

SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA EL MONITOREO AMBIENTAL EN LA CÁMARA DE FRUCTIFICACIÓN DE *PLEOROTUS OSTREATUS*

Matilde Inés Césari¹, Cecilia Césari² Valeria Espartaro¹, María Cecilia Castellanos¹, Eugenia Alfonso¹, Carolina Pennisi¹, Noelia Robles¹,
María Eugenia Stefanoni¹, Daniela Carbonari,¹

¹GIDeCo Grupo Regional UTN de Investigación y Desarrollo de Ecosistemas de Conocimiento - ReAVi Laboratorio de investigación Realidad Aumentada y Virtual) – Universidad Tecnológica Nacional FRM / matilde.cesari@frm.utn.edu.ar

²INTA-EEM Estación Experimental Mendoza INTA
cesari.cecilia@inta.gob.ar

Resumen: El objetivo de este estudio es diseñar, desarrollar e implementar un sistema de control y monitoreo electrónico basado en tecnología Arduino y plataformas IoT para la cámara de fructificación del cultivo de hongos en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Se recopilaban datos críticos de temperatura, humedad y CO₂, los cuales se transmitirán a la plataforma ThingSpeak para su monitoreo en tiempo real. Los resultados muestran la precisión y eficiencia del sistema en el mantenimiento de condiciones ambientales óptimas, minimizando el error humano y estableciendo las bases para un sistema de control automatizado

Palabras claves: Telemetría, monitoreo ambiental, IoT, cultivo de hongos

INTRODUCCIÓN

La adopción de tecnologías avanzadas en la agricultura moderna, particularmente en el cultivo de hongos, juega un papel crucial en la mejora de la eficiencia y la productividad. Los sistemas de monitoreo y control ambiental automatizados son esenciales para mantener las condiciones óptimas de fructificación, ya que los hongos son extremadamente sensibles a las variaciones de temperatura, humedad, CO₂ y otros factores ambientales. La producción de *Pleurotus ostreatus* puede ser abordada desde una perspectiva sustentable (Medina Miranda, Gutiérrez-Segura, Gutiérrez Cedillo & Balderas Plata, 2023).

Estos sistemas permiten un manejo preciso y constante, lo que reduce la dependencia del monitoreo manual y minimiza los errores humanos. Además, el uso de sensores y tecnologías de IoT facilita la recopilación

de datos en tiempo real, permitiendo ajustes inmediatos en las condiciones del cultivo y mejorando la calidad y el rendimiento de la producción de hongos (Kathiria et al., 2023; Seetha Rama, 2021).

El objetivo específico de este trabajo es diseñar, desarrollar e implementar un sistema de control y monitoreo electrónico basado en tecnología Arduino y plataformas IoT para la cámara de fructificación del cultivo de hongos *Pleurotus Ostreatus*, garantizando el mantenimiento de condiciones ambientales óptimas. Este proyecto se ha desarrollado en colaboración entre la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Luján de Cuyo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Facultad Regional Mendoza de la UTN.

Se han realizado diversos estudios que destacan la importancia de la telemetría y el monitoreo ambiental en la agricultura, especialmente en el cultivo de hongos *Pleurotus*. Por ejemplo, el uso de sistemas de monitoreo ambiental basados en IoT en granjas de hongos ha demostrado ser efectivo para mantener condiciones óptimas de temperatura y humedad, mejorando la calidad y cantidad de la producción. Kassim, Mat y Yusoff (2019) describen cómo la implementación de sensores de IoT en granjas de hongos puede monitorear y controlar de manera eficiente las condiciones ambientales, resultando en un manejo más preciso y una mayor productividad.

Estudios como los de Mahmud et al. (2018) han mostrado que los sistemas basados en IoT pueden proporcionar monitoreo en tiempo real de variables críticas como temperatura y humedad, asegurando que las condiciones permanezcan dentro de los rangos óptimos para el crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*.

Estos sistemas no solo reducen la dependencia del monitoreo manual, sino que también permiten ajustes automáticos que mejoran la eficiencia y reducen el riesgo de pérdida de cultivo debido a condiciones ambientales inadecuadas.

Adicionalmente, Kencanawati (2017) destacó la influencia de las condiciones ambientales en el cultivo ecológico de hongos *Pleurotus* en Indonesia, subrayando la necesidad de un monitoreo constante para asegurar un entorno de cultivo favorable. La investigación de Rahmat et al. (2020) demostró que la adición de ciertos aditivos al medio de cultivo, monitoreados mediante sistemas IoT, puede optimizar el crecimiento y la producción de hongos *Pleurotus ostreatus*.

