

PRODUCCIÓN DE PROTEÍNA FÚNGICA A PARTIR DE BIOMASA DE CÁÑAMO (*Cannabis sativa* L.): UNA REVISIÓN

PRODUCTION OF FUNGAL PROTEIN FROM HEMP BIOMASS (*Cannabis sativa* L.): A REVIEW

Christian Andrés Aguilar-Cadena¹, Julio Pineda-Insuasti², Camilo Alejandro Pineda-Soto³, Pedro Miguel Barba Estrella¹

¹ Universidad Técnica del Norte (UTN). Ibarra, Ecuador

² Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente (CEBA). Ibarra, Ecuador

³ BIOECOLÓGICOS. Ibarra, Ecuador. www.bioecologicos.com

Autor para correspondencia: ackrinpd91@gmail.com

Recibido: 05/09/2023

Aceptado: 05/10/2023

RESUMEN

El cáñamo es una planta usada en la agroindustria como materia prima de textiles, papel, suplementos nutricionales, combustible, fármacos o la extracción de aceites esenciales por la bioactividad de sus metabolitos secundarios. La refinería del cáñamo produce toneladas anuales de material lignocelulósico que es desechado a pesar de tener un contenido nutricional significativo. La biomasa residual del cáñamo medicinal, según la técnica de extracción puede tener 20,8% de proteína, 52,7% de carbohidratos y 21,2% de cenizas que pueden ser aprovechadas por hongos superiores para su enriquecimiento o la bioconversión a biomasa fúngica con niveles más altos de proteína y un mejor rendimiento. Mediante la presente revisión sistemática se proporciona información acerca de la biomasa residual del cáñamo, aplicaciones, caracterización y la establece como un sustrato adecuado para la producción de biomasa fúngica.

PALABRAS CLAVE: bioconversión, fermentación en estado sólido, setas comestibles, lignocelulosa, Pleurotus.

ABSTRACT

Hemp is a plant used in agroindustry as a raw material for textiles, paper, nutritional supplements, fuel, drugs, or the extraction of essential oils due to the bioactivity of its secondary metabolites. The hemp refinery produces annual tons of lignocellulosic material that is discarded despite having significant nutritional content. The residual biomass of medicinal hemp, depending on the extraction technique, can have 20.8% protein, 52.7% carbohydrates and 21.2% ash that can be used by higher fungi for enrichment or bioconversion of fungal biomass with higher protein levels and better efficiency. Through the present systematic review, information is provided about the residual hemp biomass, applications, characterization and establishes it as a suitable substrate to produce fungal biomass.

KEYWORDS: Bioconversion, solid state fermentation, edible mushrooms, lignocellulose, Pleurotus.

INTRODUCCIÓN

Existen cerca de 600 variedades conocidas de Cannabis con propiedades inexploradas y un alto potencial para la investigación y desarrollo

(I+D) (Aliferis & Bernard-Perron, 2020), de las 13 especies reconocidas por el jardín botánico de Missouri, las más estudiadas son *C. sativa* y *C. indica* (Ángeles et al., 2014).

C. sativa L. es la especie conocida como cáñamo o mariguana y se diferencian por el contenido del THC (tetrahidrocannabinol), el cáñamo posee un contenido menor a 0,3% de THC en sus flores secas (Schilling et al., 2019). La baja concentración del metabolito ha permitido usar 75 variedades de cáñamo en la industria conforme a las disposiciones de la Política Agrícola Común (PAC) (Comisión Europea, 2022). De los 600 metabolitos identificados, el 20% son cannabinoides y 7 son compuestos CBD, en donde recae su importancia farmacológica (Aliferis & Bernard-Perron, 2020; Ángeles et al., 2014).

La extracción de compuestos genera "biomasa de cáñamo gastada" (Herrera, 2023). La biomasa residual presenta un alto potencial en tecnologías de valorización biológica y química como obtención de fibra, hongos comestibles o metabolitos (Vargas & Pérez, 2018). Sólo en el Ecuador se estima que se producen 2200 millones de kilogramos de biomasa lignocelulósica y almidonada como residuo (Riera et al., 2018); es así como el cáñamo, por ser una planta herbácea anual de hasta 4 m de alto genera hasta 4550 Kg/ha de residuos lignocelulósicos anuales en el proceso de extracción de compuestos medicinales (Ángeles et al., 2014; Porras & Percivale, 2022).

La fungicultura es una práctica que aprovecha los residuos agrícolas a partir de sustratos de difícil degradación y producir hasta un 38% de proteína dependiendo del sustrato usado (Cruz, 2020; Mancera et al., 2023). Es así como en china se ha logrado aliviar la pobreza y desnutrición por el valor nutricional y el bajo costo de producción de los hongos comestibles (Li & Xu, 2022).

