

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL AMBIENTAL EN CULTIVO DE CHAMPIÑÓN PARÍS EN EL CAÑÓN DEL COMBEIMA

⁽¹⁾ Juan Carlos Garcia Rubio ⁽²⁾ Alisson Andrea Rodriguez Rodriguez

1. Ingeniero Electrónico, Servicio Nacional de Aprendizaje. SENNOVA, Espinal, Colombia.
jucgarciar@sena.edu.do
2. Ingeniera Mecánica, Servicio Nacional de Aprendizaje, Red Tecnoparque SENNOVA, Espinal, Colombia,
aarodriguezr@sena.edu.co

RESUMEN

El artículo propone implementar un sistema de control ambiental para mejorar el cultivo de champiñones en el Cañón del Combeima, Colombia. Los métodos actuales enfrentan problemas como la falta de tecnología y un control inadecuado de temperatura, humedad y CO₂. Se sugiere el uso de controladores ON/OFF y PID para regular estos factores de manera precisa. El controlador ON/OFF mantiene condiciones básicas dentro de rangos aceptables, mientras que el PID ofrece un control más avanzado, garantizando condiciones estables. Las pruebas confirmaron que los controladores PID mejoran la precisión y estabilidad del ambiente de cultivo, lo que incrementa la calidad y productividad de los champiñones. Esta solución es crucial para superar las limitaciones de la agroindustria de hongos en Colombia, optimizando la producción y adaptando el cultivo a las condiciones específicas de la región.

Palabras Claves:

Ambiental, champiñones, controlador, cultivo, PID.

ABSTRACT

The article proposes implementing an environmental control system to improve mushroom cultivation in the Cañón del Combeima, Colombia. Current methods face issues such as a lack of technology and inadequate control of temperature, humidity, and CO₂. The use of ON/OFF and PID controllers is suggested to regulate these factors precisely. The ON/OFF controller maintains basic conditions within acceptable ranges, while the PID controller offers more advanced control, ensuring stable conditions. Tests confirmed that PID controllers improve the accuracy and stability of the cultivation environment, resulting in higher quality and productivity of mushrooms. This solution is crucial for overcoming the limitations of the mushroom agroindustry in Colombia, optimizing production, and adapting cultivation to the region's specific conditions.

Keywords:

Controller, cultivation, environmental, mushrooms, PID.

INTRODUCCIÓN

La estimación de la diversidad de hongos ha variado desde 1991: algunos afirman que hay tan solo 500.000 especies en todo el mundo, mientras que otros afirman cifras tan altas como 9,9 millones. La propuesta de Hawksworth plantea la presencia de 1,5 millones de especies; sin embargo, este valor no es universalmente aceptado entre los micólogos actuales, ya que factores como la ubicación geográfica y tipo ambiente hacen que su proliferación aumentes. Hoy en día, se dice que el número total es de al menos 700.000 y más del 80% son microscópicos, (Aguirre, Ulloa, Aguilar, & Valenzuela, 2014).

Con lo que respecta a los hongos comestibles, se identifican seis tipos principales de hongos a nivel mundial, incluidos *Agaricus bisporus* y *Lentinula Auricularia*, *Volvarella Flamulina* y *Pleurotus*. El más reconocido entre ellos es *Agaricus bisporus*, comúnmente conocido como champiñón, (Cardona, 2001).

China es el líder indiscutible en el fascinante campo del cultivo de hongos. Cada año, este coloso asiático produce alrededor de 3 millones de toneladas de setas frescas. Esto representa el 60% de la producción mundial. Esta ventaja se extiende al comercio internacional, ya que China controla hasta el 65% de las exportaciones del popular de champiñón. (Boa, 2005)

Estados Unidos, Polonia y los Países Bajos también son actores importantes en la industria del cultivo de hongos y se ubican constantemente entre los cinco principales países productores de champiñón en el mundo como se ve en la imagen 1.

Colombia, por su parte, ofrece un panorama diferente en cuanto a la producción de hongos. El país produce alrededor de 850 toneladas de champiñones al mes, y esta producción corresponde principalmente a las pequeñas y medianas empresas. Un ejemplo notable es Setas de Cuivá, filial del Grupo Nutresa, cuyo cultivo mensual alcanza las 600 toneladas. Sin embargo, en el caso de la mayoría de los productores colombianos su tamaño es mucho menor, con una producción mensual de 45 a 11 toneladas. (Celis, 2015)

Imagen 1 Productores de champiñón en el mundo frente a Colombia



A pesar de estas diferencias en la producción, Colombia logra satisfacer su demanda nacional de consumo de hongos, que no supera los 200 gramos per cápita al año. Esto crea una interesante dinámica donde la producción local tiene un impacto crucial en el mercado interno, mientras que, a nivel internacional, el mercado de hongos está dominado por grandes productores mundiales.

Históricamente, el mercado colombiano de champiñones era poco conocido en la década de 1950, pero desde entonces ha experimentado un crecimiento sobresaliente, especialmente con el cultivo de champiñón París, que se derivan de la especie *Agaricus bisporus*. Estos cultivos tuvieron su origen en el municipio de *Cajicá-Cundinamarca* y se han concentrado en la región central del país donde se concentra la mayor parte de la producción.

