

Implementación de un sistema de monitoreo y control con tecnología IoT para determinar el comportamiento de las variables ambientales en la avicultura

Implementation of a monitoring and control system with IoT technology to determine the behavior of environmental variables in poultry farming

Jorge E. Herrera Rubio



Víctor J. Ortiz E



Universidad de Pamplona, Colombia

OPEN ACCESS

Recibido: 02/09/2021

Aceptado: 06/12/2021

Publicado: 09/02/2022

Correspondencia de autores:
jherrera@unlpamplona.edu.co



Copyright 2020
by Investigación e
Innovación en Ingenierías

Resumen

Objetivo: Implementar un sistema de monitoreo y control con tecnología IoT para determinar el comportamiento de las variables ambientales en la avicultura. **Metodología:** El proyecto de investigación es de nivel comprensivo, formalmente experimental y de tipo explicativa de campo, consiste en la implementación de una red inalámbrica de gran alcance basado con tecnología LoRa para Internet de las cosas (IoT), se realiza el estudio de las variables físicas que influyen en la cría y producción en una granja experimental con dispositivos de bajo consumo de energía y asequible por medio de puerta de enlace que envía los datos a la nube mediante el protocolo de transporte para el encolamiento de mensajes (MQTT), dichos datos son procesados por el microcontrolador que los captura, envía y procesa con la ayuda de una estación de radio terminal y los envía en tiempo real. Se establecen cinco fases: la identificación de las variables del entorno, diseño de la red, la programación, la prueba del sistema y análisis y resultados. **Resultados:** Finalmente se realiza un análisis de la datos de cómo las condiciones físicas y ambientales pueden afectar el proceso de la cría de aves en un ambiente confinado. **Conclusiones:** El proceso de la integración de dispositivos y sensores con tecnologías emergentes facilitan el proceso de automatización avícola para registrar y visualizar el comportamiento de las condiciones ambientales y permite centralizar la información con supervisión remota abaratando los costos de mantenimiento y supervisión de la salud de los animales, situación que a futuro permitirá la tecnificación de las granjas avícolas.

Palabras clave: tecnología, monitoreo, automatización, sistema, avícola, aplicación móvil.

Abstract

Objective: Implement a monitoring and control system with IoT technology to determine the behavior of environmental variables in poultry farming. **Methodology:** The research project is comprehensive, formally experimental and field explanatory type, consists in the implementation of a powerful wireless network based on LoRa technology for Internet of Things (IoT), the study of the physical variables that influence the breeding and production in an experimental farm with low energy consumption and affordable devices is carried out by means of gateway that sends data to the cloud through the transport protocol for message queuing (MQTT), such data are processed by the microcontroller that captures, sends and processes them with the help of a radio terminal station and sends them in real time. Five phases are established: identification of environmental variables, network design, programming, system testing and analysis and results. **Results:** Finally, an analysis of the data on how physical and environmental conditions can affect the process of poultry rearing in a confined environment is performed. **Conclusions:** The process of integrating devices and sensors with emerging technologies facilitates the poultry automation process to record and visualize the behavior of environmental conditions and allows centralizing the information with remote monitoring, reducing the costs of maintenance and monitoring the health of the animals, a situation that in the future will allow the technification of poultry farms.

Keywords: technology, monitoring, automation, system, poultry, mobile application.

Introducción

Los sistemas de producción avícola requieren del estudio de las condiciones ambientales por medio de las variables físicas que influyen en la alimentación, el cuidado y la producción, por ello se requiere identificar las posibles amenazas naturales por medio del uso de la tecnología de bajo costo [1] para modernizar y aumentar la producción, como también evitar los riesgos en la cría de las aves. En el contexto tecnológico, la producción animal se puede mejorar aplicando recursos de hardware y software como también gestionando los datos y visualizando los resultados de todo los procesos en un ambiente de productividad real para bajar los costos de producción [2].

La cuarta revolución industrial asocia los términos Smart farm y Agricultura 4.0 como un cambio del paradigma en el sector avícola con el uso de las tecnologías emergentes, en la optimización de las actividades rurales para la producción animal en la cría comercial mediante el requerimiento de propuestas tecnológicas que respondan a sus propias especificidades [3]. De igual forma, el bienestar de las aves es una de las principales preocupaciones, para ellos se analizan los parámetros ambientales como: la temperatura, la humedad relativa, los niveles de amoníaco, nivel de agua y humedad del suelo para la comprender su influencia en la cría y bienestar de las aves [4].

