In Ecuador, this activity is carried out in all regions, however, the mountain region is the place with the most honey production due to its extensive honey flora. Currently, beekeeping is still carried out in a traditional way, so the beekeeper maintains direct contact with the hive, thus causing irritability or stress in the bees.

Due to environmental changes, beekeepers modify beekeeping techniques, in this way they are forced to maintain a monitoring of the health of hives through inspections, however, many of the times these visits are not carried out frequently so sometimes hives get sick and die. A solution to this problem is the use of precision beekeeping, i.e. the implementation of an IoT system.

This design consists of using a sensor that monitors the main environmental variables in beekeeping such as temperature and humidity. The data obtained are processed by a microcontroller ESP32, then visualized through an application and WIFI connection in the beekeeper's cell phone. The app sends notifications about the status of the hive taking into consideration the temperature and humidity values.

The optimal functioning of the system is verified by means of a statistical analysis with an accuracy of humidity and temperature. In addition, to check its performance, the propagation delay time is taken into account, in this case it is verified that there is a good connection and the difference between times depends on the network congestion. The project presents solutions to problems in the care and health of a beehive in a family enterprise.

# Índice

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del Problema .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.1.1 General .....	2
1.1.2 Específicos .....	2
1.3. Justificación .....	2
1.4. Alcance .....	3
2. REVISIÓN LITERARIA .....	4
2.1. Antecedentes .....	4
2.2. Apicultura .....	5
2.1.1 Sector apícola en Ecuador .....	6
2.3. Colmena .....	6
2.1.2 Reina .....	7
2.1.3 Zánganos .....	7
2.1.4 Obreras .....	8
2.4. Producción de miel .....	9
2.5. Prácticas de manejo de colmenas y apiarios .....	10

2.1.5	Revisión de rutina .....	10
2.6.	Salud de la colmena .....	12
2.1.6	Posibles amenazas a la colmena .....	13
2.1.7	Variables ambientales que influyen en el estado de salud de las abejas.....	13
2.7.	Apicultura de precisión.....	15
2.1.8	IoT en apicultura.....	16
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	18
3.1.	Modelo de la Investigación.....	18
3.2.	Resultados esperados .....	18
3.3.	Diseño de la Investigación .....	18
3.3.1.	Fase 1: Identificación de las variables ambientales en apicultura .....	18
3.3.2.	Fase 2: Diseño de la arquitectura y su interacción dentro de IoT .....	19
3.3.3.	Fase 3: Comprobación del funcionamiento .....	19
3.4.	Especificaciones del sistema a diseñar .....	20
3.5.	Arquitectura IoT.....	20
3.5.1.	Sistema Local.....	21
3.5.2.	Sistemas de adquisición de datos (Nube).....	25
3.5.3.	Aplicación Móvil .....	26
3.5.4.	Sistema de alimentación de energía.....	28
4.	RESULTADO Y ANÁLISIS.....	32

4.1.	Análisis de la Implementación del Sistema .....	32
4.1.1.	Implementación y Configuración del Sistema.....	32
4.1.2.	Funcionamiento del Sistema Fotovoltaico.....	35
4.2.	Recolección y Análisis de Datos de las Variables Ambientales.....	42
4.2.1.	Presentación de los Datos Recolectados y Análisis en MATLAB .....	42
4.2.2.	Comparación con Rangos Óptimos .....	48
4.3.	Análisis General.....	50
4.4.	Evaluación del Impacto del Sistema en la Apicultura .....	51
4.4.1.	Mejora en la Salud de las Colmenas .....	51
4.4.2.	Aumento de la Productividad.....	51
4.4.3.	Eficiencia Operativa.....	52
4.4.4.	Impacto Económico .....	52
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	53
5.1.	Conclusiones.....	53
5.2.	Recomendaciones .....	54
	REFERENCIAS.....	55
	ANEXOS .....	61

# Lista de Tablas

Tabla 2. 1 Diagnóstico en la revisión externa de la colmena.....	11
Tabla 2. 2 Diagnóstico en la revisión interno de la colmena. ....	12
Tabla 3. 1 Características comparativas de los sensores de temperatura y humedad. ....	22
Tabla 3. 2 Características de la ESP32 .....	23
Tabla 3. 3 Consumo de Corriente de elementos .....	28
Tabla 4. 1 Datos monitoreados de las variables ambientales.....	38
Tabla 4. 2 Cálculo del error absoluto y porcentual.....	39
Tabla 4. 3 Tabla de resultados de las variables monitoreadas.....	40
Tabla 4. 4 Tiempo de retardo propagación.....	41

# Índice de figuras

Figura 2. 1 Abeja reina de la colmena . . . . .	7
Figura 2. 2 Zángano, el único macho de la colmena . . . . .	8
Figura 2. 3 Obrera de la colmena, encargada de distintas funciones . . . . .	8
Figura 2. 4 Proceso de producción de la miel . . . . .	9
Figura 2. 5 Inspección tradicional del apicultor a la colmena . . . . .	12
Figura 2. 6 Colmena echada a perder debido a la presencia de humedad. . . . .	14
Figura 2. 7 Características de IoT. . . . .	17
Figura 3. 1 Arquitectura IoT de la solución propuesta. . . . .	21
Figura 3. 2 Sensor DHT2 . . . . .	23
Figura 3. 3 Pines de la ESP32 y sus funciones . . . . .	24
Figura 3. 4 Conexión del sensor a la ESP32. . . . .	24
Figura 3. 5 Registro en la plataforma de ThingSpeak . . . . .	25
Figura 3. 6 Campos implementados en ThingSpeak. . . . .	26
Figura 3. 7 ID y key del canal Apicultura. . . . .	26
Figura 3. 8 Aplicación Beekeeping App. . . . .	27
Figura 3. 9 Conexión del sistema fotovoltaico. . . . .	31
Figura 4. 1 Instalación del panel solar. . . . .	33
Figura 4. 3 Elementos implementados en la caja de protección. . . . .	34
Figura 4. 4 Utilización del humidificador para la manipulación de la colmena . . . . .	35
Figura 4. 5 Graficas de datos censados de temperatura y humedad generadas por ThingSpeak. . . . .	36

Figura 4. 6 Graficas de datos censados de temperatura y humedad en la aplicación móvil.....	37
Figura 4. 7 Alertas generadas de la aplicación móvil. ....	37
Figura 4. 8 Monitoreo de las variables mediante un instrumento patrón.....	38
Figura 4. 9 Tiempo obtenido en milisegundos del envío de datos desde la ESP32 a la nube. ....	41
Figura 4. 10 Media de temperatura y humedad por día. ....	43
Figura 4. 11 Gráficos descriptivos de la mediana.....	44
Figura 4. 12 Desviación estándar de temperatura y humedad por día. ....	45
Figura 4. 13 Valores máximos y mínimos de temperatura por día. ....	46
Figura 4. 14 Valores máximos y mínimos de humedad por día. ....	47
Figura 4. 15 Correlación y Modelado en Matlab.....	47

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1.Planteamiento del Problema

La apicultura es uno de los proyectos de gran importancia en el mundo, ya que genera diferentes tipos de emprendimiento y a la vez contribuye a la preservación del medio ambiente [1]. Hoy en día la apicultura se realiza en todas las regiones del Ecuador, por su ventaja climática, que es óptima para la producción de la miel, especialmente en la región sierra debido a su vasta flora melífera, que permite el desarrollo óptimo de las colmenas, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Ecuador podría proyectarse como uno de los primeros productores de miel de abeja, a nivel de Sudamérica [2].

La actividad apícola se la realiza de manera tradicional o artesanal ya que el apicultor mantiene contacto directo con la colmena ya sea para la extracción de miel o para tener conocimiento sobre el estado en el que se encuentran las abejas, muchas veces ocasionando irritabilidad en la colmena hacia el apicultor.

Estudios realizados por CropLife Latin America demuestran la situación actual en el sector apícola, la cual es compleja debido a varios factores como el crecimiento de las zonas urbanas que amenazan la permanencia y existencia de las abejas, a pesar de la importancia de en los ecosistemas [3]. Por lo cual, recomiendan al apicultor modificar las técnicas de manejo y cuidado de sus colmenas ya que el intenso calor o frío, alta humedad atmosférica, mala ventilación y aireación provoca enfermedades en la colmena.

Una solución a esta problemática según el trabajo de titulación “Módulo de monitoreo Apícola” es el monitoreo constante de las variables ambientales en la apicultura, con el fin de proporcionar las condiciones óptimas que mejoren la productividad, rentabilidad y la reducción de la mortalidad de las colmenas [4].

Por otra parte, la inspección periódica de las colmenas es muy importante, ya que principalmente éstas visitas se convierten en su chequeo de su salud, pero en muchas ocasiones se ven obstaculizadas [5]. Gracias a las inspecciones, los apicultores conocen el estado de las familias de abejas, pero desafortunadamente no son realizadas a tiempo.

En el artículo científico “Dispositivo inteligente de comunicación remota para lectura de datos en un apiario con tecnología IoT” sus autores establecen que actualmente existen diferentes herramientas que permiten optimizar diferentes procesos apícolas de producción como es el Internet de las cosas (IoT), siendo un tema de gran interés técnico, económico y social, el cual favorece la eficiencia y productividad [6]. Por consiguiente, IoT se puede aplicar en diversos campos como la industria, automatización, medicina, agricultura y también en la apicultura.

En consecuencia, el proyecto tiene como objetivo el diseño e implementación de un sistema de monitoreo IoT para el área de apicultura, que permita dar seguimiento a diferentes variables ambientales, permitiendo así la optimización de las prácticas y técnicas apícolas.

## **1.2.Objetivos**

### **1.1.1 General**

Desarrollar un sistema de monitoreo de variables ambientales para apicultura basado en IoT.

### **1.1.2 Específicos**

- Identificar las variables requeridas para la apicultura.
- Diseñar la arquitectura y su interacción dentro de IoT, considerando dispositivos finales, plataforma IoT y aplicaciones.
- Implementar la propuesta para su validación considerando condiciones reales de trabajo.

## **1.3.Justificación**

Implementar un sistema de monitoreo IoT en la apicultura es fundamental para el bienestar y salud de la colmena permitiendo al apicultor tomar decisiones oportunas y por consiguiente brindar un lugar con las mejores condiciones para las abejas [7].

En el artículo de investigación publicado por Bryan Estrada hace referencia a la aplicación de la ingeniería en la apicultura, denominándola apicultura de precisión la cual permite al productor tener acceso a los parámetros relacionados con sus cultivos a través de la

recolección de datos [8]. La ingeniería en apicultura tiene como propósito mejorar los resultados en las cosechas y un manejo óptimo de recursos.

Actualmente los apicultores realizan visitas periódicas: abren y saca los cuadros, los exponen al exterior, por lo cual las abejas reaccionan a todas estas manipulaciones con irritabilidad [9]. Así mismo en ocasiones estas visitas no son realizadas por factores climáticos como el mal tiempo, la distancia al lugar donde se encuentra las colmenas, entre otros.

Por esta razón se empleará el Internet de las Cosas IoT con la finalidad de que el apicultor disminuya el número de inspecciones rutinarias, así como también conozca el estado actual de su colmena y posteriormente tome decisiones oportunas con el fin de evitar enfermedades en la colmena.

#### **1.4.Alcance**

El proyecto tiene como finalidad monitorear las variables ambientales a través de un sistema IoT para el área de apicultura, con este sistema se obtendrá información sobre las variables más importantes. Esta información será adquirida mediante sensores y procesada por un microcontrolador y a la vez estos datos serán enviados en tiempo real mediante una aplicación y conexión WIFI en el celular al apicultor. Para el funcionamiento del sistema se implementará un sistema fotovoltaico, esta implementación de energías renovables permitirá a que el sistema sea portable y que pueda mantener un flujo constante de energía en partes remotas donde no se cuente con conexión directa a la energía eléctrica. El proyecto está orientado a brindar soluciones a problemas en el cuidado y salud de una colmena en un emprendimiento familiar.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN LITERARIA

#### **2.1. Antecedentes**

Actualmente la apicultura es una actividad que se realiza en todas las regiones del Ecuador, especialmente en la región sierra gracias a su amplia flora melífera [10]. Los apicultores realizan esta actividad de manera tradicional o artesanal ya que mantienen contacto directo con la colmena.

Gracias a una investigación descriptiva y exploratoria se ha identificado que la apicultura en Ecuador se desarrolla a baja escala lo cual genera desaprovechamiento de los beneficios de la apicultura y por consiguiente la ausencia del desarrollo tecnológico [11].

Desde una perspectiva ambiental, mediante el análisis de campo se ha identificado que la situación actual de la apicultura presenta un declive en las abejas *Apis* melíferas por diferentes factores como el ácaro *Varroa*, la contaminación ambiental, falta de alimento, humedad en la colmena, entre otras [12].

Por otra parte, la situación actual en el sector apícola es compleja debido a varios factores como el crecimiento de las zonas urbanas y los daños ambientales que amenazan su permanencia y existencia, a pesar de la importancia de las abejas en los ecosistemas [13].

Estos problemas están obligando a los apicultores a modificar las técnicas de manejo y cuidado de sus colmenas ya que el intenso calor o frío, alta humedad atmosférica, mala ventilación y aireación provoca que las colmenas se enfermen y mueran [14].

De esta manera, surge la importancia de la sanidad en la producción apícola, por lo cual el apicultor necesita optimizar las condiciones de las colmenas mediante la observación del deterioro en las cajas de manera regular, así como también realizar acciones para la prevención y control de problemas sanitarios como la presencia de humedad en la colmena [15].

Información proporcionada por diferentes artículos de investigación dan a conocer el propósito e importancia de llevar a cabo un registro de la temperatura, la humedad relativa, para determinar el estado de la colonia en función de las medidas de interés [16].

Miembros del proyecto ERA-NET ICT-Agri "ITAPIC" analizaron diferentes sistemas de control y seguimiento de colonias de abejas junto con sus combinaciones, quienes sugiriendo implementar la apicultura de precisión [17]. La apicultura de precisión se encuentra en desarrollo

y ha sido objeto de varios estudios con diferentes enfoques como científico, comercial o técnico en diferentes países.

Por su parte el grupo de investigadores de la Universidad de Ciencias y Tecnologías de la Vida de Letonia desarrolló un diseño conceptual IOT para la apicultura y establecen que para que un sistema IoT sea óptimo depende de la disponibilidad y la rentabilidad de los equipos de monitoreo empleados [18].

A través de un análisis documental en la Revista de Aplicaciones de Ingeniería da a conocer la importancia del control y monitorización en la apicultura ya que permite al apicultor tomar decisiones oportunas como la reubicación de apiarios [19].

Por otro lado, los estudiantes de la Unidad de Educación a Distancia del Tecnológico Nacional de México diseñaron un sistema de monitoreo con el propósito de apoyar a los apicultores basado en visión embebida e inteligencia artificial [20]. Con este sistema el apicultor puede hacer un análisis de los datos obtenidos y así brindar un ambiente óptimo para las abejas.

Hoy por hoy existen dispositivos de monitoreo de apiarios en el mercado internacional que han desarrollado diferentes productos como las empresas Apis Protect, The Bee corp y 3Bee, no obstante, estos dispositivos son costosos y requieren de un pago mensual por el uso de la aplicación móvil.