Las estadísticas oficiales sobre el mercado interno de hongos en Colombia son limitadas, por lo que autores como Mauricio Reina contactan directamente a los productores para obtener estimaciones más precisas, como se detalla en la Tabla 1 en donde se observa el crecimiento exponencial de la producción.

Tabla 1 Tamaño del mercado de champiñón

Año	Toneladas
1991	800
1994	1.750
2001	3.826

(Reina, 2003)

En la actualidad, en Colombia, los departamentos líderes en la producción de hongos son Boyacá, seguido por Antioquia y Cundinamarca, que

representan la mayor fuerza productora del país en términos de cultivo de champiñones. En contraste, el departamento del Tolima está emergiendo en la implementación de este tipo de cultivo, lo que subraya la necesidad de implementar estrategias y tecnologías que permitan a los fungicultores locales competir a nivel nacional en la producción de champiñones, aprovechando las condiciones ambientales y geográficas favorables de la región.

El contexto rural del Tolima presenta tanto desafíos como potencialidades para mejorar el nivel de vida de sus habitantes. A pesar de las dificultades como la falta de diversificación económica y la exclusión de ciertos actores del mercado, desde el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) se promueve un proceso integral de desarrollo rural que incluye la modernización y especialización sectorial de la agroindustria colombiana. Existe un interés creciente en gremios como el de los fungicultores por la incorporación de herramientas tecnológicas en los cultivos de champiñones, dado que este producto ha ganado popularidad en el consumo nacional.

Uno de los principales problemas identificados es la falta de control adecuado de la temperatura y la humedad relativa en los ambientes de cultivo. Estas condiciones fluctuantes pueden crear un entorno propenso al desarrollo de enfermedades fúngicas y bacterianas, comprometiendo tanto la cantidad como la calidad de los champiñones cosechados.

La variabilidad en la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en el aire también se ha señalado como un factor crítico que no se mantiene en niveles ideales para favorecer el crecimiento óptimo de los hongos. Además de estos desafíos ambientales, la infraestructura y la tecnología disponibles para el control ambiental en los cultivos de champiñones son limitadas en esta región, debido en parte a la novedad del cultivo en esta área específica, lo que implica una falta de experiencia local en la gestión y optimización de estos parámetros ambientales específicos para el cultivo de hongos.

La combinación de estas limitaciones ambientales y tecnológicas subraya la necesidad urgente de implementar un sistema efectivo de control ambiental. Este sistema no solo regularía y mantendría los niveles adecuados de temperatura, humedad y CO₂ en los ambientes de cultivo de

champiñones, sino que también ayudaría a mitigar los riesgos asociados con enfermedades y mejorar significativamente tanto la productividad como la calidad de los champiñones producidos en la región.

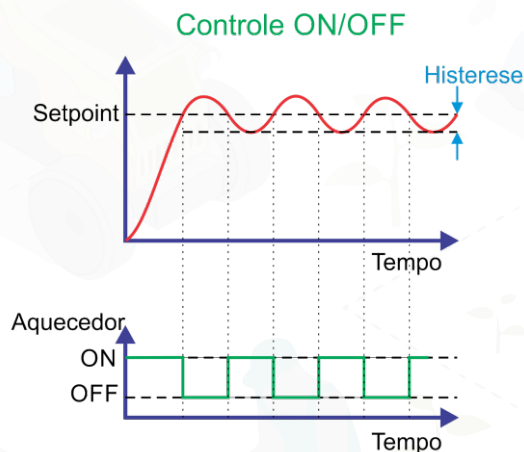
Es por esto que este artículo se centra en la implementación de un sistema de control ambiental para cultivo de champiñones en el Cañón del Combeima, una actividad agrícola relativamente nueva en la región, que presenta desafíos significativos que afectan la producción y la calidad de estos hongos. Estos desafíos están estrechamente relacionados con factores ambientales esenciales para el desarrollo óptimo de los champiñones.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente se puede decir que los controladores ambientales juegan un papel fundamental para asegurar condiciones óptimas que favorezcan el crecimiento y la productividad del hongo. Estos controladores no solo regulan variables como la temperatura, la humedad, sino que también garantizan la estabilidad ambiental necesaria para obtener cosechas consistentes y de alta calidad.

Existen varios tipos de controladores utilizados en la agricultura, especialmente en el contexto de cultivos bajo cubierta. Dos de los tipos más comunes son los controladores on/off y los controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo).

Los controladores On/Off, ver Imagen 2 son controladores básicos y funcionan con un principio binario, activa o desactiva el dispositivo de control basado en un umbral predefinido. En el cultivo de champiñones, un controlador on/off podría usarse, por ejemplo, para encender o apagar un sistema de calefacción cuando la temperatura alcance ciertos límites. Aunque simple, este método puede resultar efectivo para mantener condiciones estables dentro de rangos aceptables.