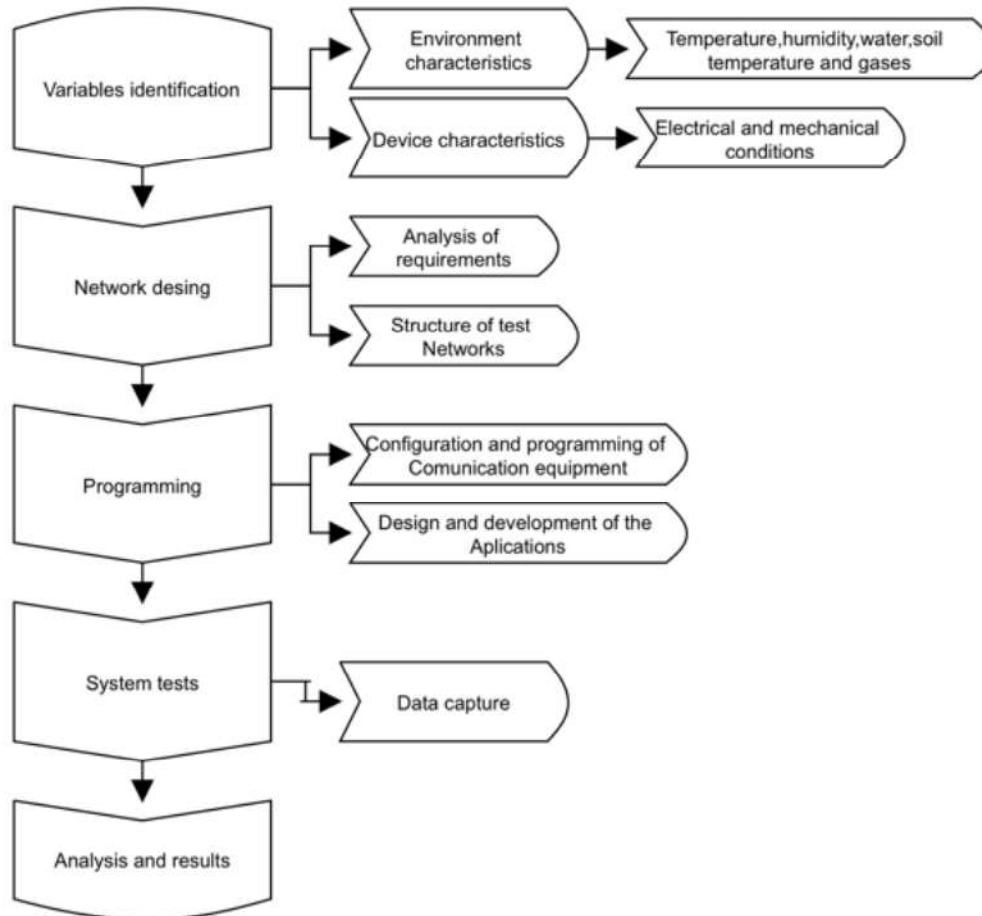
En la producción de huevos y cría de aves en campo o granjas se tiene como característica la baja tecnificación [5]; por medio de la automatización completa de los procesos es posible mejorar la producción y el mantenimiento, además, con la información obtenida de los parámetros ambientales se realiza la correcta toma de decisiones y monitoreo sobre la actividad avícola y meteorológica para la proyección futura de la producción [6] utilizando herramientas de gestión ya sea en la nube o con aplicaciones móviles.

Con el uso de dispositivos IoT heterogéneos e inteligentes conectados entre sí en entornos dinámicos [7] y con aplicaciones móviles se realiza la supervisión medio ambiental para la transmisión de la información de las variables externas a largas distancias con el apoyo del protocolo Long Range (LoRa) para que de forma autónoma se reduzca el mantenimiento y garantice la sostenibilidad del sistema de forma remota.

Metodología

El proceso de la investigación se ejecutó en la vereda de Agua Linda en el Municipio de los Patios, Norte de Santander de acuerdo al objetivo y su complejidad la investigación es de nivel comprensivo, por el objeto de estudio es formalmente experimental y de tipo explicativa [8] debido que se conforman las descripciones detalladas de las causas que responden al comportamiento de las variables físicas a estudiar y que afectan la cría y salubridad de las aves de corral como son las gallinas, la metodología aplicada en la investigación se resume en la figura 1 distribuida en cinco fases: la identificación de las variables del entorno, diseño de la red, la programación, la prueba del sistema y análisis y resultados.

Figura 1. Metodología del proceso de investigación



Fuente: Elaboración propia.

1. Identificación de las variables

Comprende la definición de los tipos de señales a parametrizar de acuerdo a la caracterización del entorno y las características de los dispositivos. Es la etapa preliminar para identificar el hardware y el software a utilizar en la investigación.

Caracterización del entorno

El corral seleccionado es un entorno cerrado con ventilación natural con piso de viruta de madera debido a que absorbe líquidos, mantiene la temperatura y se evitan los malos olores que se genera por los excrementos de las aves [9]. Existe un plan de cría para mantener las condiciones de comida, iluminación, horario de alimentación, infraestructura y ponederos [10]. El diseño del corral es de 3m por 5m y de alto de 3,50 m con capacidad para alojar 50 gallinas, el cual está encerrado con malla plástica y en una polisombra para tener una buena protección de la luz y un techo en láminas de zinc.

