

Diseño del sistema de control electrónico para la adquisición de datos de un cultivo vertical de *Pleurotus Ostreatus*

Design of the electronic control system for data acquisition of a vertical culture of *Pleurotus Ostreatus*

Adriana Díaz Acero

adrdiaz22@misena.edu.co

Semillero SIPCER

Grupo de investigación CDA - GITAE

Centro de Desarrollo Agroempresarial, Cundinamarca

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Colombia

Johan Sebastian Vásquez

jvasquez51@misena.edu.co

Semillero SIPCER

Grupo de investigación CDA - GITAE

Centro de Desarrollo Agroempresarial, Cundinamarca

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Colombia

Oskar Fernando Velasco

ofvelasco@sena.edu.co

Instructor investigador Semillero SIPCER

Grupo de investigación CDA - GITAE

Centro de Desarrollo Agroempresarial, Cundinamarca

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Colombia

Claudia Lorena Garzón

claudia.garzon@unisabana.edu.co

Docente investigador

Grupo de investigación CAPSAB

Universidad de La Sabana, Colombia

Juana Valentina Sánchez

jvsanchez543@misena.edu.co

Semillero SIPCER

Grupo de investigación CDA - GITAE

Centro de Desarrollo Agroempresarial, Cundinamarca

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Colombia

Nelson Humberto Zambrano Cortés

nzambranoc@sena.edu.co

Instructor investigador, Semillero SIPCER

Grupo de investigación CDA - GITAE

Centro de Desarrollo Agroempresarial, Cundinamarca

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Colombia

Orlando Castrillón García

orcastrillong@sena.edu.co

Instructor investigador Semillero SIPCER

Grupo de investigación CDA - GITAE

Centro de Desarrollo Agroempresarial, Cundinamarca

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Colombia

Stephanía Aragón

saragonr@sena.edu.co

Activadora Nacional Grupo SENNOVA

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Colombia

RESUMEN

El siguiente artículo refleja los procesos y resultados del trabajo realizado desde el año 2020 para la automatización de un cultivo vertical de *Pleurotus Ostreatus* para el incremento de cuerpo fructíferos y su posterior análisis para determinar la producción de quitina. El documento presenta el estado del arte de la investigación y el proceso de diseño del sistema de adquisición de datos de temperatura y humedad del cultivo desarrollado.

Palabras claves: Invernadero, control, cultivo, adquisición de datos.

ABSTRACT

The following article reflects the processes and results of the work carried out since 2020 for the automation of a vertical cultivation of *Pleurotus Ostreatus* for the increase of fruiting bodies and its subsequent analysis to determine the production of chitin. The document presents the state of the art of research and the design process of the temperature and humidity data acquisition system of the developed crop.

Key words: Greenhouse, control, cultivation, data acquisition.

INTRODUCCIÓN

El interés por el consumo de hongos comestibles ha incrementado en los últimos años por su vinculación a los alimentos funcionales, debido a que son una fuente de fibra vegetal, minerales, vitaminas y quitina, entre otros. Dentro de los hongos comestibles se encuentra *Pleurotus ostreatus*, cuya pared celular está compuesta principalmente de quitina, un homopolímero de N - acetilglucosamina el cual ha sido utilizado como materia prima para la fabricación de materiales biomédicos como membranas, esponjas, geles, implantes, nanopartículas y nanofibras. Por lo anterior, se propone el cultivo de *P. ostreatus* como una alternativa para la obtención de este biopolí-

mero para el desarrollo de materiales biomédicos, direccionando el desarrollo tecnológico y técnicas de control electrónico para la optimización de su producción y siendo esta una oportunidad para innovar sobre dicho proceso.

