

ECONOMÍA CIRCULAR A TRAVÉS DE LA PRODUCCIÓN DE HONGOS COMESTIBLES EN RESIDUOS AGRÍCOLAS

Jaqueline Balseca Castro

✉ jaquelinebalseca@yahoo.es

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador

Sandra Jácome Tamayo

✉ sandra.jacome@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador

Angelita Tapia Bonifaz

✉ genoveva.@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es fundamentar el aprovechamiento de los residuos agroindustriales como materia prima para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* que constituye una alternativa tecnológica para solucionar el problema de gestión de los mismos, y evidenciar que los excedentes de este ciclo son utilizados, estableciendo un proceso de cero residuos, y la alternativa de desarrollar la economía circular en el área rural. La investigación fue de campo, de diseño experimental/transversal múltiple, se desarrolló en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. La cepa de *Pleurotus ostreatus* utilizada en este estudio fue proporcionada por el Centro de Biotecnología Industrial de la Universidad de Oriente de la República de Cuba. Las variables de estudio determinadas fueron: tasa de producción peso fresco de los hongos cosechados, la eficiencia biológica, y la biodegradación. A los resultados obtenidos se les aplicó un análisis de varianza (ANOVA), con el programa Infostat. En los resultados se obtuvo que el sustrato que presentó mayor producción en gramos por unidad experimental, y un porcentaje de eficiencia biológica fue la vaina de arveja. En conclusión, la producción de hongos comestibles, representa una tecnología de Residuo Cero, en consideración que todo excedente es utilizado.

Palabras clave: Economía Circular. *Pleurotus*. Residuos lignocelulósicos, Sustrato degradado.

ABSTRACT

This research had as objective to substantiate the use of agro-industrial waste as raw material for the cultivation of *Pleurotus ostreatus* constitutes a technological alternative to solve the problem of waste management, and to demonstrate that these wastes are used, establishing a zero waste process, focused on developing a circular economy in rural areas. The research was a field research based on multiple experimental / cross-sectional design, this research was developed at the Sciences Faculty of the Polytechnic Superior School of Chimborazo. The *Pleurotus ostreatus* strain used in this study was provided by the Industrial Biotechnology Center of the Oriente University of the Republic of Cuba. The study variables determined were: production rate in fresh weight of the harvested mushrooms, biological efficiency, and biodegradation. An analysis of variance (ANOVA) was applied to the results obtained, using the Infostat program. The results showed that the substrate that presented the highest production in grams per experimental unit and a percentage of biological efficiency was the pea pod; followed by wheat straw and corn bagasse. In conclusion, the production of edible mushrooms represent a Zero Waste technology.

Keywords: Circular Economy. *Pleurotus*. Lignocellulosic waste, Degraded substrate.

1. INTRODUCCIÓN

La relación entre los procesos agrícolas y los industriales generan grandes volúmenes de subproductos y/o desechos, los cuales en su mayoría son considerados como una gran problemática ambiental (Restrepo, Rodríguez y Manjarrés, 2011), en algunas empresas estos residuos pueden convertirse en una pérdida económica; sin embargo, estos desperdicios son ricos en nutrientes esenciales; gracias a las nuevas tecnologías de transformación biológicas pueden llegar a valorizarse de tal forma que generan un valor donde antes no existía. A través de los sistemas circulares se logra utilizar al máximo aquellos materiales que cuentan con una base orgánica al final de su vida útil, por medio de la extracción de elementos bioquímicos e implementando a diversas aplicaciones en el campo de salud, ambiente y economía; cada vez más necesarias para mejorar la calidad y el estilo de vida, estableciendo un proceso denominado “uso en cascada”.

En la generación de productos agrícolas por lo general el 20% es aprovechado como producto de comercio, desechando el 80% de la planta, el mismo que en ciertas plantaciones se procede a quemar a cielo abierto con el propósito de despejar, limpiar deshacerse de estos residuos de una forma más fácil. Lamentablemente este procedimiento genera contaminación al ambiente por medio del desprendimiento de dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos aromáticos y partículas de materia suspendida, que contribuye al calentamiento global.

