

Diseño de un sistema automatizado para el control de temperatura y humedad en una celda de cultivo de hongos *Pleurotus Ostreatus*

*Design of an automated system for temperature and humidity control in a *Pleurotus Ostreatus* mushroom culture cell*

MSc. Edgar Rodrigo Enríquez Rosero¹, MSc. Gabriel Andrés Obando Obando¹

¹ Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnologías e Ingenierías, Pasto, Nariño, Colombia.

Correspondencia: Edgar.enriquez@unad.edu.co

Recibido: 24 abril 2025. Revisado: 12 junio 2025. Aceptado: 03 julio 2025. Publicado: 22 julio 2025.

Cómo citar: E. R. Enríquez Rosero y G. A. Obando Obando, «Diseño de un sistema automatizado para el control de temperatura y humedad en una celda de cultivo de hongos *Pleurotus Ostreatus*», RCTA, vol. 2, n.º 46, pp. 141–149, jul. 2025.
Recuperado de <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcta/article/view/4092>

Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.



Resumen: El artículo presenta los resultados obtenidos en una celda de cultivo mediante el manejo y control automatizado de la temperatura y humedad relativa, variables relevantes en la calidad del cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* de tal manera que minimicen el impacto del clima y aseguren un producto con calidad para su consumo. Se indica el proceso de ingeniería aplicado hasta obtener el sistema de control que interactúa en la celda y los resultados obtenidos comparando el grupo de control bajo condiciones ambientales normales y el cultivo en el cual se hace uso de la tecnología apoyada en Internet de las Cosas IoT, por su acrónimo en inglés – *Internet Of the Things*.

Palabras clave: celda de cultivo, internet de las cosas, hongos, temperatura, humedad, sistema automatizado.

Abstract: This article presents the results obtained in a culture cell through the automated management and control of temperature and relative humidity, variables relevant to the quality of *Pleurotus Ostreatus* mushroom cultivation, in such a way as to minimize the impact of climate and ensure a quality product for consumption. The article describes the engineering process applied to obtain the control system that interacts with the cell, as well as the results obtained by comparing the control group under normal environmental conditions with the culture that uses technology supported by the Internet of Things (IoT)

Keywords: culture cell, internet of the things, mushroom, temperature, humidity, automation system.

1. INTRODUCCIÓN

Nariño se considera una región agrícola basada en minifundios, donde los pequeños agricultores siembran diferentes variedades de productos gracias a la variedad de pisos térmicos que se tienen en el departamento. No obstante, en ocasiones debido a los cambios de clima, estos cultivos se ven afectados sea por exceso de calor o frío, que ocasionan la pérdida de al menos un 30% o más del cultivo, generando una inestabilidad económica para el agricultor, sus familias, hasta volver a empezar con un nuevo cultivo cuya cosecha puede demorar como mínimo 4 meses y que generan un alza en los precios de los productos.

Ante esta situación y aprovechando la tecnología existente que permite generar celdas de cultivos y básicamente el hongo *Pleurotus ostreatus*, se ha desarrollado un sistema de control automatizado que permite conservar la temperatura y la humedad requerida para el cultivo en condiciones óptimas del producto en mención, a través de la combinación de la electrónica y de los sistemas basados en IoT, es posible minimizar el impacto del clima en el cultivo y a su vez garantizar un producto de calidad que al cosecharse permita garantizar la sostenibilidad económica de los pequeños agricultores dedicados a estos cultivos.

Para ello se hace uso de un sistema embebido basado en un microcontrolador Arduino Wi-Fi, con acceso a Internet, el cual puede tomar decisiones sobre los actuadores para estabilizar la temperatura y la humedad relativa, factores clave para obtener un producto de calidad.

El proyecto por lo tanto surge como un apoyo desde el punto tecnológico hacia la agricultura con sentido social y con un bajo costo de producción que se accesible para aquellas comunidades que deseen hacer uso de esta tecnología. Por otra parte, de acuerdo con [1] para promover la inteligencia y la automatización en la agricultura, es una tendencia aplicar la tecnología IoT y cualquier sistema de monitoreo ambiental basado en IoT puede cumplir con los requisitos de medición rápida, precisa y continua en la agricultura de precisión, cuya visión es lo que se pretende abordar a través del desarrollo de más investigaciones en esta área

El presente artículo muestra los resultados que se han logrado hasta el momento con la implementación del sistema en una celda de cultivo.