## **2.2. Apicultura**

La actividad apícola data hace mucho tiempo atrás, antiguamente se limitaba únicamente a la recolección de miel para el autoconsumo, sin embargo, con el pasar de los años, se ha convertido en una actividad rentable que se relaciona estrechamente con la agricultura [21].

La apicultura es considerada como una actividad dedicada a la crianza y cuidado de las abejas, de esta manera se aprovecha los productos que ellas entregan tales como polen, cera, jalea real, propóleo y miel como producto principal [22].

Existe gran diferencia entre la importancia de la apicultura para el medio natural y el beneficio buscado por el apicultor. El apicultor centra su interés en la obtención de cera y miel debido a que estos productos generan ingresos económicos sobre todo en el sector rural [23]. Por

otro lado, la apicultura también desempeña un rol fundamental en el cuidado del medio ambiente gracias a la polinización contribuyendo de esta manera directamente a la seguridad alimentaria.

Sin embargo, las abejas se encuentran en peligro y amenazadas por las actividades humanas, uso excesivo de pesticidas y cambios climáticos, por lo que actualmente las poblaciones de abejas han disminuido en todo el mundo [24].

### **2.1.1 Sector apícola en Ecuador**

La apicultura es una actividad que genera muchos beneficios al medio ambiente como el cuidado del paisaje y mejora del medio natural, a la vez constituye una importante actividad económica. No obstante, en Ecuador, la actividad apícola se la realiza en pequeña escala, como una actividad laboral complementaria o como hobby, debido a la diferencia entre la demanda y oferta existente [25].

No se conoce exactamente el inicio de la actividad apícola, sin embargo, se sabe que los indígenas por muchos años se dedicaron al cuidado de las abejas. El auge de la actividad apícola en Ecuador se presentó en el año 1993 [26].

Ecuador, es un país con alta diversidad biológica gracias a su contraste de la geografía en el mundo por lo cual posee un gran potencial apícola, según estudios realizados por PRONAPIS, Ecuador tiene la capacidad de conservar 200 mil colmenas [27].

De acuerdo con el Registro Apícola Nacional del Gobierno Nacional, el sector apícola ecuatoriano posee un total de 15 820 colmenas y 1 400 apicultores mientras que la productividad apícola en Ecuador alcanza, en promedio, 10,2 kilogramos de miel por colmena al año [28].

Para mejorar el potencial apícola se debe incrementar programas y políticas de formación continua en cuidado de colmenas, producción y productividad, mercadotecnia, tecnología, y creación y acceso a líneas de crédito blandos [29].

### **2.3. Colmena**

La abeja melífera pertenece al orden de insectos Himenópteros que incluye miles de especies de abejas, avispas, hormigas y otras especies semejantes [30]. El trabajo de las abejas es uno de los principales ejemplos de trabajo colectivo y comportamiento social en el reino animal,

en cada colonia existen 3 clases abejas, las cuales cumple su función, teniendo como resultado la miel [31].

### **2.1.2 Reina**

Es la madre de la colonia, la única hembra perfecta, con un desarrollo sexual completo, encargada de producir los nuevos seres de la colonia [32].

En torno a ella gira la vida del resto y diferenciarla del resto de abejas es sencillo, tal como se aprecia en la Figura 2. 1, la reina es mucho más grande a tal punto que las alas no cubren completamente su abdomen.



*Figura 2. 1 Abeja reina de la colmena [33].*

### **2.1.3 Zárganos**

Son los machos de la colmena y su función consiste en fecundar a la abeja reina. Tienen un tamaño mayor que el de las obreras, pero menor que la real, y su principal objetivo es asegurarse de que la colmena siga existiendo y, tras haberse apareado, mueren poco después [34]. Como se muestra en la Figura 2. 2 los zárganos tienen mayor tamaño que las obreras y proceden de huevos no fecundados puestos



*Figura 2. 2 Zángano, el único macho de la colmena [35].*

#### **2.1.4 Obreras**

Es una abeja hembra, sin embargo, no puede reproducirse, en casos especiales y cuando falta la reina, sus ovarios se desarrollan y consiguen poner huevos, pero al no ser fecundados, nacerán solamente zánganos [36].

Son las verdaderas trabajadoras de la colonia, desde que nace una abeja obrera va pasando por distintas tareas en la colonia: hacer cera, limpiar, alimentar, cuidar y por último pecorear [37]. Las abejas obreras son las que más trabajan, se encargan de ir a las flores a extraer un azúcar llamado néctar que transforman en miel como lo indica la Figura 2. 3.



*Figura 2. 3 Obrera de la colmena, encargada de distintas funciones [38].*

## 2.4. Producción de miel

La miel es un producto fabricado, elaborado y acabado por la abeja *Apis mellífera* a partir de materias primas que recolectan del medio ambiente, es uno de los alimentos más primitivos utilizados por los humanos [39]. Tal como se visualiza en la Figura 2. 4, el proceso de obtención de miel el proceso de la recolección de miel es el resultado de un arduo trabajo de las abejas.

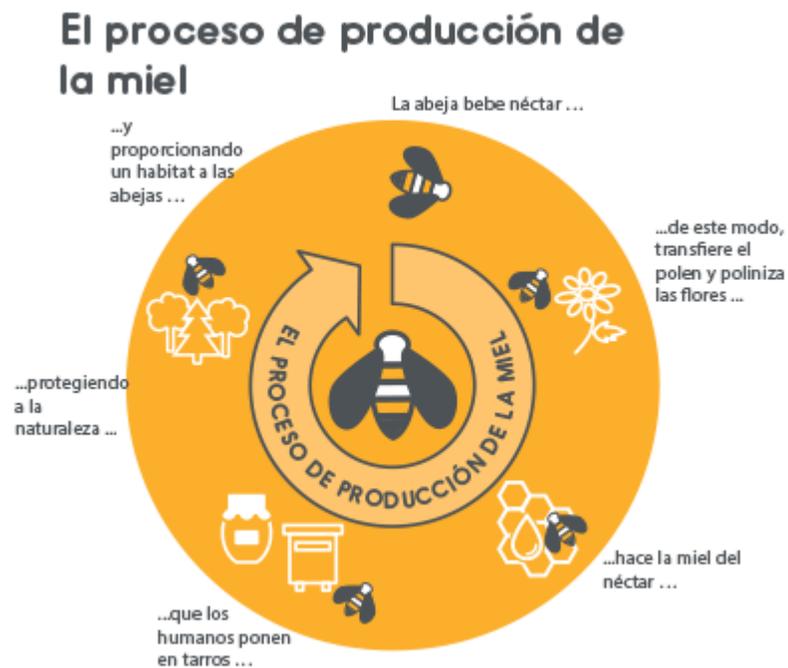


Figura 2. 4 Proceso de producción de la miel [40].

Existen diferentes variedades y denominaciones de miel, y así cada miel posee características propias según la flora que visiten las abejas y de acuerdo con el lugar en que se ubiquen las colmenas [41].

El proceso de producción de miel es sensible a contaminaciones biológicas, físicas y químicas que pueden producir daños en los consumidores, así como también se ve afectada por variables ambientales [42]. Por ello es necesaria la aplicación de estrategias que se derivan de manuales de buenas prácticas para disminuir riesgos.

“La productividad de la colmena es una variable respuesta afectada directamente por variables climáticas; el aumento de peso y productividad de la colmena depende directamente de la oferta alimenticia y de la actividad de forrajeo de los miembros de la colonia”[43], considerando lo anterior, tanto las condiciones climáticas como la alimentación en la colmena intervienen en la rentabilidad de la actividad apícola.

## **2.5.Prácticas de manejo de colmenas y apiarios**

En la apicultura, la ejecución de buenas prácticas es de gran importancia y se desarrollan a lo largo de todo el proceso productivo de miel para asegurar un buen producto, por ello se debe considerar un adecuado manejo ambiental de las actividades del proceso productivo apícola.

Mediante la identificación de los componentes ambientales externos, que de una u otra forma, puedan afectar el normal desarrollo biológico de las abejas [44].

### **2.1.5 Revisión de rutina**

Es recomendable que las revisiones de rutina se realicen cada 8 días, para asegurar un ambiente óptimo para la colmena, además las revisiones se las debe realizar en las horas cálidas [45]. Una regla de oro para las revisiones o visitas está clara: intervenir lo menos posible dentro de las colmenas.

Además, sólo se deben abrir las colmenas cuando es realmente necesario hacer alguna actividad en ellas, y mantener la colmena abierta lo menos posible sobre todo en épocas invernales ya que al abrir la colmena las abejas pierden el equilibrio de la temperatura interior y, si hay algo de cría, puede enfriarse y morir [46].

- *Revisión externa*

Consiste en observar el comportamiento de las abejas alrededor de la colmena y la piquera, además otro aspecto importante a tomar en cuenta es el peso de la colmena, es decir, la diferencia de peso respecto a la anterior pesada, esta información permite conocer la evolución de la colonia y su producción de miel [47] .

A continuación, se presenta la Tabla 2. 1 en la cual se puede conocer un cuadro diagnóstico:

*Tabla 2. 1 Diagnóstico en la revisión externa de la colmena [48].*

<i>¿Qué se ve?</i>	<i>Pronóstico</i>
Abejas muertas apiladas en la entrada.	Envenenamiento
Abejas peleándose en la piquera	Pillaje
Zánganos muertos o siendo expulsados	Periodo de escasez
Abejas negras, sin pelo, incapaces de volar, dubitativas o moribundas en la piquera	Virus de la parálisis o hambre
Larvas momificadas en la piquera	Pollo escayolado
Larvas muertas llevadas lejos de la colmena	Enfermedad
Entrada de polen	Indicio de colmena sana. Presencia de cría.
Abejas saliendo en remolino ascendente	Enjambrazón
Abeja nerviosa, corriendo por la tabla de vuelo desorientada	Colonia huérfana
Restos de polen enmohecido sacado por las abejas	Ventilación insuficiente

- *Revisión interna*

En la Figura 2. 5 se observa la inspección interna es una de las maneras más simples y precisas para determinar la salud de la colmena, la cual consiste en abrir la colmena y visualizar los cuadros. Sin embargo, el hecho de destapar una colmena provoca estrés a las abejas.



*Figura 2. 5 Inspección tradicional del apicultor a la colmena [49].*

A continuación, se presenta la Tabla 2. 2 en la cual se puede conocer un cuadro diagnóstico:

*Tabla 2. 2 Diagnóstico en la revisión interno de la colmena [48].*

¿Qué se ve?	Pronóstico
Abejas con alas rotas o deformes.	Varroa
Polillas de cera, escarabajos de colmena.	Señas de plaga y/o enfermedad
Polen en las esquinas de los marcos de crías.	Falta de miel Virus de la parálisis o hambre
Dos reinas	La colonia se está preparando para hacer enjambre.
Olor a podrido	Loque americana

## **2.6.Salud de la colmena**

La colmena se define como un ecosistema en equilibrio no obstante las intervenciones del apicultor, el cambio climático, las especies invasoras suelen romper el equilibrio existente generando trastornos los cuales afectan en el desarrollo equilibrado de la población como la sanidad de esta [50].

Existen también componentes bióticos en las colmenas, como los microorganismos, que se mantienen controlados gracias a la producción de propóleo, este elemento actúa como desinfectante y antiséptico con el cual las abejas pueden mantener la población sana en un espacio pequeño [51].

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha puesto en alerta a la ciudadanía, por el importante descenso que ha existido en la población de este ser vivo en el mundo [52].

#### **2.1.6 Posibles amenazas a la colmena**

- **Uso de plaguicidas.** Las abejas se exponen a los plaguicidas cuando buscan los recursos néctar-poliníferos, sobre todo si las colonias están ubicadas cerca de áreas agrícolas. En un panal contaminado, los residuos de los plaguicidas pueden transferirse a la miel almacenada, presentando un riesgo para los consumidores [53].
- **Cambio climático.** Actualmente en el mundo existe variación de las propiedades meteorológicas, la temperatura interviene directamente sobre el ciclo de vida de las abejas y por consiguiente en el comportamiento y actividades de la población [54]. Las abejas requieren de ciertas condiciones de temperatura dentro de la colmena por lo que la temperatura del ambiente representa el factor abiótico más importante.
- **Enfermedades.** Las abejas son sensibles a las bacterias, virus y parásitos. Por ejemplo, el ácaro *Varroa* se alimenta de la sangre de las abejas y produce la enfermedad incurable llamada varroosis [55]. Otro ejemplo es la enfermedad conocida como Loque americana, causada por bacteria productora de esporas, la cual mata las larvas.

#### **2.1.7 Variables ambientales que influyen en el estado de salud de las abejas**

En su convivencia diaria, las abejas construyen panales de cera donde depositan polen, cría, néctar, cría y miel; todo esto ocurre en el interior de la colmena en ausencia de luz y está fuertemente influenciado por las variables ambientales, las cuales determinan la supervivencia, en la sanidad y en la conducta de las abejas [56]. Las condiciones ambientales requieren un monitoreo cuidadoso por parte del apicultor ya que de lo contrario la colonia se echaría a perder estado de debido a la presencia de humedad como se puede visualizar en Figura 2. 6.



*Figura 2. 6 Colmena echada a perder debido a la presencia de humedad.*

### ***Temperatura***

Las abejas son organismos de sangre fría, sin embargo, necesitan mantener calor dentro de un rango óptimo que les permita sobrevivir y desarrollar sus trabajos. Para mantener la temperatura las abejas trabajan de manera colectiva mediante el batido de sus alas, las cuales son empleadas para generar calor cuando la temperatura de la colmena desciende hasta los 14°C y para refrescar (ventilación) cuando supera los 35°C [57].

En la región Sierra de Ecuador, sobre todo en las partes más altas, generalmente el frío es intenso, por lo cual el apicultor debe ayudar a la colonia tapando con plásticos o cartones, o incluso a trasladarlas a lugares cerrados.

### ***Humedad***

El exceso de humedad en el interior de la colmena, especialmente en invierno, provoca un disturbio sustancial en la vida de la colmena generando problemas sanitarios permitiendo la mortalidad de las abejas. Este es un problema principalmente en la época de invierno, ya que las masas de frío mantienen un nivel alto de humedad y las abejas no utilizan el batido de sus alas en la piquera para ventilar, así como también la humedad se genera por el consumo de miel que hacen las abejas; por cada litro de miel consumida, se genera un litro de agua.

Por su parte el polen, es atacado por hongos a causa de la humedad, si el ataque es severo provoca fuertes pérdidas en la reserva de polen ya que se desarrolla una costra blanca y dura, la cual es imposible removerla por las abejas [57].

Por lo cual, la humedad óptima de la colmena es entre 50% a 60%, el descenso o aumento de la humedad por encima o por debajo del nivel óptimo pone en riesgo a las abejas, sus huevos y producción de miel [58].

## **2.7. Apicultura de precisión**

Actualmente el uso de tecnologías y herramientas de la información han permitido un mejor control y seguimiento en tiempo real en diferentes áreas, siendo una de ellas la apicultura inteligente [59]. Existen diferentes estudios en el campo de la apicultura de precisión que incorpora tecnologías para optimizar la producción de la miel y el cuidado de las colmenas, sin embargo, cabe recalcar que el objetivo de estas nuevas herramientas es apoyar al apicultor, no reemplazarlo:

- *Sensores y monitoreo*

Los sistemas de sensores en las colmenas son implementados para monitorear diferentes parámetros ambientales como temperatura, humedad. Otro de los sensores utilizados son las celdas de carga, la cual mide las variaciones de peso total de la colmena ayudando así al apicultor a cosechar a tiempo la miel [60].