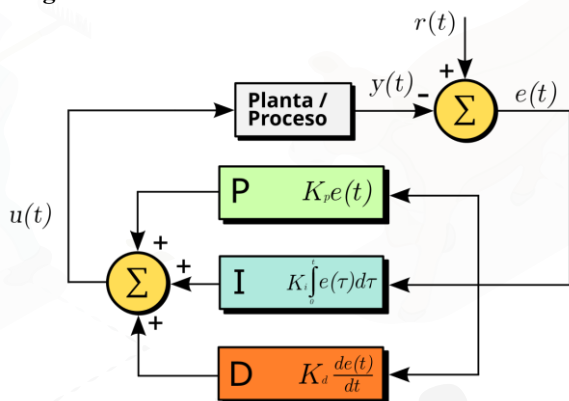
Imagen 2 Controlador ON/OFF



Grachten, E. (2022). Controle ON/OFF

Por otro lado, los controladores PID, ver Imagen 3, son más avanzados y se basan en ajustes continuos y automáticos de la salida del controlador según las diferencias entre la variable medida y la variable de referencia (setpoint). Tienen tres términos principales; proporcional (P) que Corrige el error proporcionalmente a la diferencia entre el setpoint y la medición actual, integral (I) que actúa sobre el error acumulado durante el tiempo para eliminar errores residuales, derivativo (D) que Predice la tendencia del error y mejora la respuesta del sistema. En el cultivo de champiñones, un controlador PID puede ser utilizado para mantener la temperatura.

Imagen 3 Controlador PID



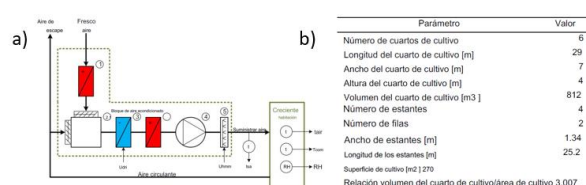
Gútiez, I. (2013). Control PID

ESTADO DEL ARTE

Como antecedentes a referenciar en el presente estudio, cuenta con los trabajos realizados por tesis de: doctorado, maestría, pregrado y artículos: de investigación, reflexión y revisión como se presenta a continuación:

Se implementó un modelo predictivo para la temperatura y humedad del aire en la producción de hongos en Nowosielec, Polonia, con el fin de desarrollar modelos de predicción ambiental para una sala de cultivo. El objetivo fue determinar el horizonte de predicción óptimo para integrarlo en un sistema de control del microclima. Los datos fueron recolectados del sistema HVAC de la sala de cultivo, con mediciones tomadas cada 10 minutos, y el diagrama del sistema muestra todos los puntos de medición. Los parámetros específicos de la granja de hongos se detallan en la imagen 4. El artículo desarrolló un modelo efectivo para predecir la temperatura y humedad relativa en una sala de cultivo de hongos. Las etapas I y II mostraron un buen ajuste, indicando una buena capacidad predictiva, mientras que la etapa III presentó dificultades debido a la variabilidad temporal del microclima. Se recomienda mejorar el modelo incorporando mediciones directas de la humedad del aire suministrado. (Awtonik, Daniun & Kimarchuk, 2019)

Imagen 4 sistema HVAC y tabla de parámetros de la granja

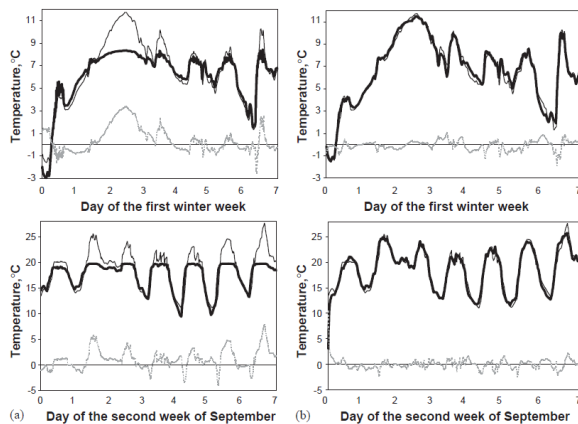


Awtoniuk, M. Daniun, M. Komarchuk, D. (2019). a) HVAC de la sala de cultivo de hongos y b) parámetros que describen la granja de hongos

Se utilizó modelos NNARX con datos simulados del modelo climático GDGCM para predecir la temperatura en invernaderos. En comparación con los modelos ARX tradicionales, el enfoque NNARX mostró mejor rendimiento, requiriendo menos recalibración. Usar solo ocho neuronas en la capa oculta resultó en un rendimiento insuficiente, especialmente en septiembre, con un R^2 inferior al 40%. En cambio, los modelos con 20 neuronas mantuvieron un rendimiento consistente, destacando

la importancia del número de neuronas en la capa oculta para mejorar la precisión frente a las variaciones climáticas. Se concluye que el sistema NNARX para modelar la temperatura interna del invernadero ha sido efectivo, mostrando un buen rendimiento a largo plazo sin necesidad de ajustes frecuentes de parámetros. Se identificó que la cantidad de neuronas en la capa oculta es crucial para lograr este rendimiento. Se sugiere que la introducción de estos modelos en los sistemas de control climático requiere más investigación, especialmente para encontrar el equilibrio óptimo entre el número de neuronas y las iteraciones en el entrenamiento. (Uchida & Pieters, 2004)

Imagen 5 Datos originales versus resultados del modelo NNARX usando 8 y 20 neuronas



Uchida, H. Pieters, G. (2004). (a) ocho neuronas en la capa oculta y (b) veinte neuronas en la capa oculta