2. METODOLOGÍA

Para el diseño del sistema de control automatizado se aplicó la metodología basada en ingeniería de software denominada XP (*Xtreme Programming*), considerada una metodología de desarrollo ágil, la cual define las etapas de desarrollo según [2] citada y adaptada por [3] de la siguiente manera:

- Fase I - Análisis de Requerimientos del Sistema: Durante esta fase se requiere el control y manejo de una gran cantidad de procesos e información, por tal razón, es necesario adquirir la información suficiente que permita determinar todos los requerimientos funcionales del tipo de cultivo, el producto a cultivar y la celda de cultivo, además de aquella información sobre las condiciones óptimas para que el proceso de cultivo y cosecha se considere satisfactorio y cuyo producto tenga las condiciones mínimas de calidad para su comercialización.
- Fase II - Planificación del Proyecto: Con los requerimientos definidos, se procede a la planificación del proyecto teniendo en cuenta las pautas que establece la metodología para poder realizar el análisis y diseño del módulo automatizado, al igual que el lenguaje de programación a utilizar tanto para la interfaz como para el sistema que genera los datos.
- Fase III - Diseño del Sistema: A partir de la fase anterior, se desarrollan los diseños de la interfaz web del sistema, la adecuación del servicio que aloja el sistema, el diseño de la base de datos y la definición de políticas de acceso.
- Fase IV - Documentación: Se generan todos los documentos que brinden soporte tanto a usuarios como a los desarrolladores, en la documentación final se presenta el manual del usuario para la etapa de capacitación del personal y la documentación de los resultados esperados.

2.1. Fase I - Análisis de Requerimientos del Sistema

Para esta etapa, se definieron dos fuentes de información, la primaria a través de observación directa y entrevistas al personal especializado sobre el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* y se encontró que el ambiente óptimo para este cultivo es a una temperatura entre 23 y 28 grados centígrados, con una humedad relativa superior al 90%, información clave para que el sistema reciba los datos y ante la variación de uno de estos parámetros

por fuera del rango normal, se envíe una alerta y se proceda a activar una electroválvula o los calefactores.

Otra observación realizada en el trabajo de campo es la inspección del sitio donde se va a ubicar la celda de cultivo, con el fin de determinar las características del radioenlace y de esta manera garantizar la señal óptima para el envío de datos a través de Internet. La segunda fuente de información denominada secundaria toma como referentes algunas investigaciones sobre los hongos, para determinar alternativas de sustratos como materias primas sobre las cuales crecen los hongos, además de lo anterior se tienen los *datasheets* del PCB Arduino [4] y sus componentes Wifi [5] y microcontrolador [6], el sensor DHT11 y el relé de 2 vías [7], cuyas características técnicas facilitan el esquema de conexión de cada dispositivo para el diseño del sistema completo.

De igual manera se tomó como referente el sistema autónomo robótico para la detección y extinción de incendios, presentado por [8], donde se destaca la importancia de las comunicaciones inalámbricas en la operación de robots autónomos para salvaguardar la integridad de las personas, en este caso es un punto de referencia para lograr que el sistema sea autónomo en la toma de decisiones para controlar las variables que puedan afectar la calidad del cultivo, así como el monitoreo a distancia de los sensores y actuadores.

Otro referente importante para el desarrollo del proyecto desde el punto de vista de la agricultura y el IoT es el diseño de un sistema de monitoreo basado en Internet de las Cosas para una granja experimental, cuya discusión y resultados se presentan por [1], donde se presenta una arquitectura IoT desde una capa de sensores que capta los datos del medio, los cuales pasan a una segunda capa de comunicación, en la cual se encuentra el sistema de comunicación inalámbrico que para el caso que compete al proyecto sería a nivel de WLAN, para salir a Internet para acceder a la capa de aplicación donde a través de los servidores de correo y web, además de un gestor de base de datos se alojará el sistema para el acceso remoto por parte del usuario final del sistema con efectos de control y monitoreo, a pesar de que el sistema presentado por los autores en su artículo es una red de sensores y comunicaciones inalámbricas ad-hoc, es posible adaptar la arquitectura propuesta.

2.2. Fase II - Planificación del Proyecto

Con la información recolectada en el ítem anterior, se definieron las variables de control que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1: Variables a controlar

Variable	Unidad	Valor mínimo aceptable	Valor máximo aceptable
Temperatura	°C	23	28
Humedad relativa	%	90	98

Fuente: elaboración propia

Es necesario tener presente la arquitectura IoT, propuesta por [9], en la cual se tienen las capas de percepción, red y aplicación, donde la capa de percepción para este proyecto se encuentra conformada por los sensores de temperatura y humedad que se ubican en diversos puntos de la celda de cultivo y el dispositivo que recibe la señal, la capa de red, permite restablecer la conexión entre el dispositivo IoT y el acceso a Internet a través de la red local mediante el radioenlace y por último la capa de aplicación, en la cual interactúa el usuario a través de la interfaz web, presentado los datos al usuario que se encuentran almacenados en la base de datos.