- *Implementación de sistemas de posicionamiento global (GPS)*

Con los sistemas de posicionamiento global se ha logrado representar cartográficamente la ubicación y la distancia geográfica de las diferentes estructuras elementales de vegetación de

interés apícola, de igual manera ha permitido dar seguimiento de las abejas el cual proporciona información sobre los patrones de vuelo [61].

- *Tecnologías de comunicación*

La integración de tecnologías Cloud con el internet de las cosas ha facilitado el acceso a la información con enfoque tecnológico, los datos almacenados permiten a los apicultores conocer qué está pasando dentro de la colmena sin molestar a las abejas [62].

La inteligencia artificial es otra tecnología utilizada la cual ha permitido el desarrollo de colmenas inteligentes hasta softwares que pueden detectar enfermedades o plagas, mejorando significativamente la obtención de los productos y el cuidado de las abejas [63]. Otra aplicación de esta tecnología es el control de la Varroa, empleando el algoritmo de Canny, permitiendo así la cuantificación de varroas muertas en apiarios [64].

- *Aplicaciones móviles*

Mediante el uso de la inteligencia artificial, investigadores han desarrollado aplicaciones móviles las cuales a través del zumbido de las abejas detectan si padecen o no una serie de enfermedades [65].

Las nuevas tecnologías están apoyando a los apicultores en su lucha contra el parásito varroa, por lo cual la empresa suiza Apizoom Sàrl, desarrolló una aplicación móvil para contar automáticamente los ácaros varroa de una colmena gracias a la calidad de los fotosensores de teléfonos inteligentes [66].

### **2.1.8 IoT en apicultura**

“Internet de las Cosas” (IoT) es un término relativamente nuevo, que permite básicamente combinar dispositivos para monitorear y controlar en cualquier momento, desde cualquier lugar y cualquier momento [67]. Esta tecnología se compone de una gama de productos, sistemas, actuadores. sensores de red y tecnología de la comunicación. Hoy en día más personas utilizan el internet llevando a cabo la interconexión entre las personas y objetos de esta manera se promueve un ambiente confortable e informado para mejorar la calidad de vida.

Las principales características de IoT se muestran en la Figura 2. 7, en la cual se puede conocer la relación estrecha que existe entre el software y hardware. Además, esta tecnología se basa principalmente en tres componentes básicos que interactúan entre sí:

- Hardware: dispositivos que permiten la comunicación como sensores, actuadores.
- Middleware: software que permite el intercambio de información
- Herramientas: visualización e interpretación de datos.



*Figura 2. 7 Características de IoT.*

IoT no tiene límite de aplicación e interviene en diferentes áreas como la apicultura. El principal objetivo de IoT en la apicultura es convertir una colmena tradicional en una colmena inteligente. Mediante la implementación de una colmena inteligente se puede conocer a distancia y tiempo real la situación física y social de la colmena, además obtener una adecuada producción de miel y brindar protección a las abejas a través del uso de sensores en el interior de la colmena [68].

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### **3.1. Modelo de la Investigación**

En el presente trabajo de titulación se emplea una investigación documental ya que se realiza una investigación, recopilación y análisis de artículos científicos, libros, repositorios universitarios. A través de esta metodología se conoce las variables ambientales más importantes a monitorear en la apicultura. Adicionalmente se lleva a cabo una investigación de campo, ya que, para proponer una óptima solución, en la que requiere una observación directa del problema a resolver.

Además, se utiliza la investigación aplicada, puesto que se propone una solución a un problema en específico que busca aplicar la ingeniería de precisión en la apicultura tradicional con la finalidad de que el apicultor conozca la salud de las abejas y posteriormente tome decisiones oportunas.

#### **3.2. Resultados esperados**

Gracias a la implementación del sistema de monitoreo IoT el apicultor conocerá el estado actual en que se encuentra la colmena, de esta manera logrará tomar decisiones pertinentes como la reubicación de las colmenas o cambio de los cajones en el caso de que detecte cambios significativos de temperatura y humedad. Adicionalmente, este sistema será un gran apoyo para el apicultor durante la etapa más desafiante para las colmenas, como lo es el invierno ya que el apicultor podrá intervenir oportunamente y proporcionar mejoras en su hábitat, reduciendo así la pérdida de las colmenas.

#### **3.3. Diseño de la Investigación**

##### **3.3.1. Fase 1: Identificación de las variables ambientales en apicultura**

En esta fase se describen aspectos de investigación sobre las variables ambientales más importantes en la apicultura, así como términos importantes en el área de la misma.

**Actividad 1: “Búsqueda de antecedentes”;** en esta actividad se lleva a cabo la búsqueda de información ya sea en artículos científicos, sitios web, repositorios de tesis, con el propósito de encontrar dispositivos existentes en el mercado local y conocer la tecnología utilizada.

**Actividad 2: “Revisión de la literatura sobre apicultura”;** mediante la lectura comprensiva de manuales y guías de apicultura se conoce sobre las variables ambientales más importantes en esta área.

**Actividad 3: “Investigación sobre los rangos mínimos y máximos de las variables ambientales”;** se procede a realizar una investigación más detenida sobre los rangos óptimos de las variables ambientales a monitorear.

### **3.3.2. Fase 2: Diseño de la arquitectura y su interacción dentro de IoT**

Aplicando la metodología de diseño electrónico, se da paso al proceso de diseño de la arquitectura e implementación de IoT. Para ello se establecen las siguientes actividades:

**Actividad 1: “Descripción de los requerimientos del diseño”;** se establecen los parámetros y requerimientos que el sistema de monitoreo debe tener.

**Actividad 2: “Revisión de los data sheet de los componentes eléctricos y electrónicos”;** se realiza un análisis de los sensores disponibles en el mercado para posteriormente escoger el que esté acorde a las necesidades del sistema.

**Actividad 3: “Adquisición de materiales a utilizar”;** con base a los requerimientos planteados se realiza un listado de materiales que se requiere para la construcción del sistema.

**Actividad 4: “Diseño del sistema de monitoreo”;** adquiridos todos los elementos eléctricos y electrónicos se realiza la programación y conexión.

**Actividad 6: “Implementar una base de datos”;** se escoge un software de acceso libre en el sistema de monitoreo con la finalidad de que el apicultor pueda visualizar y almacenar los datos sobre las variables ambientales.

### **3.3.3. Fase 3: Comprobación del funcionamiento**

**Actividad 1: “Instalación del sistema de monitoreo apícola”;** una vez realizadas las correcciones pertinentes, se instala el prototipo en la colmena.

*Actividad 2: “Pruebas de funcionamiento de manera integral”*; se lleva a cabo las primeras pruebas de funcionamiento en un entorno real.

*Actividad 3: “Análisis de resultados”*; Finalmente, se realiza una evaluación del funcionamiento del sistema de monitoreo, para posteriormente discutir y concluir con los resultados del sistema de propuesto.

### **3.4. Especificaciones del sistema a diseñar**

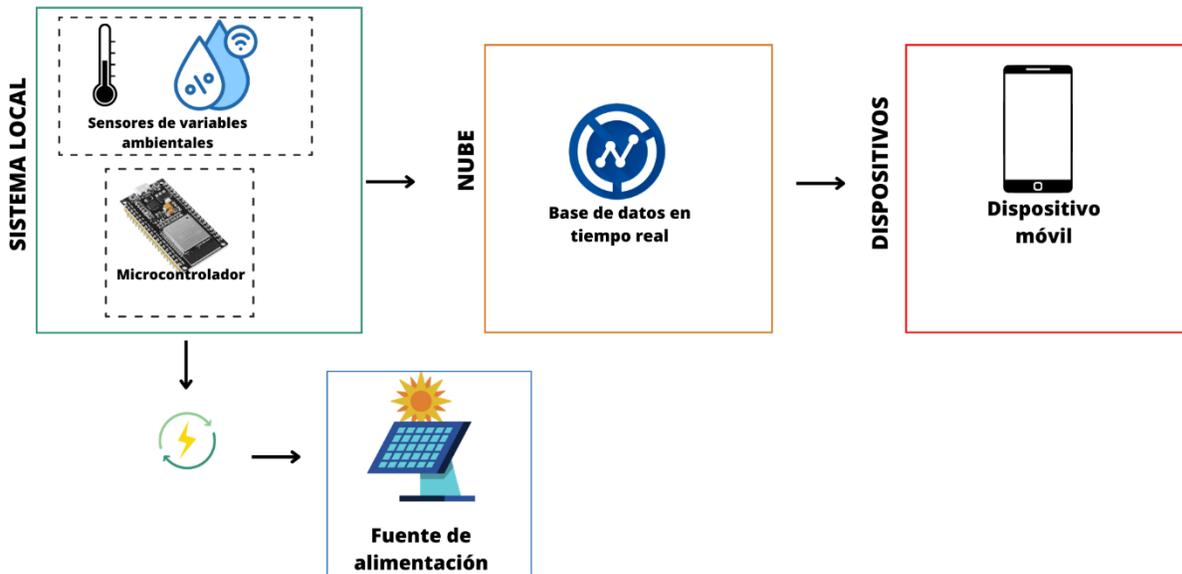
El sistema tiene como objetivo monitorear las principales variables ambientales como temperatura y humedad en una colmena, con el fin de que el apicultor tome decisiones oportunas y brinde un lugar adecuado para las abejas. A continuación, se indican los criterios de diseño que se deben considerar para una correcta selección de dispositivos electrónicos que cumplan con los requerimientos y objetivos planteados.

- **Diseño simple:** Se debe incorporar en una sola arquitectura todos los elementos para la medición de temperatura y humedad.
- **Conectividad:** El sistema debe estar conectados a internet.
- **No debe ser invasivo:** La solución propuesta no debe afectar el ciclo de trabajo de las abejas.
- **Costo:** El costo del sistema debe ser de un costo accesible.
- **Materiales:** Los elementos eléctricos y electrónicos deben ser adquiridos en el mercado local para facilitar la fabricación.
- **Fácil manipulación:** El sistema debe ser fácil de utilizar por parte del usuario

### **3.5. Arquitectura IoT**

Tras la revisión teórica sobre las variables ambientales más importantes en la apicultura y considerando las especificaciones del sistema a diseñar, se plantea la siguiente alternativa de solución en base a la problemática planteada. Esta solución se presenta en la Figura 3. 1, la cual es una representación gráfica en donde se especifican de manera general los componentes. Esta solución consiste en emplear sensores que monitoreen la temperatura y humedad. Mientras que el

microcontrolador se encargará de procesar la información obtenida por los sensores. Una vez obtenida la información a través de la comunicación inalámbrica (Wifi,) estos datos serán almacenados y visualizados en una base de datos en tiempo real gracias a una aplicación móvil. Adicionalmente la arquitectura IoT funcionará a través de un sistema fotovoltaico, el cual proveerá de energía al sistema.



*Figura 3. 1 Arquitectura IoT de la solución propuesta.*

Mediante el desarrollo de la arquitectura IoT la información viaja a través de la red en forma de datos, desde los sensores hasta la nube, en donde serán procesados y posteriormente almacenados.

### **3.5.1. Sistema Local**

A continuación, se describe la configuración y funcionamiento de un sistema de monitoreo en una colmena basado en IoT. En este sistema, los datos monitoreados de temperatura y humedad por el sensor serán enviados al microcontrolador ESP32 mediante la programación en Arduino y a su vez la conexión a Internet.

### 3.5.1.1. Sensores de las variables ambientales

Los sensores son dispositivos que tienen la capacidad de medir o calcular magnitudes. Para el sistema IoT en apicultura se considera medir la temperatura y humedad lo cual se vuelve de gran importancia para conocer si las condiciones son óptimas en la colmena caso contrario el apicultor tomará decisiones oportunas para mejorar su entorno.

Debido a grandes problemáticas como la contaminación ambiental, el sector apícola se encuentra en declive ya que el intenso frío, calor, alta o humedad provoca que las colmenas se echen a perder, por lo cual el apicultor se ve en la obligación de mejorar las técnicas de manejo y cuidado de las colmenas. Tras el análisis de los datos de la temperatura y humedad el apicultor tiene la capacidad de tomar decisiones oportunas con el objetivo de precautelar el estado y salud de sus colmenas.

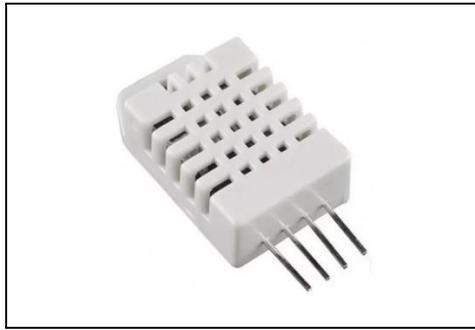
- *Sensor de temperatura y humedad*

Tras una búsqueda y cotización en el mercado local sobre sensores que cumplan con los requerimientos planteados respecto a la temperatura y humedad, se tomaron en consideración dos sensores presentados en la Tabla 3. 1.

*Tabla 3. 1 Características comparativas de los sensores de temperatura y humedad.*

<b>Sensor</b>	<b>Voltaje de operación</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Humedad</b>	<b>Tiempo de sensado</b>	<b>Precio</b>
<b>DHT – 11</b>	3V – 5V DC	Rango: 0 a 50 °C Precisión: $\pm 2.0$ °C	Rango: 20% a 90% RH Precisión: 5% RH.	1 seg.	\$7
<b>DHT – 22</b>	3V - 6V DC	Rango: -40°C a 80 °C Precisión: $<\pm 0.5$ °C	Rango: 0 a 100% RH Precisión: 2% RH	2 seg.	\$9

Luego de realizar un análisis comparativo entre los dos sensores, se ha seleccionado el sensor DHT-22 como se indica en la Figura 3. 2 ya que dicho sensor presenta mejores condiciones de trabajo.



*Figura 3. 2 Sensor DHT2 [69].*

- *Microcontrolador ESP-32*

La placa de desarrollo o DEVKIT V1 NodeMCU-32 es un microcontrolador de bajo consumo y bajo costo el cual incluye Wifi, Bluetooth y otras potentes características extra muy utilizada en proyectos con IoT, algunas características principales se presentan en la Tabla 3. 2.

*Tabla 3. 2 Características de la ESP32*

<b>Voltaje de Operación</b>	<b>Corriente de operación conectado a Wifi</b>	<b>Precio</b>
3,3 – 5V DC	180mA	\$12,00

Este dispositivo se puede emplear en diferentes lenguajes de programación como Arduino, Micro Python, entre otros. En su diagrama de bloques se puede apreciar un microprocesador de 32-bits (dual core o single core), comunicación inalámbrica Wifi y Bluetooth. ESP32 tiene 48 pines con múltiples funciones los cuales se indican en la Figura 3. 3.