Se compara el cultivo tradicional de *Agaricus bisporus* en bodegas adaptadas con ventilación natural frente al cultivo en cámaras climatizadas controladas. El método tradicional, aunque menos controlado en temperatura y humedad, es más productivo y requiere menos inversión inicial y operativa. En contraste, el cultivo en cámaras climatizadas ofrece control continuo de condiciones ambientales ideales durante todo el año, pero con mayores costos energéticos y operativos. El estudio detalla cómo estos factores afectan la eficiencia productiva, sostenibilidad económica y el impacto ambiental de cada método, ofreciendo una comparativa crítica para la industria del cultivo de hongos. (Lázaro, Blanco Fernández, Cámara, Biel, & Macías, 2016)

Se estudió el rendimiento, los diámetros y el número de cuerpos fructales de *Pleurotus ostreatus* en un ambiente controlado, evaluando el efecto de diferentes combinaciones de sustratos. Se utilizaron

residuos lignocelulósicos como hojas de avellano (LH), tilia (LT), álamo europeo (LEA), paja de trigo (WS), aserrín (S) y papel reciclado (WP). El mejor material para la productividad fue la paja de trigo (WS) y la combinación más efectiva de sustratos fue WS+WP (50%+50%). (Yildiz S, Yildiz U C & Temiz A, 2002)

Se incorporo redes de sensores inalámbricos (WSNs), se concluyo que pueden mejorar la agricultura al proporcionar información valiosa para los agricultores. Esta revisión analiza las aplicaciones recientes de WSNs en investigación agrícola, compara protocolos de comunicación, técnicas de eficiencia energética y recolección de energía, y evalúa trabajos previos en WSNs agrícolas. También explora desafíos y limitaciones en el sector agrícola, destacando técnicas de reducción de energía y gestión para monitoreo a largo plazo, además de las oportunidades para procesar datos del Internet de las Cosas (IoT). (H.Jawad, R. Nordin, S. Gharghan, A. Jawad & M. Ismail, 2020),

El modelo propuesto utiliza tecnología IoT para automatizar el monitoreo y control del crecimiento de las plantas en invernaderos, mejorando los sistemas tradicionales de cultivo. A través de microcontroladores, sensores y redes adecuadas, el sistema proporciona datos en tiempo real, permitiendo un monitoreo constante y la emisión de alertas en caso de fallos. Incluye características de seguridad y posibilita el monitoreo remoto mediante una aplicación web. Este modelo contribuye a mejorar la industria hortícola, incrementando la producción y reduciendo la necesidad de intervención humana. (V. Khavalko, S. Baranovska, & G. Geliznyak, 2019)

MATERIAL Y MÉTODOS

En el proceso de desarrollar e implementar un prototipo electrónico destinado al control automatizado de temperatura, humedad y niveles de CO₂ en un invernadero convencional ubicado en la zona rural del Cañón del Combeima en Ibagué dedica al cultivo de champiñón paris, se llevaron a cabo una serie de pruebas exhaustivas para evaluar la funcionalidad del dispositivo electrónico. Estas pruebas abarcaron aspectos clave relacionados con el sensado de variables, validación de la fase de control ON/OFF y PID. A continuación, se detalla cada una de las pruebas realizadas:

• Verificación de sensores

Se evaluaron los sensores del prototipo electrónico utilizados para medir temperatura, humedad y CO₂ en un ambiente controlado. Durante las pruebas, se modificaron tanto la temperatura como la humedad, y las mediciones obtenidas por los sensores fueron comparadas con las de un sensor patrón calibrado. Los resultados demostraron que los valores registrados por los sensores del prototipo eran muy cercanos a los del sensor patrón, lo que confirma la precisión y fiabilidad de las mediciones. Esta verificación es esencial para asegurar que el prototipo funcione correctamente. Aunque los sensores mostraron un alto grado de exactitud, es importante considerar posibles variaciones en sus resultados debido a cambios en las condiciones ambientales o el uso a largo plazo. Para garantizar que el prototipo mantenga su rendimiento óptimo, se recomienda realizar una verificación continua y recalibración periódica de los sensores, asegurando así mediciones confiables y precisas en todas las aplicaciones. Los sensores empleados en el dispositivo electrónico, se detalla en la Tabla 2:

Tabla 2 Sensores empleados en el dispositivo

Sensores implementados	Salida
Sensor de temperatura ds18b20	Analógico
Sensor de humedad DHT22	Analógico
Sensor de humedad y temperatura relativa SHT10	I2C

• Validación de la fase de control

Control ON/OFF: Se realizaron diversas pruebas para asegurar el correcto funcionamiento y precisión del control ON/OFF de temperatura y humedad. Para ello, se preparó un ambiente controlado utilizando cámaras climáticas que simulan diferentes escenarios ambientales. Tras calibrar los sensores de temperatura y humedad con un dispositivo patrón, se inicializó el sistema con los parámetros deseados. Luego, se ajustaron gradualmente las condiciones de temperatura y humedad en la cámara climática para evaluar la respuesta del sistema de control.

Durante las pruebas, se registraron las salidas de control de temperatura y humedad, y los resultados

mostraron que el sistema respondió adecuadamente a las variaciones. Las diferencias entre las lecturas de los sensores y el dispositivo patrón fueron mínimas, lo que indica una alta precisión del sistema. Las salidas de control activaron mecanismos de ventilación para regular la temperatura y un sistema de extracción para controlar la humedad. La Tabla 3 presenta los parámetros del controlador ON/OFF implementado.