En conjunto, estos estudios muestran que la integración de tecnologías IoT en el cultivo de hongos *Pleurotus* no solo optimiza las condiciones de cultivo y mejora la eficiencia, sino que también puede aumentar la producción y calidad de los hongos, proporcionando beneficios significativos tanto para los productores como para los consumidores.

MATERIALES Y MÉTODOS

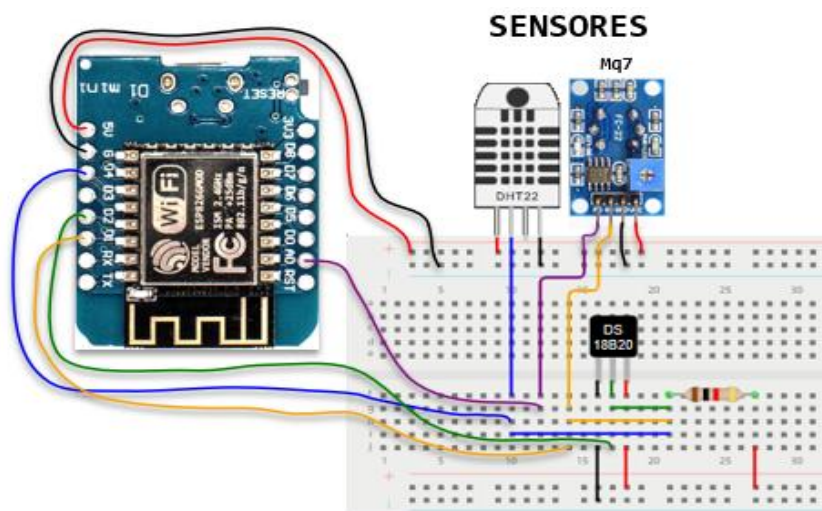
El código que se explica a continuación facilita una gestión eficiente y automatizada del entorno de cultivo, aprovechando las capacidades de IoT para el monitoreo en tiempo real y la toma de decisiones basada en datos precisos y actualizados.

La implementación del código se centró en la recolección de datos ambientales críticos utilizando los sensores seleccionados y la transmisión de estos datos a la plataforma ThingSpeak para su monitoreo remoto y en tiempo real.

Esta tecnología se enmarca dentro de las aplicaciones de IoT en la agricultura, la cual ha sido reconocida por su capacidad de mejorar la precisión y la eficiencia en el manejo de variables ambientales (Babakhouya et al., 2023).

Figura 1

Diseño del esquema electrónico



A continuación, se describe un ejemplo simplificado del proceso implementado:

1. **Inicialización:** Esta etapa involucra configurar el entorno de trabajo, inicializar las bibliotecas necesarias para los sensores y la conectividad WiFi en el controlador Wemos D1 mini. Se establece la conexión a la red WiFi y se configuran los pines digitales que leerán los datos de los sensores. El código (Código 1) comienza estableciendo la conexión WiFi utilizando las credenciales de la red (SSID y contraseña). Luego, inicializa la comunicación con los sensores DS18B20 (temperatura), DHT11 (humedad), y MQ7 (dióxido de carbono) configurando los pines correspondientes y las bibliotecas necesarias. Este paso es crucial para garantizar que todos los componentes estén listos para operar antes de recoger datos.

Código 1

Parámetros de Inicialización

```
// Inclusión de librerías necesarias
// Librería para conexión a red WiFi
#include <ESP8266WiFi.h>
// Librería para enviar datos al canal ThingSpeak
#include <ThingSpeak.h>
// Librería para el uso del sensor DS18B20
#include <OneWire.h>
// Librería para el formato de temperatura
#include <DallasTemperature.h>
// Librería para el uso del sensor DHT22
#include "DHTesp.h"
// Librería para el uso del sensor MQ7
#include <MQ7.h>
// Declaración de cliente web
WiFiClient cliente;

// Parámetros de conexión a la red WiFi (SSID y contraseña)
const char* ssid = "RedINTA"; // Nombre de la red WiFi
const char* password = "contraseña"; // Contraseña red WiFi

// Parámetros conexión al servidor ThingSpeak (canal y API)
// Servidor de ThingSpeak
const char* server = "api.thingspeak.com";
// API Key del canal Hongo_CAVA
const char* myWriteAPIKey = "XXXXXXXXXXXXXXXXXX";

// ID del canal Hongo_CAVA en ThingSpeak
unsigned long myChannelNumber = 2262755;

// Parámetros para el sensor de temperatura DS18B20
// Configuración del bus OneWire en el pin 4 del Wemos (D2)
OneWire oneWireBus (4);
// Inicialización del sensor DS18B20
DallasTemperature ds18b20Sensor(&oneWireBus);

// Parámetros para el sensor de humedad y temperatura DHT22
// Pin digital 2 del Wemos (D4) conectado al sensor DHT22
const int DHT_PIN = 2;
DHT
```

