



Sistema de monitoreo de variables esenciales en una colmena de Abejas Melíferas

Monitoring system for essential variables in a Honey Bee hive



**SENNOVA**

Sistema de Investigación,  
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Luis Hernando Ríos G.  
U.T.P. Grupo de Investigación en electrónica  
lhgonza@utp.edu.co



Jose Alexander Agudelo G.  
U.T.P. Grupo de Investigación en electrónica  
alex012186@gmail.com



Alfonso Alzate G.  
U.T.P. Grupo de Investigación en electrónica  
alalzate@utp.edu.co



Andres escobar M.  
U.T.P. Grupo de Investigación en electrónica  
andreses@utp.edu.co



## Resumen

En los actuales momentos el proceso de recolección de miel y sus derivados es realizado de manera empírica, basados en las experiencias adquiridas y transferidas de generación en generación. Las colmenas y su población se desarrollan de manera no supervisada, ocasionando en muchas situaciones no saber del estado del apiario, ya que el monitoreo de las variables esenciales de la colmena se hace de manera manual lo que conlleva a una toma imprecisa de datos la cual no es en tiempo real y esto puede generar situaciones críticas como la identificación temprana de enfermedades, infestaciones de plagas, desequilibrios en el ambiente de la colmena o cambios en la producción de miel. La falta de información oportuna y precisa puede tener un impacto negativo en la salud de las abejas y en la calidad y cantidad de miel producida. La salud de la colmena se define por el comportamiento de algunas variables, las cuales se consideran esenciales y permiten el normal desarrollo de la colmena. Dichas información incluye, la temperatura de la colmena, concentración de Dióxido de Carbono, el número de abejas que diariamente ingresan y salen de la colmena, el peso específico y su variación como indicador de la miel producida y también la consumida por los habitantes de la colmena para mantener la temperatura de esta; Otro factor importante a tener en cuenta es la seguridad de la colmena, es decir, no permitir la apertura de esta para el hurto de miel o el traslado de un sitio a otro. Toda esta información de gran importancia para el productor, puede estar disponible en una aplicación en línea en un dispositivo móvil o en un datalogic para su posterior análisis y manejo. En este artículo

se muestra la implementación de un sistema de bajo costo que monitorea la salud de la colmena y la producción de miel, mientras mantiene un monitoreo autónomo y funcional accesible para los apicultores. Dicho sistema, permite el monitoreo en línea de variables como la temperatura, humedad y concentración de CO2 interior y exterior, y peso. Los datos de medición de estas variables son enviados a través de un SMS cuando el apicultor lo requiera o cuando la colmena está en peligro. La autonomía de funcionamiento del prototipo, se logra a través de la implementación de paneles solares y su correspondiente adecuación.

## Abstract

At present, the process of collecting honey and its derivatives is carried out empirically, based on the experiences acquired and transferred from generation to generation. The hives and their population develop in an unsupervised manner, causing in many situations not to know the state of the apiary, this means the behavior of some essential variables, which allow the normal development of production. This information includes the temperature, the concentration of Carbon Dioxide, the number of bees that daily inhabit the hive, the specific weight and its variation as an indicator of the honey produced and also that consumed by the inhabitants of the hive to maintain the temperature. this; Another important factor to take into account is the security of the hive, that is, not allowing it to be opened for the theft of honey or transfer from one place to another. All this information, of great importance to the producer, can be available in an online application on a mobile device or in a datalogic for subsequent analysis and management. This article shows the implementation of a low-cost system that monitors the health of bees and their production, while maintaining autonomous and functional monitoring accessible to beekeepers. This system allows online monitoring of variables such as temperature, humidity and indoor and outdoor CO2 concentration, and weight. The measurement data of these variables are sent via SMS when the beekeeper requires it or when the hive is in danger. The operating autonomy of the prototype is achieved through the implementation of solar panels and their corresponding adaptation.