Tabla 3 parámetros utilizados en el controlador

Etapas días	Rango mínimo (T-°C)	Rango máximo (T-°C)	Rango mínimo (H-%)	Rango máximo (H-%)
Incubación (menor 15)	23	27	80	90
Crecimiento (15 a 16)	10	22	90	95
Producción Mayor 30	18	22	90	95

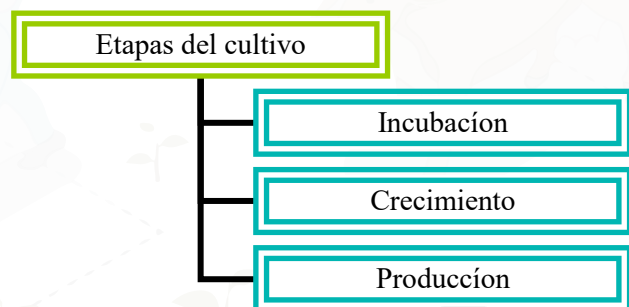
Control PID: En esta fase del proyecto, se validó el control PID de temperatura utilizando técnicas de identificación de sistemas. El objetivo fue asegurar la precisión y estabilidad del control térmico. Se identificó el sistema térmico aplicando señales de entrada y midiendo su respuesta, usando métodos paramétricos para obtener un modelo matemático. Con este modelo, se diseñó un controlador PID ajustando los parámetros (K_p, K_i, K_d) para optimizar la respuesta, minimizando el error y asegurando una respuesta rápida sin oscilaciones.

El controlador PID fue implementado en Matlab, donde se realizaron pruebas bajo diversas condiciones operativas. Los resultados mostraron que el controlador mantuvo la temperatura dentro de un rango estrecho con un mínimo error de seguimiento, asegurando una respuesta estable y fiable. La metodología de identificación permitió ajustar el controlador PID para diferentes condiciones, demostrando la flexibilidad del enfoque adoptado.

RESULTADOS

Considerando lo expuesto anteriormente, se reconoce que el cultivo tiene tres etapas, las cuales se ilustran en la Imagen 6.

Imagen 6 Etapas del cultivo



Cada una de estas etapas requiere condiciones específicas de temperatura, humedad y momento del proceso. Por lo tanto, es necesario controlar cuatro sistemas: calefactor, ventilación, humidificador y extractor, los cuales se activarán según los parámetros establecidos para cada etapa del cultivo (Tabla 3).

Como punto de partida, se proyectan cuartos de cultivo, cada uno equipado con una tarjeta electrónica que permitirá el control on/off o PID, ver imagen 7 y 8, Esta tarjeta proporciona información sobre las variables ambientales en cada etapa del proceso y permite su control correspondiente.

Imagen 7 Diseño CAD cuartos del cultivo

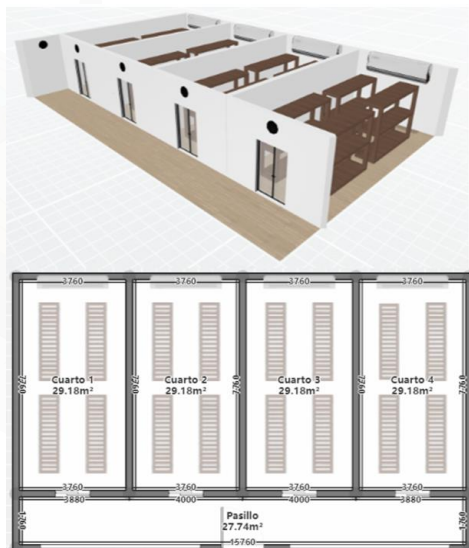
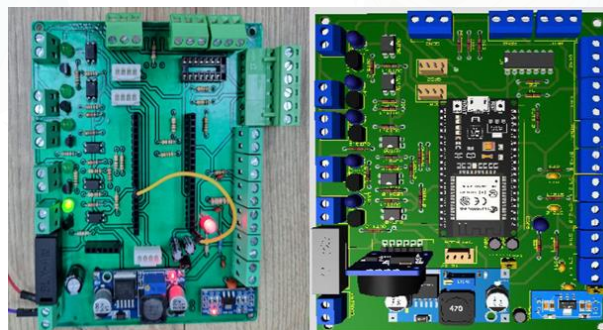


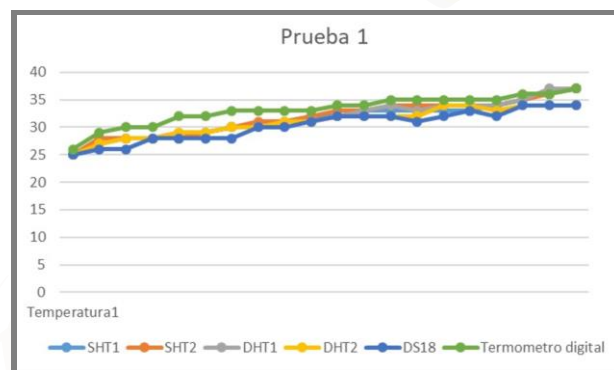
Imagen 8 Tarjeta electrónica diseñada para controlar la humedad y temperatura