Características de dispositivos

Los dispositivos a utilizar tienen las siguientes características: Sensor de temperatura y humedad DHT 22 [11], trabaja en un rango de -40°C a 80°C , con una precisión de $\pm 5\%$, la humedad relativa tiene un rango del trabajo del 0% al 99,9%, con precisión del 2%, el sensor de humedad de suelo HL-69 [12] que trabaja en rangos de: 0 a 300, para un suelo seco, de 301 a 700 para suelo húmedo y de 701 a 950 para suelo con agua; el sensor de amoníaco (NH_3) el TAR-MQ135 [13] posee un rango de detección de entre 10 a 1000 partes por millón (PPM) con una precisión de $\pm 5\text{ppm} +15\%$ para monitorear la calidad, con este dispositivo se detectan las concentraciones de NH_3 en las deyecciones que producen las aves y el sensor de nivel de agua WS-9525 [14] que permite medir el porcentaje de líquido en los bebederos.

Diseño de la red

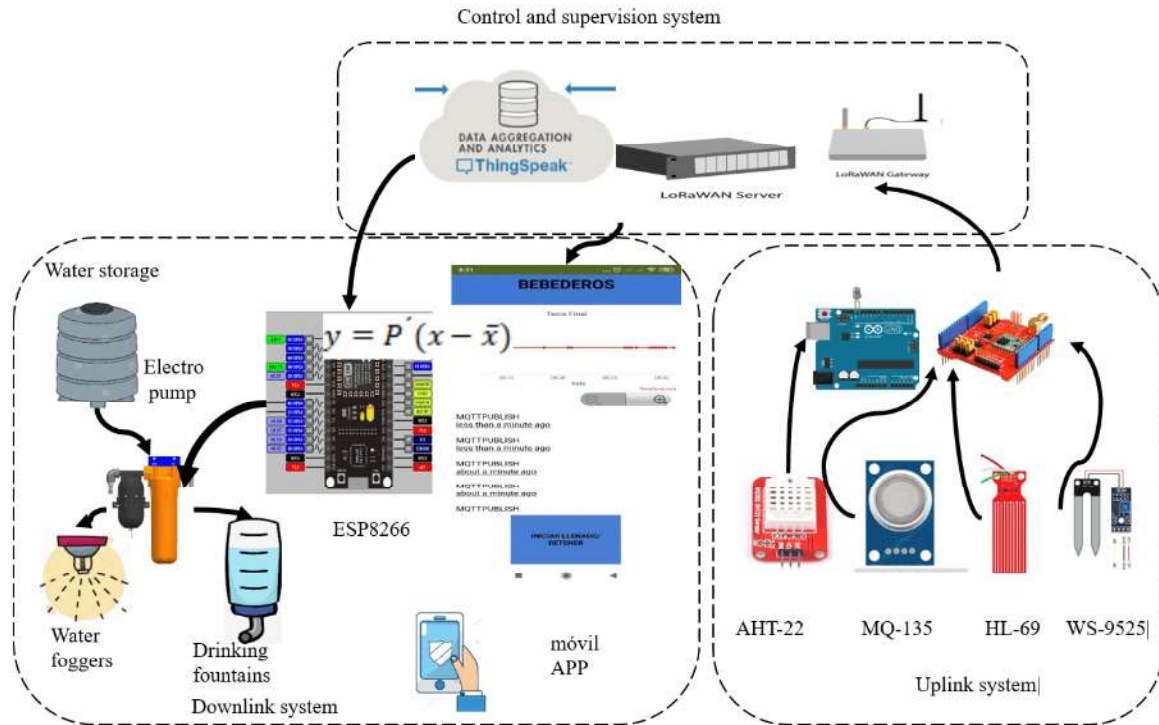
Análisis de requerimientos

El diseño del plan de automatización y ubicación de los sensores se llevará a cabo teniendo en cuenta muchos factores importantes como: distribución de los bebederos y la ubicación de los sensores, de acuerdo al espacio de trabajo confinado en la investigación, como también la ubicación de los equipos activos que conforman la red LoRa evitando el daño de los mismos por las condiciones del ambiente de trabajo [11].

Estructura de la red de pruebas

La red implementada se muestra en la figura 2, el nodo principal de la red es el Gateway LoRa que recibe la información de los nodos transceiver LoRa [15] encargados de enviar la información hacia Internet desde cada uno de los sensores de los cuales recibe la información denominado sistema ascendente (Uplink system) y la red descendente (Downlink system) procesa la información desde la base de datos Firebase y Thingspeak [16] para controlar los aspersores de agua y la electroválvulas [17] a través del controlador ESP8266 [18] que regula el porcentaje de agua en los bebederos para visualizar la información en tiempo real por medio de una aplicación móvil.

Figura 2. Integración de la estructura de la red de pruebas



Fuente: Elaboración propia.

El sistema de control de los sistemas de nebulización y de abastecimiento de agua reciben las señales de control por medio de la tarjeta ESP8266, que está direccionada a la base de datos de control que recibe los datos de la aplicación móvil según se le indique [19].

