

Artículo de Revisión

**MÉTODOS ESTADÍSTICOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA
FORMULACIÓN DE MEZCLAS DE SUSTRATOS
EN EL CULTIVO DE PLEUROTUS SPP**

**STATISTICAL OPTIMIZATION METHODS IN THE FORMULATION OF
SUBSTRATE MIXTURES IN THE CULTIVATION OF PLEUROTUS SPP**

Yenia Rondón Pérez¹ <https://orcid.org/0009-0005-3933-9305>
Lourdes Mariana Crespo Zafra^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-4799-3447>
Yurisdan Paneque Díaz¹ <https://orcid.org/0000-0003-2161-8814>
Eduardo García Noa² <https://orcid.org/0000-0002-6634-9219>

¹Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba.

² Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE). La Habana, Cuba.

Recibido: Mayo 1º, 2025; Revisado: Junio 1º, 2025; Aceptado: Junio 25, 2025

RESUMEN

Introducción:

El género Pleurotus es una de las setas comestibles más cultivadas mundialmente, debido a su fácil adaptabilidad y su valor nutricional. Se desarrolla sobre residuos lignocelulósicos, lo que permite usar como sustratos para su cultivo subproductos de agroindustrias y materia orgánica.

Objetivo:

Seleccionar el método estadístico de optimización a utilizar en la formulación de sustratos en el cultivo de setas comestibles, mediante revisión de la literatura científica.

Materiales y Métodos:

Se realizó una búsqueda en bases de datos científicas reconocidas, como Scopus, Web of Science, PubMed y Google Scholar. Se establecieron criterios de selección que incluyeron publicaciones de los últimos cinco años, en español e inglés.

Resultados y Discusión:

La selección del sustrato en la producción de hongos es crucial para su crecimiento, desarrollo y rendimiento; por lo que su composición química y propiedades pueden



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Lourdes Crespo, Email: lourdescrespozafra@gmail.com



influir significativamente en el rendimiento de los hongos cultivados y en las características morfológicas de sus cuerpos fructíferos. Los subproductos y residuos pueden ser empleados puros o a través de mezclas y suplementación del sustrato. Para mezclar o suplementar un sustrato se realiza una formulación que puede ser de forma empírica o a través de técnicas, herramientas y métodos matemáticos que permitan la optimización del proceso.

Conclusiones:

La búsqueda realizada resalta los resultados positivos de métodos de optimización en este proceso, y sugiere el uso de la metodología de superficie de respuesta para formular mezclas de sustratos en el cultivo de *Pleurotus spp.*

Palabras clave: formulación; metodología de superficie de respuesta; métodos de optimización; mezclas; producción de setas comestibles; sustrato para setas.

ABSTRACT

Introduction:

The *Pleurotus* genus is one of the most widely cultivated edible mushrooms worldwide, due to its easy adaptability and nutritional value. It grows on lignocellulosic waste, allowing the use of agroindustrial by-products and organic matter as cultivation substrates.

Objective:

To select the statistical optimization method to be used in the formulation of substrates for edible mushroom cultivation by reviewing the scientific literature.

Materials and Methods:

A search was conducted in recognized scientific databases, such as Scopus, Web of Science, PubMed, and Google Scholar. Selection criteria were established that included publications from the last five years, in Spanish and English.

Results and Discussion:

Substrate selection in mushroom production is crucial for growth, development, and yield; therefore, its chemical composition and properties can significantly influence the yield of cultivated mushrooms and the morphological characteristics of their fruiting bodies. By-products and residues can be used neat or through mixtures and substrate supplementation. To mix or supplement a substrate, a formulation is carried out empirically or through mathematical techniques, tools, and methods that allow for process optimization.

Conclusions:

The research conducted highlights the positive results of optimization methods in this process and suggests the use of response surface methodology to formulate substrate mixtures for *Pleurotus spp.* cultivation.

Keywords: formulation; response surface methodology; optimization methods; mixtures; edible mushroom production; mushroom substrate.

1. INTRODUCCIÓN

Los hongos pertenecen al reino Fungi; se pueden dividir en microscópicos, como los mohos y en macroscópicos, con forma filamentosa que se caracterizan por tener fructificaciones grandes (Ferriol, 2023). Lo que usualmente se llama “hongo”, son los cuerpos fructíferos también denominado carpóforos o setas (Kuhar et al., 2013). A nivel mundial se cultivan géneros de importancia comestible como son *Agaricus*, *Lentinula*, *Pleurotus* y *Volvariella*. De ellos, las especies de *Pleurotus*, son las más fáciles y menos costosas para cultivar; además han demostrado adaptabilidad, agresividad y productividad (Lopez, 2014). De ahí que los sustratos utilizados en cada región dependen de la disponibilidad de subproductos de la agricultura (Beltrán-Delgado et al., 2020).