Bajo este contexto, el objetivo del estudio es establecer el estado del arte de la tecnología de producción de biomasa fúngica a partir de

los residuos lignocelulósicos de cáñamo como una estrategia de economía circular.

METODOLOGÍA

Protocolo de revisión

Se utilizó el protocolo de revisión: Report Standards for Systematic Evidence Synthesis (ROSES). Se eligió ROSES como protocolo de revisión en vez de elegir QUORUM o PRISMA debido a que está diseñado explícitamente para la investigación medio ambiental (Haddaway et al., 2018).

Pregunta de investigación

La revisión tiene el objetivo buscar información relacionada con la producción de biomasa fúngica usando sustratos lignocelulósicos de cáñamo industrial en las bases de datos y así identificar lagunas en los estudios. Por ende, la pregunta es: "¿Es posible producir biomasa fúngica a partir de la biomasa residual de cáñamo?"

Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda es un componente crítico al momento de elegir la información. Siguiendo las directrices de búsqueda establecidos en el protocolo ROSES, se abordaron aspectos clave como la búsqueda en bases de datos como: Scopus, ResearchGate, Scielo y revistas indexadas; se hizo uso de palabras clave en inglés; operadores booleanos como OR, AND, NOT y comillas ("") para ampliar o reducir los resultados de búsqueda.

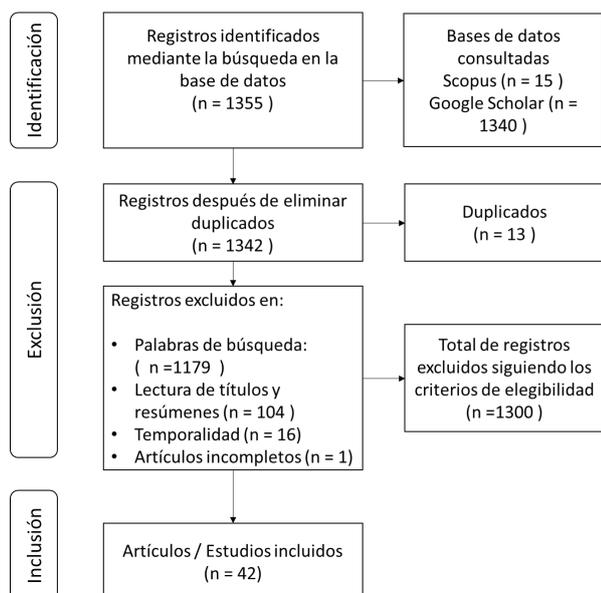


Figura 1. Diagrama sistemático del protocolo de revisión.

RESULTADOS

Descripción del cáñamo

Se denomina Cannabis al género botánico de plantas de la familia Cannabaceae, misma que también abarca a plantas como el lúpulo (Ortiz & López, 2023). Es originaria de Asia central, crece bien entre los 13 y 20 °C y puede adaptarse a casi todo tipo de suelo (Rehman et al., 2021). Carl Linnaeus la clasifica en 1753 como una planta herbácea anual de hasta 4 m con un tallo erecto, recubierta de tricomas glandulares en sus inflorescencias y hojas para producir resina como defensa ante agresiones externas (Ángeles et al., 2014). *C. sativa* L. posee variedades netamente industriales a diferencia de otras especies y se clasifica en cáñamo o marihuana de acuerdo su uso industrial y tecnológico o recreativo (Rehman et al., 2021).

Composición química y nutricional

El cannabis posee una amplia gama de compuestos con propiedades únicas, a una magnitud tan alta que se denomina “cannabinómica” a la metabolómica aplicada al cannabis (Aliferis & Bernard-Perron, 2020). Sus semillas y brotes son ricos en polifenoles como el cafeoiltramina y cannabisina (Frassinetti et al., 2018); sin embargo, los

fitocannabinoides (Figura 2) y los terpenoides de sus tricomas son los principales compuestos bioactivos de interés (Ángeles et al., 2014). El THC y CBD son los compuestos más estudiados por su efecto psicoactivo, por ello cargan con una fuerte regulación por parte de la FDA o la Unión europea para su uso industrial (Rehman et al., 2021). El contenido de sus metabolitos es variable, puesto que mediante selección u mejoramiento genético se ha obtenido variedades de producción de fitocannabinoides no THC (Schilling et al., 2019).