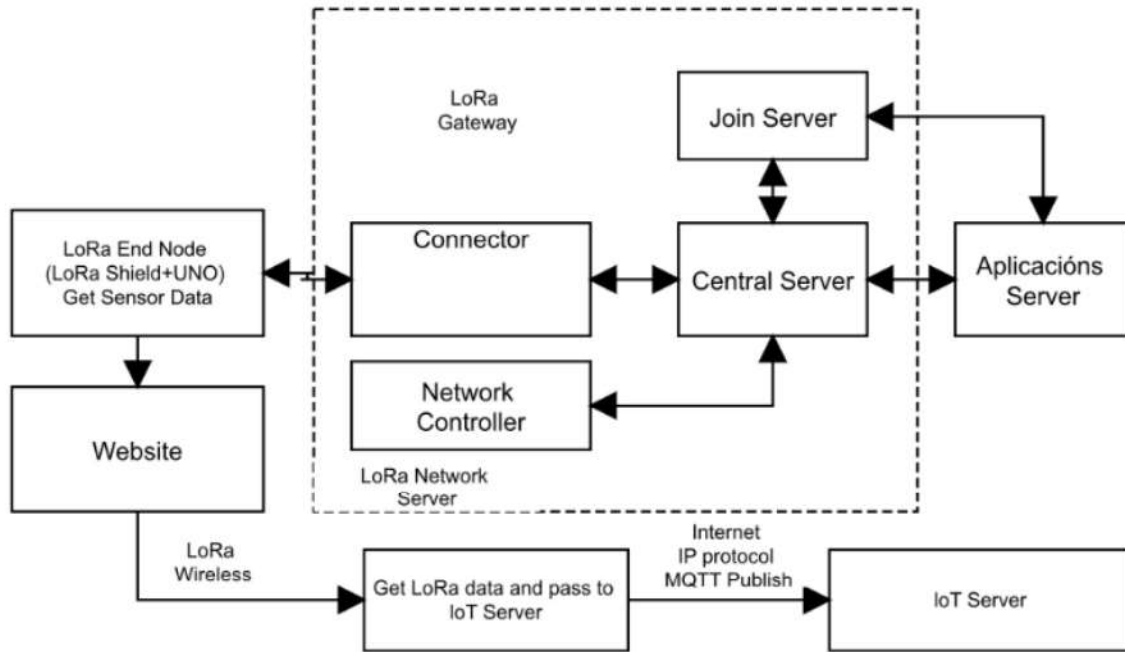
Programación

Configuración y programación de equipos de comunicaciones

Inicialmente se realiza la instalación y configuración del módulo arduino uno, se instalan las librerías que reconocen el LoRa Shield y cada uno de los sensores a utilizar, se realizan pruebas de conectividad entre el arduino y el Lora Shield.

El núcleo del sistema lo componen el nodo LoRa Shield y el Gateway LoRa. El Gateway, actúa como un concentrador de los nodos inalámbricos trabajando a 915Mhz y el servidor interno que posee el Gateway Dragino [15], quien es el encargado de conmutar y enrutar los datos por medio de la red modo punto de acceso WiFi hacia el servidor IoT ubicado en la web como se observa en la figura 3.

Figura 3. Funcionalidad del servidor IoT y protocolo de publicación.



Fuente: Adaptado de: [20] integración red IoT LoRa Shield y el Gateway LoRa

La configuración de la red [20] se realiza por medio de la interfaz web para integrar la red inalámbrica IoT con los sensores a través de la red WAN de Internet inalámbrica y simultáneamente se realiza la asignación en la web que va a conectar la aplicación a [21] servidor The Things Network (NTT) de acuerdo a con sus respectivos direccionamientos lógicos, procedimientos y protocolos de comunicación; se procede a la asignación de los canales físicos asociados con el nombre del nodo y el direccionamiento hacia el servidor NTT.

Con el uso del protocolo MQTT se mejora el rendimiento de la red al permitir que los paquetes no se pierdan [22], éste realiza la publicación del estado de los sensores vía el servidor ThingSpeak según [23] y también el control por medio de la aplicación móvil, con el fin de controlar los flujos de datos en los enlaces ascendentes y descendente de la aplicación [24] como se establece en la figura 3.

Diseño y desarrollo de la aplicación móvil

La aplicación móvil se desarrolló con el entorno gráfico y amigable Mit App inventor tomando como referente a [25], el cual se accede y se programa en la nube de forma directa con el apoyo de un emulador de dispositivo para facilitar la programación de los eventos que se reciben de la red LoRa, en este paso se genera un archivo con extensión .apk para instalar la aplicación en el dispositivo móvil como se visualiza el proceso en la figura 4.