La producción de *Pleurotus* desde el punto de vista tecnológico tiene un impacto positivo en el crecimiento económico y para el medio ambiente con alto grado de diversidad y heterogeneidad. Esto incluye tecnologías y aplicaciones que comprenden procesos nuevos o modificados, técnicas, prácticas y sistemas con beneficios medioambientales (De Madrignac & Flecha, 2019; Murillo, 2018). El cultivo de estos hongos ofrece una valiosa alternativa para aprovechar residuos ricos en lignocelulosa, un material que constituye alrededor del 40 % de la biomasa generada por la fotosíntesis. Debido a su baja digestibilidad, la lignocelulosa no se utiliza de manera directa para la alimentación humana y animal, por lo que su conversión mediante este proceso representa una forma de bioconversión de estos residuos (Grodzinskaya et al., 2002).

Algunos investigadores, recomiendan hacer una combinación de subproductos lignocelulósicos en diferente proporción, para incrementar la producción de hongos a través de sustratos con mejores condiciones (García-Oduardo et al., 2011). En la industria, es fundamental utilizar métodos matemáticos y estadísticos con validez científica que permitan definir los parámetros de operación. Esto ayuda a obtener mejores resultados, reducir los tiempos de producción, disminuir costos, y también a predecir el comportamiento de las variables de interés (Tirado-Kulieva et al., 2021).

El objetivo de este trabajo es seleccionar el método estadístico de optimización a utilizar en la formulación de sustratos en el cultivo de setas comestibles, mediante revisión de la literatura científica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta revisión bibliográfica analizó críticamente los métodos estadísticos de optimización aplicados en la formulación de mezclas de sustratos para el cultivo de *Pleurotus spp.*, con énfasis en la metodología de superficie de respuesta (MSR) y otras técnicas de optimización. Se seleccionaron estudios publicados entre 2002 y 2024, con un 60% de los últimos cinco años, en idiomas español e inglés; integrando hallazgos experimentales, metodológicos y aplicaciones prácticas en la producción de setas comestibles.

La estrategia de búsqueda y selección de literatura se realizó mediante búsquedas en las bases de datos Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar, utilizando combinaciones de palabras clave como: "formulación AND sustrato AND *Pleurotus*";

"metodología de superficie de respuesta AND cultivo de hongos"; "métodos de optimización AND producción de setas comestibles"; "diseño experimental AND sustrato para setas". Se incluyeron artículos científicos, revisiones y capítulos de libros, priorizando estudios que aplicaran diseños experimentales.

Se tuvo en cuenta estudios que empleen MSR u otros métodos estadísticos para optimizar sustratos, investigaciones con resultados cuantificables (ej.: rendimiento, eficiencia biológica), trabajos publicados en revistas arbitradas o libros técnicos. Se desecharon artículos sin enfoques estadístico o solo descriptivo y estudios con metodologías no replicables o sin datos claros.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Selección del sustrato para el cultivo de *Pleurotus spp*

El sustrato se describe como un medio sólido e inerte que sirve de soporte para el micelio del hongo, y que cumple con ciertos requerimientos, como proporcionar aireación, mantener el contenido de agua adecuado, y permitir el paso de los nutrientes esenciales para el hongo (Ttupa & Mercado, 2022). La selección del sustrato en la producción de hongos es crucial para su crecimiento, desarrollo y rendimiento. La composición química y las propiedades del sustrato pueden influir significativamente en el rendimiento de los hongos cultivados y en las características morfológicas de sus cuerpos fructíferos, lo que puede provocar variaciones macroscópicas deseadas o no (Siwulski et al., 2019).

Los hongos del género *Pleurotus*, toman los nutrientes necesarios para su alimentación de los materiales sobre los que crecen. Tienen la capacidad de degradar celulosa y lignina presentes en diversos residuos agrícolas, desechos agroindustriales, y/o forestales. Estas materias tienen un alto contenido de lignocelulosa y un contenido de nitrógeno inferior al 1 %. Por lo que es posible añadir otro material orgánico que permita aumentar el contenido de nitrógeno y disminuir la relación carbono/nitrógeno (Liñan, 2014). Los hongos de este género son descomponedores de pudrición blanca y poderosos agentes biológicos capaces de degradar materiales complejos ricos en lignina, celulosa y hemicelulosa; mediante la secreción de enzimas. Esto les permite crecer y desarrollarse en materiales en descomposición (Castro et al., 2018).