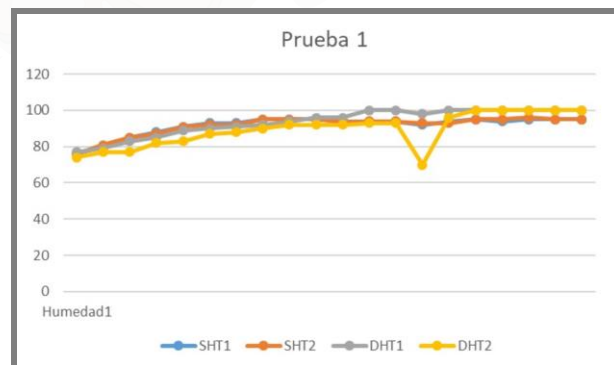
- Muestreó de temperatura y humedad de sensores

En la primera parte de los resultados obtenidos, se realizó el muestreó de los sensores empleados. Los valores registrados por cada sensor se graficaron, como se muestra en las Gráficas 1 a 4.

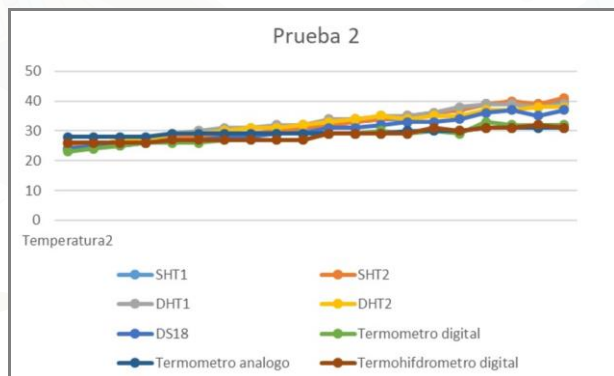
Grafica 1 Prueba 1 muestreó de temperatura



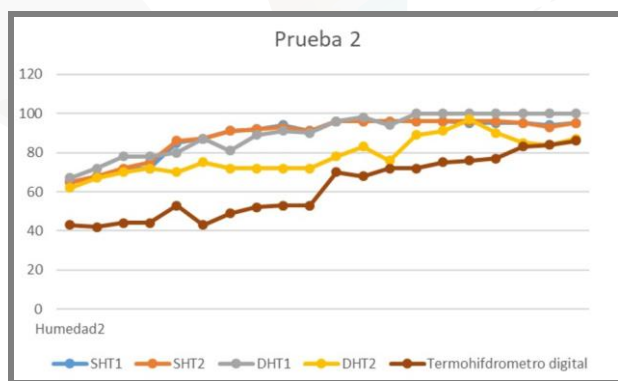
Grafica 2 Prueba 1 muestreó de humedad



Grafica 3 Prueba 2 muestreo de temperatura



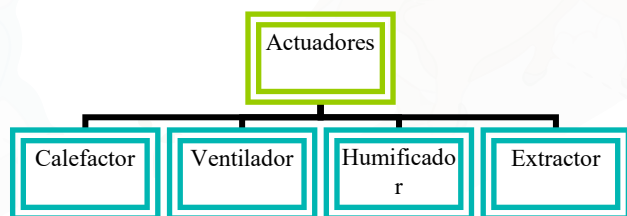
Grafica 4 Prueba muestreo de humedad



• Validación del Control ON/OFF

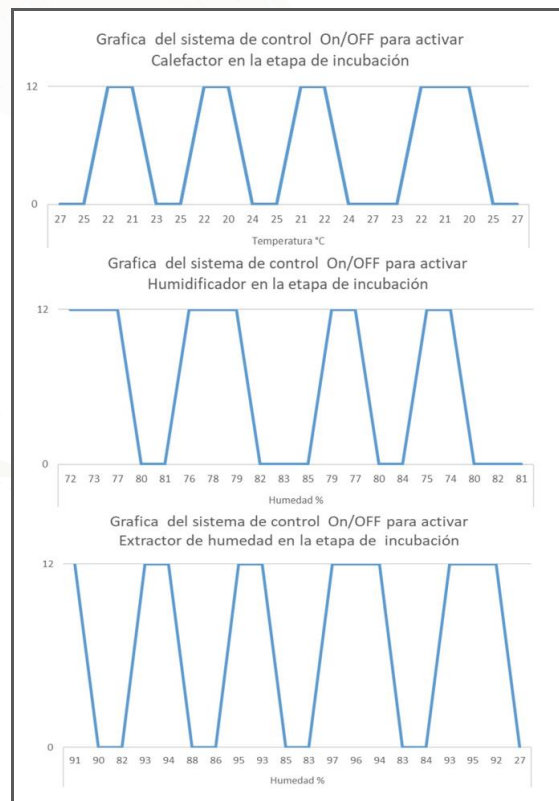
Para la validación del control on/off, se tiene en cuenta, los actuadores que interviene en el proceso, los cuales se evidencian en la Imagen 9