A través de este proceso se obtiene una gestión de economía circular de esa forma disminuir el uso de nuevos recursos y reutilizar desechos que provienen del sector

agrícola los cuales pueden ser utilizados como medio de sustento en el cultivo del *Pleurotus ostreatus* debido a su alta concentración de nutrientes; una vez que se ha cosechado el hongo los residuos pueden ser usados como: abono biofertilizante o ser procesados para convertirse en alimento para especies menores (conejos, peces, cuyes, aves, etc.); de esta forma comenzando otra vez el ciclo. Los hongos cosechados se pueden ofertar dentro del mercado en varias presentaciones (forma fresca, deshidratados, en conserva o en polvo como condimentos); su precio de comercialización depende de la forma de presentación, por ejemplo, 1kg de hongos frescos oscila entre 7 y 8 dólares, sin embargo, el costo de producción es de \$2,51 el kg, lo que significa que se obtiene aproximadamente un 300% de ganancia.

La investigación busca a través de la economía circular proteger el ambiente, reduciendo la contaminación, reutilizando los desechos que se generan en la actividad agroindustrial, recuperando el suelo a través de proveer abonos y biofertilizantes, generando ingresos económicos a las familias que optan por este emprendimiento, además de proveer un alimento con alto valor proteico y que tiene propiedades medicinales, además de ser usado en la medicina.

En el sector agroalimentario existe la demanda hacia el mejoramiento y optimización de las tecnologías sostenibles de purificación y recuperación de compuestos orgánicos que componen a la mayoría de biomásas consideradas residuos debido a que estos contienen propiedades bioactivas para la elaboración de nuevos alimentos o el mejoramiento de la calidad de los mismos.

La aplicación de una economía circular en la cual se reutilizan todos los materiales, cada vez es más apreciada a nivel mundial debido a los cambios, fenómenos, escases y problemas que este enfrenta a la actualidad por el mal uso de los recursos.

La transición a una economía circular ha pasado de una visión (Boulding, 1966) a una formulación de políticas reales. Desde este punto de vista, los flujos de residuos agrícolas ya no se consideran una entrada de débito, sino recursos valiosos. Los millones de toneladas de paja que se queman (Feng, Zhang, He, Pang, Guo S, 2011) podrían haberse utilizado en una amplia variedad de aplicaciones. Por ejemplo, los desechos lignocelulósicos pueden convertirse en materia prima para la producción de alimentos, esta puede ser la aplicación más circular en el aprovechamiento de los recursos.

El crecimiento de hongos en estos sustratos puede resultar más sostenible. Esto no solo daría como resultado hongos comestibles y / o medicinales, además de ingresos económicos, sino también un sustrato residual de hongo degradado (SHD) que puede usarse para una amplia variedad de aplicaciones. (Mandeel, Q.A., A.A. AlLaith y S.A. Mohamed, 2005)

El consumo de hongos comestibles a nivel mundial representa un mercado de 63 mil millones de dólares en 2013 (Royse DJ, Baars J y Tan Q, 2017). Este mercado representa el 38% a hongos medicinales el 8% a silvestres y el 54% a comestibles cultivados

En una escala global, el consumo de setas ha aumentado de 1 a 4,7 kg de setas comestibles cultivadas per cápita en

el período de 1997 a 2013 (Royse et al, 2017) Se espera que el consumo aumente aún más en los próximos años, lo que resultará en ventas que pasarán de 34 a 60 mil millones de dólares anuales.