2. **Recolección de Datos:** Se leen los datos de los sensores a intervalos regulares. Por ejemplo, para el sensor de temperatura DS18S20, se solicita la temperatura actual; para el DHT11, se leen tanto la temperatura como la humedad; y para el MQ135, se mide la calidad del aire. En el loop principal (Código 2), el sistema recopila datos de temperatura ambiente y humedad con el sensor DHT11, la temperatura de la bolsa de hongo con el sensor DS18B20, y los niveles de CO2 con el sensor MQ7. Estas lecturas se realizan en intervalos regulares definidos por el tiempo de espera al final del loop (delay(20000)).

Código 2

Recolección de Datos

```
// Función de configuración inicial
void setup() {
  // Inicializa la velocidad de transmisión por puerto COM
  Serial.begin(115200);
  // Retardo de tiempo de 10 milisegundos
  delay(10);
  // Inicializa pin 5 como entrada digital del sensor MQ7
  pinMode(5, INPUT);
  // Inicializa pin entrada digital para el sensor DHT22
  pinMode(DHT_PIN, INPUT);
  // Inicia el sensor DS18B20
  sonda.begin();
  // Configura el sensor DHT22
  dhtSensor.setup(DHT_PIN, DHTesp::DHT22);
  // Llama a la función para conectar al WiFi
  setup_wifi();
}
```

```

    // Inicializa la conexión con ThingSpeak
    ThingSpeak.begin(cliente);
}

// Función para la configuración de la conexión WiFi
void setup_wifi() {
    delay(10);
    Serial.println();
    Serial.print("Conectando a: ");
    // Muestra el nombre de la red WiFi
    Serial.println(ssid);
    // Inicia la conexión a la red WiFi
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        // Espera hasta que la conexión se establezca
        delay(1000);          // Retardo de 1 segundo
        Serial.print(".");    // Indicador progreso
    }
    // Una vez conectado, muestra la dirección IP asignada
    Serial.println();
    Serial.println("Conexión WiFi establecida");
    Serial.print("Dirección IP: ");
    Serial.println(WiFi.localIP()); // Muestra la dirección IP
    obtenida
}

```

3. **Procesamiento de Datos:** Los datos recogidos se procesan para adecuarlos a los formatos necesarios, aplicando, si es necesario, correcciones por calibración. Esto puede incluir la conversión de señales analógicas a digitales, el ajuste de las lecturas según factores de escala, y la preparación de los datos para su transmisión. Aunque el código adapta los valores leídos a formatos adecuados para su transmisión. Por ejemplo, convierte las lecturas de temperatura y humedad a cadenas de caracteres para su visualización y prepara los datos para su envío a ThingSpeak.
4. **Transmisión a ThingSpeak:** Los datos procesados se envían a ThingSpeak utilizando la API de la plataforma. Esto generalmente se hace mediante una petición HTTP POST, incluyendo los valores de los sensores como parte del cuerpo de la petición. Cada sensor puede ser asignado a un campo diferente en un canal de ThingSpeak. Utiliza la API de ThingSpeak para enviar los datos recolectados. Cada valor de los sensores se asigna a un campo específico en un canal de ThingSpeak utilizando ThingSpeak.setField(). La conexión al servidor de ThingSpeak se

realiza mediante `cliente.connect()`, y luego se envían los datos con `ThingSpeak.writeFields()`. Este proceso se verifica con el código de estado HTTP, indicando si la actualización fue exitosa. Utiliza la API de ThingSpeak para enviar los datos recolectados. Cada valor de los sensores se asigna a un campo específico en un canal de ThingSpeak utilizando `ThingSpeak.setField()`. La conexión al servidor de ThingSpeak se realiza mediante `cliente.connect()`, y luego se envían los datos con `ThingSpeak.writeFields()`. Este proceso se verifica con el código de estado HTTP, indicando si la actualización fue exitosa.