Los factores para el crecimiento del micelio, el rendimiento y la eficiencia de la producción incluyen la relación C/N, el pH y la medición de la humedad. Dentro de las necesidades nutricionales del género se encuentra una concentración de nitrógeno final en el sustrato de 1,3 a 1,5 %, una relación carbono-nitrógeno (C/N) que va de 30 hasta 300, materiales constituidos principalmente por celulosa 40-60 %, hemicelulosa 15-50 % y lignina 10-30 % (Fernández-Rodríguez et al., 2014); además un contenido de cuerpo fenólicos para aumentar las propiedades antioxidantes del hongo (Castro et al., 2018).

Los autores coinciden en que los criterios esenciales para la selección del sustrato con fines de cultivo de setas comestibles son: la disponibilidad de residuos, la ubicación geográfica del proveedor, que reduzca los gastos de transportación y garantice la conservación del sustrato; las necesidades nutrimentales de la especie; así como las características físico-químicas de los sustratos que garanticen valores aceptables de

eficiencia biológica y rendimiento (Fernández-Rodríguez et al., 2014; García-Oduardo et al., 2011; Sánchez et al., 2008).

3.2. Formulación y suplementación de mezclas de sustratos

La experiencia en la producción de setas con subproductos agrícolas incluye desde el uso de subproductos puros hasta la mezcla o suplementación de estos. El subproducto puro no tiene modificación físico química en su composición, ni la adición de otro material o sustancia (García-Oduardo et al., 2011). El diseño de mezcla está dado por factores experimentales los cuales pueden ser productos o ingredientes con un determinado número de componentes y las proporciones deben sumar 1 o 100 en forma de porcentaje (Fernández-Rodríguez et al., 2014). La suplementación es la incorporación de materiales con alto contenido de nitrógeno al sustrato durante el desove o la cubierta para mejorar el rendimiento. Este proceso aporta nutrientes al hongo en crecimiento, puede aumentar la productividad y acortar el ciclo de cultivo (Pardo-Giménez et al., 2020).

Los investigadores y productores de setas comestibles, en su mayoría, han realizado experimentos para comprobar la potencialidad de residuos lignocelulósicos como sustratos, usando mezclas formuladas empíricamente. Este tipo de investigaciones se describen fundamentalmente basadas en la experiencia y que responden a una demanda o necesidad social, su éxito es medido en la práctica. Aunque el investigador actúe sobre el fenómeno las transformaciones internas que ocurren dentro de él no son tomadas en cuenta (González, 2011). Sin embargo, el uso de una base matemática en los experimentos facilita la cuantificación de variables y permite realizar análisis estadísticos para identificar patrones, relaciones causales y significancia de los resultados; reduce la posibilidad de errores en la interpretación de los datos y asegura que los resultados sean reproducibles; permite predecir el comportamiento de variables bajo diferentes condiciones, esencial para la planificación de experimentos.

3.3. Uso de la metodología de superficie de respuesta en el diseño de mezclas

La optimización implica seleccionar la mejor alternativa posible en algún aspecto, en comparación con las demás opciones (Ramos et al., 2010). En el cultivo de setas comestibles la literatura científica (Wu et al., 2019; Ferrer-Romero et al., 2019; Aragón et al., 2020; Bello, 2021; Argyropoulos et al., 2022; Gundoshmian et al., 2022) recomiendan como vía para optimizar este proceso la metodología de superficie de respuesta (MSR). En ella se encuentran agrupadas una serie de métodos y técnicas que permiten resolver problemas de optimización en las distintas etapas del proceso productivo y en otros géneros de setas comestibles.

La metodología de superficie de respuesta es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas empleadas para desarrollar, mejorar y optimizar procesos. Se puede aplicar en el diseño, desarrollo y formulación de nuevos productos, así como, en la mejora de los diseños de productos existentes. Es una metodología que proporciona una planificación experimental y una base para la resolución de problemas más complejos empleando los métodos clásicos de optimización no lineal. En el caso de mezclas se tendrá como objetivo optimizar su diseño. Estas características se logran con experimentación secuencial que incluye factores como los componentes y la proporción

de la mezcla, las condiciones de preparación, entre otros (Li et al., 2021). Es una propuesta con potencial para la industria química y alimentaria, se ha utilizado con éxito para optimizar y modelar las variables de fermentación (Acosta et al., 2021; Breig & Luti, 2021).