El hongo está compuesto por todos los aminoácidos esenciales, algunos minerales como el calcio, potasio y fósforo; además de vitamina C, B1 y B12. También contiene betaglucanos los cuales son utilizados en tratamiento de cáncer, enfermedades inmunológicas (inmunodeficiencias o enfermedades autoinmunitarias). Actualmente el hongo se encuentra ganando espacio en las dietas alimenticias e incluso reemplazando las carnes. (Rodríguez, y Jaramillo, 2005). Los hongos Pleurotus son mucho más fáciles de producir con un bajo costo; esto se debe a su gran capacidad de adaptarse y su productividad sobre sustratos lignocelulósicos por ejemplo los rastrojos, paja de gramíneas, bagazos, entre otros. (Pérez, Martínez, 2013).

Por ello, el primer objetivo de esta investigación es fundamentar teórica y metodológicamente el aprovechamiento de los residuos agroindustriales como materia prima para el cultivo de Pleurotus ostreatus constituye una alternativa tecnológica para solucionar el problema de gestión de los mismos, y el segundo evidenciar las posibles aplicaciones del sustrato residual degradado que reemplace el uso de productos requeridos para la actividad agroindustrial como son abono, funguicidas, entre otros y el establecimiento de una economía circular en el área rural.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación fue de campo, de

diseño experimental/transversal múltiple, se desarrolló en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El cultivo del hongo Pleurotus ostreatus

“La cepa de Pleurotus ostreatus utilizada en este estudio fue proporcionada por el Centro de Biotecnología Industrial de la Universidad de Oriente de la República de Cuba.”(Ramos Sevilla 2017) La semilla se preparó en granos de trigo. Los sustratos lignocelulósicos, utilizados fueron la paja de trigo, vaina de arveja y bagazo de maíz cuyos nombres científicos son: Triticum sativum, Pisum sativum L y Zea mays respectivamente, los cuales se inocularon con el micelio del hongo en una relación del 8 al 10 % con respecto al peso húmedo del sustrato, se colocó aproximadamente 1000 g del sustrato inoculado, en fundas plásticas transparentes, se realizaron “pequeñas perforaciones en los extremos con la finalidad de eliminar cualquier exceso de agua que pueda existir” (Ramos Sevilla 2017). Las bolsas se colocan en los armarios de incubación en obscuridad a una temperatura de 24-28 oC y humedad relativa del 75-90%. “Cuando el micelio colonizo todo el sustrato, se exponen a la luz con una intensidad de 800 unidades lux por un periodo de 6 a 12 horas diarias, una vez que aparecen los primordios se retira la funda plástica.”(Ramos Sevilla 2017) Para que los cuerpos fructíferos crezcan de la manera más adecuada, es necesario mantener dentro de la sala, una humedad relativa uniforme. “La recolección de los carpóforos o cuerpos fructíferos se lo ejecuto de forma manual, retirando el ramillete desde el pie o estípote de la seta” (Ramos Sevilla 2017).

Al finalizar el proceso de cultivo de los hongos este genera un sustrato degradado

conocido como residuo remanente, el cual por este proceso de transformación tiene propiedades para ser utilizado en otras alternativas de aprovechamiento generando beneficios económicos y ambientales.

Variables de respuestas.

“Las variables de estudio determinadas fueron: tasa de producción peso fresco de los hongos cosechados, la eficiencia biológica, definida como la relación entre gramos de peso fresco del hongo y gramos de peso seco del sustrato por 100” (Martínez-Carrera, Larqué, Aliphat, Aguilar,2000), y “la biodegradación que mide el porcentaje de la pérdida de peso del sustrato en base seca” (Ramos Sevilla 2017). Estas variables tienen en cuenta los pesos de los hongos frescos cosechados y el peso de los sustratos húmedo y seco en donde se sembraron (Rogalinski, Ingram, Brunner, 2008).

2.7. Análisis estadístico. A los resultados obtenidos se les aplicó un análisis de varianza (ANOVA), con el programa Infostat y para las variables que presentaron diferencias estadísticamente significativas se realizó las comparaciones múltiples con el procedimiento de Tukey a un nivel $p = 0.05$, para determinar las diferencias entre los tratamientos.