Imagen 9 Actuadores del proceso

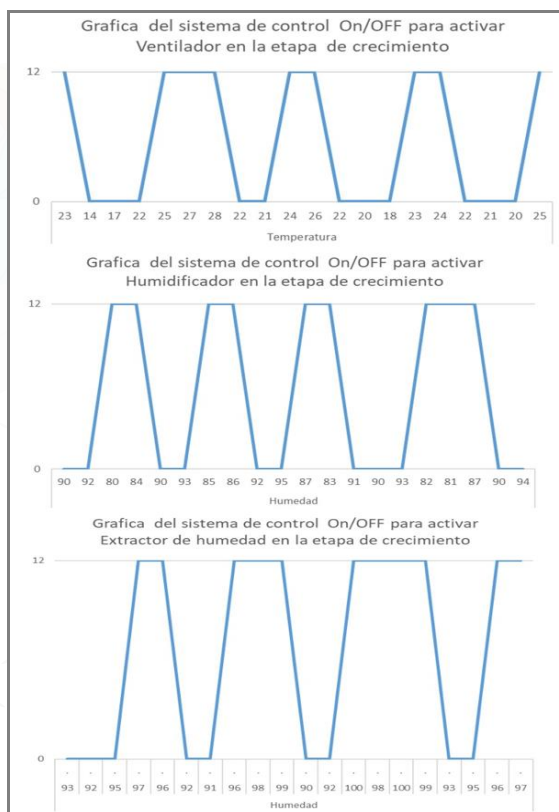


A continuación, se evidencian los resultados del control on/off del sistema calefacción, ventilación, humificador y extractor en las diferentes etapas del proceso de cultivo. Ver graficas de la 5 a la 7.

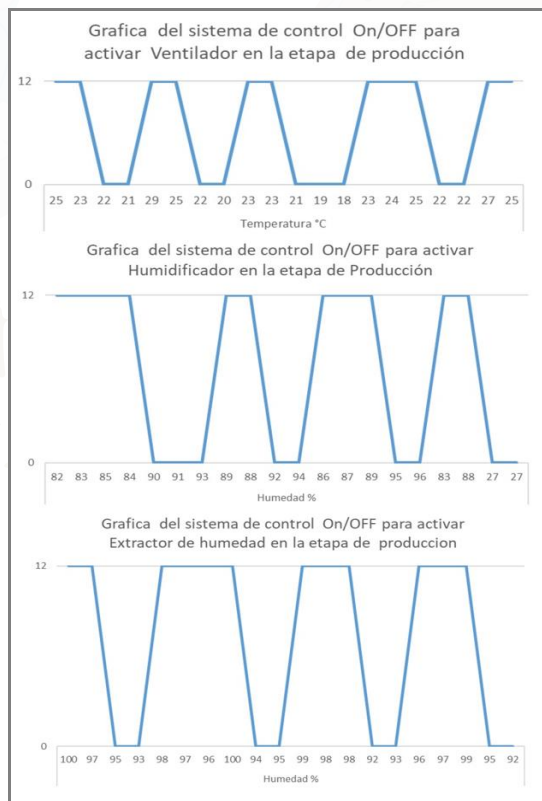
Graficas 5 Control en etapa de incubación



Graficas 6 Control en etapa de crecimiento



Graficas 7 control en etapa de producción



Validación del control PID

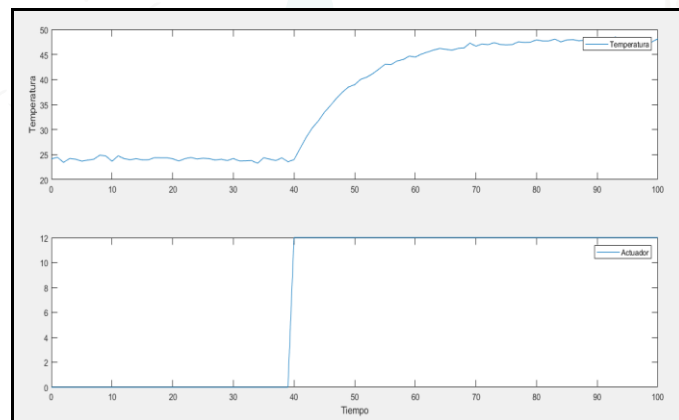
Para la implementación de este controlador, se identificó el modelo del invernadero utilizado en el cultivo de champiñones Paris, con un enfoque en la variable de temperatura. Se llevó a cabo la recopilación de datos experimentales de cada sensor en un invernadero a escala, garantizando que las mediciones se realizaran de manera continua para asegurar una mayor precisión.

Los datos experimentales fueron tomados de manera continua a lo largo del tiempo, permitiendo un análisis detallado de la dinámica del sistema. Una vez obtenidos los datos, se utilizó el software Matlab con el Toolbox Identification. Mediante el uso de esta herramienta, se obtuvo la función de transferencia que modela la dinámica del sistema presentado, proporcionando una representación precisa del comportamiento del invernadero en relación con la variable de temperatura.