El sensor que permite obtener la información de las variables a controlar es el DHT11 o el DHT22, para el proyecto se utiliza el DHT11, cuyas características se encuentran disponibles en [10]. Así mismo, se definió el PCB a utilizar, en este caso se optó por un Arduino Wifi Demos R2 debido a su costo y el alcance a nivel de cobertura de señal que brinda la antena.

El sistema se diseña a través de una herramienta libre para prototipos como es *Tinkercad*. De igual manera es necesario que la información recolectada se almacene en una base de datos, se puedan visualizar los registros mediante un sistema basado en la web, implementar un sistema de comunicación y un sistema de alertas cuando las variables de control se encuentren fuera del rango normal, con estas especificaciones se procede a la siguiente fase que es la del diseño.

Aparte de lo anterior, es necesario contar con la planificación para el presupuesto del enlace, este ítem se tiene en cuenta y se desarrolla en la siguiente fase, teniendo en cuenta las ecuaciones y el uso de *RadioMobile*, que según [11] es un software de distribución libre que permite diseñar redes de Telecomunicaciones compuestas por estaciones

radio y predecir el comportamiento del sistema mediante la simulación de los radioenlaces que se establezcan en el mismo y de acuerdo con [12] fue desarrollado por Roger Coudé y el programa simula la propagación por Radio Frecuencia y es de uso gratuito e implementa con buenas prestaciones el modelo Longley-Rice, modelo de predicción troposférica para transmisión radio sobre terreno irregular en enlaces de largo-medio alcance. Además de tener múltiples utilidades de apoyo al diseño y simulación de los enlaces y las redes de telecomunicaciones [13].

De la misma manera, los parámetros a introducir para realizar las simulaciones permiten reflejar de forma fiel los equipos reales que se piensa utilizar en la instalación para la que estarían destinados. RadioMobile utiliza para la evaluación de los enlaces, el perfil geográfico de las zonas de trabajo. La obtención de estos mapas puede realizarse directamente desde una opción del software que permite descargarlos de Internet. Hay tres tipos de mapas disponibles: los SRTM, los GTOPO30 y los DTED [13].

Al igual que el modelo de propagación en el que se basa, permite trabajar con frecuencias entre los 20MHz y 40GHz y longitudes de trayecto de entre 1 y 2000 Km.

2.3. Fase III - Diseño del sistema

Para el diseño del sistema se cuenta con un dispositivo microcontrolador Arduino, con conectividad a internet mediante WiFi, este dispositivo puede ser Arduino Wifi Demos R2 o el más conocido ESP3286, como se mencionó anteriormente en el proyecto se hace uso del primero. De acuerdo con la información recolectada, el hongo requiere en su etapa de incubación o cultivo una temperatura que oscila entre los 18 y los 22 grados de temperatura, con una humedad relativa del 95%, para ello se utiliza un sensor DHT 11 de tipo digital que según [14] posee una precisión de ± 2.0 °C y un rango de humedad de 20% a 95% de humedad relativa con precisión de 4%. El sensor permite captar el aire circundante y la temperatura a través de un pin de lectura y se calibra para tener información aproximada, con un porcentaje de error mínimo.

El sistema consta de dos partes, la primera es la parte electrónica, compuesta por un sensor y un actuador cuyos datos se procesan a través del microcontrolador Arduino, cuyo esquema se indica en la figura 1:

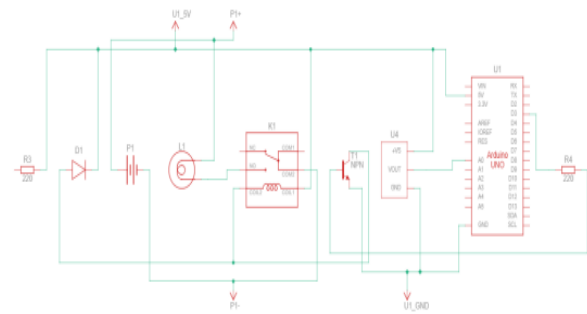


Fig. 1. Esquema parte electrónica del sistema
Fuente: elaboración propia.

En el proceso de adquisición de datos, estos valores se procesan para determinar la función de un actuador, que en este caso es un relé, el cual al recibir una señal activa el paso de energía para que pueda encenderse la electroválvula en caso de requerir una acción para contrarrestar la humedad relativa o las altas temperaturas o encender los calefactores en caso de que la temperatura sea baja.

La segunda parte del sistema es el software, desarrollado en el lenguaje propio de Arduino para el procesamiento de la información, cuyos los datos se envían a un sistema a través de internet, donde se alojan en una base de datos, esto se hace con el fin de visualizar gráficamente el comportamiento histórico de la humedad relativa y la temperatura captada por el sistema a lo largo del día o del mes.