5. **Monitoreo Remoto:** Una vez que los datos están en ThingSpeak, se pueden visualizar en tiempo real a través de su interfaz web. Los usuarios pueden configurar alertas o acciones basadas en ciertos umbrales de datos, permitiendo una respuesta rápida a las condiciones cambiantes del entorno de cultivo. Al enviar los datos a ThingSpeak, habilita la visualización y análisis de los datos en tiempo real a través de la plataforma ThingSpeak. Los usuarios pueden acceder a estos datos desde cualquier lugar, permitiendo un seguimiento continuo de las condiciones ambientales de la cámara de fructificado.

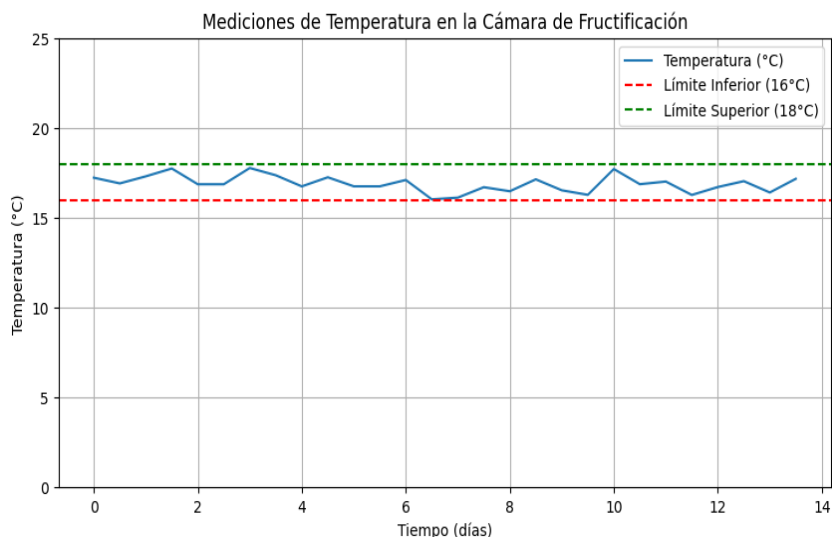
RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante las pruebas del sistema mostraron que las mediciones de temperatura, humedad y CO₂ eran precisas y consistentes con los valores esperados. Las gráficas generadas en ThingSpeak proporcionaron una visualización clara y en tiempo real de las condiciones ambientales en la cámara de fructificación, destacando la efectividad del uso de tecnologías IoT en la agricultura de precisión (Islam et al., 2016; Vijayan et al., 2024).

- **Gráfica de Temperatura (Figura 2):** La temperatura medida mostró fluctuaciones diarias, manteniéndose dentro del rango óptimo para la fructificación de 16-18°C. La gráfica muestra las variaciones de temperatura a lo largo de 14 días (una oleada).

Figura 2

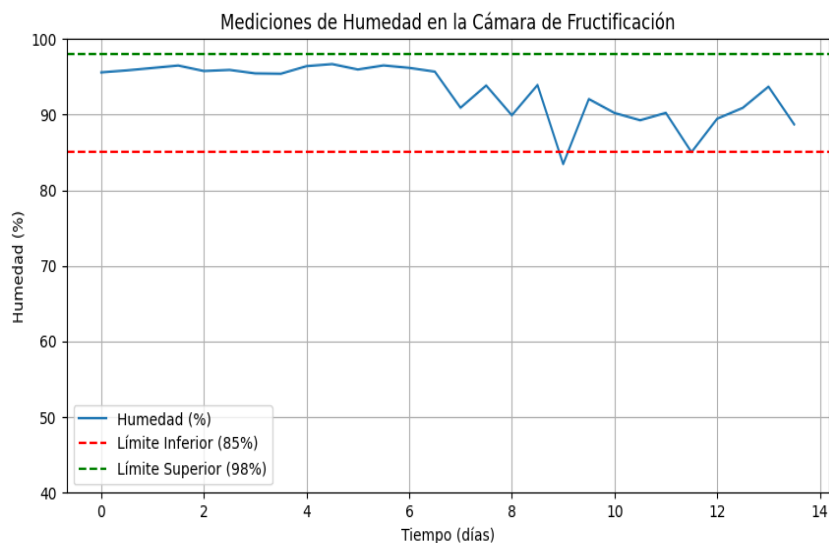
Mediciones de temperatura en la cámara de fructificación



- Gráfica de Humedad (Figura 3): La humedad relativa se mantuvo durante los primeros 7 días, dentro del rango óptimo para la formación de primordios de 95-98%. En los 7 días siguientes, se mantuvo dentro del rango óptimo para el crecimiento de los cuerpos (fructificación) de 85 a 95%. La gráfica proporciona una visión clara de cómo varía la humedad en el ambiente controlado.