3. RESULTADOS

Desarrollo del Pleurotus ostreatus En la tabla 1 se reportó los valores promedios de los índices de producción, eficiencia biológica y de biodegradación de la seta Pleurotus ostreatus obtenidos en las ocho repeticiones y tres replicas.

Tratamiento	Producción (g)	Eficiencia biológica (%)	Biodegradación (%)
Vaina de arveja	317,26	90.35	74
Paja de trigo	221,98	70.80	68
Bagazo de maíz	147,59	58.05	64

Tabla N.0 1.-Valores promedios de los índices de producción de la seta *Pleurotus ostreatus*
Elaborado por: Los autores

El sustrato que presentó mayor producción en gramos por unidad experimental, y un porcentaje de eficiencia biológica fue la vaina de arveja.

4. DISCUSIÓN

Análisis del peso fresco del *Pleurotus ostreatus* de los sustratos evaluados.

En la tabla 1 “se evidencia que el valor más alto de peso fresco corresponde a la vaina de arveja con un promedio de 317.26 g, en tanto que la paja de trigo presentó 221.98 g y el bagazo de maíz 147.59 g” (Ramos Sevilla 2017), valores que se encuentran cercanos a los reportados en investigaciones realizadas por Martínez et al. (Salmones, GaitánHernández, Pérez, Guzmán, 1997). Fig. 1

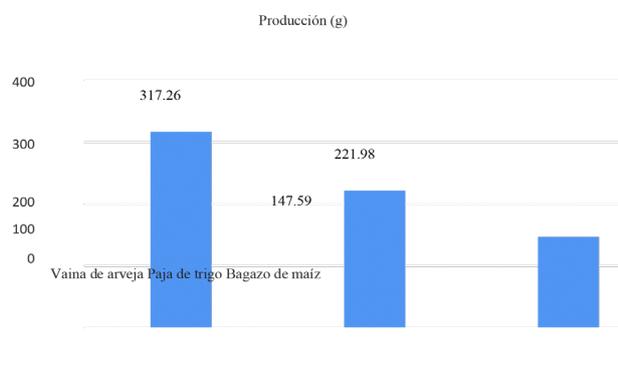


Fig. 1. Producción de *Pleurotus ostreatus* en peso fresco.
Elaborado por: Los autores

Análisis de la eficiencia biológica del *Pleurotus ostreatus* en los sustratos evaluados.

De la tabla 1 se establece que, el tratamiento de la vaina de arveja obtuvo la eficiencia biológica más alta con el 90.35 %, seguido por “la paja de trigo con el 70.8 % y en tercer lugar el bagazo de maíz con el 58.05 %” (Ramos Sevilla 2017), valores que comparados con otras investigaciones como la de Mora y Martínez-Carrera (Martínez-Carrera et al. 2000), indican una eficiencia biológica en un rango de 39 a 162% con la utilización de sustrato de paja de trigo con cepas comerciales de *Pleurotus* ssp. Similarmente, Salmones et al, (Salmones et al. 1997) reportaron eficiencia biológica de 75.6 a 168% en sustrato de paja de cebada y (Soto-Velazco, Guzmán- Dávalos, Rodríguez, 1989) de 96.4 % en bagazo de maguey con paja de trigo. Fig. 2

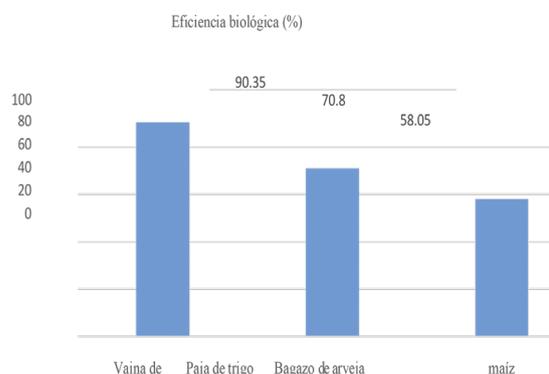


Fig. 2. Eficiencias biológicas en los sustratos evaluados del *Pleurotus ostreatus*.
Elaborado por: Los autores

Grado de descomposición de las materias primas por el hongo.