**Palabras claves:** Colmena, Apiario, sistema de monitoreo, variables esenciales, abejas.

**Keywords:** Hive, Apiary, monitoring system, essential variables, bees.

## Introducción

La tecnología se pone al servicio de la apicultura en un momento crucial. Apicultores, investigadores y organizaciones ecologistas llevan años alertando QUE LAS COLONIAS de ABEJAS están disminuyendo a un ritmo alarmante. Algunas especies están en peligro de extinción, a consecuencia de un cúmulo de diferentes factores. El impacto de la crisis poblacional de las abejas se refleja NO SÓLO EN LA PRODUCCIÓN DE MIEL. Este descenso es una realidad que ha incrementado exponencialmente durante los últimos años y las alarmas saltan al saber que las abejas son las responsables de la polinización de un tercio del suministro mundial de alimentos. GREENPEACE: “El 70% de los cultivos para consumo humano depende directamente de estos insectos. SIN ABEJAS, NO HAY AGRICULTURA.” Las colonias de abejas deben permanecer mínimo a 300 metros de distancia del contacto con las comunidades y en muchos sitios sólo se les permite alojar con fines de investigación.

**El monitoreo manual de variables esenciales en las colmenas** conllevan a un monitoreo que no es en tiempo real y a la toma imprecisa de datos, que pueden generar situaciones críticas como la identificación temprana de enfermedades, infestaciones de plagas, desequilibrios en el ambiente de la colmena o cambios en la producción de miel. La falta de información oportuna y precisa puede tener un impacto negativo en la salud de las abejas y en la calidad y cantidad de miel producida.

Para determinar la salud de las abejas y el rendimiento en la producción de miel es importante tener conocimiento del comportamiento de algunas variables que se consideran esenciales y definen el normal desarrollo de las actividades dentro de la colmena.

En este proceso, monitorear la población fluctuante, definir el momento óptimo de la recolección, alertar sobre posible falta de alimento, predecir enfermedades de las abejas, prevenir los robos y vandalismo, se considera información básica cuyo análisis permite definir la salud de esta.

Entre las variables que se consideran esenciales, se pueden mencionar: la temperatura, la concentración de Dióxido de Carbono, CO<sub>2</sub>, el número de abejas que diariamente habitan la colmena, el peso específico y su variación como indicador de la miel producida y consumida por sus habitantes para mantener la temperatura de esta. Toda esta información de gran importancia para el apicultor, puede estar disponible en una aplicación en línea en un dispositivo móvil o en un datalogic

para su posterior análisis y manejo. Una colmena puede disponer de un sistema de instrumentación que permita de manera remota y en tiempo real el monitoreo de variables esenciales como: la temperatura externa e interna, la humedad externa e interna y el peso de las cámaras de cría y de almacenaje, el número de habitantes.

El artículo está descrito de la siguiente forma: En el párrafo 2, se hace un recuento del estado del arte. En el párrafo 3 se describe la metodología de diseño e implementación de la colmena instrumentada con los diferentes sensores para monitorear las variables consideradas como esenciales. En el párrafo 4 se muestran los resultados obtenidos. En el párrafo 5 se muestran las conclusiones y en el párrafo 6 se muestra el trabajo futuro y las recomendaciones.

## Estado del arte

La apicultura es una actividad de márgenes comerciales bajos, la cual se desarrolla en lugares remotos que no siempre disponen de cobertura o donde no hay conexión eléctrica. Esta actividad en la mayoría de los casos se realiza de manera no supervisada, ocasionando en muchas situaciones no saber el estado de la colmena y su producción. En Colombia el proceso de recolección de miel y sus derivados es realizado de manera empírica, basados en las experiencias adquiridas y transferidas de generación en generación.

Las abejas melíferas son indispensables en el círculo biológico y representan un importante polinizador de cultivos para la humanidad. A menudo se las conoce como agentes polinizadores saludables; polinizan 1/3 de todos los alimentos consumidos. Más del 70% de las frutas, verduras o semillas del mundo se fabrican sobre la base de la polinización animal. Curiosamente, esto representa alrededor del 30% de la producción mundial de alimentos. Sin embargo, en los últimos años, sus poblaciones en el mundo han ido disminuyendo de manera alarmante. Este fenómeno ahora se conoce como trastorno de colapso de colonias (CCD) desencadenado por una amplia variedad de factores, lo que conduce a un bajo rendimiento en la producción de miel y sus derivados. El conocimiento de todos los mecanismos CCD es indispensable para la defensa de los insectos polinizadores, la producción de alimentos y la supervivencia de las abejas. En Colombia, el uso indiscriminado de pesticidas para el control de plagas y la falta de normas de regulación que permita ejercer un control sobre su utilización, además del acelerado cambio climático ha generado una crisis poblacional de las abejas que se refleja en una poca productividad

en cuanto a insumos en el campo de la apicultura de productos como miel, polen, propóleos y otros derivados.