Para estimular el crecimiento de *Pleurotus ostreatus*, se diseña un sistema automático que permite el control de las variables de temperatura y humedad y la producción de quitina durante 40 días de cultivo. Nishihara, Watanabe y Asada (2007), describieron la influencia de la temperatura y de la humedad en la expresión génica de la sintasa quitina clase IV durante la formación de cuerpos fructíferos, los cuales le dan la forma al hongo. Sus

resultados mostraron que la modulación de la temperatura (25°C - 15°C) durante el cultivo incrementó en 1.8 veces la transcripción de la sintasa quitina y así mismo la producción de la misma. De igual forma, los autores proponen estudios sinérgicos entre la variación de la temperatura y la humedad con una proyección de incrementar la concentración de quitina en 1.9 veces.

La automatización del cultivo vertical se desarrolla con el grupo de investigación del SENA CDA - GITAE y su semillero SIPCER en conjunto el grupo de investigación CAPSAB de la Universidad de La Sabana y su semillero INFOSEED. Este trabajo busca el fortalecimiento de las competencias en investigación y desarrollo tecnológico, uniendo esfuerzos y recursos de infraestructura, tecnología y personal para el cumplimiento del objetivo general: Automatizar un cultivo vertical de *Pleurotus ostreatus* para el incremento de cuerpos fructíferos ricos en quitina.

MATERIALES Y MÉTODOS

P. ostreatus se obtiene del cepario del Centro de Desarrollo Agroempresarial; Chía, Cundinamarca-Colombia. La cepa se cultiva inicialmente en papa dextrosa agar durante 7 días a temperatura ambiente con el fin de obtener micelios o cuerpos pequeños que se cultivan en compost (78% de aserrín mezclado, 13% de salvado de trigo, 7% de harina de maíz, 1% de sacarosa y 1% de sulfato de calcio, la mezcla deberá tener el 60% de humedad). Las variables de temperatura (15 - 25°C) y humedad relativa (85 - 95 %) se controlan por medio del sistema de control

automatizado. Las muestras para la determinación de humedad, eficiencia biológica y determinación de quitina se tomarán los días 10, 20, 30 y 40. Debido a la emergencia sanitaria de marzo del 2020, el proyecto se ve afectado en su ejecución y debe ser transferido a una locación diferente donde el área se reduce sin afectar las condiciones de siembra y de control, como se puede apreciar en la imagen 2, se debe manejar un cultivo escalado con el fin de obtener productos que se puedan analizar en la siguiente etapa del proyecto.

Prototipo de cultivo vertical: El cultivo tiene una estructura de huerta vertical con dimensiones de 2 m de alto por 0.8 m de ancho. Está dividida en 4 hileras separados por 0.5 m, en cada hilera se coloca una canastilla que tiene la capacidad de soportar 5 unidades experimentales. Internamente, las canastillas se forran con un geotextil para evitar la pérdida de humedad. La estructura cuenta con un sistema de riego por micro aspersión y recirculación por precipitación para evitar la pérdida de agua. El sistema se cubre por una malla para garantizar el control del cultivo a través del sistema de control automatizado. Los sensores de temperatura y humedad están ubicados en cada unidad experimental para realizar el monitoreo del cultivo.

Teniendo presente la cantidad de muestras que se requieren para que la información recopilada sea válida y representativa se realiza un diagrama inicial de un invernadero rectangular donde se puedan tener dos espacios separados para desarrollar los procesos de siembra o inoculación y fructificación.

Se parte de la base estructural de un container que se encuentra en la subselección del Sena en el municipio de Cajicá como se muestra en la imagen 1.

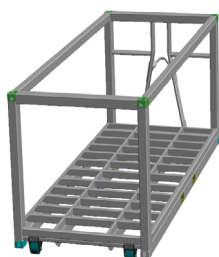


Figura 1. Autores. Diseño 3D del container. Adecuación de container.

