

Estado de la publicación: No informado por el autor que envía

Determinación de lignina insoluble resultante de la broza de caña, frente a cuatro sistemas de degradación

Heini Romero

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.7910>

Enviado en: 2024-01-19

Postado en: 2024-02-07 (versión 1)

(AAAA-MM-DD)

Determinación de lignina insoluble resultante de la broza de caña, frente a cuatro sistemas de degradación

Determination of insoluble lignin resulting from sugarcane brush against four degradation systems

Romero, Heini

*(Agro Industrial Paramonga S.A.A., Av. Ferrocarril 212 - Paramonga – Barranca, Lima, Perú

Email: hromero@agroparamonga.com)

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0496-0682>

RESUMEN

Los procesos agroindustriales relacionados con la caña de azúcar generan residuos agrícolas que, en su mayoría, no son tratados adecuadamente y a menudo son finalmente quemados. Esta gestión deficiente de los residuos conlleva problemas socioeconómicos y medioambientales, como la contaminación del aire, el suelo y el agua. La biomasa de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) está constituido principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo esta última un biopolímero complejo que representa desafíos para su degradación debido a su resistencia a tratamientos físicoquímicos y de manera natural en el ambiente, de forma que, la utilización de microorganismos y enzimas en el tratamiento biológico de materiales lignocelulósicos fomenta la sostenibilidad. Por lo tanto, el propósito de esta investigación consistió en identificar el método más eficiente para lograr la descomposición total de la lignina insoluble presente en la biomasa de caña de azúcar, utilizando cuatro enfoques metodológicos distintos a fin de lograr la integración a los suelos, cerrando el ciclo. Los métodos empleados en este estudio lograron la degradación completa de lignina insoluble, por lo cual, se recomienda la aplicación de discos de matriz sólida inoculados con *Pleurotus ostreatus* para la degradación de la lignina insoluble.

Palabras clave - *Pleurotus ostreatus*, broza, *Saccharum officinarum*, lignina.

ABSTRACT

Agroindustrial processes related to sugar cane generate agricultural waste that, for the most part, is not treated adequately and is often finally burned. This poor waste management leads to socio-economic and environmental problems, such as air, soil, and water pollution. The biomass of sugar cane (*Saccharum officinarum*) is mainly made up of cellulose, hemicellulose and lignin, the latter is a complex biopolymer which represents challenges for its degradation due to its resistance to chemical and physical treatments naturally in the environment. Therefore, the use of microorganisms and enzymes in the biological treatment of lignocellulosic materials promotes sustainability. Therefore, the purpose of this research was to identify the most efficient method to achieve the total decomposition of insoluble lignin present in sugarcane biomass, using four different methodological approaches to achieve integration into soils, closing the cycle. The methods used in this study achieved complete degradation of insoluble lignin, therefore, the application of solid matrix discs inoculated with *Pleurotus ostreatus* is recommended for the degradation of insoluble lignin.

Keywords - *Pleurotus ostreatus*, bagasse, *Saccharum officinarum*, lignin.

I. INTRODUCCIÓN

Los procesos agroindustriales de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) generan grandes residuos agrícolas dado que su cosecha se enfoca principalmente en los tallos de la planta (1). Debido a falta de tecnologías, estos residuos agroindustriales a menudo suelen ser incinerados. El manejo inadecuado de los residuos agrícolas presenta problemas significativos con impactos sociales y económicos negativos, además de contaminación del aire, suelo y agua (2,3).

Estos residuos producidos por la cosecha, conocidos como “biomasa de la caña de azúcar” están constituidos principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo esta última un polímero aromático natural complejo amorfo (biopolímero) compuesto de unidades heterogéneas de fenilpropano. La lignina es considerada una valiosa fuente de biomasa lignocelulósica para la sostenibilidad, pero su resistencia a tratamientos físicoquímicos y/o bioquímicos conlleva un desafío. La degradación de manera natural, de manera similar representa un desafío para su posterior uso en diferentes procesos como el compostaje. (4)

El uso extensivo de fertilizantes químicos causa problemas de acumulación de sales y desequilibrio en los suelos. (5) Por lo tanto, emplear microorganismos o sus enzimas en la degradación de materiales lignocelulósicos e incorporarlos a los suelos representa una práctica sostenible. (6)

El propósito de esta investigación consistió en lograr la descomposición de la lignina insoluble presente en la biomasa de caña de azúcar, utilizando cuatro enfoques metodológicos distintos.

II. BIOMASA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La biomasa de caña de azúcar son los residuos de la cosecha conformada por hojas verdes y secas, los cuales están formados estructuralmente por lignina, celulosa y hemicelulosa. (2) Estos, generalmente, no tienen aprovechamiento, por lo cual son quemados o desechados.

Estos residuos podrían transformarse en productos utilizables, sin embargo, la mayoría se convierte en fuente de problemas ambientales, debido a que son vertidos indiscriminadamente al medio ambiente sin tratamiento alguno, puesto que su degradación natural es muy lenta y casi imposible.

Los residuos ricos en lignina son difíciles de compostar. Su estructura química es compleja, al ser un polímero aromático que forma parte de las paredes celulares de los vegetales, por lo que su degradación microbiana es lenta. (Figura 1).