Figura 3

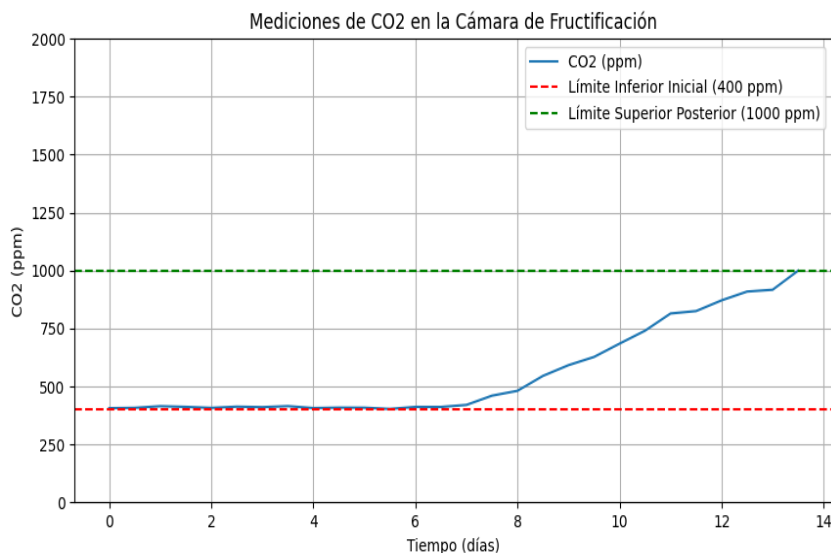
Mediciones de humedad en la cámara de fructificación



- Gráfica de CO₂ (Figura 4): Los niveles de CO₂ se mantuvieron estables alrededor de 400-420 ppm en los primeros 10 días, luego fue incrementando hasta 1000ppm, asegurando una buena ventilación y calidad del aire en la cámara de fructificación. La gráfica ilustra los cambios en las concentraciones de CO₂ durante un ciclo diario.

Figura 4

Mediciones de CO₂ en la cámara de fructificación



Las variaciones en la temperatura afectan directamente la tasa de crecimiento del micelio y la producción de frutos. Temperaturas fuera del rango óptimo pueden ralentizar el crecimiento, reducir el rendimiento y afectar la calidad de los hongos. Además, cada especie tiene sus propias preferencias y rangos óptimos, por lo que es crucial ajustar las condiciones ambientales según la especie específica de *Pleurotus* que se esté cultivando.

DISCUSIÓN

En nuestra zona, la garantía de condiciones ambientales óptimas desempeña un papel importante en la optimización de la producción de girgolas. A nivel general, la temperatura y humedad óptimas para una sala de fructificación de girgolas son de alrededor de 18 a 20 °C y 85 a 95%, respectivamente (Díaz Muñoz et al., 2019; Sánchez & Royse, 2001; Miranda et al. 2023). En el presente estudio, los resultados sugieren que se logró el establecimiento exitoso del sistema de

monitoreo ambiental para el cultivo artificial de girgolas tipo *Pleurotus ostreatus* ofreciendo una solución prometedora para aumentar el rendimiento de hongos.

Las ventajas del sistema incluyen la reducción del error humano y la capacidad de realizar ajustes inmediatos basados en datos en tiempo real. Sin embargo, se identificaron limitaciones, como la necesidad de calibrar periódicamente los sensores para mantener su precisión y la dependencia de una conexión estable a Internet para la transmisión de datos. Este enfoque de monitoreo también ha sido respaldado por investigaciones que destacan la necesidad de una vigilancia constante para mantener la eficiencia en el cultivo de hongos (Khusnul, 2022).

Es importante destacar que estos resultados son parte de una etapa preliminar enfocada en la recopilación de datos antes de la implementación de un sistema remoto en un servidor web con funciones de control avanzadas. Las mejoras futuras incluyen la integración de un sistema de respaldo para la transmisión de datos en caso de fallos de conexión y la implementación de algoritmos de control más avanzados, como la lógica difusa, para una gestión más precisa de las variables ambientales.

CONCLUSIONES

El sistema de telemetría implementado demuestra ser una herramienta efectiva para el monitoreo y control ambiental en la cámara de fructificación del cultivo de hongos. La recopilación y transmisión de datos en tiempo real permite una gestión precisa y eficiente de las condiciones ambientales, reduciendo el error humano y mejorando la calidad y rendimiento del cultivo. La colaboración entre INTA y UTN ha sido clave en el desarrollo de este sistema, que representa un avance significativo en la automatización del cultivo de hongos.