El Estado de la colmena, es decir, su nivel de madurez se determina por sus niveles de producción. La cantidad y calidad de la miel, cera y sus derivados es un buen indicador de la salud del apiario y el medio ambiente. Dado que el seguimiento de la actividad de las abejas se realiza manualmente y para observar el comportamiento, se debe abrir e interrumpir las actividades y estabilidad de la colmena, esta acción les genera estrés, afectando su comportamiento y disminuyendo su productividad. Poder medir variables físicas del interior de la colmena y su entorno, sin generar estrés, permite determinar la salud de la colmena y garantizar la calidad de su producción. La implementación de sistemas de instrumentación que puedan de manera remota medir y proporcionar información en tiempo real de las múltiples variables físicas climáticas que el apicultor necesita para mejorar su productividad es una necesidad imperante.

Determinar la salud de las abejas y su producción se puede lograr teniendo en cuenta las medidas y parámetros de algunas variables físicas como la temperatura interior y exterior, humedad, peso de la colmena, niveles de oxígeno, concentración de CO<sub>2</sub> interior y exterior. La temperatura debe permanecer en un rango constante entre 28° y 34°C. La humedad relativa entre 65% y 89% dependiendo del ciclo productivo en que se encuentre la colmena [10]. Si por alguna razón el rango de estos parámetros cambia, las abejas deben mantener la estabilidad de la colmena, por ejemplo, si la temperatura sube, parte de las abejas se encargan de refrescar la colmena con su aleteo, si la temperatura desciende, las abejas se juntan para mantener la temperatura estable y que las crías no mueran. Otros indicadores que se tienen en cuenta son los niveles de oxígeno, los cuales son estables y similares a los del exterior y la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior cuya variación es de aproximadamente un 10% por encima del nivel ambiental en el transcurso del día y 20% en la noche; si por alguna razón la concentración no varía o no se restaura, este puede ser un indicador de la presencia de una enfermedad o plaga dentro de la colmena, ya que esta anomalía puede ser una causa por la cual las abejas deciden no salir de la colmena. Una colmena se define madura si los niveles de oxígeno son valores estables y similares a los del exterior y valores de CO<sub>2</sub> son relativamente estables.

En los últimos años, los investigadores han utilizado de manera eficiente la riqueza de

la tecnología de la información para desarrollar sistemas capaces de monitorear el comportamiento de las colmenas permitiendo resolver este problema a través de la construcción de sistemas de instrumentación que monitorean diferentes tipos de variables esenciales en la colmena. Gracias a avances en el Internet de las cosas (IoT), a través de la implementación de sistemas de sensores, se puede en cualquier instante de tiempo, monitorear la temperatura, el peso, la humedad relativa, etc; Contar el número y detectar de manera aleatoria el movimiento de abejas dentro de la colmena, permitiendo la recolección de esta información y su envío automático al apicultor para su posterior procesamiento.

## Metodología

Se propone el diseño e implementación de un sistema de bajo costo accesible para los apicultores que monitorea de manera autónoma y funcional el estado general de la colmena y su producción. Dicho sistema, permite el monitoreo en línea de variables como: La temperatura, el nivel de Dióxido de carbono, el número de población flotante dentro de la colmena, (conteo de abejas), el grado de humedad, el peso, así como la transmisión de información a un dispositivo móvil o un datalogic a través de una aplicación en línea, para su posterior análisis y manejo. La autonomía de funcionamiento del prototipo, se logra a través de alimentación por red eléctrica y por paneles solares y su correspondiente adecuación, en sitios donde no exista acceso a ésta.

El tener conocimiento de dichas variables, permiten al Apicultor tener un control sobre la “SALUD DE LA COLMENA”, para la producción. SALUD DE LA COLMENA se entiende como las condiciones óptimas que la colmena de abejas debe tener para que la producción de miel y sus derivados sean las mejores.