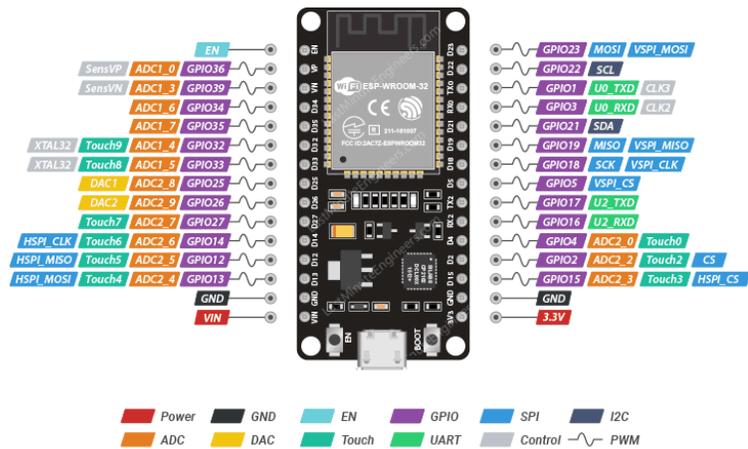


Figura 3. 3 Pines de la ESP32 y sus funciones [70] .

### 3.5.1.2. Conexión necesaria

En cuanto a la Figura 3. 4 se observa la conexión física realizada del sensor DHT22 con la ESP32, el sensor de temperatura consta de tres pines mientras que el ESP32 mantiene 48: El pin 1 el cual corresponde a la alimentación está conectado a la 3,3 V, el Pin 2 permite la señal de datos está conectado al GPIO32 mientras que el pin 3 está conectado a GND.

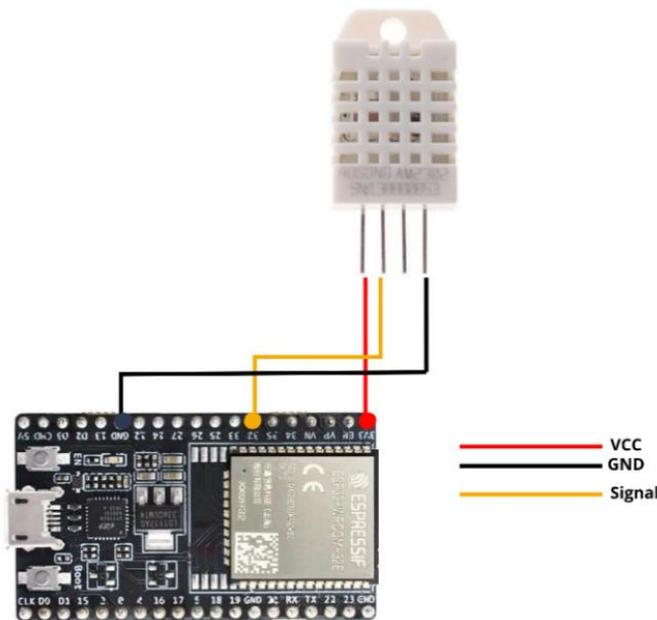


Figura 3. 4 Conexión del sensor a la ESP32.

### 3.5.2. Sistemas de adquisición de datos (Nube)

Una vez que los sensores recopilan la información analógica y la convierten en datos digitales, la información es enviada a la nube para su procesamiento, análisis y almacenamiento a través de internet. Existen varias aplicaciones que conectan objetos con personas, entre ellas se encuentran: Carriots, Adafruit IO, Thethings, entre otras, sin embargo, se seleccionó la plataforma ThingSpeak debido a su fácil acceso mediante el correo proporcionado por la Universidad Técnica del Norte, así como también su simplicidad a la hora de programar.

ThingSpeak es una plataforma Open Source respaldada por Matlab, que permite enviar, visualizar y guardar datos de los sensores en la nube mediante el protocolo HTTP sobre Internet o vía LAN.

El microcontrolador realiza un papel crucial en este proceso, ya que es el encargado de enviar los valores o datos de las variables ambientales mediante conexión a Internet. Para implementar ThingSpeak se procedió a crear una cuenta, en la Figura 3. 5 se puede visualizar el registro que se realizó para lo cual se utilizó el correo institucional.

Create MathWorks Account

Email Address  
dvmunoz@utn.edu.ec ✓

**i** To access your organization's MATLAB license, use your school or work email.

Location  
Ecuador ▼

First Name  
Daniela ✓

Last Name  
Muñoz ✓

Continue

Cancel

*Figura 3. 5 Registro en la plataforma de ThingSpeak*

Se puede configurar el canal creado con varios campos y en este caso se establecieron 2 como se indica en la Figura 3. 6, cada uno para registrar y organizar los valores obtenidos mediante los sensores de temperatura y humedad.

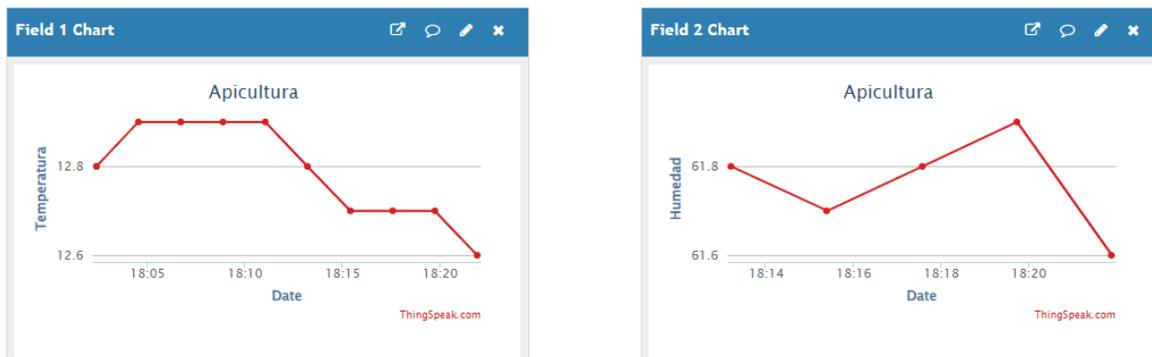


Figura 3. 6 Campos implementados en ThingSpeak.

Posteriormente, se identificó el ID del canal creado y la key del mismo como se observa en la Figura 3. 7, cuyos datos son utilizados para vincular a través de Arduino la ESP32 y la plataforma ThingSpeak.

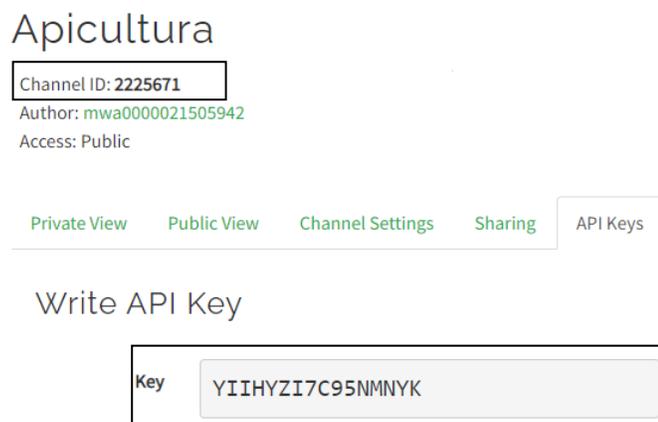


Figura 3. 7 ID y key del canal Apicultura.

### 3.5.3. Aplicación Móvil

Con la finalidad de que exista organización visual e interacción amigable entre el sistema IoT y el apicultor, se implementa una aplicación móvil llamada *BeekeepingApp* desarrollada en el entorno de MIT App Inventor, en la cual se puede visualizar el proceso de monitoreo de una forma ordenada, permitiendo que el apicultor conozca la temperatura y humedad en la colmena.

Como se observa en la Figura 3. 8, se ha empleado diferentes componentes visuales en la aplicación como un botones, gráficas Web obtenidas directamente de ThingSpeak, campos de entrada en los cuales el apicultor puede modificar el rango mínimo y máximo de temperatura y humedad. Adicionalmente, *BeekeepingApp* genera el envío de notificaciones, las cuales aparecen en la barra de estado del dispositivo móvil dependiendo si la temperatura o la humedad exceda o no los límites establecidos.

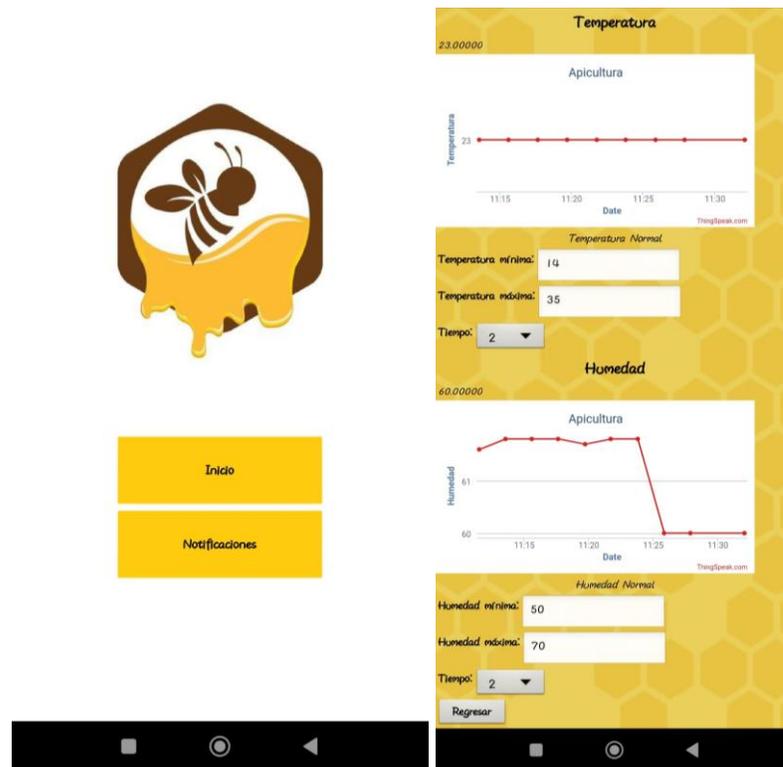


Figura 3. 8 Aplicación *Beekeeping App*.

Por defecto la aplicación está programada para que se envíe una notificación cuando los valores sean menores a 14°C o superiores a 35°C en el caso de la temperatura, por otro lado, *BeekeepingApp* envía notificaciones cuando los valores de la humedad sean menores a 50% o superiores a 60%. Sin embargo, el apicultor puede modificar estos valores límite dependiendo de sus requerimientos, así como también el tiempo. Si estos datos se mantienen por tiempo prolongado, el apicultor tomará decisiones pertinentes con el propósito de brindar las condiciones ideales a la colmena.

### 3.5.4. Sistema de alimentación de energía

Actualmente el uso de la energía fotovoltaica continúa creciendo, en el área de apicultura su uso genera prácticas apícolas y técnicas ambientalmente responsables y sostenibles. de esta manera los apicultores pueden contribuir a la conservación. El empleo de un sistema fotovoltaico permite el funcionamiento ininterrumpido de energía en situaciones críticas de operaciones apícolas ya que generalmente las colmenas de abejas se encuentran alejadas de poblados, en lugares que no tienen acceso a la luz eléctrica. Para implementar un sistema fotovoltaico se debe realizar cálculos previos para optimizar su rendimiento y garantizar que el sistema sea eficiente.

- *Estudio de cargas*

Para el funcionamiento del sistema IoT se implementó la energía fotovoltaica, por lo cual el sistema estará conectado a un panel solar, el cual suministrará la energía necesaria para que los sensores monitoreen las variables ambientales en el tiempo establecido por el apicultor. Para incorporar todo el sistema fotovoltaico, se adquirió los valores de amperaje de los elementos electrónicos que van a hacer alimentados, como se detalla en la Tabla 3. 3.

*Tabla 3. 3 Consumo de corriente de elementos*

<b>Elementos</b>	<b>Consumo</b>	<b>Voltaje de Operación</b>	<b>Potencia</b>
<b>ESP32</b>	180mA	3,3	0,59 W
<b>Sensor DHT22</b>	50mA	3,3	0,17 W
<b>Controlador de carga</b>	50mA	12	0.60 W
<b>Total</b>	280mA	-	1,36 W

Una vez obtenida la información sobre el consumo en watts de potencia de los elementos instalados, se procede a calcular el consumo diario empleando la .

$$\text{Consumo diario} = (\text{Potencia}_T + (\text{Potencia}_T * \text{factor de protección } 20\%)) * 24$$

*Ecuación 1*

$$\text{Consumo diario} = (1,36 + (1,36 * 0.20)) * 24$$

$$\text{Consumo diario} = (1,36W + 0,27W)$$

$$\text{Consumo diario} = 1,63W * 24h$$

$$\text{Consumo diario} = 39,16Wh/día$$

Considerando que el consumo  $Wh/día$  es menor a  $2000 Wh$  se escogió un voltaje de sistema de  $12V$ . A continuación, se emplea la  
, con la cual se obtuvo la potencia fotovoltaica.

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{hora solar mínima}}$$

*Ecuación 2*

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{39,16Wh}{3h} = 13,05 W$$

Por consiguiente, se utilizó la  
para conocer el número de módulos a utilizar, para lo cual se tomó en cuenta un panel solar de  $35 W$  de potencia.

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica}(Wh)}{\text{Potencia de módulo } (Wp)}$$

*Ecuación 3*

$$\text{Número de módulos} = \frac{13,05W}{35 W} = 0,37 \approx 1$$

Por lo tanto, se empleará 1 solo módulo para el funcionamiento del sistema de monitoreo.

- *Batería*

Para el cálculo del número de baterías se debe considerar la energía disponible en días con poco sol y durante la noche, además la energía disponible durante varios días con cero generaciones de energía solar, por lo cual se considera el consumo del 39,16 Wh/día obtenido anteriormente y se estima el 60% del total, obteniendo el siguiente resultado:

$$\text{Consumo diario} = 39,16 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} * 0,6 = 23,5 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

Se seleccionó una batería de plomo de 12V7Ah y se obtiene la energía nominal a través de la

$$E_{\text{nominal}} = V * Ah$$

$$E_{\text{nominal}} = V * Ah$$

*Ecuación 4*

$$E_{\text{nominal}} = 12V * 7Ah = 84Wh$$

Para las baterías de plomo según el estándar mundial, recomienda de que la energía disponible en un banco de baterías no supere el 50% de la capacidad disponible total con el objetivo de optimizar el tiempo de vida útil, para ello se emplea la

y se obtiene los siguientes resultados.

$$E_{\text{Disponible}} = E_{\text{nominal}} * 0.5$$

*Ecuación 5*

$$E_{\text{Disponible}} = 84Wh * 0.5 = 42Wh$$

Posteriormente, se calcula el número de baterías empleando la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

$$\text{Número de baterías} = \frac{\text{Consumo diario}}{E_{\text{Disponible}}}$$

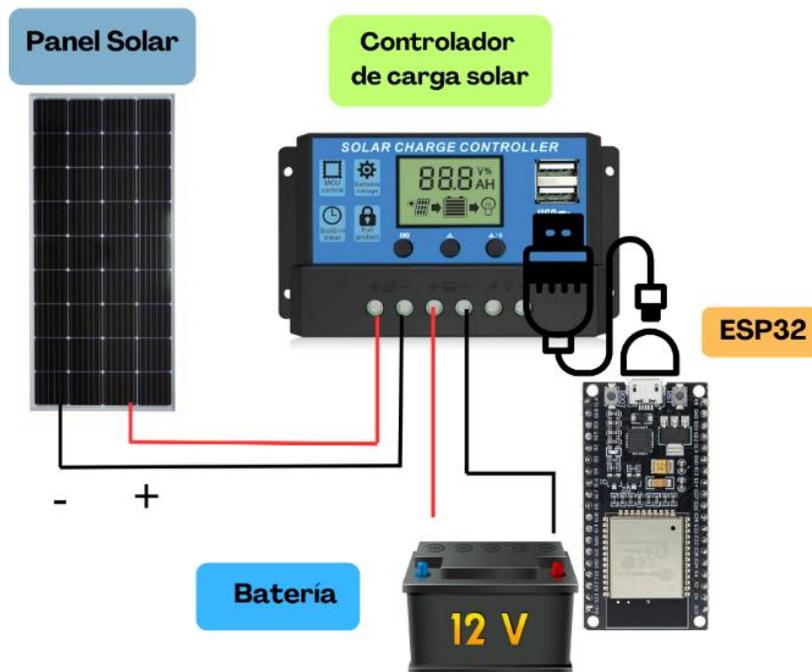
*Ecuación 6*

$$\text{Número de baterías} = \frac{23,5Wh}{42Wh} = 0,56$$
$$0.56 \approx 1$$

Una vez realizado todos los cálculos, se obtiene que el número de baterías a emplear en este sistema es 1.