Se tiene un espacio dentro del container de aproximadamente 33 m³ con unas dimensiones de 5.9m x 2.35m x 2.39m (largo x ancho x alto). Para las necesidades del proyecto se retiran paneles laterales para el ingreso de luz solar y se procede a hacer el refuerzo a la estructura para la separación de

los espacios, se destinan dos compartimentos dentro del container con el fin de realizar los dos procesos de la cosecha del *P. Ostreatus*. El primer espacio diseñado es el cuarto de inoculación, luego del proceso de siembra de los sustratos se procede con la ubicación de las muestras en la estantería destinada para dicho fin, allí se almacenarán 3 muestras por compartimento, en los tres compartimentos, así mismo para el segundo estante. Este cuarto cuenta con un sistema de micro aspersión que permite la manipulación de la humedad del ambiente, adicionalmente se cuenta con un sistema de refrigeración/calefacción que permite el control de la temperatura, el compartimento presenta un sistema cerrado de ventilación que no permite la afectación de las condiciones ambientales externas y se encuentra cubierto con poli sombra negra con el fin de generar oscuridad, necesaria para el proceso de inoculación de la semilla.

Debido al aislamiento preventivo generado por la emergencia sanitaria de marzo del 2020 se optó por la adaptación de un cuarto de crecimiento a una escala inferior en un espacio remoto al estipulado en el proyecto, éste se desarrolló con los estantes plásticos propios del proyecto, el cual ofrece un espacio de 0.76 m³ teniendo unas dimensiones de 1.83m x 0.91m x 0.46m (alto x ancho x largo), se adaptó este compartimento para hacer pruebas del funcionamiento de los sensores y la respuesta del sistema de control como se puede observar en la imagen 2.



Figura 2. Invernadero plástico. Sensores instalados en el cultivo

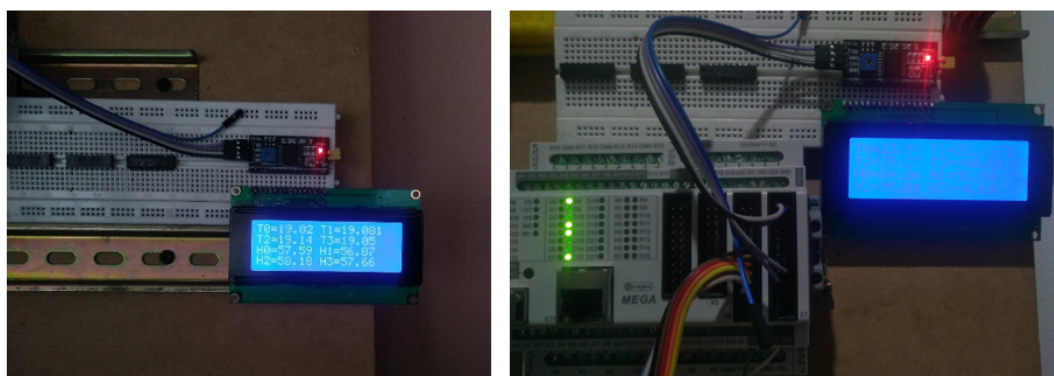


Figura 3. Sistema de control por PLC.

Para el control del cultivo automatizado se utilizan sensores de tipo industrial STH10 y se realizan pruebas de la lectura de los mismos como se ve en la imagen 2, se cuenta con un sistema de control basado en el PLC Controllino con una pantalla LCD 20x4 para poder visualizar el estado de los sensores y determinar si el sistema está siendo controlado según los requerimientos de las setas como se ve en la imagen 3, un segundo compartimento se equipa con 6 sensores de temperatura humedad EI1050 acoplados a la tarjeta de adquisición de datos Labjack T7 Pro la cual se encarga de obtener la información de los sensores y conectarla con una base de datos que per-

mite el registro en una aplicación desarrollada por el equipo de investigación de la Universidad de La Sabana y que actualmente se encuentra en depuración.

Se genera una interfaz alterna que permite visualizar el estado del cultivo mientras se van haciendo ajustes a la aplicación en desarrollo, como se ve en la imagen 4, se trabajó con el complemento DataStreamer para Excel, que representa por medio de gráficas dinámicas y un dashboard la lectura de los sensores, la interfaz se logra realizar gracias a la versatilidad de programación del PLC Controllino que permite la transmisión de comunicación serial a través de la comunicación con el pc vía USB.