El gestor de base de datos utilizado es *MySQL* de libre uso y se aloja en un hosting con un servidor web *Apache* que soporte *PHP* como lenguaje de programación de páginas dinámicas y el uso del plugin para gráficos que sea compatible con *PHP*

En la figura 2. se aprecia el diseño de la base de datos, la cual consta de un sistema de autenticación para efectos de seguimiento y compuesto por las tablas normalizadas.

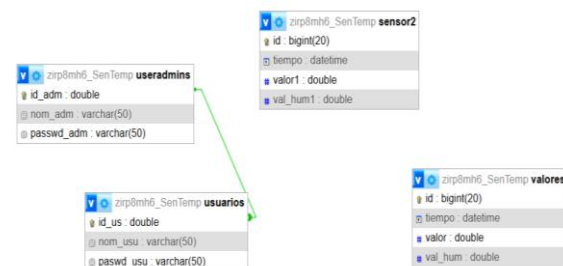


Fig. 2. Esquema base de datos
Fuente: elaboración propia.

El sistema cuenta además con un sistema de alerta que le avisa al cliente los cambios por fuera del

rango en las variables objeto de estudio, para ello se hace uso de un correo electrónico gratuito, en esta parte cabe resaltar que el cliente debe tener activo en su dispositivo móvil la aplicación de correo a través de la cual llegará el mensaje. De acuerdo con lo anterior, y tomando como referencia el esquema de [15] sobre el diseño de un sistema con sensores de humedad, temperatura y foto detección se realiza el diagrama de flujo del sistema en la figura 3:

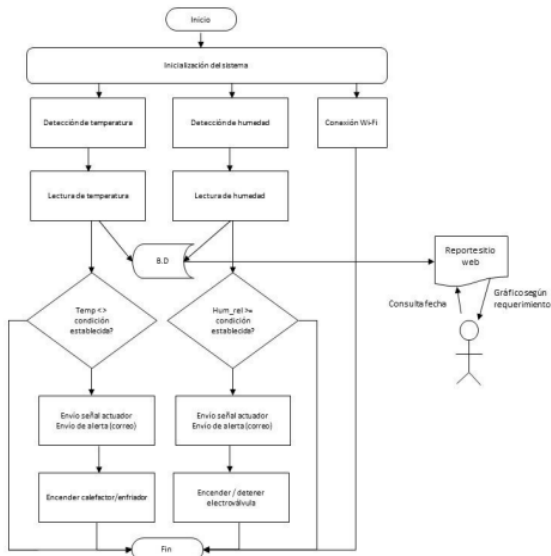


Fig. 3. Diagrama de flujo del sistema automatizado y monitoreo
Fuente: elaboración propia.

Como es un sistema que requiere de una conexión a internet y debido a que la celda de cultivo se ubica en un lugar diferente de la casa de habitación, se hace necesaria una conexión de tipo inalámbrico que tenga línea de vista desde el lugar donde se provee el servicio de internet y un alcance con una intensidad de señal óptima en la celda donde se encuentra ubicado el dispositivo. En caso de encontrarse cerca, según el datasheet del Arduino, los valores de recepción y envío de datos están en el umbral de 18 dBm, a una frecuencia de 2.4 GHz con un rango de distancia entre 400 y 500 m en espacio libre, según las especificaciones [5] por lo tanto, si no se puede alcanzar la conectividad con el router convencional que el usuario en su casa, se haría uso de un radio enlace, a través del cual se pueda garantizar la cobertura de la señal, para el proyecto realizado, se tuvo en cuenta la ubicación en el corregimiento de Obonuco cuyas coordenadas geográficas son: 1.1887651 de latitud norte y 77.3073162 de longitud oeste, y con la visita de campo se localiza de manera más exacta la ubicación de la vivienda, como del cultivo y se procede a calcular el radioenlace.

Para el cálculo del radioenlace, se hace uso del software Radio Mobile, parametrizado con los datos de frecuencia y potencia de un radio Loco M5 nanostation, cuyas especificaciones están disponibles en [16], siendo una solución de bajo costo con buen alcance y teniendo presente las recomendaciones de [17] sobre el diseño de un sistema a nivel de confiabilidad, línea de vista, diseño del sistema de comunicaciones. Los datos de geolocalización del radioenlace entre el sitio donde está la conexión a internet y la celda de cultivo se pueden ver en la figura 4:

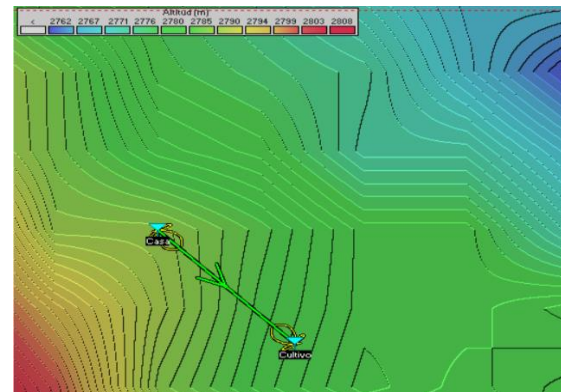


Fig. 4. Geolocalización del radioenlace
Fuente: elaboración propia.