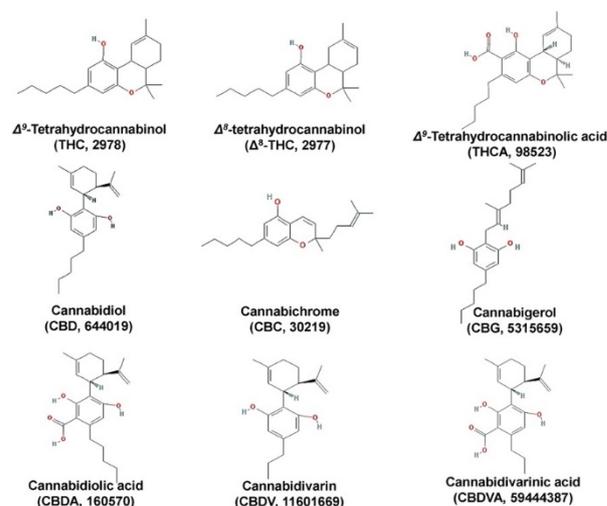


Figura 2. Fitocannabinoides del cannabis. Obtenido de (Aliferis & Bernard-Perron, 2020).

También posee un gran contenido de biomasa lignocelulósica, según Andre et al. (2016), el cáñamo provee más cantidad de biomasa en función del tiempo que los árboles; posee 2 tipos de fibras: Fibras leñosas o “hurd” que se caracterizan por una alta resistencia y capacidad de retención de agua, y fibras de líber de textura gelatinosa, de gran resistencia y con propiedades antibacterianas por tener β-sitosterol y β-amirina.

Sus semillas son conocidas por ser ricas en proteína. El contenido proteico de sus semillas es de un 27% MS (materia seca) y de su aceite un 36% MS (Tran, 2019), se estima que la edestina, una proteína globular de fácil digestión compone el 65% del total de proteína (Sorrentino, 2021); la fracción de proteína cruda puede compararse a de la harina de soya (Wang et al., 2022). También

posee ácidos grasos insaturados y poliinsaturados como omega 3 y 6 (Sorrentino, 2021), el 87% corresponde a ácidos grasos insaturados como el ácido linoleico (53-60%) y linolénico (19%) (Tran, 2019).

Aplicaciones del cáñamo

El cáñamo posee una aplicabilidad muy alta por el aprovechamiento toda la planta (Rehman et al., 2021). Las fibras de Hurd pueden crear un material similar al hormigón por su alto contenido de lignina o para producir emplastos en una mezcla con cal denominados “canapulo” (Andre et al., 2016; Sorrentino, 2021). Las fibras de líber son las poseen propiedades similares al lino y son materia prima de textiles, materiales de construcción y aislamiento termoacústico (Picco et al., 2023; Rehman et al., 2021). En la cadena agroalimentaria, las de semillas de cáñamo sirven para la producción de harina y procesados a base de esta, también sirve como forraje de animales y componente del cebo para peces (Rehman et al., 2021; Sorrentino, 2021).

La obtención de extractos se lleva a cabo partiendo de los órganos que poseen tricomas glandulares, en particular de las inflorescencias femeninas (Schilling et al., 2019). Los cannabinoides interactúan con los receptores CB1 y/o CB2, el THC posee propiedades analgésicas similares a la andamida, capaz de frenar el Alzheimer y el CBD se caracteriza ser un analgésico,

antiinflamatorio y antidepresivo (León, 2017). Por otra parte, el cáñamo se usa para producir bioetanol, biogás, combustible sólido, biohidrógeno y biodiésel con un rendimiento de 800L/año, además de ser considerado de mejor calidad por su resistencia a la oxidación (Rehman et al., 2021).

Los residuos

El material biológico residual de la extracción por etanol frío o CO₂ supercrítico conformado por semillas, tallos, hojas y restos de pequeñas inflorescencias se denomina “biomasa de cáñamo gastada”. El 100% del residuo es desechado a pesar de que los métodos de extracción eliminan hasta el 90% de los cannabinoides sin perder sus cualidades nutritivas. Cada planta genera alrededor de 1,3 Kg de biomasa residual en base húmeda la cual no tiene un valor fijo comercial (Herrera, 2023; Porras & Percivale, 2022).

El 90% del peso seco de la biomasa de cáñamo son hojas y tallos que están compuestos de un 37,3% de celulosa, 19,8% de hemicelulosa y 12.35% de lignina (Xie et al., 2019), además, los residuos de los extractos de cáñamo industrial poseen un aproximado del 16% de proteína cruda (Aulestia, 2022; Eliopoulos et al., 2022) y en algunos casos ronda el 20% (Herrera, 2023; Setti et al., 2020), lo que la vuelve atractiva para una serie de bioprocesos involucrados en la producción de harina, recuperación de proteínas, enriquecimiento o el cultivo de hongos superiores (Setti et al., 2020).

Tabla 1.

Contenido nutricional de los diferentes tipos de la biomasa residual en materia seca de cáñamo (%p/p).