3.3.1. Aplicaciones de la metodología de superficie de respuesta

La MSR ha sido utilizada por muchos autores en el cultivo y producción de setas comestibles, sobre todo para optimizar las propiedades y condiciones que debe cumplir el sustrato. A continuación, se citan algunos ejemplos de los géneros *Lentinula*, *Agaricus* y *Pleurotus*, teniendo en cuenta que son estudios recientes de los últimos cinco años:

- Para la optimización de las condiciones de fermentación líquida en biorreactor para la producción de *Lentinula edodes*, se utilizó el diseño de Box-Behnken que se encuentra dentro de la metodología de superficie de respuesta. La relación entre las variables independientes (agitación, aireación y concentración de glucosa) y las variables de respuesta (biomasa y producción de metabolitos) fueron ajustadas a una ecuación polinómica de segundo orden predictiva (Bello, 2021).
 - Para la evaluación bioquímica de cepas de *Agaricus* y *Pleurotus* en cultivos discontinuos para optimizar la producción de metabolitos valiosos, se realizó un análisis de optimización extrapolado in silico con *Design Expert* (versión 13, 2021). Los datos obtenidos de los cultivos por lotes establecen la base para identificar las tasas de crecimiento del cultivo y las concentraciones de carbono para la producción óptima de glucanos y glucanasas en futuras fermentaciones continuas. Los resultados del cultivo en lotes se analizaron estadísticamente utilizando superficies 3D de respuesta y gráficos de contorno para extrapolar los parámetros de cultivo potenciales (Argyropoulos et al., 2022).
 - Para determinar la composición óptima del sustrato para el cultivo de *P. pulmonarius* se utilizó un método de un factor a la vez (OFAT), para determinar el intervalo inicial de las tres variables independientes. Se seleccionaron las variables X_1 = paja de trigo, X_2 = paja de maíz y X_3 = paja de soja, empleando un diseño de mezcla simplex (Wu et al., 2019).
El modelo de Scheffé se ajustó mediante una ecuación cuadrática polinómica para correlacionar la variable de respuesta (Y) con las variables independientes (X).
 - Para disminuir el tiempo de desarrollo y los costos generales en el cultivo de *Pleurotus*, mediante la aplicación de la metodología de superficie de respuesta, se varió la concentración de glucosa, peptona y extracto de levadura, debido a que son las fuentes de carbono y nitrógeno, estas representan las variables independientes (Ferrer-Romero et al., 2019).
 - Se investigó el crecimiento de los hongos ostra en dos sustratos. La optimización se realizó mediante el uso de la metodología de superficie de respuesta para encontrar la mejor condición desde el punto de vista de los aspectos económicos y ambientales. La optimización tenía como objetivo minimizar el consumo de energía, el consumo de agua y los impactos ambientales. También en otro sentido maximizar el rendimiento e ingresos totales (Gundoshmian et al., 2022).
-

- En un estudio donde se evaluó la degradación de la vinaza de caña de azúcar con la producción de biomasa por *Pleurotus sajor-caj* se utilizó un experimento compuesto factorial central completo para analizar los resultados. La decoloración de la vinaza (Y_1) y la biosíntesis de biomasa (Y_2) se tomaron como variables dependientes o respuestas de los experimentos de diseño; mientras que las variables independientes fueron el valor inicial del pH (X_1) y la temperatura (X_2) (Aragão et al., 2020).

Las investigaciones analizadas respaldan el uso de la MSR para lograr un proceso óptimo en el cultivo de setas comestibles. Los resultados de las investigaciones realizadas por Ferrer-Romero et al., (2019) proporcionan una información útil y que puede servir de referencia para la optimización de las condiciones de cultivo de otros hongos macromicetos con aplicaciones en la industria alimentaria y biofarmacéutica, en aras de obtener las mejores condiciones de fermentación mediante el empleo de un método estadístico que se basa en una metodología de superficie de respuesta para optimizar las variables de interés.

Wu et al. (2019) demostraron que el rendimiento general de *P. pulmonarius* puede mejorarse mediante la optimización de la fórmula del sustrato de cultivo. Al evaluar la fórmula integral optimizada para un alto rendimiento, se concluyó que los residuos agrícolas, como la paja de trigo, la paja de maíz y la paja de soja, pueden reemplazar al aserrín y a las cáscaras de semillas de algodón como principales sustratos para el cultivo de *P. pulmonarius*.