- *Conexión del sistema*

Una vez realizado los cálculos se procede a la instalación y configuración del sistema fotovoltaico, en la Figura 3. 9 se puede visualizar la instalación realizada, en donde el panel solar de 35 W de potencia se conecta al controlador de carga, a su vez está conectada la batería de 12V7Ah y finalmente la ESP32 gracias al puerto USB del controlador permite que ésta se alimentada directamente. Cabe recalcar que el sistema fotovoltaico está sobredimensionado con el propósito de aumentar más sensores y dispositivos posteriormente en la colmena.



*Figura 3. 9 Conexión del sistema fotovoltaico.*

## CAPÍTULO IV

### RESULTADO Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se describirá el diseño de la arquitectura IoT del sistema de monitoreo, así como su implementación en condiciones reales de trabajo. Posteriormente se realizarán pruebas específicas que corroborarán el funcionamiento óptimo del sistema y de esta manera se presentará las respectivas conclusiones dando cumplimiento a los objetivos planteados.

#### **4.1. Análisis de la Implementación del Sistema**

La implementación de un sistema es un proceso crítico que demanda un análisis exhaustivo para garantizar su adecuado funcionamiento y la consecución de los objetivos previstos. En este contexto, el sistema fotovoltaico junto con el sensor y componentes electrónicos ha sido instalado y configurado en un entorno apícola, ubicado en la parroquia “La Libertad” del cantón Espejo, provincia de Carchi, este lugar se encuentra a 2983 m s. n. m y una temperatura promedio entre 8°C y 14°C. Esta sección desglosa los pasos clave en la implementación del sistema, las consideraciones tomadas para su integración en el entorno específico y los procedimientos llevados a cabo para asegurar un funcionamiento óptimo y sostenible. La presente evaluación examina desde la colocación estratégica del panel solar hasta la instalación cuidadosa de los sensores dentro de la colmena, destacando la importancia de un diseño que se alinea con las necesidades de la apicultura moderna y las condiciones ambientales particulares de la región.

##### **4.1.1. Implementación y Configuración del Sistema**

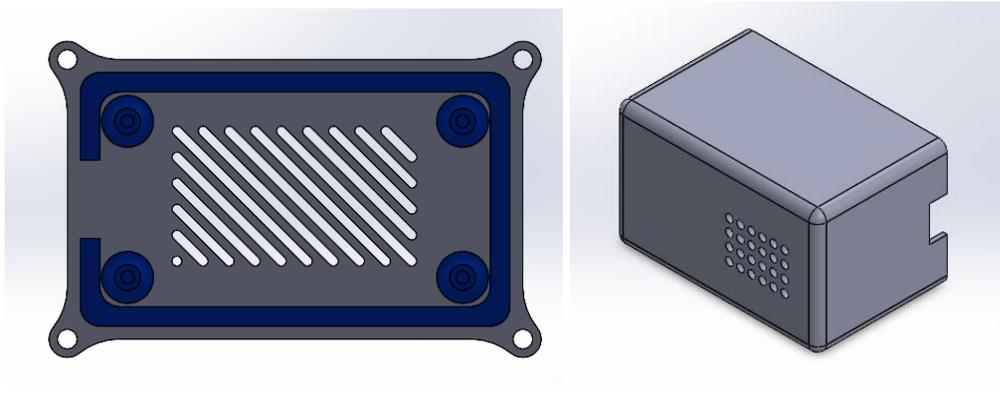
La configuración óptima de un sistema fotovoltaico y de monitoreo ambiental es crucial para la eficacia y sostenibilidad a largo plazo en el ámbito de la apicultura. La implementación del sistema se realizó con una atención meticulosa a los detalles técnicos y ambientales para asegurar la máxima eficiencia.

Para colocar el panel solar se identificó la inclinación óptima, en Ecuador la latitud es 0, por lo cual el panel solar debería estar totalmente en horizontal, sin embargo, según los manuales de instalación de sistemas fotovoltaicos, el panel debe tener una ligera inclinación entre 5° a 10° para evitar la acumulación de polvo, hojas, etc. Considerando que el lugar donde se sitúa el panel solar es una caseta que tiene dos planos inclinados y opuestos que se unen y forman la cumbre, se decide colocar el panel solar en uno de los planos tal como se indica en la Figura 4. 1 sujeto con pernos autopercutores.



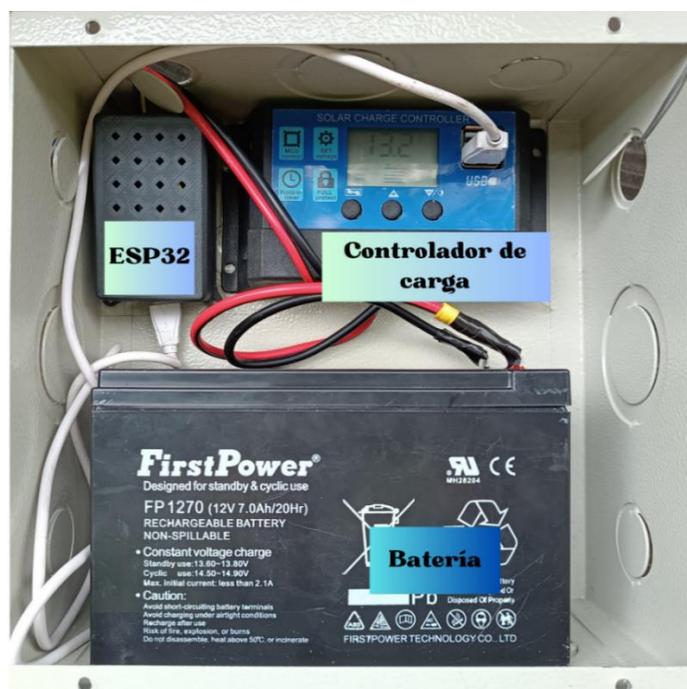
*Figura 4. 1 Instalación del panel solar.*

El microcontrolador ESP32, siendo un componente crítico en el sistema de recopilación de datos, se ha asegurado dentro de un diseño de caja protectora personalizado hecho en el software CAD de Solid Works (Figura 4. 2). Esta caja, impresa en 3D y diseñada específicamente para este fin, resguarda el dispositivo de influencias externas que podrían comprometer su funcionamiento y precisión.



*Figura 4. 2 Base y caja protectora del microcontrolador ESP32.*

Dentro del gabinete de protección, se organizó de manera sistemática toda la instrumentación eléctrica y electrónica, con el objetivo de que los componentes esenciales estén protegidos como se muestra en la Figura 4. 3.



*Figura 4. 2 Elementos implementados en la caja de protección.*

El proceso de instalación del sensor DHT22 fue realizado con sensibilidad hacia el entorno apícola. La manipulación de las colmenas con el uso de humo para calmar a las abejas demuestra una fusión respetuosa entre tecnología y naturaleza como se observa en la Figura 4.4. La ubicación

del sensor en la base de la colmena fue un paso crítico que se ejecutó con cuidado para garantizar lecturas precisas y consistentes.



*Figura 4. 3 Utilización del humificador para la manipulación de la colmena*

Esta fase de implementación sentó las bases para un monitoreo ambiental efectivo y fiable, crucial para la evaluación continua de las condiciones de las colmenas y el bienestar de las abejas.

#### **4.1.2. Funcionamiento del Sistema Fotovoltaico**

La implementación del sistema fotovoltaico y de monitoreo IoT en la apicultura ha sido validada a través de pruebas exhaustivas, con el fin de confirmar su operatividad según lo planificado.

#### ***Validación del Sistema IoT***

**Pruebas de funcionamiento:** Se realizaron para verificar la recolección continua de datos por el sensor DHT22 y su transmisión al microprocesador. A través de las gráficas generadas por ThingSpeak (Figura 4.5).

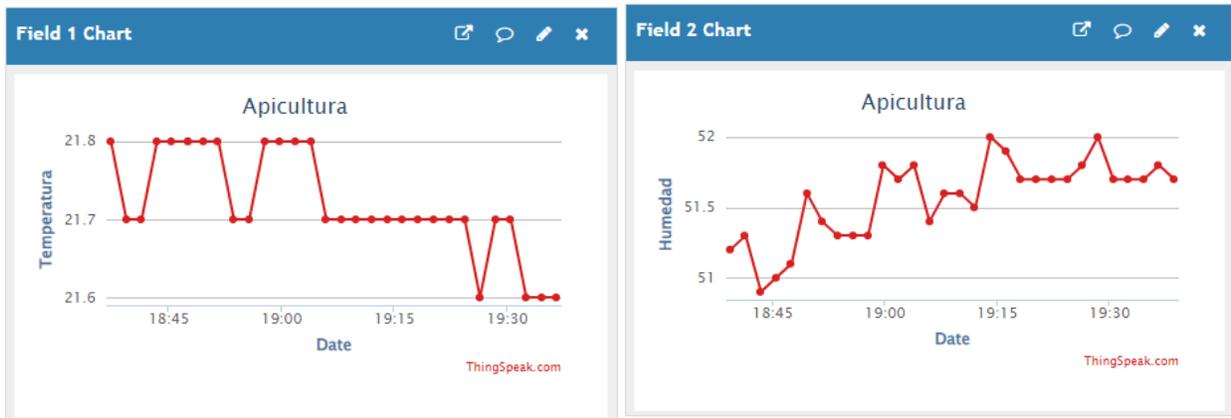


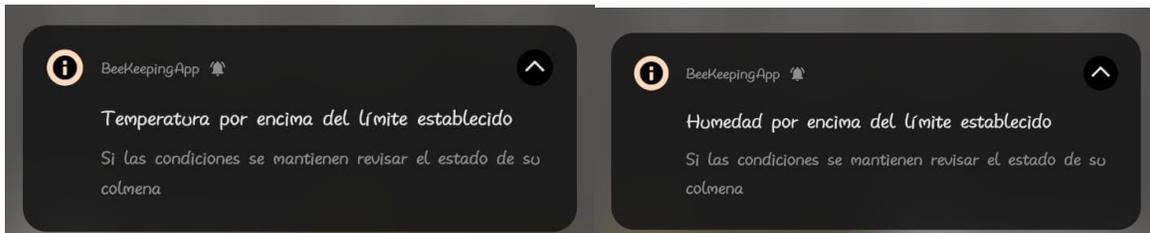
Figura 4. 4 Graficas de datos censados de temperatura y humedad generadas por ThingSpeak.

**Monitoreo de la Aplicación:** La aplicación BeekeepingApp (Figura 4. 6) se configuró con rangos óptimos de temperatura y humedad basados en manuales apícolas.



*Figura 4. 5 Graficas de datos censados de temperatura y humedad en la aplicación móvil.*

**Alertas:** Al modificar estos valores predeterminados, la aplicación demostró su funcionalidad al enviar notificaciones al apicultor (Figura 4. 7), informando sobre las condiciones fuera de los límites establecidos.



*Figura 4. 6 Alertas generadas de la aplicación móvil.*

### ***Pruebas de exactitud***

Las pruebas de exactitud permitieron garantizar el funcionamiento del sensor DHT22, dando así la confianza en las mediciones de humedad y temperatura. Por lo cual se analizaron variaciones de medida empleando las medidas de un instrumento patrón llamado termohigrómetro como referencia, tal como se indica en la Figura 4. 7.



*Figura 4. 7 Monitoreo de las variables mediante un instrumento patrón.*

En la Tabla 4. 1 se registró los datos durante una hora, la cual permite visualizar el comportamiento de cada variable tomadas con el instrumento patrón y con el sensor DHT22 implementado.

*Tabla 4. 1 Datos monitoreados de las variables ambientales.*

<b>Tiempo (Minutos)</b>	<b>Instrumento Patrón</b>		<b>Sensor DHT22</b>	
	<b>Humedad (%)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
2	61	16.8	59.4	17.1
4	61	16.8	59.4	17.1
6	61	16.8	59.4	17.1
8	60	17.0	59.1	17.2
10	60	17.0	59.1	17.2
12	60	17.0	58.9	17.3
14	60	17.0	58.9	17.3

16	60	17.0	58.9	17.3
18	60	17.0	58.9	17.3
20	60	17.0	58.6	17.4
22	60	17.0	58.6	17.4
24	60	16.9	58.9	17.3
26	60	16.9	58.6	17.4
28	60	17.0	58.4	17.5
30	60	17.0	58.4	17.5
32	60	17.0	58.4	17.5
34	60	17.2	58.1	17.6
36	60	17.2	58.1	17.6
38	60	17.3	57.8	17.8
40	60	17.3	57.8	17.8
42	60	17.3	57.8	17.8
44	59	17.5	57.3	18.0
46	59	17.5	57.3	18.0
48	59	17.5	57.3	18.0
50	59	17.5	57.6	17.9
52	59	17.5	57.4	18.0
54	59	17.5	57.5	18.0
56	59	17.5	57.4	18.0
58	59	17.5	57.7	17.9
60	59	17.5	57.7	17.9

Posteriormente se llevó a cabo el cálculo del error absoluto (Tabla 4. 2) tanto de temperatura y humedad entre la lectura DHT22 y la medición Instrumento, por consiguiente, se presentó un análisis de resultados (Tabla 4. 3).