Biomasa	Proteína cruda	Carbohidratos	Fibra cruda	Cenizas	Extracto etéreo	Fuente
RECI	15,89		12,1	3,14		(Eliopoulos et al., 2022)
SC	20,63					(Setti et al., 2020)
BCG	20,01	34,66	10,19	20,78		(Herrera, 2023)
SEECIZ	20,8	52,7		21,2	5,25	(Wang et al., 2022)
SEECID	17,2	62,3		18,9	1,51	(Wang et al., 2022)

Biorrefinería			Vol. 6	No. 1	Año: 2023	ISSN: 2602-8530
TCI	9,12	79,7	8,48	2,73	(Wang et al., 2022)	
RFACI	44,2	21,4	12,8	21,6	(Wang et al., 2022)	

Nota. RECI: Residuos de extracción de cáñamo industrial, SC: Salvado de cáñamo, SEECIZ: Subproducto de extracción por etanol de cáñamo industrial de Zhaozhou, SEECID: Subproducto de extracción por etanol de cáñamo industrial de Daxing Anling, TCI: Tallo de cáñamo industrial, RFACI: Residuo de filtro de aceite de cáñamo industrial.

Producción de biomasa fúngica

Los hongos poseen enzimas que les permiten metabolizar nutrientes de difícil degradación (Mancera et al., 2023). El proceso de producción de biomasa fúngica involucra fermentación (Bakratsas et al., 2021), la Fermentación en Estado Sólido (FES) es ideal para la reducción de costos de producción, bajo consumo energético, simplificación de procesos, menor consumo de energía y un mejor aprovechamiento de biomasa residual en comparación con la Fermentación en Estado Líquido (FEL) (Pineda-Insuasti et al., 2014). El cultivo por FES es viable en residuos lignocelulósicos como mijo, sorgo, paja, rastrojos, bagazo de caña, pulpa de café, cáscara de cacao, mague, aserrín, viruta o cualquier material lignocelulósico por acción de las CAZimas (enzimas activas de carbohidratos), que representan el 50% de las enzimas hidrolíticas (Gaitán-Hernández et al., 2006; Shivute, 2020; Xie et al., 2019). Los parámetros de operación para el cultivo de hongos son: tamaño de partícula (TP), pH, humedad, temperatura, humedad relativa y luz (Pineda-Insuasti et al., 2014).

Conversión de la biomasa del Cannabis

La bioconversión por FES es un proceso que le da un valor agregado a los residuos agroindustriales con un porcentaje considerable de lignocelulosa para la producción enzimática y el enriquecimiento proteico (de Souza Araújo et al., 2020). El elevado potencial de bioconversión de los residuos de cáñamo industrial ha sido aprovechado en la refinería para aumentar el contenido nutricional de productos alimenticios sin alterar sus propiedades (Setti et al., 2020).

La eficiencia biológica (Ecuación 1) es la variable dependiente que se usa para medir rendimientos (De et al., 2023).

$$EB = \frac{MFH}{MSS} * 100 \quad (1)$$

Donde:

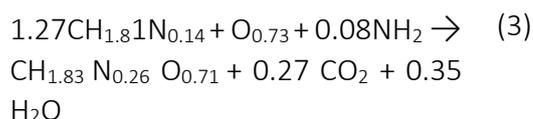
- EB: eficiencia biológica (%)
- MFH: Materia fresca del hongo (g)
- MSS: materia seca del sustrato (g)

La Ecuación 2 es una forma más sofisticada y exacta de calcular la EB y se basa en el cálculo de coeficientes estequiométricos de la Ecuación 3, ambas propuestas por (Pineda-Insuasti et al., 2014).

$$EB = \frac{MM_{XV} (1-A_{FF})}{MM_{FF} (1-A_{XV})} 1 \times 10^3 \quad (2)$$

Donde:

- EB: eficiencia biológica (g MSH/kg MSS)
- MSH: materia seca del hongo
- MSS: materia seca del sustrato
- MM_{XV}: masa molecular de la biomasa libre de cenizas (g/mol)
- A_{FF}: ceniza del residuo del sustrato fresco (g/mol)
- MM_{FF}: masa molecular del residuo de sustrato fresco libre de cenizas (g/mol)
- A_{XV}: ceniza de la biomasa (g/mol)



La Ecuación 3 permite calcular parámetros de suma importancia de la modelación industrial, como calor metabólico, consumo específico de aire o coeficiente de respiración (Pineda-Insuasti et al., 2014). Los datos de los

coeficientes estequiométricos fueron obtenidos en la experimentación usando biomasa residual de frejol y amonio (NH_2) como suplemento y varían de acuerdo con el sustrato usado y suplementación que se desee usar.