Para la realización de este sistema, se diseñó y construyó los módulos de las variables esenciales. Estos módulos son:

**Módulo de temperatura.**

**Módulo de humedad.**

**Módulo de concentración de CO<sub>2</sub> interior y exterior.**

**Módulo de peso.**

**Módulo de conteo del número de abejas** que diariamente entran y salen de la colmena.

**Módulo de generación de alarmas:** Sensores de apertura de tapa, Sensores de las colmenas.

**Módulo de transmisión de datos.**

**Módulo de paneles solares.**

## Implementación de Hardware y Software del Sistema de Medición.

Como se muestra en la Figura 1, Se ha implementado un sistema de monitoreo y medición de las variables más significativas para determinar la salud de la colmena. El sistema de monitoreo consta de un conjunto de módulos de sensores colocados de manera estratégica dentro de cada colmena que permiten la medición de variables como la temperatura externa e interna, la humedad relativa, la concentración de CO2 y el peso. El sistema de monitoreo es capaz de recopilar en tiempo real todos los datos de los diferentes sensores y enviarlos a una aplicación que permite la visualización de dichos parámetros.

Este sistema consta de dos sensores de humedad y temperatura DHT11 (Aosong Electronics, Guangzhou , R.P. China), dos sensores de CO2, una báscula electrónica debidamente diseñada para la medición del peso y un sistema de conteo de abejas equipado con sensores ópticos para contar la cantidad de habitantes de la colmena.

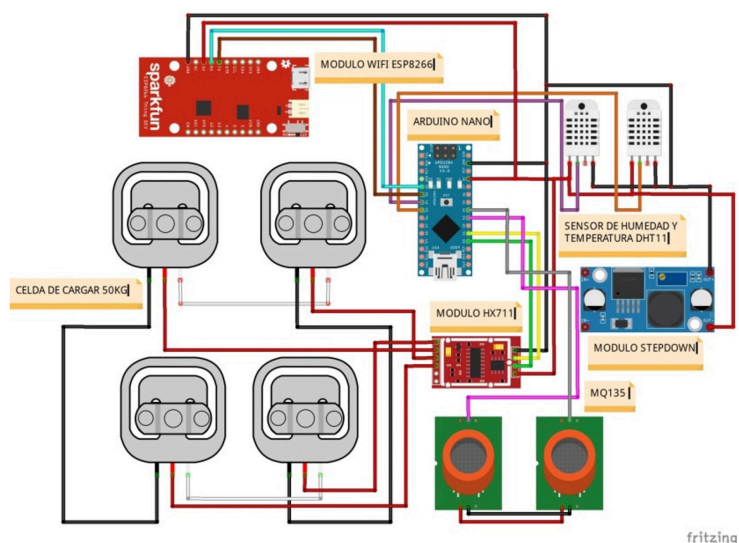
Este sistema consta de dos sensores de humedad y temperatura DHT11 (Aosong Electronics, Guangzhou , R.P. China), dos sensores de CO2, una báscula electrónica debidamente diseñada para la medición del peso y un sistema de conteo de abejas equipado con sensores ópticos para contar la cantidad de habitantes de la colmena. El sistema además cuenta con un conmutador Ethernet que permite la comunicación con un servidor remoto donde se verifican y almacenan los datos

adquiridos. El sistema adquiere datos de forma continua. En cuanto a la fuente de alimentación, dado que la potencia consumida por el sistema es muy reducida, permite el uso de una fuente de alimentación portátil o una solución de generación de energía diseñada adecuadamente. Para este caso el sistema se encuentra conectado a un panel solar con autonomía suficiente para alimentar todos los módulos que conforman el sistema.

## Sistema de conteo de la población fluctuante en la colmena.

Para determinar el número de abejas que diariamente ingresan y salen de la colmena (Población fluctuante) se hace uso de un conjunto de tuneles de ingreso, los cuales cuentan con sensores ópticos tipo herradura acondicionados para el conteo. La lectura de población fluctuante dentro de la colmena se puede monitorear a cada instante. En el sistema implementado, cada día a través de un mensaje de texto a las 18 horas siempre se envía al aplicativo la información del número de abejas que circularon durante el día. La figura 2 muestra el sistema de conteo implementado. Cada Tunel cuenta con sensores ópticos colocados de tal forma que las abejas al cruzar ya sea ingresando o saliendo de la colmena permite al software implementado sumar o restar la cantidad de individuos de la colmena, de tal forma que al final del día se tiene un total del número de habitantes que se desplazaron durante la jornada, este dato es de gran importancia para el apicultor pues determina la dinámica de funcionamiento de la colmena.