Gundoshmian et al., (2022) realizó una optimización utilizando la metodología de superficie de respuesta para encontrar el máximo rendimiento de producción y los ingresos netos junto con menores impactos ambientales y consumo de energía.

4. CONCLUSIONES

1. La mayoría de los autores coinciden que los criterios para la selección de los sustratos son: disponibilidad de residuos, ubicación geográfica del proveedor, características físico-químicas, eficiencia biológica, rendimiento y requerimientos nutricionales de la seta.
2. La metodología de superficie de repuesta ofrece una herramienta estadística para la optimización de mezclas en el cultivo de setas comestibles, por lo que se recomienda su uso para obtener mejores resultados en este proceso productivo.

REFERENCIAS

- Acosta, A., Pérez, O., Albernas, Y., & Cortés, M. F. (2021). Potencialidades de la metodología de superficie respuesta en la optimización experimental en la industria química y alimentaria. *Centro Azúcar*, 48(4), 123-138. https://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/684
- Aragão, M. S., Menezes, D. B., Ramos, L. C., Oliveira, H. S., Bharagava, R. N., Romanholo Ferreira, L. F., Teixeira, J. A., Ruzene, D. S., & Silva, D. P. (2020). Mycoremediation of vinasse by surface response methodology and preliminary studies in air-lift bioreactors. *Chemosphere*, 244, 125432. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125432>
- Argyropoulos, D., Psallida, C., Sitareniou, P., Flemetakis, E., & Diamantopoulou, P.
-

- (2022). Biochemical Evaluation of *Agaricus* and *Pleurotus* Strains in Batch Cultures for Production Optimization of Valuable Metabolites. *Microorganisms*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10050964>
- Beltrán-Delgado, Y., Morris-Quevedo, H., Llauradó-Maury, G., Bermúdez-Savón, R. C., & García-Oduardo, N. (2020). Procedimientos para la producción de setas del género *Pleurotus* con potencial aplicación farmacológica. *Revista Cubana de Química*, 32(2), 245-261. <https://cubanaquimica.uo.edu.cu/index.php/cq/article/view/5138>
- Bello, R. (2021). *Optimización de las condiciones de fermentación líquida en biorreactor para la producción de Lentinula edodes* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80126>
- Breig, S. J. M., & Luti, K. J. K. (2021). Response surface methodology: A review on its applications and challenges in microbial cultures. *Materials Today: Proceedings*, 42, 2277-2284. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.316>
- Castro, L. M., Herrera, M. P., Olivares, A. M., & Rangel, L. A. (2018). Formulación de un sustrato a base de residuos agroindustriales para el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*. *Microciencia*, 7, 21-27. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/microciencia/article/view/5614>
- De Madrignac, B., & Flecha, A. (2019). Evaluación del cultivo de *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* (Agaricomycetes, Agaricales Poyporales) empleando sustratos alternativos presentes en el Paraguay. *Lilloa*, 56(1), 1-13. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2019.56.1/1>
- Fernández-Rodríguez, F., Ruilova-Cueva, M. B., & Hernández-Monzón, A. (2014). Programa para el diseño de mezclas de residuos agrícolas para el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*. *Tecnología Química*, 34(2), 158-169. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852014000200005
- Ferrer-Romero, J. C., Mas-Diego, S. M., Beltrán-Delgado, Y., Rodríguez-Quiala, Y., & Morris Quevedo, H. J. (2019). Optimización del medio de cultivo para la producción de biomasa y compuestos fenólicos por *Pleurotus ostreatus* en fase sumergida utilizando la metodología de superficie de respuesta. *Tecnología Química*, 39(1), 1-16. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852019000100001
- Ferriol, M. (2023). *Generalidades sobre los hongos verdaderos (reino Fungi)*. Repositorio Institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/194684>
- García-Oduardo, N., Bermúdez-Savón, R. C., & Serrano-Alberni, M. (2011). Formulación de sustratos en la producción de setas comestibles *Pleurotus*. *Tecnología Química*, 31(3), 272-282. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852011000300002&script=sci_abstract
- González, E. (2011). Conocimiento empírico y conocimiento activo transformador: Algunas de sus relaciones con la gestión del conocimiento. *ACIMED*, 22(2), 110-120.
- Grodzinskaya, A. A., Infante H., D., & Piven, N. M. (2002). Cultivo de hongos comestibles utilizando desechos agrícolas e industriales. *Agronomía Tropical*,
-