Las ecuaciones 4 y 5 corresponden a la Velocidad del Funcionamiento del Micelio (MRR) y a la cinética de crecimiento de la biomasa del cuerpo fructífero (De et al., 2023; Pineda-Insuasti et al., 2013)

$$\text{MRR} = \frac{L}{N} \quad (4)$$

Donde:

L: longitud del micelio (cm)

N: tiempo de crecimiento (días)

$$rX_v = \mu_{\max} \left(1 - \frac{X_v}{X_{\max}}\right) \quad (5)$$

Donde:

rX_v : velocidad de síntesis de biomasa del cuerpo fructífero (g BS/d*kg MS)

d: tiempo de crecimiento (días)

μ_{\max} : velocidad específica de crecimiento (1/d)

X_v : Concentración de biomasa del cuerpo fructífero (g BS/Kg MS)

X_{\max} : concentración máxima de biomasa del cuerpo fructífero (g BS/Kg MS)

El modelo logístico (ecuación 5) explica cinética de crecimiento típica de la fermentación de *P. ostreatus* CEBA gliie-010606 con un sustrato insoluble sin verse afectado su crecimiento entre los 10 a 25 °C. (Pineda-Insuasti et al., 2013).

Enriquecimiento nutricional de residuos por FES

Someter los residuos a FES con *P. ostreatus* permite obtener un valor nutricional más alto, así como la sacarificación, recuperación y producción de enzimas (Setti et al., 2020; Xie et al., 2017). La FES en residuos de cáñamo ha registrado una presencia más alta de CAZimas

lignocelulósicas; la lacasa es la enzima predominante y se ve influenciada por el sustrato (Siwulski et al., 2010). La lacasa, xilanasa, pectinasa y amilasa son enzimas cuya actividad significativa se registra a los 9 días (Setti et al., 2020), mientras las peroxidasas a los 12 días (Kuz'mina et al., 2001). Además, la fermentación al cabo de 11 días aumenta el contenido nutricional del sustrato en un 53,05% de proteína cruda y un 32,51% de β -glucano (Eliopoulos et al., 2022).

Producción de cuerpos fructíferos en cáñamo

Los hongos ostra (*Pleurotus* spp.) son fáciles de cultivar y se consideran una buena opción para el cultivo a pequeña escala (Shivute, 2020); el cáñamo es ideal por sus fibras leñosas de Hurd de alto contenido lignocelulósico (Reiss II, 2022); además de sus propiedades antisépticas y repelentes, su estabilidad, propiedades de amortiguación térmica y una buena transición de fluidos (MANKOWSKI et al., 2011). El cáñamo residual sin suplementar es de alta utilidad para la producción de cuerpos fructíferos (Siwulski et al., 2010), no obstante, los hongos tienen una alta sensibilidad al sustrato ante proteínas u las hormonas (Dehshibi et al., 2021), por lo que la suplementación con otros tipos de sustrato permite obtener valores más favorables. El cáñamo sin suplementar registra una EB de 65,7% mientras que los residuos de cáñamo sumado a la suplementación con cáscara de soja en una proporción 60:40 registran un 84,22% (Reiss II, 2022).

Proceso de producción

De acuerdo con Gaitán-Hernández et al., (2006) del Instituto de Ecología, A.C. (INECOL) y Chang & Wasser (2017), La producción de biomasa fúngica por FES se divide en 7 etapas: 1) Selección de una especie aceptable, verificando cualidades organolépticas aceptables para el público local e internacional, sustratos adecuados, rendimiento y costos generales. 2) Asegurar un cuerpo fructífero de calidad creando un cultivo madre que cumpla con los parámetros de

rendimiento, textura o sabor. 3) La obtención de un inóculo viable a través de cepas de laboratorio o centros de investigación certificados, 4) La preparación de un sustrato inocuo. 5) La producción y cuidado del funcionamiento del micelio, adecuación del ambiente para los requerimientos de crecimiento, siembra, control de temperatura, humedad, riego. 6) Fructificación y Recolección, también llamados descargas. 7) Manejo postcosecha a través de una cadena de frío que mantenga al hongo fresco para su distribución.

El proceso de producción del cultivo de hongos superiores aprovechando las propiedades de la biomasa de cáñamo ya ha sido patentado haciendo uso de viruta, astillas y núcleo del tallo de la planta de cáñamo (Guo et al., 2017; MANKOWSKI et al., 2011; Sun et al., 2020).

Los subproductos de cáñamo industrial (cáscaras de semillas, restos de tallos) son las principales materias primas y se registra un aumento del 1 al 38% del rendimiento, así como el contenido nutricional en proteína cruda, ácidos grasos insaturados, azúcar total, fibra cruda y vitamina C en los hongos shiitake con una mezcla patentada de 25 a 38 partes de astillas de tallo de cáñamo, 35 a 53 partes de astillas de madera, 16 a 20 partes de salvado de trigo, 0,8 a 1,2 partes de yeso, 0,8 a 1,2 partes de sacarosa. También de 3 a 8 cáscaras de semillas de cáñamo industrial (Guo et al., 2017).