Figura 1  
Sistema general de monitoreo de variables esenciales en una colmena de abejas melíferas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2  
Sistema de conteo de la población flotante de cada Colmena.

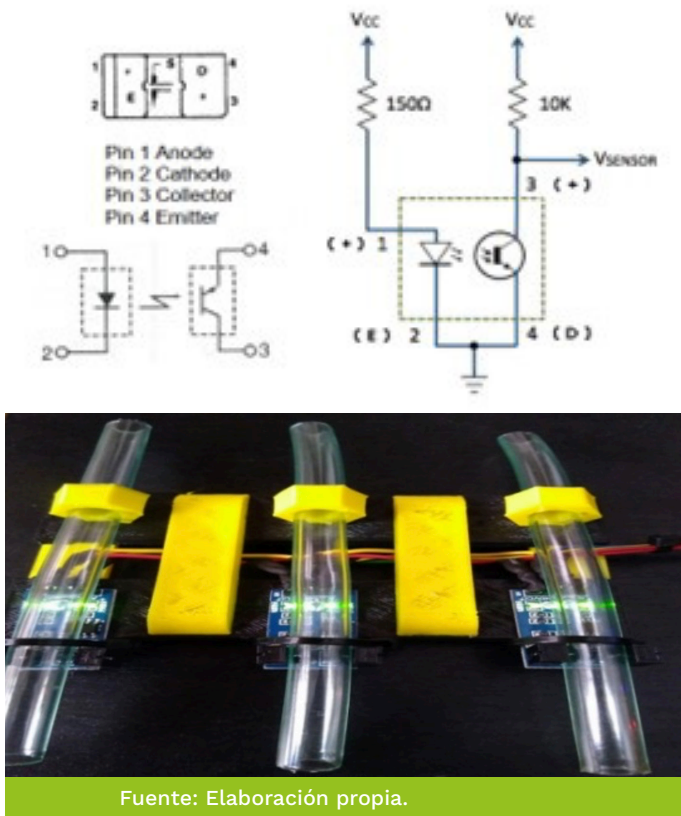
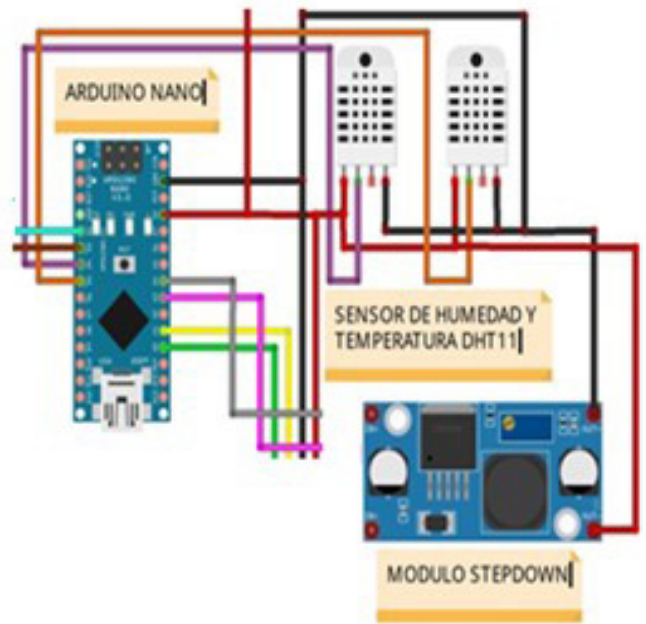


Figura 3  
Sistema de medición de humedad y temperatura implementado.



Fuente: Elaboración propia

## Sistema de medición de humedad y temperatura.

Las mediciones de humedad relativa (HR) y temperatura se han realizado utilizando el sensor DHT11.