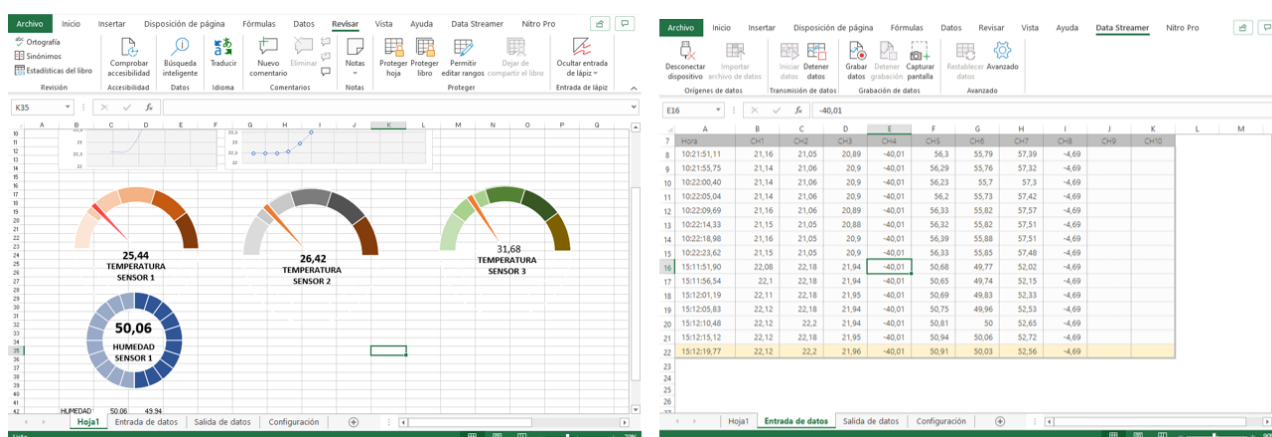


Figura 4. Recopilación de información de los sensores.

RESULTADOS

Debido a la emergencia sanitaria decretada en marzo del año 2020 se implementó un prototipo a escala como alternativa para continuar con la ejecución del proyecto del cultivo vertical automatizado y el cual permitió determinar la operación del sistema de control, éste se mantuvo estable con 3 lotes iniciales de siembra, se implementaron también humidificadores como opción de los micro aspersores y se logró modificar la humedad según el requerimiento

de permitiendo una variación medida por cada uno de los sistemas de control entre el 35 al 98%, como se puede observar en la imagen 5.

Durante el proceso de adaptación del prototipo a escala se presentaron situaciones que precisaron replantear el diseño del sistema de control del invernadero, también debido al cambio de modelo de pruebas, una de las más significativas fue la transmisión de la información hacia un computador, ya que requiere estar cerca al prototipo a escala del