La adición de agramizas de cáñamo en cantidades del 20 al 30% en mezcla con paja de trigo mejora el crecimiento micelar (Dawidowicz et al., 2018), La invención de MANKOWSKI et al. (2011) plantea usar una proporción del 100-20 % de agramiza de cáñamo en combinación con paja de trigo permite mejorar el rendimiento de producción, por ejemplo, el usar una proporción 7:3 de paja de trigo y agramiza de cáñamo permite obtener 700Kg de cuerpos fructíferos por tonelada de sustrato, 200Kg más que usando un 100% de paja. Ambos

mantienen una temperatura de 25°C y se destaca como un parámetro clave.

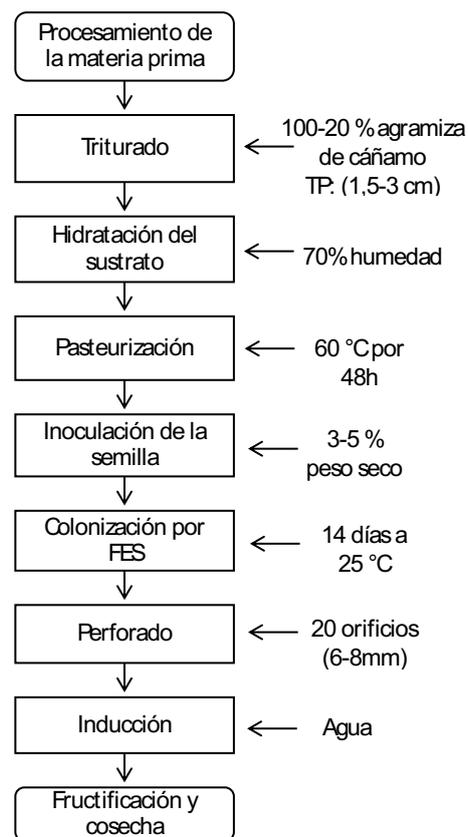


Figura 3. Diagrama de proceso para la producción de hongos superiores. Basado en la invención de (MANKOWSKI et al., 2011).

CONCLUSIONES

De acuerdo con la investigación realizada, este artículo define a los residuos lignocelulósicos resultantes del cáñamo industrial como un sustrato adecuado para el crecimiento fúngico y un mejor rendimiento, que influye directamente en la velocidad de crecimiento micelar y eficiencia biológica de los hongos superiores al aumentar el contenido proteico y estimular la producción enzimática. Los estudios experimentales resaltan los parámetros de humedad, tamaño de partícula, luz y en específico de la temperatura para un óptimo desarrollo; también una mayor producción de enzimas, en particular las enzimas activas de carbohidratos (CAZimas) como lacasas que son responsables de hasta un 50% de la degradación de la lignocelulosa. Bajo este contexto, se establece que la

biomasa residual del cáñamo industrial es un sustrato ideal para para mejorar la productividad de proteína en biomasa fúngica.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a las autoridades de la Universidad Técnica del Norte y al equipo técnico y científico Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente (CEBA) por el apoyo en la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliferis, K. A., & Bernard-Perron, D. (2020). Cannabinomics: Application of Metabolomics in Cannabis (*Cannabis sativa* L.) Research and Development. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 11). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00554>
- Andre, C. M., Hausman, J. F., & Guerriero, G. (2016). Cannabis sativa: The plant of the thousand and one molecules. *Frontiers in Plant Science*, 7(FEB2016). <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00019>
- Ángeles, G. E., Brindis, F., Cristians Niizawa, S., & Ventura Martinez, R. (2014). Cannabis sativa L., una planta singular. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 45(4), 1–6. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-01952014000400004&lng=es&tlng=es.
- Aulestia, C. D. C. (2022). *Caracterización nutricional, funcional y perfil de cannabinoides de la planta del cáñamo (Cannabis sativa L.), cultivar Cherry Oregon Hemp*. [Trabajo de titulación, UCE [Universidad Central del Ecuador]]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/26949>
- Bakratsas, G., Polydera, A., Katapodis, P., & Stamatis, H. (2021). Recent trends in submerged cultivation of mushrooms and their application as a source of nutraceuticals and food additives. *Future Foods*, 4, 100086. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100086>
- Chang, S. T., & Wasser, S. P. (2017). The cultivation and environmental impact of mushrooms. In *Oxford research encyclopedia of environmental science*.
- Comisión Europea. (2022, November 18). *Cáñamo*. Agriculture and Rural Development. https://agriculture.ec.europa.eu/farming/crop-productions-and-plant-based-products/hemp_es#usesofhemp
- Cruz, D. (2020). Producción y valor proteico de *Pleurotus ostreatus* en la región sur de Ecuador: Valor proteico de *Pleurotus ostreatus*. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 12(2), 7.
- Dawidowicz, L., Jasinska, A., & Siwulski, M. (2018). The effect of selected cultivation factors on the growth of mycelium of *Pleurotus cystidiosus* miller. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(1), 156–160. <https://doi.org/10.15835/nbha46110959>
- De, A., Mridha, D., Roychowdhury, T., Bandyopadhyay, B., & Panja, A. S. (2023). Substrate level optimization for better yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) production, using different ratio of rice straw and sugarcane bagasse. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 39(10), 270. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03714-0>
- de Souza Araújo, P., Pereira da Silva, P. G., de Souza Araújo, S., Ribeiro Leite, R. S., Aparecida de Andrade Silva, C., & Fonseca, G. G. (2020). Changes in biochemical composition of cassava and beet residues during solid state bioprocess with *Pleurotus ostreatus*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 26, 101641. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101641>
- Dehshibi, M. M., Chiolerio, A., Nikolaidou, A., Mayne, R., Gandia, A., Ashtari-Majlan, M., & Adamatzky, A. (2021). Stimulating fungi *pleurotus ostreatus* with hydrocortisone. *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 7(8), 3718–3726. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.1c00752>
- Eliopoulos, C., Markou, G., Chorianopoulos, N., Haroutounian, S. A., & Arapoglou, D. (2022). Preliminary Research Concerning the Enrichment of Industrial Hemp Extract Residues via Solid