2 Sensores DHT11 para cada colmena, uno de ellos dentro y uno fuera,

Este sensor tiene las siguientes características:

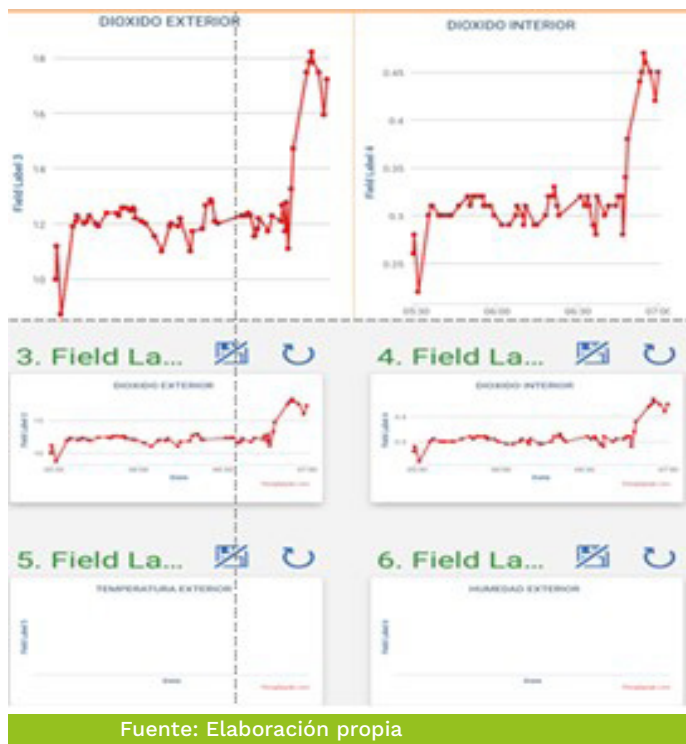
- Voltaje de Operación: 3.3V - 5V DC.
- Corriente máxima durante la conversión 2.5 mA.
- Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C
- Precisión de medición de temperatura: ±2.0 °C
- Resolución Temperatura: 0.1 °C
- Rango de medición de humedad: 20% a 80% RH.
- Precisión de medición de humedad: 4% RH.
- Resolución Humedad: 1% RH
- Tiempo de sensado: 2 seg.
- Interface: Digital Serial.

## Resultados

Este prototipo permite inspeccionar de manera continua y en cualquier intervalo de tiempo, las medidas de las variables Temperatura, Humedad relativa, Nivel de CO2, Población flotante del apiario, y peso. Toda la información obtenida de los módulos de sensores es enviada de manera inalámbrica a una base de datos o al celular del usuario para su monitoreo y manipulación. Además de todas las variables mencionadas, también se envía alarmas sobre intervención o hurto de la colmena a través de un mensaje enviado al celular.

La figura 4 muestra la interfaz de las gráficas del comportamiento de las variables esenciales de la colmena instrumentada. Dicha interfaz se implemento con la herramienta de Matlab Math work, la cual permite graficar todo tipo de variables y realizar la comunicación a través de puertos inalámbricos con diferentes sistemas embebidos, para nuestro caso se utilizaron sistemas de desarrollo ARDUINO. Como se observa de las gráficas, el valor de las variables monitoreadas se hace de manera continua, permitiendo información en tiempo real y de manera continua en cualquier intervalo de tiempo. El número y tipo de variables a monitorear se puede definir.

**Figura 4**  
**Interfaz de las gráficas del comportamiento de las variables esenciales de la colmena**



La figura 5 muestra la disposición física de los diferentes sensores implementados en la colmena. Como se observa de la figura, en cada colmena están distribuidos los diferentes sensores de las variables esenciales, de tal manera que no alteren la dinámica de funcionamiento de la colmena.

**Figura 5. Instalación de los diferentes sensores en la colmena.**



## Conclusiones

A partir de la información obtenida de la búsqueda bibliográfica se diseñó e implementó un sistema de monitoreo de variables esenciales en una colmena de abejas melíferas, obteniendo los módulos de diferentes sensores como temperatura interior y exterior, Nivel de CO2 interior y exterior, número de abejas que diariamente ingresan en la colmena, peso de la colmena y un sistema de alarmas que indican cuando la colmena se abre o se traslada de un sitio a otro.

De los resultados obtenidos se puede concluir que el sistema implementado contribuye a la mejora en los procesos de producción de miel, y en la preservación de las colonias de abejas, así como en el control del correcto funcionamiento de los apiarios.