Figura 4. Ejemplo de código para el control de sistema de bebederos.

```

cuando Bebederos - BotónAtrás
ejecutar abrir otra pantalla Nombre de la pantalla " Datos "

inicializar global ENCENDER como 0
inicializar global LLENADO como 0

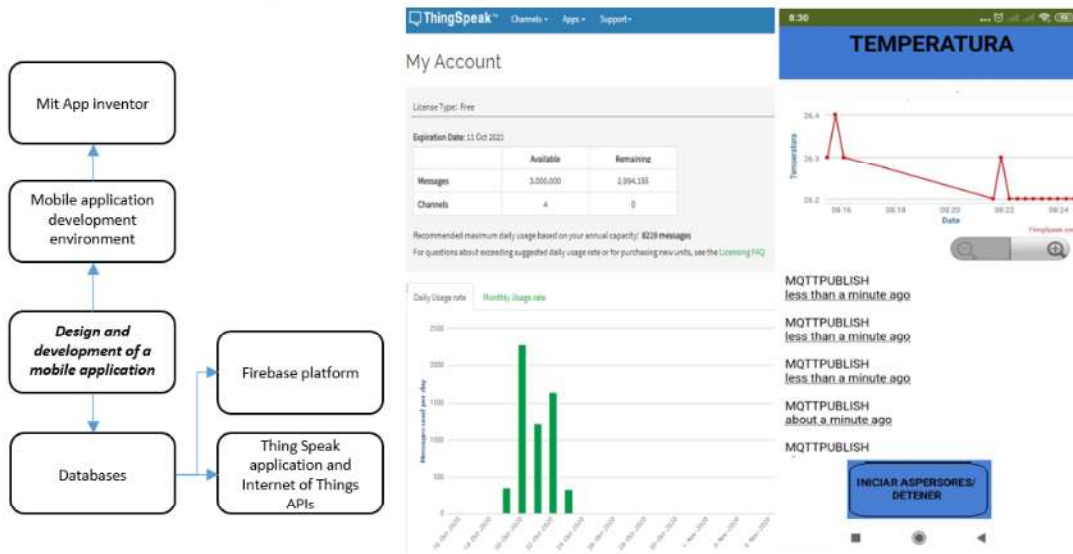
cuando FirebaseDB1 - DataChanged
etiqueta value
ejecutar si
comparar textos " LLENADO " = tomar etiqueta -
entonces poner global LLENADO a tomar value -

cuando Button1 - Clic
ejecutar poner global ENCENDER a 1 - tomar global ENCENDER -
llamar FirebaseDB1 - GuardarValor
etiqueta ENCENDER
valorAGuardar tomar global ENCENDER -
si
tomar global ENCENDER = 1
entonces poner Button1 - ColorDeFondo como rojo
sino poner Button1 - ColorDeFondo como amarillo
    
```

Fuente: Adaptado de: [26] programación gráfica amigable Mit App inventor.

Simultáneamente se crean las bases de datos en Firebase para sincronizar los datos sin tener que administrar conexiones o escribir la lógica de sincronización compleja, también se configura y se crean cinco canales para las variables físicas en la plataforma de alojamiento y el API para Internet de las cosas Thingspeak que permite subir la información en tiempo real a la nube, en esta etapa se ajusta el envío de 3 datagramas cada de 20 segundos durante un minuto con el propósito de: reducir los retardos, evitar pérdida de datos y garantizar el registro en las base de datos, como se observa el procedimiento en la figura 5, desde esta interfaz se realiza el control del nebulizador de agua y los bebederos.

Figura 5. Proceso de diseño y desarrollo de la aplicación.



Fuente: Adaptado del panel de ThingSpeak. [16].

Prueba del sistema

Captura de datos

El muestreo para la captura de los datos se realizó durante 8 días de forma aleatoria en diferentes meses con un total de 4320 muestras por día para cada sensor con el fin de garantizar el registro, filtrado y depuración de los datos [27], también se consideró una pérdida del 10% por ajuste de las variables y calibración de los dispositivos electrónicos; situación que no afecta el proceso de envío de los paquetes con tecnología LoRa, porque se garantiza la no saturación de la red y evita los retardos de envío permanente de datos a velocidades variables mediante el uso de modulación de espectro ensanchado chirp, que sucede cuando se realiza en envío de los paquete desde el nodo terminal [28] pasando por el Gateway LoRa con una cadencia de tiempo de 20sg como se mencionó anteriormente, y así poder enviarlos a la nube.

Resultados y discusiones

Del resultado del análisis del muestreo obtenido en la tabla 1 realizado en tres secciones diferente en tres meses diferentes y considerando los datos obtenidos de [29] sobre el viento y la probabilidad de lluvia; se observa que por ejemplo en el mes de noviembre el porcentaje de lluvia es alto, por el bajo contenido de gas NH3 y el nivel de humedad del suelo alto, con el efecto del viento se aprecia que la temperatura se mantiene en los niveles promedios, garantizando una temperatura agradable con niveles de humedad relativa real que se mantiene por debajo de los niveles capturados, situación que garantiza la cría de las aves y producción de huevo de forma normal, ver tabla 1.

Tabla 1: Cuantificación de variables en campo y medio ambientales.