- State Fermentation with *Pleurotus ostreatus*. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/app12052376>
- Frassinetti, S., Moccia, E., Caltavuturo, L., Gabriele, M., Longo, V., Bellani, L., Giorgi, G., & Giorgetti, L. (2018). Nutraceutical potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds and sprouts. *Food Chemistry*, 262, 56–66. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.078>
- Gaitán-Hernández, R., Salmones, D., Pérez, M. R., & Mata, G. (2006). *Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción* (1era. ed., 2a. reimp). Instituto de Ecología, A.C. Manual Práctico del Cultivo de Setas - INECOL <http://www1.inecol.edu.mx> <http://www1.inecol.edu.mx> › CV_pdf › libros
- Guo, M., Yang, M., Guo, H., Xu, Y., Chen, X., Zhang, Q., Chen, Y., Guo, R., Zhang, G., Tan, H., & Ning, F. (2017). *Medio de cultivo shii-take elaborado con marihuana industrial* (Patent CN104311256B). <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/052366606/publication/CN104311256B?q=CN104311256B>
- Haddaway, N. R., Macura, B., Whaley, P., & Pullin, A. S. (2018). ROSES Reporting standards for Systematic Evidence Syntheses: pro forma, flow-diagram and descriptive summary of the plan and conduct of environmental systematic reviews and systematic maps. *Environmental Evidence*, 7(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0121-7>
- Herrera, R. J. J. (2023). *UTILIZACIÓN DEL RESIDUO DE LA BIOMASA DEL Cannabis sativa L. EN LA ELABORACIÓN DE HARINA* [Trabajo Experimental, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19145>
- Kuz'mina, L. A., Akhmedova, Z. R., & Davranov, K. D. (2001). The effect of nutrient medium composition on peroxidase biosynthesis by basidiomycete *Pleurotus ostreatus*, strain UZBI-I105. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 37(2), 192–194. <https://doi.org/10.1023/A:1002840101056>
- León, S. N. E. (2017). Aspectos químicos y farmacológicos de los componentes de *Cannabis sativa* “marihuana.” *UCV - SCIENTIA*, 9 núm. 1, 163. <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ucv-scientia/issue/view/181/7>
- Li, C., & Xu, S. (2022). Edible mushroom industry in China: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106(11), 3949–3955. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11985-0>
- Mancera, M. D. N., Fernández, G. M., Cortés, R. D., Chegwin, A. C., & Ávila, M. M. C. (2023). DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE UN SUSTRATO ENRIQUECIDO CON FLORES DE *Cannabis sativa* PARA EL CULTIVO DE *Pleurotus eryngii*. *1er Congreso Colombiano de Micología*, 328–329. <https://doi.org/https://doi.org/10.22490/25904779.6703>
- MANKOWSKI, J., KUBACKI, A., KOŁODZIEJ, J., & PUDELKO, K. (2011). *SUSTRATO PARA CULTIVO DE SETAS OSTRA, EL MÉTODO DE CULTIVO DE MICELIO DE SETAS OSTRA Y EL USO DE VIRUTA DE CÁÑAMO EN EL SUSTRATO PARA CULTIVO DE SETAS OSTRA* (Patent WO2011145961A1). <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/044627593/publication/WO2011145961A1?q=WO2011145961A1>
- Ortiz, L. E., & López, O. D. (2023). *Microencapsulación de mezcla de aceites de cáñamo, girasol y sacha inchi rico en CBD* [Proyecto de Investigación]. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- Picco, C. M., Suarez, N. E., & Regenhardt, S. A. (2023). Exploring the impact of substrate composition and process parameters on biomaterial derived from fungus mycelium (*Pleurotus ostreatus*) and agricultural wastes. *MRS Advances*. <https://doi.org/10.1557/s43580-023-00623-0>
- Pineda-Insuasti, J. A., Ramos-Sánchez, L. B., & Soto-Arroyave, C. P. (2013). Cinética del crecimiento de *Pleurotus ostreatus* en la etapa de producción del cuerpo fructífero. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 47(3), 56–61.