*Tabla 4. 2 Cálculo del error absoluto y porcentual.*

	<i>Error absoluto</i>	<i>Error absoluto</i>
	0,3	-1,60
	0,3	-1,60
	0,2	-1,60
	0,2	-0,90
	0,2	-0,90
	0,3	-1,10
	0,3	-1,10
	0,3	-1,10
	0,3	-1,10
	0,4	-1,40
	0,4	-1,40
	0,4	-1,10
	0,5	-1,40
	0,5	-1,60
	0,5	-1,60
	0,5	-1,60
	0,4	-1,90
	0,4	-1,90
	0,5	-2,20
	0,5	-2,20
	0,5	-2,20
	0,5	-1,70
	0,5	-1,70
	0,5	-1,70
	0,4	-1,40
	0,5	-1,60
	0,5	-1,50
	0,5	-1,60
	0,4	-1,30
	0,4	-1,30
<b>Promedio</b>	0,4	-1,51

*Tabla 4. 3 Tabla de resultados de las variables monitoreadas.*

Parámetros	Sensor DHT22	
	Humedad (%)	Temperatura (°C)
Precisión	±2%	±0,5°C

<b>Promedio del Error absoluto</b>	-1,51%	0,4°C
<b>Conclusión</b>	Dentro del rango	Dentro del rango

### *Pruebas de tiempo de retardo propagación de datos*

El tiempo de retardo de propagación permitió conocer el tiempo que tarda en viajar una señal desde un punto de salida hasta un punto de destino dependiendo de varios factores como la programación ejecutada y la red a la que se encuentra conectado. Mediante código de programación en Arduino se obtuvo el tiempo de retardo de propagación como se indica en la Figura 4. 8, considerando que el microcontrolador se encuentra a 15 metros aproximadamente de la Antena Wi-Fi y que el tiempo de monitorización programado es cada 2 minutos.

```

Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM5')
-----*
Temperatura DHT22: 27.40 °C.
Humedad DHT22: 52.10 %.
-----*
Datos enviados a ThingSpeak! - EXITOSAMENTE
-----*
Tiempo de transmisión: 2585
Sensando...
-----*
Temperatura DHT22: 27.80 °C.
Humedad DHT22: 51.00 %.
-----*
Datos enviados a ThingSpeak! - EXITOSAMENTE
-----*
Tiempo de transmisión: 2503
Sensando...
-----*
Temperatura DHT22: 27.70 °C.
Humedad DHT22: 51.30 %.
-----*
Datos enviados a ThingSpeak! - EXITOSAMENTE
-----*

```

*Figura 4. 8 Tiempo obtenido en milisegundos del envío de datos desde la ESP32 a la nube.*

En la Tabla 4. 4 se presenta el tiempo obtenido en diferentes horas del día, tomando en consideración las horas con más usuarios conectados a la red Wi-Fi.

*Tabla 4. 4 Tiempo de retardo propagación*

<b>Hora</b>	<b>Tiempo de retardo de propagación (milisegundos)</b>
8 AM	2165
9 AM	2147
10 AM	2645
11 AM	2701

12 PM	2822
1 PM	2578
2 PM	2601
3 PM	2433
4 PM	2212
5 PM	2653
6 PM	2785
7 PM	2876
8 PM	2865

Mediante el tiempo obtenido se puede identificar el rendimiento eficiente del sistema implementado, en este caso se comprueba que existe buena conexión y la diferencia entre tiempos depende de la congestión de la red. Por lo tanto, se deduce que el tiempo de retardo de propagación depende de varios factores como la velocidad de transmisión de datos desde la ESP32 hasta la nube, latencia de la red y posibles fallas.

## **4.2.Recolección y Análisis de Datos de las Variables Ambientales**

Dentro de la fase de recolección y análisis de datos ambientales, se ha incorporado un componente significativo en el uso de MATLAB para un análisis más profundo y técnico de los datos recolectados. Esta sección amplía el análisis anterior al incluir una evaluación cuantitativa realizada con herramientas avanzadas de MATLAB, permitiendo un entendimiento más detallado de las condiciones ambientales en relación con el bienestar de las colmenas.

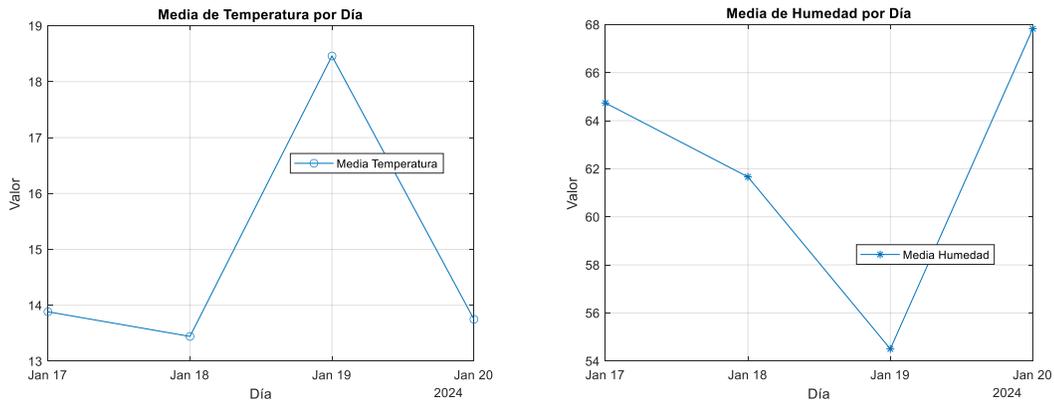
### **4.2.1. Presentación de los Datos Recolectados y Análisis en MATLAB**

El proceso de recolección de datos generó una serie temporal extensa, con mediciones precisas de temperatura y humedad registradas cada 2 minutos durante un período de cuatro días. Estos datos fueron importados a MATLAB, donde se aplicaron técnicas de procesamiento de señales y análisis estadístico para evaluar las fluctuaciones ambientales y su impacto potencial en las colmenas.

#### ***Análisis Estadístico Descriptivo en MATLAB***

- **Media:** El análisis de las medias de temperatura y humedad (Figura 4. 9) en el marco de esta investigación ambiental revela información sobre las condiciones climáticas en

los días estudiados. Destaca la variabilidad notable en la temperatura media, con un pico inusual de 18.40°C registrado el 19 de enero de 2024. Este evento plantea interrogantes sobre la posibilidad de cambios climáticos o eventos extremos en el lugar. Además, presenta la humedad de 54.62% en el mismo día que sugiere condiciones óptimas durante ese día. La comparación de estos datos con días cercanos, como el 18 de enero de 2024 y el 20 de enero de 2024, destaca la influencia de factores adicionales en la humedad, más allá de la temperatura. Este análisis subraya la necesidad de considerar el contexto climático y los posibles impactos de estas condiciones en la toma de decisiones y la planificación futura.



*Figura 4. 9 Media de temperatura y humedad por día.*

- Mediana:** El análisis de las medianas de temperatura y humedad proporciona una perspectiva sobre las condiciones climáticas en los días estudiados en el contexto de esta investigación ambiental. En primer lugar, se observa una variabilidad en las medianas de temperatura, con valores que oscilan entre 12.4°C y 16.5°C. El día 19 de enero de 2024 destaca con una mediana de temperatura de 16.5°C, indicando un día relativamente más cálido en comparación con los otros días analizados. Esta variabilidad puede tener implicaciones importantes en la planificación apícola y en la salud de los ecosistemas locales.

Por otro lado, las medianas de humedad también muestran variaciones notables, con valores que oscilan entre 55.15% y 64.6%. El día 17 de enero de 2024 registra la

mediana más alta de humedad, lo que puede estar relacionado con condiciones climáticas específicas en ese período.

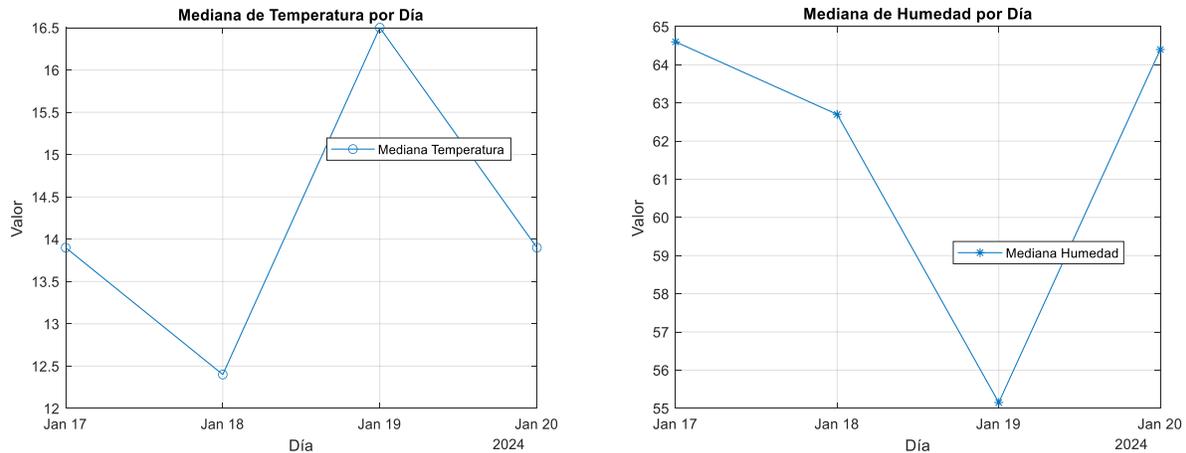


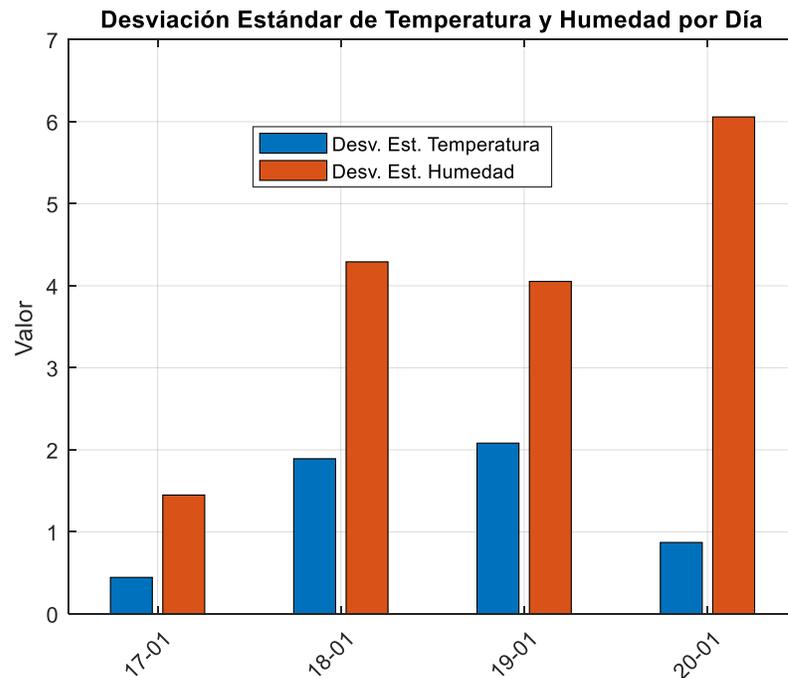
Figura 4. 10 Gráficos descriptivos de la mediana.

- **Desviación estándar:** El análisis de las variables climáticas que se observa en la Figura 4. 11, temperatura y humedad, proporciona información sobre la variabilidad de estas condiciones ambientales en diferentes días. Los resultados revelan que el día 20 de enero de 2024 exhibió una alta desviación estándar tanto en temperatura como en humedad, lo que sugiere que las condiciones climáticas experimentaron fluctuaciones significativas a lo largo del día.

Por otro lado, el análisis muestra que el 17 de enero de 2024 tuvo una baja desviación estándar en temperatura, lo que indica que las temperaturas se mantuvieron relativamente constantes durante ese día. Sin embargo, la humedad aún exhibió cierta variabilidad. Por último, el 19 y 20 de enero de 2024 mostró una moderada desviación estándar en temperatura, pero una alta variabilidad en la humedad. Esto sugiere que, aunque las temperaturas variaron en un rango más estrecho, la humedad pudo haber experimentado cambios sustanciales.

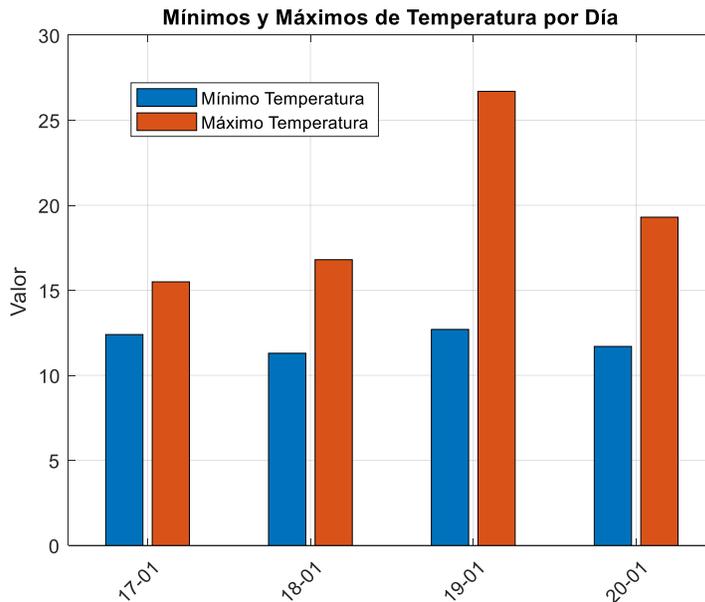
En conclusión, estos análisis destacan la importancia de comprender la variabilidad climática diaria, ya que los días con alta desviación estándar pueden tener un impacto significativo en las condiciones climáticas locales. Se puede considerar relativamente viendo estos cambios considerables, implementar estrategias de resiliencia y protección

para las abejas durante días con desviaciones estándar significativas. Además, es esencial seguir recopilando datos y realizar un seguimiento continuo de las condiciones ambientales para tomar decisiones informadas en la apicultura.



*Figura 4. 11 Desviación estándar de temperatura y humedad por día.*

- **Máximos y Mínimos:** Los registros de temperatura máxima y mínima ofrecen información sobre las condiciones extremas a las que las abejas pueden estar expuestas durante diferentes días del año (Figura 4. 12). En particular, es fundamental observar que las temperaturas máximas pueden llegar a niveles como 28.3°C en el caso del 19 de enero de 2024, lo que indica condiciones cálidas que podrían influir en la actividad y comportamiento de las abejas. Por otro lado, las temperaturas mínimas, que pueden descender hasta 11.3°C el 18 de enero de 2024, representan condiciones más frías que también pueden afectar el funcionamiento de la colmena y la actividad de las abejas.



*Figura 4. 12 Valores máximos y mínimos de temperatura por día.*

La humedad máxima y mínima registrada también es relevante para la apicultura. Los niveles de humedad ambiental pueden variar significativamente, y estos registros muestran valores que oscilan desde el 41,3% de humedad mínima el 19 de enero de 2024 hasta el 83,4% de humedad máxima el 20 de enero de 2024. Estos datos reflejan condiciones de humedad que pueden afectar la regulación térmica de la colmena y la salud de las abejas. Las variaciones extremas en la humedad pueden ser especialmente preocupantes, ya que pueden contribuir a enfermedades de las abejas. En general, el seguimiento y análisis continuo de estos valores de temperatura y humedad son fundamentales para tomar decisiones informadas en la apicultura y garantizar el bienestar de las colmenas.

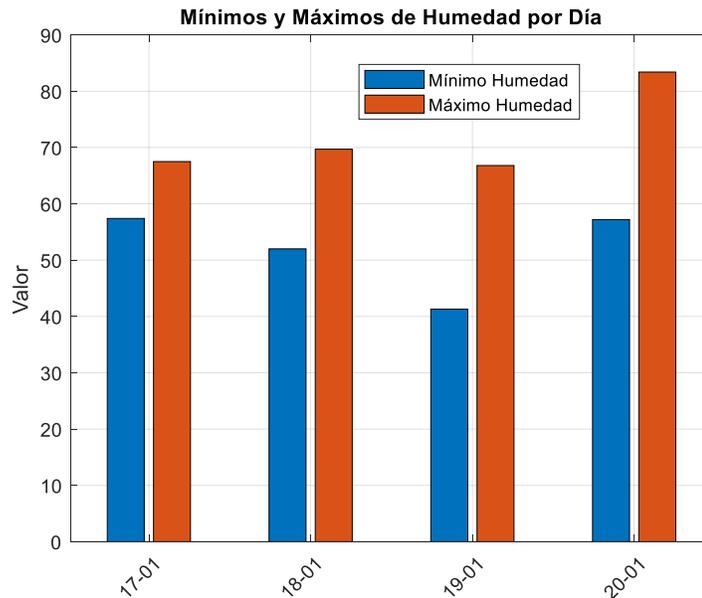


Figura 4. 13 Valores máximos y mínimos de humedad por día.