Figura 5. Lotes de siembra

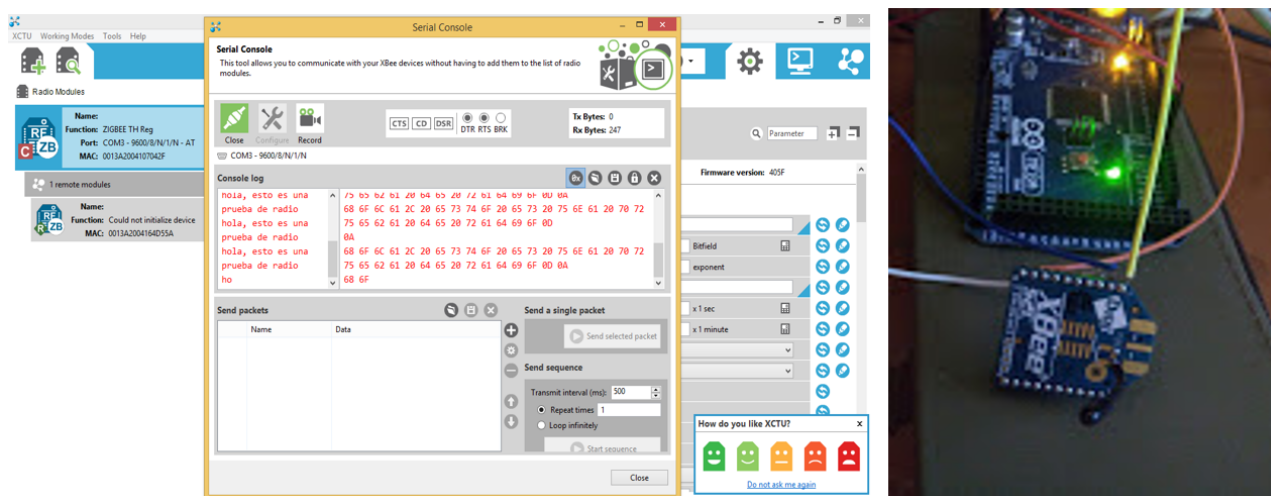


Figura 6. Sistema de transmisión inalámbrica

invernadero, para ello se implementa un dispositivo de transmisión inalámbrica que se adapta a las distancias de transmisión del sistema, para ello se recurrió al módulo Xbee que permiten un rango de distancia máximo de 1500 m con una potencia de 60mW (+18dBm) y un frecuencia de operación de 2.4 GHz.

Al momento de redactar el presente documento, el proyecto se encuentra en la etapa de adquisición de datos relacionados con humedad, temperatura, tiempo de crecimiento del cultivo de *P. Ostreatus* y medición de los cuerpos fructíferos obtenidos, las muestras de los cuerpos fructíferos se vienen clasificando y almacenando en los laboratorios del CDA con el fin de enviarlas a análisis para comenzar con la determinación de la producción de quitina, se cuenta con la normalización de las actividades que al momento se encuentran restringidas por la emergencia sanitaria.

El desarrollo del proyecto complementa la formación de los aprendices de los programas técnico

en producción agropecuaria, técnico en agroindustria alimentaria, técnico en sistemas y tecnólogo en sistemas de gestión ambiental, debido, a que la investigación aplicada da a los aprendices conocimientos nuevos y la capacidad de desarrollar soluciones concretas de manera estructurada y metódica a retos, lo cual los hace estar mejor preparados para el mundo laboral del sector agropecuario, educación, e industrial.

CONCLUSIONES

Con el aporte del semillero de investigación tanto del Centro de Desarrollo Agroempresarial Chía como del Infoseed de la Universidad de La Sabana se avanza con la automatización del cultivo vertical obteniendo la información de las variables ambientales como humedad y temperatura necesarias para el proceso de fructificación del *P. Ostreatus*.

Se realizan cultivos de prueba para generar información relevante para el diseño del control de condiciones ambientales.

Debido a la pandemia se realizan pruebas tipo prototipo en un cultivo temporal con el cual se lora avanzar con los objetivos del proyecto.

Se cuenta con los sistemas de control y procesos de adquisición de datos para implementar en la ubicación definitiva del invernadero.