- Pineda-Insuasti, J. A., Soto-Arroyave, C. P., & Ramos-Sánchez, L. B. (2014). Stoichiometry equation to describe the growth of the *Pleurotus ostreatus* ceba-gliie-po-010606 strain. *Biotechnología Aplicada*, 31(1), 43–47.
- Porras, V., & Percivale, S. (2022). *Aprovechamiento del residuo agrícola del cultivo del cáñamo medicinal* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República (Uruguay).
- Rehman, M., Fahad, S., Du, G., Cheng, X., Yang, Y., Tang, K., Liu, L., Liu, F.-H., & Deng, G. (2021). Evaluation of hemp (*Cannabis sativa* L.) as an industrial crop: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(38), 52832–52843. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16264-5>
- Reiss II, M. W. (2022). *Pleurotus ostreatus* production on *Cannabis sativa*, L. (*Industrial Hemp*) Residues for Edible Mushrooms and Mycelium-based Composites [Master of Science In Architecture]. Virginia Polytechnic Institute and State University .
- Riera, M. A., Maldonado, S., & Palma, R. (2018). Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial*, Vol. 17, Nº. 3, 227–247.
- Schilling, S., Melzer, R., & McCabe, P. F. (2019). Current Biology *Cannabis sativa*. *Current Biology*, 30, R8–R9. <https://doi.org/10.1101/458083>
- Setti, L., Samaei, S. P., Maggiore, I., Nissen, L., Gianotti, A., & Babini, E. (2020). Comparing the Effectiveness of Three Different Biorefinery Processes at Recovering Bioactive Products from Hemp (*Cannabis sativa* L.) Byproduct. *Food and Bioprocess Technology*, 13(12), 2156–2171. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02550-6/TABLES/3>
- Shivute, F. N. (2020). Cultivation of edible mushrooms in Namibia: Prospects and challenges of small scale farmers. *African Journal of Agricultural Research*, 16(11), 1582–1586. <https://doi.org/https://doi.org/10.5897/AJAR2020.15062>
- Siwulski, M., Drzewiecka, K., Sobieralski, K., & Chong, Y. (2010). Comparison of growth and enzymatic activity of mycelium and yielding of *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm. on different substrates. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 9.
- Sorrentino, G. (2021). Introduction to emerging industrial applications of cannabis (*Cannabis sativa* L.). *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 32(2), 233–243. <https://doi.org/10.1007/s12210-021-00979-1>
- Sun, Y., Zhang, J., Zhang, P., Gao, Y., Ma, Y., Zhao, L., Wang, S., Wang, X., Guo, C., Han, C., Wang, Y., Nie, D., & Sun, K. (2020). *Medio de cultivo que contiene núcleos de tallos de cáñamo chino y proceso utilizado para el cultivo de hongos negros* (Patent CN107493974B). <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/060699663/publication/CN107493974B?q=CN107493974B>
- Tran, G. (2019). *Cáñamo (Cannabis sativa)*. Feedipedia, Un Programa Del INRAE, CIRAD, AFZ y FAO. <https://www.feedipedia.org/node/50>
- Vargas, C. Y. A., & Pérez, P. L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 1(1), 59–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Wang, Y., Gao, J., Cheng, C., Lv, J., Lambo, M. T., Zhang, G., Li, Y., & Zhang, Y. (2022). Nutritional Values of Industrial Hemp Byproducts for Dairy Cattle. *Animals*, 12(24). <https://doi.org/10.3390/ani12243488>
- Xie, C., Gong, W., Yang, Q., Zhu, Z., Yan, L., Hu, Z., & Peng, Y. (2017). White-rot fungi pretreatment combined with alkaline/oxidative pretreatment to improve enzymatic saccharification of industrial hemp. *Bioresource Technology*, 243, 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.077>
- Xie, C., Gong, W., Zhu, Z., Zhou, Y., Yan, L., Hu, Z., Ai, L., & Peng, Y. (2019). Mapping the Secretome and Its N-Linked Glycosylation of *Pleurotus eryngii* and *Pleurotus ostreatus* Grown on Hemp Stalks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(19), 5486–5495. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00061>