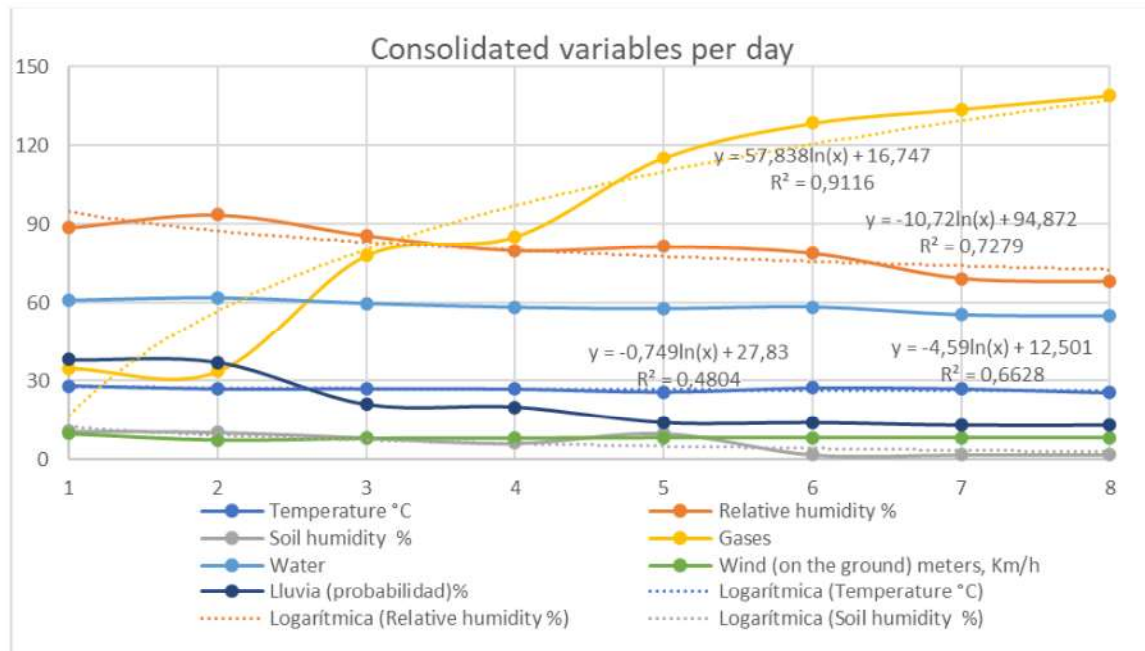
Promedios de condiciones físicas obtenidas en campo								
Día/ Variable	25-nov	26-nov	20-dic	21-dic	11-ene	12-ene	13-ene	14-ene
Temperatura °C	28,05	26,93	27,04	26,895	25,9	27	26,96	25,64
Humedad Rel. %	88,68	93,53	85,61	79,89	81,37	78,86	69,28	68,07
Humedad suelo%	10,75	10,35	8,24	6,247	9,93	1,93	1,95	1,94
Gases	34,72	33,53	77,94	85,17	115,17	128,35	133,67	138,77
Agua	60,92	61,83	59,78	58,37	57,86	58,52	55,58	55,13
Condiciones climáticas de la zona en tiempo real obtenidas en línea								
Viento Km/h	10	7,3	8,1	8,2	8,4	8,4	8,4	8,4
Probabilidad %	38	37	21	20	14	14	13	13
Temperatura °C	23 a 30	23 a 30	23 a 29	24 a 29	22-29	22-29	22-29	22-30
Humedad Rel. %	99	99	94	93	91	90	90	90

Fuente: Elaboración propia, adaptado y ajustado de [29].

Por otra parte, el nivel de NH₃ se empieza a incrementar a partir del 21 de diciembre y en enero llega hasta un máximo del 138,77 ppm, sin embargo, la humedad relativa no excede el 90% y con una velocidad constante de 8,4Km/sg de viento, la humedad del suelo es bastante baja y la temperatura medida no excede los 28°C, lo cual compensa las condiciones climáticas y se mantiene un clima agradable, el nivel de agua de los bebederos se mantiene por encima del 50% posibilitando condiciones de producción de huevos de las aves y salubridad de las mismas.

Al realizar una revisión de los datos con un barrido aleatorio de 8 momentos como se ve en la tabla 1 y realizando el trazado (ver figura 6) de los datos existen unas curvas optimistas, que representan por ejemplo, el caso de la influencia de los gases y la humedad relativa en el ambiente, se destaca el efecto de los gases que pueden aumentar cuando la probabilidad de lluvia disminuye o no hay vísperas de la misma; la humedad del suelo se mantiene seco, la humedad relativa descende y la probabilidad de viento es constante, por ende, puede presentarse una saturación de gases por exceso de la temperatura y efectos de la concentración de gases en la atmosfera.

Figura 6. Curvas de tendencia de las variables medio ambientales



Fuente: Elaboración propia.