En el sitio donde se encuentra actualmente el sistema y la celda de cultivo si fue necesario el uso del radioenlace, para ello se hace uso de la ecuación del presupuesto de enlace citada por [18] indicado en (1)

$$\text{Pot Rx[dBm]} = \text{Pot Tx[dBm]} + \text{Ganancias[dB]} - \text{Pérdidas[dB]} \quad (1)$$

Para encontrar los valores de (1), es necesario desglosar las ganancias y pérdidas en un radioenlace, para ello se hace uso de (2), mencionada por [19]

$$P_{Rx} = P_{Tx} - L_{Tx} + G_{Tx} - L_p + G_{Rx} - L_{Rx} \quad (2)$$

Para el proyecto el radioenlace busca ampliar el radio de cobertura del WiFi y como se indicó en la figura 4, no es una gran distancia, pero si se requiere mejorar la calidad de señal para evitar la atenuación y las pérdidas en espacio libre, por consiguiente, no se consideran pérdidas en conectores ni en la línea, puesto que la altura de la antena no supera los 3 m, por lo tanto: $L_{Tx} = 0.5$ y $L_{Rx} = 0.5$.

La ganancia de la antena del radio es de 13 dBi y la potencia de salida del radio, con un valor de 23 dBm

de acuerdo con [16], la ganancia de la antena del Arduino Wifi según [5] es de 3 dB. Para la pérdida en espacio libre se calcula en (3):

$$L_p = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + K \quad (3)$$

Como la frecuencia del radio es de 5,8 GHz y la distancia de 180 m, entonces $K = 92.4$ se obtiene (4):

$$L_p = 20 \log_{10}(0.18) + 20 \log_{10}(5,8) + 92.4 = 92.77 \quad (4)$$

Con los datos anteriores, se puede calcular el valor de la potencia o sensibilidad en el receptor tomando como referencia (1) y calculado en 5:

$$\text{Pot Rx[dBm]} = 23 + 13 + 3 - 93.29 - 0.5 - 0.5 = -54.77 \quad (5)$$

La solución de las ecuaciones y resultados presentados, se comparan con los cálculos realizados con la ayuda de RadioMobile, los cuales se presentan en la figura 5:

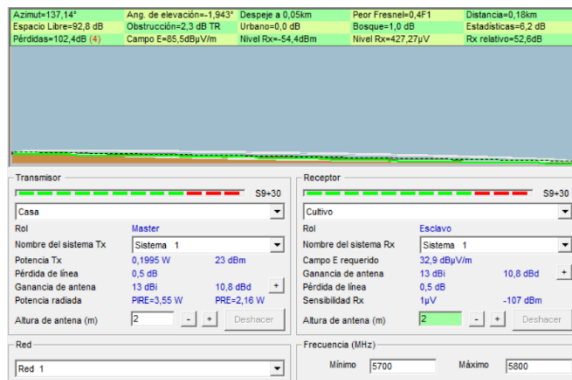


Fig. 5. Parametrización del radioenlace
Fuente: elaboración propia.

Como se observa, los valores encontrados son similares desde la perspectiva matemática y del software, por lo tanto, se procede a configurar el radioenlace de esa manera, asegurando la disponibilidad y calidad de la señal de Internet.

A nivel del sistema basado en la web para visualización de gráficos y registros, su interfaz amigable, sencilla e intuitiva, le permite al agricultor con conocimientos básicos en el uso de internet, ingresar al sistema con sus credenciales y monitorear la celda del cultivo.

En la figura 6 se observa la interfaz que se le presenta al agricultor para que pueda verificar el comportamiento del sistema en su cultivo, una vez

ingrese con las credenciales de acceso que son la identificación y una contraseña:

Fig. 6. Interfaz de usuario para monitoreo y verificación del sistema

Fuente: elaboración propia.

2.4. Fase IV – Documentación

Para esta fase del proyecto, se hizo entrega del manual de usuario del sistema, teniendo en cuenta que el usuario es un agricultor, se hizo un diseño minimalista, basado en la simplicidad del sistema que sea de fácil uso para él, de igual manera se hizo entrega del manual del sistema y se brinda el soporte necesario durante 6 meses realizando un acompañamiento para las personas involucradas en el proyecto.