De los datos obtenidos se concluye que la biodegradación de los sustratos mediada por el hongo, está en relación a la presencia y asimilación de los nutrientes, así el bagazo de maíz tiene una tasa de

biodegradación del 26 %, la paja del trigo del 32% y la vaina de arveja del 36%, valores que se encuentran en concordancia con los reportados por Espinosa (Espinosa, 2000).

Campo de acción de la economía circular en la producción de hongos comestibles.

En el proceso de cultivo de las setas *Pleurotus ostreatus* al final del mismo se genera un sustrato remanente que tiene diferentes denominaciones. A partir del análisis bromatológico se evidencia que la concentración de proteína se incrementa antes de ser sometido a la transformación biológica, este incremento puede ser a que los biopolímeros han sido degradados en sus monómeros por la acción del sistema multienzimático del hongo y también por la presencia del micelio que colonizo al sustrato y no fructifico.

Este subproducto se convierte en sustrato para otros cultivos o materia prima de otros proyectos como la producción de energía (Zhu, Sun, Zhang, Zhang, Qiao, 2012), en procesos de combustión, pirólisis y gasificación (Finney, Ryu, Sharifi, Swithenbank, 2009), también se ha explorado como fuente de azúcares para la producción de bioetanol, (Zhu et al. 2012), en la agricultura es utilizado como abono en reemplazo de los fertilizantes inorgánicos (Uzun, 2014), para producir biofertilizantes (Zhu et al. 2012), como complemento para alimentar directamente a los peces, aves, cerdos y vacas (Kim, Lee, Park, Kang, Choi, 2011), Se pueden usar también como material de embalaje (Holt et al. 2012) o en la construcción (Xing Brewer, El- Gharabawy, Griffith, Jones, 2018), para procesos de biorremediación (Martirani, L., P. Giardina, L. Marzullo and G. Sannia, 1996) entre otros.

5. CONCLUSIONES

- Los residuos generados en la actividad agrícola constituyen un sustrato adecuado para la producción de hongos comestibles, considerando que los parámetros de productividad se encuentran dentro de los establecidos para este proceso industrial. La vaina de arveja presenta una mayor eficiencia biológica y una mayor biodegradación con respecto a los otros dos sustratos empleados en el estudio. La utilización de los residuos lignocelulósicos aprovechando sus propiedades para el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* se convierte en una herramienta para combatir la contaminación ambiental y generar beneficios sociales, económicos y ambientales. El residuo generado al final del proceso de obtención del *Pleurotus ostreatus* constituye una materia prima para ser utilizada en muchos otros procesos. Por último a través de la producción de hongos comestibles permite la representación de la tecnología de Residuo Cero, gracias a la utilización al máximo de todo excedente se convierte en una premisa de la Economía Circular.

6. REFERENCIAS

1. Boulding KE (1966) La economía de la próxima nave espacial tierra. En: Jarrett H (ed) Calidad ambiental en una economía en crecimiento. Recursos para el futuro. Johns Hopkins University Press, Baltimore, páginas 3 y 14.
2. Espinosa, V.R.M. (2002). Estudio comparativo del desarrollo de *Pleurotus ostreatus* utilizado como sustratos pañales desechables y paja. UNAM. México.