REFERENCIAS

- AOAC. (2006). Official methods of analysis (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Bánfi, R., Pohner, Z., Kovács, J., Luzics, S., Nagy, A., Dudás, M., ... Vajna, B. (2015). Characterisation of the large-scale production process of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) with the analysis of succession and spatial heterogeneity of lignocellulolytic enzyme activities. *Fungal Biology*, 119(12), 1354-1363. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2015.10.003>
- Chanakya, H. N., Malayil, S., & Vijayalakshmi, C. (2015). Cultivation of *Pleurotus* spp. on a combination of anaerobically digested plant material and various agro-residues. *Energy for Sustainable Development*, 27, 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2015.04.007>
- Corrêa, R. C. G., Brugnari, T., Bracht, A., Peralta, R. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus* spp. (Oyster mushroom) related with its chemical composition: A review on the past decade findings. *Trends in Food Science and Technology*, 50, 103-117. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.012>
- Duan, B., Huang, Y., Lu, A., & Zhang, L. (2018). Recent advances in chitin based materials constructed via physical methods. *Progress in Polymer Science*, 82, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2018.04.001>
- Espadín, A., De Dios, L. T., Ruvalcaba, E., Valadez-García, J., Velasquillo, C., Bustos-Jaimes, I., ... Shirai, K. (2018). Production and characterization of a nanocomposite of highly crystalline nanowhiskers from biologically extracted chitin in enzymatic poly(ε-caprolactone). *Carbohydrate Polymers*, 181, 684-692. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.094>
- Facchini, J. M., Alves, E. P., Aguilera, C., Gern, R. M. M., Silveira, M. L. L., Wisbeck, E., & Furlan, S. A. (2014). Antitumor activity of *Pleurotus ostreatus* polysaccharide fractions on Ehrlich tumor and Sarcoma 180. *International Journal of Biological Macromolecules*, 68, 72-77. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.04.033>
- Hammerling Navas Navarro, F., & Mila Peña Torres, L. (2012). Los diseños verticales y la agricultura unidos para la producción de alimentos en los Módulos para Huertas Urbanas Verticales. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3(2), 73-84. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=90223655&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Nishihara, M., Watanabe, A., & Asada, Y. (2007). Isolation, characterization, and expression analysis of a class IV chitin synthase gene from the edible basidiomycetous mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Mycoscience*, 48(3), 176-181. <https://doi.org/10.1007/s10267-006-0342-4>
- Papaspyridi, L. M., Katapodis, P., Gonou-Zagou, Z., Kapsanaki-Gotsi, E., & Christakopoulos, P. (2010). Optimization of biomass production with enhanced glucan and dietary fibres content by *Pleurotus ostreatus* ATHUM 4438 under submerged culture. *Biochemical Engineering Journal*, 50(3), 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2010.04.008>
- Rodriguez Cabra, J. L., Cano Reinoso, D. M., & Guierrez Orduz, E. G. (2014). Diseño de un Sistema para el Control de la Humedad Relativa y la Temperatura, de Acuerdo a los Índices de

Confort en Incubación y Fructificación en una Unidad Productiva de Orellanas (*Pleurotus Ostreatus* Jacq. Kumm), (17), 15.

Smith, R. L., & Gilkerson, E. (1979). Quantitation of glycosaminoglycan hexosamine using 3-methyl-2-benzothiazolone hydrazone hydrochloride. *Analytical Biochemistry*, 98(2), 478-480.

[https://doi.org/10.1016/0003-2697\(79\)90170-2](https://doi.org/10.1016/0003-2697(79)90170-2)

Solairaj, D., Rameshthangam, P., & Arunachalam, G. (2017). Anticancer activity of silver and copper embedded chitin nanocomposites against human breast cancer (MCF-7) cells. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 608-619. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.078>

Vodovnik, M., Vrabec, K., Hellwig, P., Benndorf, D., Sežun, M., Gregori, A., ... Reichl, U. (2018). Valorisation of deinking sludge as a substrate for lignocellulolytic enzymes production by *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Cleaner Production*, 197, 253-263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.163>

Zhang, Y., Dai, L., Kong, X., & Chen, L. (2012). Characterization and in vitro antioxidant activities of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 51(3), 259-265. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.05.003>

Zhong, L., Ma, N., Wu, Y., Zhao, L., Ma, G., Pei, F., & Hu, Q. (2019). Characterization and functional evaluation of oat protein isolate-*Pleurotus ostreatus* -glucan conjugates formed via Maillard reaction. *Food Hydrocolloids*, 87(July 2018), 459-469. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.034>