3. RESULTADOS

El sistema en el prototipo mostró un seguimiento adecuado de la temperatura, a la fecha en que se entregan los resultados, los efectos del clima no se consideran muy lejanos de la condición aceptable y en algunos casos hizo el envío de las alertas, junto con el encendido del actuador requerido, siendo el de mayor uso la activación de la electroválvula. El registro de temperatura a los 2800 msnm donde se encuentra ubicada la celda de cultivo se visualizar en la figura 7:

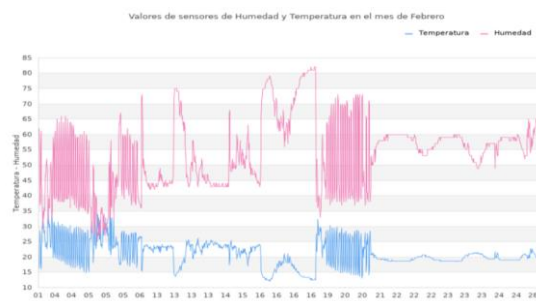


Fig. 7. Registros de temperatura y humedad en el mes de febrero en el proceso de incubación

Fuente: elaboración propia.

En la figura 8, se observa los registros en el proceso de fructificación, encontrando que las diferencias son significativas debido a que los valores de temperatura y humedad son diferentes entre las dos cámaras del cultivo, así mismo se evidencia que gracias al sistema automático de control, es posible estabilizar las variables, en el momento que se genera un desfase en rango de temperatura o humedad, ya que el sistema capta los valores cada 10 minutos, tiempo suficiente para tomar los correctivos necesarios ante la baja o alta temperatura que puedan afectar al cultivo, al igual que el requerimiento porcentual de humedad.

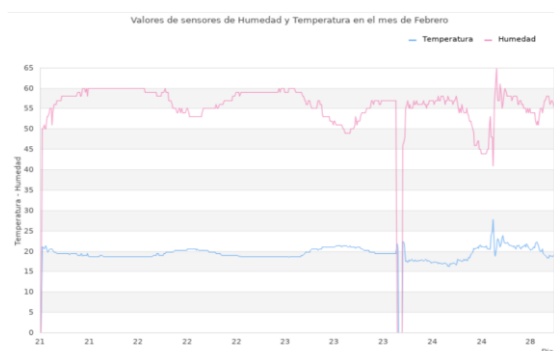


Fig. 8. Registros de temperatura y humedad en el mes de febrero en el proceso de incubación
Fuente: elaboración propia.

En las figuras 9 y 10 se observa que el parámetro de humedad no alcanza el umbral deseado en los dos primeros meses, esto se debe a que se utilizaron diversos mecanismos de riego para contrarrestar la humedad necesaria, al igual que la calibración de la electroválvula.

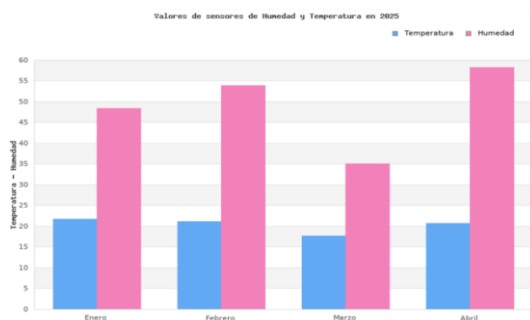


Fig. 9. Registros promedio de temperatura y humedad entre enero y abril en el proceso de incubación
Fuente: elaboración propia.

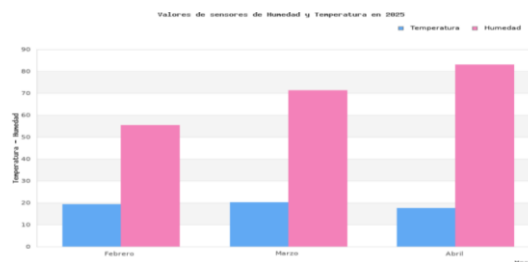


Fig. 10. Registros promedio de temperatura y humedad entre enero y abril en el proceso de fructificación
Fuente: elaboración propia.