3. Feng W, Zhang L, He L, Pang Z, Guo S (2011) Una investigación de modo de reciclaje de paja basada en la teoría de la agricultura circular. *Agric Sci Technol - Hunan* 12: 1921 – 1924
4. Finney KN, Ryu C, Sharifi VN, Swithenbank J (2009) La reutilización del compost de champiñones gastado y los relaves de carbón para la recuperación de energía: comparación de tecnologías de tratamiento térmico. *Bioresour Technol* 100: 310 – 315.
5. Holt GA, McIntyre G, Flagg D, Bayer E, Wanjura JD, Pelletier MG (2012) Micelio fúngico y materiales vegetales de algodón en la fabricación de material de embalaje moldeado biodegradable: estudio de evaluación de mezclas selectas de subproductos de algodón. *J Biobased Mater Bio* 6: 431 – 439.
6. Kim M, Lee H, Park J, Kang S, Choi Y (2011) Reciclaje de sustrato fermentado de hongo ostra a base de aserrín fermentado como un suplemento alimenticio para terneros postinteados. *Asian Australas J Anim Sci* 24: 493 – 499.
7. Mandeel, Q.A., A.A. Al-Laith y S.A. Mohamed; (2005). Cultivation of oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) on various lignocellulosic wastes. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*: 21, 601:607.
8. Martínez-Carrera, D.A., Larqué, M., Aliphat, A., Aguilar, M. (2000). La biotecnología de hongos comestibles en la seguridad y soberanía alimentaria de México. II Foro Nacional sobre Seguridad y Soberanía Alimentaria. Academia Mexicana de Ciencias-CONACYT, México, D. F. 193-207 pp
9. Martirani, L., P. Giardina, L. Marzullo and G. Sannia. 1996. Reduction of phenol content and toxicity in olive oil mill waste waters with the ligninolytic fungus *Pleurotus ostreatus*. *Water Research* 30(8):1914-1918
10. Pérez, M., Martínez, M. (2013). Manejo alternativo de residuos de jardinería. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. En Línea.
11. Ramos Sevilla, Edgar Iván. 2017. "Minimización de Residuos Lignocelulosicos En La Elaboración de Sustrato Para El Cultivo de Setas *Pleurotus Ostreatus* En Alausí, Provincia de Chimborazo. Ecuador." Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
12. Restrepo A, Rodríguez E y Manjarrés K. (2011). Cortezas de naranja comestibles: una aproximación al desarrollo de productos con valor agregado a partir de residuos agroindustriales. *Producción + limpia*, 6(2):47-57.).
13. Rodríguez, N. y Jaramillo, C. (2005). Cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* sobre residuos agrícolas de la zona cafetera. Chinchiná (Caldas): Cenicafé, p. 5-52).
14. Rogalinski, T., Ingram, T., Brunner, G. (2008). Hydrolysis of lignocellulosic biomass in water under elevated temperatures and pressures. *The Journal of Supercritical Fluids*, 47(1), 5463.
15. Royse DJ, Baars J, Tan Q (2017) Resumen actual de la producción de hongos en el mundo. En: Zied DC, Pardo-Gimenez A (eds)
16. Hongos comestibles y medicinales: tecnología y aplicaciones. John Wiley & Sons Ltd, Hoboken, pp 5 – 13

17. Salmones D., Gaitán-Hernández R., Pérez R., Guzmán, G. (1997). Estudios sobre el género *Pleurotus* VIII.
18. Interacción entre crecimiento micelial y productividad. *Revista Iberoamericana de Micología* 14:173-176.
19. Soto-Velazco, C., Guzmán-Dávalos, L., Rodríguez, O. (1989). Cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* sobre bagazo de maguey tequilero fermentado y mezclado con paja de trigo. *Revista Mexicana de Micología* 5:97-101. et al
20. Uzun I (2004) Uso de compost de hongos usados en la producción sostenible de frutas. *J Fruit Ornam Plant Res* 12: 157 – 165.
21. Xing Y, Brewer M, El-Gharabawy H, Griffith G, Jones P (2018) Cultivando y probando ladrillos de micelio como materiales de aislamiento para la construcción. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci* 121: 022032
22. Zhu HJ, Sun LF, Zhang YF, Zhang XL, Qiao JJ (2012) Conversión del sustrato de champiñón gastado en biofertilizante utilizando un *Pichia farinose* FL7 de solubilización de fosfato tolerante al estrés. *Bioresour Technol* 111: 410 – 416.