REFERENCIAS

- Babakhouya, A., Naji, A., Hnini, A., & Daaif, A. (2023). Agricultural IoT technology: An overview of usages, technologies, and challenges. *2023 3rd International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET)*, Mohammedia, Morocco, 1-8.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10153038>
- Díaz Muñoz, K., Casanova Guajardo, M., León Torres, C. A., Gil Ramírez, L. A., Bardales Vásquez, C. B., & Cabos Sánchez, J. (2019). Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre

- diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldoa*, 26(3), 1177-1184.
DOI: 10.22497/arnaldoa.263.26322.
- Islam, T., Zakaria, Z., Hamidin, N., & Ishak, M. A. B. M. (2016). Optimization of humidifying procedure in controlled environment for indoor cultivation of *Pleurotus pulmonarius*. *African Journal of Biotechnology*, 15(45), 2578-2586. DOI: 10.5897/AJB2016.15621.
- Kassim, M. R., Mat, I., & Yusoff, I. M. (2019). Applications of Internet of Things in mushroom farm management. *2019 13th International Conference on Sensing Technology (ICST), Sydney, NSW, Australia*, 1-6.
DOI:10.1109/ICST46873.2019.9047702.
- Kathiria, A., Barot, P., Paliwal, M., & Shastri, A. (2023). IoT-assisted mushroom cultivation in agile environment. In: Tiwari, S., Trivedi, M.C., Kolhe, M.L., Singh, B.K. (Eds) *Advances in Data and Information Sciences. ICDIS 2023. Lecture Notes in Networks and Systems: Vol. 796* (pp. 299-308). Springer Nature Singapore. DOI: 10.1007/978-981-99-6906-7_26.
- Kencanawati, I. (2017). The influence of environmental conditions on ecological farming and production of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in Kerinci, Indonesia. *The International Journal of Science & Technoledge*, 5(1), 70-73.
<https://www.internationaljournalcorner.com/index.php/theijst/article/view/123420/84582>
- Khusnul, K. (2022). Training and feasibility study of oyster mushroom cultivation at Ganda Mandiri Farmer Group in Sukamanah Village, Ciamis Regency. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat (Indonesian Journal of Community Engagement)*, 8(2), 102-106.
DOI:10.22146/jpkkm.50748.
- Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., Mokji, M. M., & Zainal Abidin, M. S. (2018). Internet of Things based smart environmental monitoring for mushroom cultivation. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 10(3), 847-852.
<https://doi.org/10.11591/ijeecs.v10.i3.pp847-852>
- Medina Miranda, M. D., Gutiérrez-Segura, E. E., Gutiérrez Cedillo, J. G., & Balderas Plata, M. A. (2023). Análisis de producción de *Pleurotus ostreatus* desde un enfoque sustentable. En Elia Alejandra Teutli Sequeira y Vanessa González Hinojosa (Eds.), *La esfera de la vida: De la epistemología ambiental a la inter y transdisciplinariedad. Tópicos en Ciencias Ambientales* (pp. 185-216). Editorial Torres Asociados.
https://www.researchgate.net/publication/378309655_ANALISIS_DE_PRODUCCION_DE_PLEUROTUS_OSTREATUS_DESDE_UN_ENFOQUE_SUSTENTABLE
- Rahmat, Rahim, I., Ikbal Putera, M., & Asrul, L. (2020). Growth and production of white oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) by adding coconut water to agricultural waste as a carbon source media. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The 2nd International*

Conference of Interdisciplinary Research on Green Environmental Approach for Sustainable Development, Gedung Pasca Sarjana, Indonesia, 575, Article Number 012090. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/575/1/012090>

- Sánchez, J. E., & Royse, D. J. (2001). *La biología y el cultivo de Pleurotus spp.* Uteha (Noriega Editores) & Ecosur.
https://www.researchgate.net/publication/256526787_Book_La_biologia_y_el_cultivo_de_Pleurotus_spp
- Seetha Rama, V. (2021). Precision agriculture using IoT. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9, 122-127. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2021.36255>
- Vijayan, B., Haleem, A., Irbaz, A., Rehman, F., & Pasha, F. (2024). Wireless networking: Smart agriculture. *Journal of Computer Science and Policy Integration*, 3(1), 1-8.
<https://doi.org/10.46610/jcspic.2024.v03i01.005>

* * * * *