Dichos valores se presentan en la tabla 2:

Tabla 2: Promedios de temperatura y humedad en las etapas de incubación y fructificación

Etapas	Mes	Temperatura	Humedad
Incubación	Enero	21.7	48.42%
	Febrero	21.17	53.81%
	Marzo	17.7	24.99%
	Abril	20.67	58.2%
Fructificación	Febrero	19.27	55.3%
	Marzo	20.19	71.18%
	Abril	17.61	83.07%

Fuente: elaboración propia

El sistema a nivel de humedad se evaluó, incluyendo escenarios de alta temperatura generada por calefactores y de baja presión de riego, donde se evidencia la toma de lectura para un día aleatorio en la figura 11 y el efecto que se produce cuando se regula después de un tiempo gracias a la automatización:

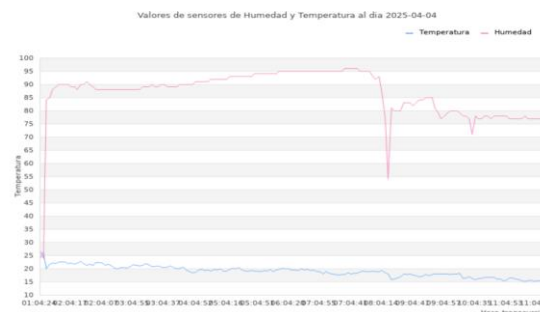


Fig. 11. Registros de temperatura y humedad diaria con variación de parámetros intencionalmente
Fuente: elaboración propia.

En ella se aprecia que el sistema busca recuperar el estado parametrizado lo más pronto posible, aquellos picos con valores bajos, indican la existencia de un factor externo como son los calefactores, activados de manera intencional para medir la respuesta del sistema y en el caso de los valores entre 75 y 80, indican que a pesar de tener un suministro bajo de agua a la electro válvula el sistema busca compensar la acción de la temperatura alta, protegiendo el cultivo, siempre y cuando exista

el suministro de agua, así mismo el sistema el mensaje al correo registrado, con el fin de alertar la variación por fuera de los parámetros establecidos como se indica en la figura 12.



Fig. 12. Alerta enviada desde el correo del proyecto al usuario
Fuente: elaboración propia.

Al regular las variables que afectan al cultivo, se pudo mejorar la eficiencia en los procesos de germinación y fructificación, logrando reducir el tiempo de 2 días para germinación y de 4 días para la fructificación, sin afectar la calidad del producto. Se reduce el consumo de agua, al activar por electroválvula el riego, con una presión adecuada, suministrando la cantidad necesaria para no desperdiciar el preciado líquido.

Los resultados obtenidos pueden tomarse como una contribución al desarrollo de la agricultura inteligente, una alternativa que [20] en su estudio concluye como una solución a los desafíos que enfrenta la industria alimentaria debido a la creciente demanda de producción de alimentos, la disminución de la mano de obra rural y el aumento de los costos de producción.

Por otra parte, se demostró que el implementar un sistema automatizado en pequeña agricultura, además de ser una solución innovadora, permite obtener mejores resultados en los cultivos, minimizando algunos factores de riesgo como es el cambio climático, contrarrestando su efecto con actuadores que compensen en este caso la temperatura o humedad, pero aplicable a otros factores que se puedan tener presentes, como afirman [21] “actualmente, la implementación de diversos sensores inalámbricos y sensores del IoT ha dado lugar a numerosas innovaciones para la mejora de los cultivos. Estas nuevas tecnologías emergentes abordan diversos problemas tradicionales de los cultivos, como la gestión de enfermedades, el riego eficaz, las prácticas culturales y la respuesta a la sequía”.

4. CONCLUSIONES

El sistema de monitoreo y control de temperatura y humedad para una celda de cultivo de *Pleurotus ostreatus* mejora la calidad de vida de los

agricultores que opten por implementar estas celdas de cultivo de hongos, puesto que no tienen que estar pendientes a las variaciones del clima y sobre todo si la distancia entre el hogar y el cultivo es considerable, al igual que le evita la interrupción de su descanso, cuando se aproximan fenómenos como las heladas.

Al ser sistemas susceptibles de fallos, es necesario tomar medidas de prevención, por lo tanto, al usuario del sistema, se le envía una alerta con el fin de que pueda verificar funcionamiento adecuado del mismo en caso de parámetros de lectura fuera del rango normal y de esta manera puede tener un control manual en caso de que se considere necesario.

El sistema inteligente de control y comunicaciones para pequeñas celdas de cultivo basado en Internet de las cosas, permite recopilar, procesar y controlar la temperatura y la humedad en el espacio de cultivo en tiempo real según la variabilidad de los dos factores que pueden afectar la calidad de la producción y el envío de datos mediante Wi-Fi en tiempo real, además de controlar y mantener informado al usuario o agricultor sobre los datos de temperatura y la humedad relativa en la celda a través de alertas al correo electrónico y en el sitio web con acceso desde cualquier dispositivo con un navegador y conexión a internet asegurando un monitoreo en tiempo real.

La aplicación del sistema de control inteligente de una celda de cultivo para el hongo *Pleurotus ostreatus* mejora la eficiencia del trabajo para el agricultor y ofrece una garantía para obtener los resultados deseados en la cosecha.