El software de graficación del comportamiento de las variables esenciales, está diseñado de tal forma que se puede hacer monitoreo del comportamiento de estas y poder intervenir la colmena si en algún caso se hace necesario.

El sistema de monitoreo de variables esenciales de las colmenas permite generar un plan de toma de datos con el cual se pueda hacer un diagnóstico del comportamiento de la colmena para generar un patrón de comportamiento óptimo que determine la buena salud de la colmena.

## Trabajo futuro y recomendaciones

El sistema implementado es la base del desarrollo de nuevos prototipos mejor elaborados con los cuales se solucionen los errores observados en el prototipo diseñado.

Como nuevo trabajo de investigación se piensa implementar una plataforma de graficación de las variables esenciales utilizando un software libre como el Phyton.

Se abordara nuevos retos en la implementación de técnicas de IoT para la solución de diversos problemas que surgen en los apiarios y que amenazan la conservación de la dinámica de funcionamiento de la colmena.

## Referencias bibliográficas

- A. R. Braga, D. G. Gomes, and others, "A method for mining combined data from in-hive sensors, weather and apiary inspections to forecast the health status of honey bee colonies," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 169, p. 105161, 2020.
- A. Zgank, "Bee Swarm Activity Acoustic Classification for an IoT-Based Farm Service," *Sensors*, vol. 20, no. 1, p. 21, 2020.
- Charlotte K. Hemelrijk Robin F.A. Moritz. Matthias A. Becher, Hanno Hildenbrandt. Brood temperature, task division and colony survival in honeybees: A model. *Ecological Modelling*, 221
- D. D. Dasig and J. M. Mendez, "An IoT and Wireless Sensor Network-Based Technology for a Low-Cost Precision Apiculture," *Internet of Things and Analytics for Agriculture*, Springer, vol. 2, pp. 67-92, 2020. (duplicate)
- Egils Stalidzans Marta Liepniece Jurijs Meitalovs Aleksejs Zacepins, Armands Kviesis. Remote detection of the swarming of honey bee colonies by single-point temperature monitoring. *Biosystems Engineering*, 148:76–80, 2016.
- Gaze B.M. Heath, L.A. Carbon dioxide activation of spores of the chalkbrood fungus *ascosphaera apis*. *Journal of Apicultural Research*, 26:243{246, 1987.
- I. F. Anyasi and A. L. Imoize, "Information technology and the business communities: A case study of small-scale business enterprises in Nigeria," *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 45-49, 2010.
- J. A. Jiang, C. H. Wang, and others, "A WSN-based automatic monitoring system for the foraging behavior of honey bees and environmental factors of beehives," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 123, p. 304–318, 2016.
- N. Gallai, J. M. Salles, and others. "Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline.," *Ecological Economics.*, vol. 68, pp. 810-821, 2009.
- Regadas, L. (2021, abril 5). Colmenas inteligentes: La inteligencia artificial se alía con la apicultura para preservar las abejas. Público. <https://www.publico.es/ciencias/colmenas-inteligentes-inteligencia-artificial-alia-apicultura-preservar-abejas.html>
- S. Gil-Lebrero, F. J. Quiles-Latorre, and others "Honey bee colonies remote monitoring system," *Sensors*, vol. 17, no. 1, p. 55, 2017.
- S. Klein, A. Cabirol, and others, "Why Bees Are So Vulnerable to Environmental Stressors," *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 32, no. 4, pp. 268-278, 2017.
- S. P. Leonard, J. E. Powell, and others "Engineered symbionts activate honey bee immunity and limit pathogens," *Science*, vol. 367, no. 6477, pp. 573-576, 2020.
- S. Tosi, C. and others, "A 3-year survey of Italian honey bee-collected pollen reveals widespread contamination by agricultural pesticides," *Science of the Total Environment*, vol. 615, pp. 208-218, 2018.
- W. N. S. W. Nik, Z. Mohamad, A. H. Zakaria and A. A. Azlan, "i-BeeHOME: An Intelligent Stingless Honey Beehives Monitoring Tool Based On TOPSIS Method By Implementing LoRaWan–A Preliminary Study," *Computational Science and Technology*, pp. 669-676, 2020. (duplicate)