### Análisis de Correlación y Modelado

El análisis de correlación se utiliza para entender cómo la temperatura se relaciona con la humedad en los datos. Este análisis nos proporcionará un coeficiente de correlación que indica la fuerza y la dirección de la relación entre estas dos variables, este cálculo se realizó computarizado en el software de Matlab, teniendo de resultado la siguiente Figura 4. 14.

```

Coeficiente de correlación de Pearson:
    1.0000    -0.6493
   -0.6493     1.0000

Linear regression model:
    Humedad ~ 1 + Temperatura

Estimated Coefficients:


|             | Estimate | SE       | tStat   | pValue      |
|-------------|----------|----------|---------|-------------|
| (Intercept) | 89.917   | 0.68731  | 130.82  | 0           |
| Temperatura | -1.8397  | 0.048128 | -38.224 | 1.3122e-240 |



Number of observations: 2007, Error degrees of freedom: 2005
Root Mean Squared Error: 4.82
R-squared: 0.422, Adjusted R-Squared: 0.421
F-statistic vs. constant model: 1.46e+03, p-value = 1.31e-240
>>

```

Figura 4. 14 Correlación y Modelado en Matlab

En el contexto del desarrollo de un sistema IoT para el monitoreo de variables ambientales en apicultura, el análisis de correlación entre la temperatura y la humedad ha revelado una relación negativa moderada, con un coeficiente de correlación de Pearson de -0.64926. Este hallazgo sugiere que, en el entorno estudiado, un aumento en la temperatura tiende a estar asociado con una disminución en la humedad y viceversa. Esta interacción entre la temperatura y la humedad es crucial para comprender las condiciones ambientales dentro de las colmenas, ya que ambos factores influyen significativamente en la salud y el bienestar de las abejas. La identificación de esta relación proporciona una base sólida para la implementación de un sistema de monitoreo que pueda predecir condiciones ambientales adversas y permitir intervenciones oportunas para mantener la salud de las colmenas.

Basándose en los resultados del análisis de correlación, el modelado predictivo emerge como un paso siguientes trabajos futuros. La implementación de modelos predictivos que utilicen la temperatura y la humedad como variables de entrada podría facilitar la anticipación de condiciones potencialmente perjudiciales para las abejas, permitiendo la activación de alertas tempranas para los apicultores. Este enfoque no solo apoya la toma de decisiones basada en datos para el manejo de las colmenas, sino que también se alinea con los objetivos de optimización de las prácticas apícolas a través de la tecnología IoT. Al ajustar proactivamente las condiciones dentro de las colmenas basándose en predicciones precisas, los apicultores pueden mejorar la productividad y la sostenibilidad de sus operaciones, subrayando la importancia de la ingeniería en la apicultura de precisión.

#### **4.2.2. Comparación con Rangos Óptimos**

Basándonos en estos parámetros específicos para la activación de calefacción y ventilación en las colmenas:

- Generar calor cuando la temperatura desciende hasta los 14°C o menos.
- Refrescar (ventilación) cuando la temperatura supera los 35°C.

Los cálculos muestran que aproximadamente 72.15% de las mediciones de temperatura en el conjunto de datos indican una necesidad de calefacción (temperatura de 14°C o menos), lo que sugiere que una gran parte del tiempo, las condiciones ambientales están por debajo del umbral de

temperatura óptima para la salud de las colmenas. Por otro lado, no hay registros en el conjunto de datos que superen los 35°C, por lo que, según estos datos, no habría necesidad de activar sistemas de ventilación para refrescar las colmenas.

Este análisis subraya la importancia de un sistema de monitoreo y control ambiental IoT en la apicultura que pueda responder automáticamente a las variaciones de temperatura. La implementación de sistemas de calefacción activados cuando la temperatura desciende hasta los 14°C o menos podría ser crucial para mantener la viabilidad y productividad de las colmenas, especialmente en temporadas donde las temperaturas bajas son comunes. La ausencia de necesidad de ventilación, según los datos actuales, sugiere que el enfoque principal de las intervenciones debería estar en la protección contra el frío.

Para analizar la necesidad de ajustar la humedad basándose en el rango óptimo de 50% a 60%, se calcula el porcentaje de registros que caen fuera de este rango óptimo. Esto permite determinar qué tan frecuentemente las condiciones de humedad registradas requieren intervención para aumentar o disminuir la humedad dentro de la colmena, asegurando así las condiciones ideales para la salud de las abejas, la viabilidad de sus huevos y la producción de miel.

Los cálculos indican que aproximadamente 3.69% de las mediciones de humedad registradas caen por debajo del 50%, lo que sugiere una necesidad de aumentar la humedad para alcanzar el rango óptimo de 50% a 60%. Por otro lado, una mayoría significativa, aproximadamente 84.85% de los registros, excede el 60% de humedad, indicando una necesidad de reducir la humedad para mantenerla dentro del rango óptimo.

Este análisis resalta la importancia crítica de implementar un sistema de control de humedad dentro del proyecto de monitoreo IoT para apicultura. La capacidad de ajustar automáticamente la humedad dentro de las colmenas es esencial para proteger la salud de las abejas, asegurar la viabilidad de los huevos y optimizar la producción de miel, especialmente dada la alta frecuencia de condiciones de humedad por encima del nivel óptimo. La implementación de soluciones como ventiladores de colmenas controlados por IoT, activados según las necesidades detectadas por los sensores de humedad, podría ser una estrategia efectiva para mantener las condiciones ideales dentro de las colmenas.

### 4.3. Análisis General

El proyecto se centra en el desarrollo e implementación de un sistema IoT para el monitoreo de variables ambientales críticas en la apicultura, específicamente la temperatura y la humedad, con el objetivo de optimizar las condiciones dentro de las colmenas, mejorar la salud y la productividad de las abejas, y reducir la mortalidad de las colmenas. Los análisis realizados han proporcionado perspectivas valiosas sobre las dinámicas entre estas variables y su impacto en el entorno apícola.

El análisis de correlación reveló una relación negativa moderada entre la temperatura y la humedad (-0.64926), lo que indica que, en general, un aumento en la temperatura se asocia con una disminución en la humedad, y viceversa. Este hallazgo es fundamental para comprender cómo las variaciones en una de estas variables pueden afectar la otra, y subraya la importancia de monitorear ambas en conjunto para mantener condiciones óptimas dentro de las colmenas.

La comparación con los rangos óptimos ha mostrado que solo un pequeño porcentaje de las mediciones de temperatura se encuentra dentro del rango óptimo de 14°C a 35°C (3.64%), y un porcentaje algo mayor de las mediciones de humedad se sitúa en el rango óptimo de 50% a 60% (15.10%). Este resultado resalta una necesidad significativa de intervención para ajustar estas condiciones ambientales hacia los rangos óptimos, especialmente considerando que la gran mayoría de las mediciones de humedad exceden el límite superior del rango óptimo, indicando una prevalencia de condiciones de humedad excesiva.

Además, se identificó que aproximadamente el 72.15% de las mediciones de temperatura indican una necesidad de calefacción (temperatura de 14°C o menos), mientras que no se registraron condiciones que requieran ventilación (temperatura superior a 35°C). Por otro lado, el análisis de humedad sugiere una necesidad predominante de reducir la humedad (84.85% de las mediciones), con solo un 3.69% de las mediciones indicando la necesidad de aumentarla.

En conjunto, estos análisis subrayan la importancia de implementar un sistema de monitoreo y control IoT robusto y adaptable en la apicultura. Un sistema como tal no solo debería ser capaz de monitorear en tiempo real las condiciones de temperatura y humedad, sino también activar automáticamente sistemas de calefacción o deshumidificación según sea necesario para mantener las condiciones dentro de los rangos óptimos. Esto permitiría a los apicultores tomar

decisiones informadas y responder de manera proactiva a las variaciones ambientales, asegurando así el bienestar de las abejas y la sostenibilidad de la producción de miel.

Este análisis general demuestra la complejidad y la interdependencia de las variables ambientales en la apicultura, y destaca la utilidad de la tecnología IoT para abordar estos desafíos, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos en este campo.

#### **4.4. Evaluación del Impacto del Sistema en la Apicultura**

Para realizar la evaluación del impacto del sistema IoT en la apicultura, se debe considerar varios aspectos clave que abarcan desde mejoras en la salud y productividad de las colmenas hasta la eficiencia operativa para los apicultores. Esta evaluación se basará en los análisis realizados y en cómo la implementación de un sistema de monitoreo y control ambiental podría transformar prácticas apícolas tradicionales. A continuación, se presenta un esquema para evaluar el impacto potencial del sistema:

##### **4.4.1. Mejora en la Salud de las Colmenas**

El análisis de los datos ambientales reveló condiciones que frecuentemente caen fuera de los rangos óptimos para temperatura y humedad, lo que puede generar vulnerabilidad en las colmenas. La implementación de un sistema IoT, capaz de ajustar automáticamente estas condiciones, promete una mejora sustancial en la salud de las colmenas, lo que contribuye a una menor incidencia de enfermedades y un ambiente propicio.

##### **4.4.2. Aumento de la Productividad**

La constante necesidad de calefacción identificada en el análisis subraya las condiciones subóptimas que enfrentan las colmenas, afectando potencialmente la producción de miel. Un sistema IoT diseñado para mantener condiciones ambientales ideales dentro de las colmenas puede optimizar la productividad de miel al permitir que las abejas se concentren en actividades de recolección y producción, en lugar de regular su entorno. Además, la estabilidad en la humedad es crucial para preservar la calidad de la miel, evitando problemas de fermentación y asegurando un producto final superior.

#### **4.4.3. Eficiencia Operativa**

El monitoreo en tiempo real y las alertas automáticas propuestas por el sistema IoT pueden reducir significativamente la frecuencia de las inspecciones manuales, liberando tiempo valioso para los apicultores. Esta eficiencia operativa no solo mejora la gestión de las colmenas, sino que también abre oportunidades para expandir las operaciones apícolas. Con datos precisos y actualizados, los apicultores pueden tomar decisiones informadas rápidamente, ajustando las prácticas de manejo para mejorar la salud de las colmenas y la producción de miel.

#### **4.4.4. Impacto Económico**

Al asegurar la salud y la viabilidad de las colmenas mediante un sistema de monitoreo y control IoT, el proyecto contribuye directamente a la preservación de las abejas, polinizadores claves para la biodiversidad y la agricultura. La integración de energías renovables para alimentar el sistema IoT refleja un compromiso con la sostenibilidad ambiental, reduciendo el impacto ecológico y fomentando el uso de tecnologías limpias en la apicultura.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Las variables ambientales más importantes en la apicultura son la temperatura y la humedad, por lo cual es esencial que el apicultor tenga conocimiento sobre estas variables y por consiguiente conozca el estado en que se encuentra la colmena. Tras la revisión de varios manuales técnicos de apicultura se conoció que la temperatura ideal en una colmena se encuentra entre 14°C y 35°C mientras que la humedad óptima es entre 50% y 60%, esta información fue indispensable para el desarrollo de la aplicación móvil y envío de notificaciones, sin embargo, el usuario puede ajustar los parámetros de humedad y temperatura de acuerdo con sus requerimientos.
- La arquitectura IoT diseñada permitió monitorear la colmena desde un dispositivo móvil y obtener los datos de temperatura y humedad de manera eficiente, con ello el apicultor pudo conocer el estado de su colmena sin la necesidad de tener contacto directo con la misma, de esta manera tomar decisiones oportunas dependiendo del caso con el objetivo de evitar enfermedades y que la colmena se eche a perder.
- La implementación del sistema IoT demostró un desempeño satisfactorio en la colmena ya que se logró verificar su funcionamiento técnico en condiciones reales y la capacidad para la recolección de datos mediante las pruebas realizadas. De esta manera se identificó que la humedad es proporcional a la temperatura y altamente sensible. Así como también se evidenció mediante el análisis de los datos la utilidad de la tecnología IoT y la importancia de implementar un sistema más robusto de monitoreo y control en las colmenas.

## 5.2.Recomendaciones

- Dado que la temperatura y la humedad son variables ambientales críticas en la apicultura, se recomienda informar al apicultor sobre la importancia de monitorear y mantener estas variables dentro de rangos óptimos en las colmenas.
- Para mejorar aún más la capacidad de monitoreo y gestión de la colmena, se recomienda considerar la incorporación de sensores adicionales, como balanzas, que permitan medir el peso de la colmena y determinar el momento óptimo para la extracción de miel. La adición de estos sensores proporcionará al apicultor una visión más completa del estado y la productividad de la colmena, permitiéndole tomar decisiones más precisas y oportunas en cuanto a la gestión de la cosecha de miel.
- Se puede explorar la implementación de funcionalidades adicionales que enriquezcan la experiencia del usuario. Entre estas funcionalidades se podrían incluir gráficos estadísticos detallados por días o semanas, alertas personalizadas según los parámetros establecidos por el usuario y la posibilidad de acceder a históricos de datos para un análisis más exhaustivo del comportamiento de la colmena a lo largo del tiempo. Estas mejoras no solo contribuirían a una mejor comprensión de los datos recopilados, sino que también podrían facilitar la toma de decisiones más informadas por parte del apicultor, fortaleciendo así la gestión y el cuidado de las colmenas.

## REFERENCIAS

- [1] J. Samaniego, “Colmenas inteligentes: tecnología IoT para salvar el futuro de las abejas.” Accessed: May 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.nobbot.com/colmenas-inteligentes/>
- [2] Ministerio de Agricultura y Ganadería, “Ministerio de Agricultura y Ganadería realiza registro de apicultores – Ministerio de Agricultura y Ganadería.” Accessed: May 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/ministerio-de-agricultura-y-ganaderia-realiza-registro-de-apicultores-2/>
- [3] CropLife, “CropLife Latin America propone implementación de políticas para cuidar a las abejas.” Accessed: Jan. 01, 2024. [Online]. Available: <https://agraria.pe/noticias/croplife-latin-america-propone-implementacion-de-politicas-p-16664>
- [4] Méndez Ángela and Márquez Octavio, “Módulo de monitoreo Apícola,” 2012.
- [5] J. Ivars, “Cómo revisar una colmena: Inspección interna y externa.” Accessed: May 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.latiendadelapicultor.com/blog/como-revisar-una-colmena/>
- [6] Gómez Ricardo, Chab Carlos, Decena Carlos, and Dzib Irving, “Dispositivo inteligente de comunicación remota para lectura de datos en un apiario con tecnología IoT,” 2022.
- [7] M. Alejandra Hernández González, J. Pablo, and H. Pinto, “Diseño de un sistema de producción apícola,” 2014.
- [8] B. Enrique, “Apicultura de precisión y sus áreas de oportunidad en el entorno apícola mexicano,” *Junio*, vol. 4, pp. 11–12, 2017.
- [9] R. Efrén Vásquez *et al.*, “Conceptos fundamentales de producción apícola 2. a Edición,” Bogotá, 2021.
- [10] C. De Contabilidad and Y. Auditoría, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS EMPRESARIALES.”
- [11] W. ROSILLO, I. VIVANCO, E. REYES, and D. RODRIGUEZ, “Análisis de las falencias del sector apicultor en la provincia del Guayas,” *Espacios*, vol. 41, no. 50, pp. 109–138, Dec. 2020, doi: 10.48082/espacios-a20v41n50p09.