También se observa que la temperatura medida se mantiene dentro de los márgenes de las condiciones físicas reales (comparado con los datos meteorológicos obtenidos en la web en línea), por eso los bebederos siempre mantienen un porcentaje del 60% de agua para que las aves puedan estar frescas, con un suelo seco y una humedad relativa que descende suavemente con respecto a la temperatura; y el promedio de la velocidad del viento mantiene unas condiciones de ambiente agradable, en consecuencia la cantidad de aves se mantiene y la mortalidad es cero, como también la producción de huevos es alta como se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Resultado de producción avícola

Cantidad de aves utilizadas en el proceso experimental								
Total gallinas	45	45	45	45	45	45	45	45
Total huevos	40	42	41	41	44	41	40	40
Mortalidad aves	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El ambiente de trabajo experimental presenta buenas condiciones climáticas sin cambios extremos de temperaturas entre las diferentes horas del día, lo cual permite un excelente desarrollo productivo de las gallinas, una tasa de mortalidad nula y excelente producción de huevos.

El cambio climático visto en el estudio en los meses transcurridos muestra la utilidad del sistema de monitoreo para a conocer el comportamiento de las variables y poder garantizar un control del ambiente ante los estos cambios que sucedan por el incremento de la humedad relativa y del suelo en las temporadas de lluvia [30].

La caracterización del estudio en los meses donde se aplicó permite crear un plan de acción específico para cada una de posibles cambios climáticos a medida que se va observando una variación en los sensores para mantener las mejores condiciones ambientales.

Los equipos utilizados son de bajo costo con márgenes de error bajo los cuales facilitan el procesamiento de los datos, sin embargo, se requiere de equipos más robustez en el caso de aumentar las variables y el número de aves si se desea incrementar la producción, de igual forma considerar las características de los sensores en lo que respecta a: sensibilidad, resolución, umbral, linealidad, respuestas en frecuencia y transitoria para garantizar en futuras implementaciones un sistema más robusto y completos con la prospectiva de Smart farm y Agricultura 4.

Con el uso de la tecnología IoT como una tendencia para mejorar la productividad en la cría y producción avícola en condiciones ambientales controladas y monitoreadas permanentemente, permite la automatización confiable y asequible para los productores campesinos y microempresas acceder a las tecnologías emergentes en función del bienestar y el progreso de la economía.

Referencias bibliográficas

1. F. Hilari, E. Bojac, D. Bojac, U. Minuto, F. J. Hilari, and E. A. Bojac, "Diseño y simulación de un sistema automatizado para producción avícola en la región del Guavio Design and simulation of an automated system for poultry production in the Guavio region Projeto e simulação de um sistema automatizado para produção de aves na," vol. 15, no. 28, pp. 9–38, 2020. DOI: 10.26620/uniminuto.inventum.15.28.2020.3-32.
2. S. Arno, G. Rocha, A. Silva, M. Amato, and J. Oliveira, "Revi Vale," pp. 1–22, 2020.
3. D. C. Rose, R. Wheeler, M. Winter, M. Lobley, and C. A. Chivers, "Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet," *Land use policy*, vol. 100, no. October 2019, p. 104933, 2021. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104933.
4. W. F. Pereira, L. da S. Fonseca, F. F. Putti, B. C. Góes, and L. de P. Naves, "Environmental monitoring in a poultry farm using an instrument developed with the internet of things concept," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 170, no. January, p. 105257, 2020. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105257.
5. D. B. Núñez and D. B. Montero, "Avícola Ecuatoriano En El Contexto De Analysis of the Ecuadorian Poultry Technological Innovation in the Context of Industry 4 . 0," *Rev. Investig. Tecnológica / ISTCT*, pp. 7–15, 2019.
6. C. L. Costa, L. Oliveira, and L. S. Michele Móta, "Internet das coisas (IOT): um estudo exploratório em agronegócios Internet of Things (IOT): na exploratory study in agribusiness," *VI Simpósio da Cienc. do Agronegócio*, 2018, [Online]. Available: <https://www.ufrgs.br/cienagro/wp-content/uploads/2018/10/Internet-das-coisas-IOT-um-estudo-exploratório-em-agronegócios.docx-Cainã-Lima-Costa.pdf>.
7. P. Di Gennaro, D. Lofú, D. Vitano, P. Tedeschi, and P. Boccadoro, "WaterS: A Sigfox-compliant prototype for water monitoring," *Internet Technol. Lett.*, vol. 2, no. 1, p. e74, 2019. DOI: 10.1002/itl2.74.
8. J. Hurtado, "Metodologia de la Investigación Holística," *Caracas*. 2012, [Online]. Available: <https://metodologiaecs.files.wordpress.com/2015/09/metodologia-de-investigacion-holistica-3ra-ed-2000-jacqueline-hurtado-de-barrera-666p.pdf>.
9. G. Alfredo, P. Leonardo, A. José, V. Yhony, G. Julio, and D. Artículo, "Food supplementation with growth promoters in Cobb 500 broilers," 2020.
10. L. Hortúa López and W. Botía Carreño, "Extracto de ajo como alternativa a los promotores de crecimiento en pollos de engorde," *Conex. Agropecu. JDC*, vol. 2, no. 2, 2012, [Online]. Available: <http://www.revistasjdc.com/main/index.php/conexagro/article/view/229>.
11. I. Lita, D. A. Visan, I. B. Cioc, A. G. Mazare, and R. M. Teodorescu, "Indoor environmental parameters monitoring for building automation systems," *Proc. 8th Int. Conf. Electron. Comput. Artif. Intell. ECAI 2016*, pp. 8–11, 2017. DOI: 10.1109/ECAI.2016.7861083.
12. F. Geek Factory, "Salidas digitales en la placa Arduino - Geek Factory," 2021. <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-arduino/arduino-y-las-salidas-digitales/> (accessed Mar. 07, 2021).
13. D. Frolov, "Mathieu MQ135 - Mathux," 2021. <https://git.mathux.org/mathieu/MQ135/src/commit/d39b92dba040912497a715650c4d2761cd483cd0?lang=cs-CZ> (accessed Mar. 07, 2021).
14. Prometec, "Sensor de nivel de líquido - Waveshare Wiki," 2021. https://www.waveshare.com/wiki/Liquid_Level_Sensor (accessed Mar. 07, 2021).
15. D. Eridani, E. D. Widianto, R. D. O. Augustinus, and A. A. Faizal, "Monitoring System in Lora Network Architecture using Smart Gateway in Simple LoRa Protocol," *2019 2nd Int. Semin. Res. Inf. Technol. Intell. Syst. ISRITI 2019*, pp. 200–204, 2019. DOI: 10.1109/ISRITI48646.2019.9034612.