Imagen 10: modelo matemático del proceso

$$\text{sys} = \frac{2}{10s + 1}$$

Imagen 11 Comportamiento de la temperatura en el interior del invernadero a escala

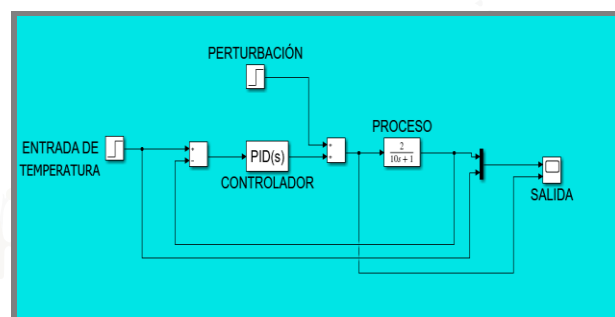


Ajuste del controlador

En la simulación se realizaron pruebas del controlador en lazo cerrado con un setpoint de 29 °C, con perturbación, con el fin de comprobar la robustez del controlador PID diseñado para el control de la temperatura para el cultivo de champiñón parís, las constantes del controlador PID son las siguientes:

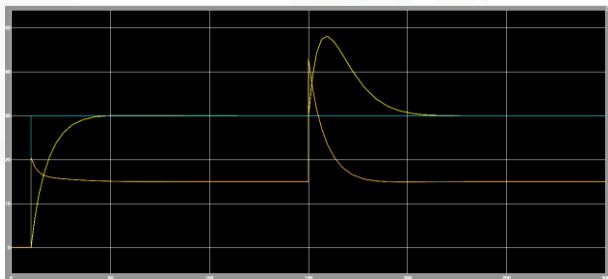
$$\begin{aligned} K_p &= 0.6016 \\ K_i &= 0.0653 \\ K_d &= 0.3044 \end{aligned}$$

Imagen 12 Diagrama de bloques del sistema de control de temperatura en lazo cerrado



Los resultados del controlador en lazo cerrado, se evidencia en la imagen 11, donde la gráfica de color azul indica del set point al cual se quiere llegar por parte de controlador, la gráfica de color amarillo la respuesta del sistema y la gráfica de color rojo la acción de control. En la gráfica también se puede identificar el tiempo en que el sistema llega al setpoint requerido, el cual es aproximadamente 47 segundos, como también se aprecia en el tiempo 150 segundo una perturbación simulada con el fin de comprobar la robustez del controlador.

Imagen 13 Respuesta del sistema de control de temperatura



CONCLUSIONES

La validación de la fase de control PID de temperatura basada en identificación ha sido exitosa. El enfoque metodológico aplicado ha demostrado ser eficaz para el diseño y ajuste del controlador, garantizando un control preciso y estable de la temperatura en el sistema. Esta fase constituye un paso fundamental hacia la implementación completa del sistema de control climático en aplicaciones agrícolas.

REFERENCIAS

1. Aguirre, E., Ulloa, M., Aguilar, S. C., & Valenzuela, J. (2014). Biodiversidad de hongos en México. *scielo*, 2.
2. Awtoniuk, M. (2019). Predictive modelling for air temperature and humidity in a mushroom. *iopscience*, 8.
3. Boa, E. (2005). Los hongos silvestres comestibles Perspectiva global de su uso e importancia EN LA POBLACION. *FAO*.
4. Cardona, L. (2001). *Anotaciones acerca de la bromatología y el cultivo de hongo comestible pleurotus ostreatus en cronica forestal y del medio ambiente*.

5. Celis, T. (10 de Marzo de 2015). *larepublica*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/archivo/el-cultivo-del-champinon-visto-en-seis-pasos-2229781>
6. Lázaro, L., Blanco Fernández, Cámara, M., Biel, L., & Macías, J. (2016). COMPARISON OF TRADITIONAL AND CLIMATE-CONTROLLED MUSHROOM. 5.
7. Reina, M. (2003). Caracterización del mercado de champiñón en Colombia. *Fundación para la educación superior y el desarrollo*, 4.
8. Uchida, H., & Pieters, J. (2004). Modelling greenhouse temperature using system. *ElSevier*, 6.
9. Yildiz S; Yildiz U C; Gezer E D; Temiz A (2002). Some lignocellulosic wastes used as raw material in cultivation of the *Pleurotus ostreatus* culture mushroom. *Process Biochemistry*, 38, 301–306.
10. H. Jawad, R. Nordin, S. Gharghan, A. Jawad and M. Ismail (2020), “Energy Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review Sensors” no. 17, p. 1781, 2017
11. V. Khavalko, S. Baranovska, and G. Geliznyak, (2019) “Investment Feasibility of Building the Architecture of Greenhouse Automated Control System Based on the IoT and Cloud Technologies”, *InCMiGIN*, pp. 311-323.
12. Raneesha Madushanki, N. Malka, W. Halgamuge, A. H. Surangi Wirasagoda, A. AliSyed, (2019) “Adoption of the Internet of Things (IoT) in Agriculture and Smart Farming towards Urban Greening: A Review”, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 10, no. 4.
13. M. Zamora-Izquierdo, A. Skarmeta-Gómez, A. Ramallo-González, V. Tomat and P. Fernández-Ruiz, “Conceptualisation of an IoT framework for multiperson interaction with conditioning systems”, *Energies*, vol.13, No. 12, p. 3094.
14. Janiszowski K (2015) Identyfikacja modeli parametrycznych w przykładach (Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT (in Polish))
15. M. N. Hrgaard, O. Ravn, N.K. Poulsen, L.K. Hansen, (2000) *Neural Networks for Modelling and Control of Dynamic Systems*, Springer, London.