- [12] R. Chaves Ladino, “Influencia del nivel tecnológico en la productividad y competitividad de apicultores en Cundinamarca,” 2022.
- [13] J. D. Collazos Orihuela, “Facultad de Zootecnia,” 2019.
- [14] Jiménez Mayda, Vallejos Lesie, and Doorn Marnix, “Salud Apícola,” 2020.
- [15] A. Ramos and Pacheco Neith, “Producción y comercialización de miel y sus derivados en México,” 2016.
- [16] M. Fedoriak *et al.*, “Stakeholders’ views on sustaining honey bee health and beekeeping: the roles of ecological and social system drivers,” *Landsc Ecol*, vol. 36, no. 3, pp. 763–783, Mar. 2021, doi: 10.1007/s10980-020-01169-4.
- [17] I. Petráš, I. Podlubny, J. Kačur, IEEE Czechoslovakia Section, Institute of Electrical and Electronics Engineers, and E. Technical University of Kolšice. Faculty of Mining, *Proceedings of the 2016 17th International Carpathian Control Conference (ICCC) : Grandhotel Praha, High Tatras, Tatranská Lomnica, Slovak Republic, May 29 - June 1, 2016*.
- [18] D. Popescu *et al.*, *2017 18th International Carpathian Control Conference (ICCC) : Palace Hotel, Sinaia, Romania, May 28-31, 2017*.
- [19] B. Enrique, “ESTRADA,” *Junio*, vol. 4, pp. 11–12, 2017.
- [20] Secretaría de Tecnologías de la Información y las comunicaciones, “Internet de las Cosas.”
- [21] I. Agr José Vaquero Ing Agr Pedro Vargas, E. Galeano Marco Vásquez, and P. Apícola Swisscontact FOMIN-BID, “Asesoría técnica y revisión: Edición, diseño y diagramación: Para mayor información dirigirse a,” 2010. [Online]. Available: [www.pymerural.org](http://www.pymerural.org).
- [22] P. Pavez, “Principios básicos en Apicultura,” Chile, 2020.
- [23] Besora Jordi, “Tecnologías Apropriadas para la Apicultura Serie: Tecnología para el Desarrollo Humano,” Perú, Feb. 2016.
- [24] ONU, “Por qué las abejas son esenciales para las personas y el planeta.” Accessed: May 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/porque-las-abejas-son-esenciales-para-las-personas-y-el-planeta>
- [25] Álvarez Johanna and Sánchez Estefanía, “Estudio de las propiedades físico-químicas y biológicas de cinco mieles de abeja distribuidas en la red de supermercados de Quito,” Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito, 2016.

- [26] El telégrafo, “El Telégrafo - La apicultura rinde como alternativa de producción.” Accessed: May 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/la-apicultura-rinde-como-alternativa-de-produccion>
- [27] A. Jimenez González *et al.*, “Caracterización de la producción apícola en un sistema cooperativo asociado al bosque seco tropical,” *Publicación cuatrimestral*, vol. 5, no. 3, pp. 47–60, 2021.
- [28] Líderes, “La apicultura se mueve con tres ejes estratégicos | Revista Líderes.” Accessed: May 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.revistalideres.ec/lideres/apicultura-miel-abejas-ministerio-agricultura.html>
- [29] R. E. Granja Ojeda, “Análisis del potencial de la actividad apícola como desarrollo socioeconómico en sectores rurales,” Quito, Dec. 2017. Accessed: Apr. 30, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7106/1/135301.pdf>
- [30] J. Crozier, “Manual Técnico de Apicultura,” Honduras, Jul. 2019. [Online]. Available: [www.dicta.gob.hn](http://www.dicta.gob.hn)
- [31] Members of Dunblane and Stirling Beekeepers’ Association, “The Basics of Beekeeping,” 2018.
- [32] M. DE Apicultura, L. Ana Mate Lic Valeria Guerra MINAGRO Marianela Zaccaro Nehuén Zapata Laura Olivera Tamara Vásquez Soledad García Sol Carrillo, and V. Busca Diseño gráfico, “Manual de Apicultura,” Buenos Aires. [Online]. Available: [www.redbpa.org.ar](http://www.redbpa.org.ar)
- [33] H. S. Galpayage Dona, C. Solvi, A. Kowalewska, K. Mäkelä, H. Di MaBouDi, and L. Chittka, “Do bumble bees play?,” *Anim Behav*, vol. 194, pp. 239–251, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.anbehav.2022.08.013.
- [34] K. Miranda, K. Palmera, Sepúlveda, and Paula, “Abejas.” Accessed: May 15, 2023. [Online]. Available: <https://docplayer.es/98756830-Contenido-autores-kevin-farouk-miranda-1-kevin-j-palmera-2-paula-andrea-sepulveda-cano-3-editores.html>
- [35] “Zánganos | elguardiandelasabeja.” Accessed: Jan. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.elguardiandelasabejas.com/zanganos>
- [36] Guirao Antonio, “La abejas,” *Entre Partículas*, 2022.
- [37] C. General De Ganadería, “Manual Básico de Apícola Programa Nacional para el Control de la Abeja Africana.”

- [38] “¿Por qué sería una catástrofe que desaparecieran las abejas y qué puedes hacer tu para evitarlo?” Accessed: Jan. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.semana.com/vida-moderna/articulo/por-que-seria-una-catastrofe-que-desaparecieran-las-abejas-y-que-puedes-hacer-tu-para-evitarlo/527062/>
- [39] L. Jesús Alfonso Navarrete Prida Secretario del Trabajo Previsión Social Lic José Adán Ignacio Rubí Salazar Subsecretario de Previsión Social Lic Edgar Mauricio Acra Alva and F. Manuel Tornero Applebaum, *Producción de Miel*. 2015.
- [40] “El valor de las abejas para la humanidad.” Accessed: Jan. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.bee-careful.com/es/la-vida-de-las-abejas/diversidad-de-frutos/el-valor-de-las-abejas-para-la-humanidad/>
- [41] J. M. Crespo, M. J. Alfonso, and C. Galván, “Producción y comercialización de la miel: de la colmena a la mesa.”
- [42] Kaiser Cheryl and Ernst Matt, “Beekeeping and Honey Production,” 2022.
- [43] M. A. Linares *et al.*, “Efecto de las variables ambientales y variaciones climáticas sobre la mortalidad, productividad, oferta floral y sanidad de insectos polinizadores.,” Dec. 2021.
- [44] T. Phillips, “BEGINNING BEEKEEPING EVERYTHING YOU NEED TO MAKE YOUR HIVE THRIVE,” 2017.
- [45] T. Turpin, L. Segerlind, A. Dodd, J. Monroe, J. Shuman, and M. Wilkinson, “Learning About Beekeeping,” 2022. [Online]. Available: [www.beeculture.com/us/](http://www.beeculture.com/us/)
- [46] J. Vaquero and P. Vargas, “Manejo Técnico de Colmenas,” 2010. [Online]. Available: [www.pymerural.org](http://www.pymerural.org).
- [47] Chine Academy of Agricultural Sciences, *Good beekeeping practices for sustainable apiculture*. FAO, IZSLT, Apimondia and CAAS, 2021. doi: 10.4060/cb5353en.
- [48] I. Guillermo *et al.*, “Patología, Diagnóstico Y Control De Las Principales Enfermedades Y Plagas De Las Abejas Melíferas,” pp. 21–95, Jul. 2012.
- [49] PortalFruticola.com, “Principios básicos en Apicultura: Manejo de colmena y abejas.” Accessed: Jan. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/05/24/principios-basicos-en-apicultura-manejo-de-colmena-y-abejas/>
- [50] The Honey Bee Health Coalition, “Best Management Practices for Hive Health,” 2019.

- [51] D. Braga, A. Madureira, F. Scotti, V. Piuri, and A. Abraham, “An Intelligent Monitoring System for Assessing Bee Hive Health,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 89009–89019, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3089538.
- [52] ONU, “FAO destaca la importancia de las abejas para la seguridad alimentaria | Noticias ONU.” Accessed: May 16, 2023. [Online]. Available: <https://news.un.org/es/story/2016/02/1351301>
- [53] A. Vargas, J. Carrillo, A. Moreno, F. Véliz, O. Gaspar, and R. Rodríguez, “Residuos de plaguicidas en miel y cera de colonias de abejas de La Comarca Lagunera,” *Abanico Veterinario*, vol. 10, no. 1, Jan. 2020, doi: 10.21929/abavet2020.7.
- [54] Castellanos Blanca, Gallardo Felipe, and Sol Angel, “Impacto Potencial del cambio climático en la apicultura,” *Iberoamericana de Bioeconomía y cambio climático*, vol. 2, pp. 1–19, 2016.
- [55] De la Sota Marcelo and Bacci Mariano, “Enfermedades de las abejas,” 2020. [Online]. Available: <http://www.senasa.gov.ar>
- [56] C. Sandoval, M. A. Palacio, S. Ruffinengo, and U. Salud, “El impacto ambiental de la actividad apícola sobre la salud de nuestro planeta,” 2023.
- [57] I. A. Raúl Coppa, “La colmena: un ecosistema en equilibrio.”
- [58] M. Simmonds, “How Honeybees Maintain Temperature and Humidity in a Beehive.” Accessed: May 16, 2023. [Online]. Available: <https://beekeepclub.com/how-honeybees-maintain-temperature-and-humidity-in-a-beehive/>
- [59] M. I. Newton, A. McVeigh, C. Tsakonas, and M. Bencsik, “A Monitoring System for Carbon Dioxide and Humidity in Honeybee Hives,” MDPI AG, Feb. 2023, p. 89. doi: 10.3390/ecsa-9-13171.
- [60] Neira José, “Estudio documental sobre la aplicación del Internet de las cosas en procesos agrícolas enfocado a la apicultura Colombiana.” *Corporación Universitaria Iberoamericana*, vol. 1.
- [61] J. L. Reyes-Carrillo, J. L. Galarza-Mendoza, R. Muñoz-Soto, and A. Moreno-Reséndez, “Diagnóstico territorial y espacial de la apicultura en los sistemas agroecológicos de la Comarca Lagunera,” *Rev Mex De Cienc Agric*, vol. 5, no. 2, pp. 215–228, Mar. 2018, doi: 10.29312/remexca.v5i2.961.

- [62] “Los nuevos retos de la apicultura para un ambiente en transformación.,” 2018.
- [63] C. Alberto Hernández Abreu, R. Gómez Domínguez, M. Pérez Vasconcelos, F. Castillo Romero, and E. Sosa Silva, “Impact of Artificial Intelligence in Beekeeping,” *Innovaciòn y desarrollo tecnològico* , vol. 13, Mar. 2021.
- [64] C. Alberto Hernández Abreu, R. Gómez Domínguez, M. Pérez Vasconcelos, F. Castillo Romero, and E. Sosa Silva, “La inteligencia artificial en la cuantificación de varroas muertas en apiarios,” vol. 12, Jul. 2020, [Online]. Available: <https://abejas.org/nuevo-acaricida-para-el-control-de-varroa/>
- [65] M. José Leño Profesoress, M. Valderrama Manrique, and D. Bigio Roitman, “El Zumbido de la Abeja El poder curativo de la naturaleza,” Feb. 2022.
- [66] Alain Bugnon, Abbet Christian, and Thiran Jean Philippe, “Apiculture,” 2021.
- [67] K. Rose, S. Eldridge, and L. Chapin, “La Internet de las cosas - Una breve reseña,” 2015.
- [68] N. Andrijević, V. Urošević, B. Arsić, D. Herceg, and B. Savić, “IoT Monitoring and Prediction Modeling of Honeybee Activity with Alarm,” *Electronics (Switzerland)*, vol. 11, no. 5, Mar. 2022, doi: 10.3390/electronics11050783.
- [69] Orellana, “Módulo Sensor Humedad/Temperatura DHT22/AM2302 blanco – Orellana,” 2022. Accessed: Jul. 21, 2023. [Online]. Available: <https://orellanaelec.com/producto/modulo-sensor-humedad-temperatura-dht22-am2302-blanco/>
- [70] Last Minute Engineers, “ESP32 Pinout Reference .” Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <https://lastminuteengineers.com/esp32-pinout-reference/>

## ANEXOS

### Código

```
#include "ThingSpeak.h"
#include "WiFi.h"
#include "DHT.h"
#include "Adafruit_BMP085.h"

#define pin2 32 // Pin del DHT22

const char* ssid = "Familia Hernandez 7"; // Nombre de la red wifi
a conectar
const char* password = "04042017"; // Contraseña de la red.

unsigned long channelID = 2225671; // ID de tu canal.
const char* WriteAPIKey = "YIIHYZI7C95NMNYK"; // Write API Key de tu canal.

WiFiClient cliente;

DHT dht2(pin2, DHT22); // Sensor de humedad y temperatura
Adafruit_BMP085 bmp;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("----- TEST SENSORES
APICULTURA -----");

  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("Wifi conectado!");

  ThingSpeak.begin(cliente);

  dht2.begin();
}

void loop() {
```

```

unsigned long startTime = millis();
delay(1000);
leerdht2();
delay(1000);
ThingSpeak.writeFields(channelID, WriteAPIKey);

Serial.println("-----*");
Serial.println("    Datos enviados a ThingSpeak! - EXITOSAMENTE");
Serial.println("-----*");
unsigned long endTime = millis();
unsigned long transmissionTime = endTime - startTime;
Serial.print("Tiempo de transmisión: ");
Serial.println(transmissionTime);
delay(120000);
}

void leerdht2() {
    float t2 = dht2.readTemperature();
    float h2 = dht2.readHumidity();

    while (isnan(t2) || isnan(h2)) {
        Serial.println("Lectura fallida en el sensor DHT22, repitiendo lectura...");
        delay(2000);
        t2 = dht2.readTemperature();
        h2 = dht2.readHumidity();

    }

    Serial.println("Sensando....");
    Serial.println("-----");
    Serial.print("Temperatura DHT22: ");
    Serial.print(t2);
    Serial.println(" °C.");

    Serial.print("Humedad DHT22: ");
    Serial.print(h2);
    Serial.println(" %.");

    ThingSpeak.setField(1, t2);
    ThingSpeak.setField(2, h2);
}

```

## **Link de descarga de la Aplicación y archivos en Matlab**

*<https://utneduec->*

*[my.sharepoint.com/:f:/g/personal/dvmunozh\\_utn\\_edu\\_ec/EkZBFaQsks9Oupvd9I1h\\_9IBozbVgo6BsnOBfkTg](https://my.sharepoint.com/:f:/g/personal/dvmunozh_utn_edu_ec/EkZBFaQsks9Oupvd9I1h_9IBozbVgo6BsnOBfkTg)*

*[DAHgQ?e=Vegweg](https://my.sharepoint.com/:f:/g/personal/dvmunozh_utn_edu_ec/EkZBFaQsks9Oupvd9I1h_9IBozbVgo6BsnOBfkTg)*