REFERENCIAS

- [1] J. Jiao et al., "Design of farm environmental monitoring system based on the Internet of Things", *Advance Journal of Food Science and Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 368–373, Mar. 2014, doi: 10.19026/ajfst.6.38.
- [2] L. Sadath. et al., «Extreme programming implementation in academia for software engineering sustainability,» de 2018 *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, Dubai, Sharjah, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2018.
- [3] J. R. Patiño, «Identificación de un plan de detección y corrección de fallas eléctricas en tiempo real, para la Universidad de Nariño a través del empleo de una micro red eléctrica,

- empleando SCADA (supervisory control and data acquisition) y la comunicación de eventos.,» 2024. [En línea]. Available: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/63791>. [Last access: 15 10 2024].
- [4] Arduino, «Arduino uno Wifi Rev 2 - Arduino official store,» Arduino, [En línea]. Available: https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-wifi-rev2?srltid=AfmBOoqGl-xLkuU_opJw-z4ZAmn1q2WXEGSDoMOnuLWUPxbJRwP60ERJ. [Last access: 20 Febrero 2024].
- [5] u-blox, «NINA-W10 series,» [En línea]. Available: https://content.arduino.cc/assets/Arduino_NINA-W10_DataSheet_%28UBX-17065507%29.pdf. [Last access: 20 Febrero 2024].
- [6] Microchip, «ATmega4808/4809 Data Sheet,» 2020. [En línea]. Available: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATmega4808-4809-Data-Sheet-DS40002173A.pdf>. [Last access: 20 Febrero 2024].
- [7] Digikey, «TS0010D Datasheet,» [En línea]. Available: <https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/docus/5773/TS0010D%20DATASHEET.pdf>. [Last access: 20 Febrero 2024].
- [8] Nivennesh A/L Sathiabalan. et al., «Autonomous robotic fire detection and extinguishing system,» Journal of Physics: Conference Series, pp. 1-8, 2017.
- [9] Sarangi. et al, «Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications,» Journal Electrical and computer Engineering, vol. 2017, n° 1, pp. 1-25, 2017.
- [10] D- Robotics, «DHT11 Temperature & Humidity Sensor features a temperature & humidity sensor complex with a calibrated digital signal output,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1440068/ETC/DHT11.html>. [Last access: 20 Febrero 2024].
- [11] N. S. Díaz Rodríguez, «Biblioteca de la Universidad de Sevilla,» 2010. [En línea]. Available: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/11901/fichero/capitulo5.pdf>. [Last access: 24 Abril 2024].
- [12] C. Remko, «Radio Mobile - RF propagation simulation software,» 3 mayo 2025. [En línea]. Available: <http://radiomobile.pe1mew.nl/>. [Last access: 24 abril 2024].
- [13] P. E. Tirira Caluquí, « Transmisor/recpetor inalámbrico de señales analógicas y digitales basado en la tecnología ZIGBEE, para la comunicación de las estaciones de bombeo de la red principal del sistema de agua potable Sumak-Yaku-Araque del cantón Otavalo,» 2013. [En línea]. Available: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1057>. [Last access: 24 abril 2024].
- [14] Naylamp mechatronics, «Tutorial sensor de temperatura y humedad DHT11 y DHT22,» 2016. [En línea]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/40_tutorial-sensor-de-temperatura-y-humedad-dht11-y-dht22.html. [Last access: 11 Marzo 2024].
- [15] T. Liu and Z. Zhang, "Design and Application of Greenhouse Intelligent Control System", Frontiers, vol. 9, no. 2, pp. 27–30, Aug. 2024, doi: 10.54097/wja1sz58.
- [16] Ubiquiti Networks , «NanoStationM y NanoStationlocoM Datasheet,» 2018. [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm_ds_web.pdf. [Last access: 4 Junio 2024].
- [17] S. Rubiños Jimenez, «Application of a radio link system in the 400MHz band for remote supervision and control of SEDAPAL service stations in Peru,» de 21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, Buenos Aires, 2023.
- [18] S. Ahmadi, «Chapter 11 - Link-Level and System-Level Performance of LTE-Advanced,» de LTE-Advanced, Academic Press, 2014, pp. 875-949.
- [19] Circuit design inc, «Link budget - RF design guide,» [En línea]. Available: https://www.cdt21.com/design_guide/link-budget/. [Last access: 10 Marzo 2024].
- [20] N. Rizan, «Internet-of-Things for Smart Agriculture: Current Applications, Future Perspectives, and Limitations,» Agricultural Sciences , vol. 15, n° 12, pp. 1446-1475, 2024.
- [21] N. Khan, «Current Progress and Future Prospects of Agriculture Technology: Gateway to Sustainable Agriculture,» Sustainability, vol. 13, n° 9, 2021.