- 52(4), 427-447. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000400002
- Gundoshmian, T. M., Ardabili, S., Csaba, M., & Mosavi, A. (2022). Modeling and optimization of the oyster mushroom growth using artificial neural network: Economic and environmental impacts. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 19(10), 9749-9768. <https://doi.org/10.3934/mbe.2022453>
- Kuhar, J. F., Castiglia, V. C., & Papinutti, V. L. (2013). *Reino Fungi: Morfologías y estructuras de los hongos*. Repositorio CONICET. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/7765>
- Li, Z., Lu, D., & Gao, X. (2021). Optimization of mixture proportions by statistical experimental design using response surface method—A review. *Journal of Building Engineering*, 36, 102101. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.102101>
- Liñan, L. F. (2014). *Evaluación del crecimiento de Pleurotus ostreatus "Callampa" sobre cascarilla de arroz, provincia de Moyobamba-2014* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio UNSM. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/267>
- Lopez, A. (2014). El género *Pleurotus* y su diversificación taxonómica en especies. *Fungicultura*, 14, 1-19. https://www.academia.edu/8874903/El_G%C3%A9nero_Pleurotus_y_su_Diversificaci%C3%B3n_Taxon%C3%B3mica_en_especies
- Murillo, P. G. G. (2018). Producción de orellanas (*Pleurotus ostreatus*) como alternativa para el tratamiento de residuos sólidos de origen vegetal en Bogotá D.C. *Redes de Ingeniería*, 9(1), Artículo 1. <https://doi.org/10.14483/2248762X.13858>
- Pardo-Giménez, A., Pardo, J. E., Dias, E. S., Rinker, D. L., Caitano, C. E. C., & Zied, D. C. (2020). Optimization of cultivation techniques improves the agronomic behavior of *Agaricus subrufescens*. *Scientific Reports*, 10(1), 8154. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65081-2>
- Ramos, A., Sánchez, P., Ferrer, J. M., Barquín, J., & Linares, P. (2010). *Modelos matemáticos de optimización*. Universidad Pontificia Comillas, Madrid. https://www.academia.edu/7866196/MODELOS_MATEMÁTICOS_DE_OPTIMIZACIÓN
- Sánchez, A., Esqueda, M., Gaitán-Hernández, R., Córdova, A., & Coronado, M.L. (2008). Uso potencial del rastrojo de tomate como sustrato para el cultivo de *Pleurotus* spp. *Revista Mexicana de Micología*, 28(SPE), 17-24. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802008000300003
- Siwulski, M., Rzymiski, P., Budka, A., Kalač, P., Budzyńska, S., Dawidowicz, L., Hajduk, E., Kozak, L., Budzulak, J., Sobieralski, K., & Niedzielski, P. (2019). The effect of different substrates on the growth of six cultivated mushroom species and composition of macro and trace elements in their fruiting bodies. *European Food Research and Technology*, 245(2), 419-431. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3174-5>
- Tirado-Kulieva, V.A., Sánchez-Chero, M., Yarlequé, M.V., Aguilar, G.F.V., Carrión-Barco, G., & Cruz, A.G.Y.S. (2021). An Overview on the Use of Response
-

Surface Methodology to Model and Optimize Extraction Processes in the Food Industry. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 9(3), 745-754. <https://www.foodandnutritionjournal.org/volume9number3/an-overview-on-the-use-of-response-surface-methodology-to-model-and-optimize-extraction-processes-in-the-food-industry/>

Ttupa, J.S., & Mercado, J.C. (2022). *El bagazo de caña de azúcar como sustrato para la producción de Pleurotus ostreatus (hongo de ostra)* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio UNAC. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6824>

Wu, N., Tian, F., Moodley, O., Song, B., Jia, C., Ye, J., Lv, R., Qin, Z., & Li, C. (2019). Optimization of agro-residues as substrates for *Pleurotus pulmonarius* production. *AMB Express*, 9(1), 184. <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0907-1>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Lic. Yenia Rondón Pérez. Investigación, redacción - primera redacción, redacción - revisión y edición.
 - Dr.C. Lourdes Mariana Crespo Zafra. Conceptualización, redacción - revisión y edición, análisis formal, supervisión.
 - Ing. Yurisdan Paneque Díaz. Redacción - revisión y edición, investigación.
 - Dr.C. Eduardo García Noa. Redacción - revisión y edición, supervisión.
-