16. H. Benyezza, M. Bouhedda, K. Djellout, and A. Saidi, "Smart Irrigation System Based Thingspeak and Arduino," *Int. Conf. Appl. Syst.*, no. November, pp. 2018–2021, 2018.
17. A. Montes and L. Camacho, "Telemetría a través de redes de área extensa de baja potencia (LPWA) y en coexistencia con el internet de las cosas (IoT)," *Espec. en Telecomunicaciones Móviles*, 2019, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11349/16025>.
18. J. Mesquita, D. Guimaraes, C. Pereira, F. Santos, and L. Almeida, "Assessing the ESP8266 WiFi module for the Internet of Things," *IEEE Int. Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom. ETFA*, vol. 2018-Septe, pp. 784–791, 2018. DOI: 10.1109/ETFA.2018.8502562.
19. W. Hlaing, S. Thepphaeng, V. Nontaboot, N. Tangsunantham, T. Sangsuwan, and C. Pira, "Implementation of WiFi-Based single phase smart meter for internet of things (IoT)," *2017 Int. Electr. Eng. Congr. IEECON 2017*, no. March, pp. 8–10, 2017. DOI:10.1109/IEECON.2017.8075793.
20. Q. Zhou, K. Zheng, L. Hou, J. Xing, and R. Xu, "Design and implementation of open LORa for IoT," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 100649–100657, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2930243.
21. R. Maksimova and K. Kolev, "LoRaWAN applications - 'leonardo tasting LoRaWINE,'" *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 878, no. 1, 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/878/1/012032.
22. T. Petrić, M. Goessens, L. Nuaymi, L. Toutain, and A. Pelov, "Measurements, performance and analysis of LoRa FABIAN, a real-world implementation of LPWAN," *IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC*, pp. 1–7, 2016. DOI: 10.1109/PIMRC.2016.7794569.
23. A. Lavric and A. Loan Petrariu, "High-Density Low Power Wide Area Networks," *Proc. 10th Int. Conf. Electron. Comput. Artif. Intell. ECAI 2018*, 2019. DOI: 10.1109/ECAI.2018.8678997.
24. "Network Architecture The Things Network," (accessed 27 February 2021), 2021. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/network/architecture.html> (accessed Feb. 27, 2021).
25. T.-C. Hsu, *A Study of the Readiness of Implementing Computational Thinking in Compulsory Education in Taiwan*. 2019.
26. C. Herrera, J. & Sanabria, "Experimental analysis of coverage on a predictable mesh network using models nonlinear regression interior environments," *Rev. Colomb. Tecnol. Av.*, 2016.
27. R. Ghanaatian, O. Afisiadis, M. Catting, and A. Burg, "LORA DIGITAL RECEIVER ANALYSIS AND IMPLEMENTATION Reza Ghanaatian, Orion Afisiadis, Matthieu catting, and Andreas Burg polytechnique f' ;," *ICASSP 2019 – 2019 IEEE Int. conf. Acoust. Speech Signal Process.*, pp. 1498–1502, 2019, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8683504/>.
28. "Tiempo Cucuta – par hara acutal detallada predicción del tiempo Cucuta – Meteobox.co," 2021. <https://meteobox.co/cucuta/>.
29. B. B. GmbH, "Guía de iniciación," <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>, 2015.
30. C. Herrera, J. & Sanabria, "Experimental analysis of coverage on a predictable mesh network using models nonlinear regression interior environments," *Rev. Colomb. Tecnol. Av.*, 2016.
31. K. Polo Bornachera., D.D. López Juvinao, and A. Henríquez Jaramillo, "Transferencia tecnológica para la producción limpia en la minería de materiales aluviales en La Guajira, Colombia," *Investigación e Innovación en Ingenierías .*, vol. 8, pp. 6–20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3535>