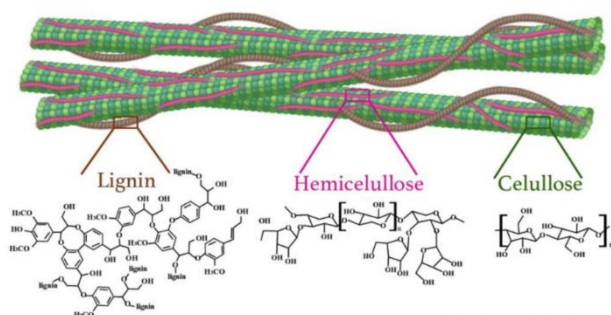


Figura 1. Polímeros de carbohidratos (celulosa y hemicelulosa); polímero aromático (lignina).
Fuente: Oliveira Arnoldi, Veiga Sepulchro, & Polikarpov, 2020.

La biomasa lignocelulósica se puede utilizar de manera eficiente para el desarrollo sostenible debido a su enorme abundancia. (7) En ese sentido, el enfoque de este estudio se centra en la lignina insoluble, ya que no es fácilmente biodegradable por los microorganismos de manera natural en el medio ambiente.

III. IMPACTO AMBIENTAL

La quema de residuos agrícolas, según el MINAM (Ministerio del Ambiente) en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), genera 9.06 giga-gramos de metano (CH₄), 0.22 giga-gramos de óxido nitroso (N₂O) y 257.33 giga-gramos de emisiones de GEI (CO₂) que causa un deterioro de la capa de ozono y contamina el aire, afectando la salud de los seres humanos.

Según el artículo 27 de la normativa peruana sobre la gestión de los residuos de las actividades agrícolas, se indica la prohibición de la quema de los residuos de cultivo o cosecha, por ende, es de importancia su tratamiento mediante metodologías amigables con el medio ambiente (Artículo 27 - cap. VII).

IV. IMPORTANCIA DE LA BIOTECNOLOGÍA EN LA AGRICULTURA

La biotecnología juega un papel importante en la transformación tecnológica de la materia orgánica resultante de los procesos agroindustriales, al dirigir sus investigaciones en el campo del aprovechamiento de los residuos, hacia la utilización de nuevas herramientas que prevengan, controlen y remedien la contaminación ambiental producida por los procedimientos convencionales (8,9). La aplicación de diferentes fuentes de residuos es una práctica ambiental importante para la restauración de suelos degradados. (10)

Los hongos y las bacterias son fundamentalmente los responsables de que se efectúen los procesos bioquímicos en la descomposición de los residuos orgánicos. Estos participan en las primeras etapas de descomposición y consumen principalmente azúcares y aminoácidos. Conforme progresa la descomposición, el proceso se ralentiza y los hongos septados especializados, tales como Ascomycetes, Basidiomycetes y Actinomycetes, participan en dichos procesos, debido a que tienen la capacidad de degradar la celulosa, la lignina y las proteínas más complejas.(6)

Por otro lado, las enzimas microbianas juegan un papel importante para la despolimerización de la lignina, para mejorar la utilización de la biomasa lignocelulósica. De esta manera, el compostaje puede mineralizar y estabilizar la materia orgánica, para obtener un fertilizante orgánico de alta calidad sin fitotoxicidad ni patógenos, resolviendo así los problemas de contaminación ambiental y evitar el desperdicio de estos recursos de biomasa agrícola. (5,11). Se han descubierto microorganismos con capacidad de descomponer la lignina en diversos entornos, que incluyen plantas, suelos, madera e incluso en el tracto intestinal. Se ha observado que ciertas cepas bacterianas, como *Bacillus*, *Rhodococcus*, *Streptomyces* y *Pseudomonas*, tienen la habilidad de descomponer la lignina. De manera que la aplicación de las bacterias en el proceso de degradación de la lignina, desempeñan un papel fundamental en dicho proceso. (12) Asimismo, el compost como acondicionador orgánico natural mejora a mediano y largo plazo las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, incrementa la porosidad, disminuye la densidad aparente, consolida la estructura y consistencia, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, capacidad buffer, la concentración de algunos nutrientes esenciales y la actividad biológica del suelo. (13,14).

El presente estudio utilizó cuatro metodologías distintas para la degradación de lignina insoluble: aplicación de discos de matriz sólida inoculados con *Pleurotus ostreatus*, aplicación de discos de matriz sólida inoculados con *Aspergillus*, aplicación de microorganismos lignocelulolíticos en pozas y pilas adicionado con cachaza y guano; a fin de mineralizar de la materia orgánica y su posterior uso como abono orgánico.

V. METODOLOGÍA sp.

V.1. DISCOS DE MATRIZ SÓLIDA INOCULADOS CON *PLEUROTUS OSTREATUS*

Esta primera metodología consistió en la aplicación de discos de matriz sólida inoculados con *Pleurotus ostreatus*. Se partió del cultivo en medio sólido en agar extracto de salvado de trigo en placas Petri para el crecimiento del hongo. Se procedió con la elaboración de la matriz sólida con biomasa lignocelulolítica, para lo cual se pesó la biomasa lignocelulolítica bajo dos condiciones: molida (picado menor a 1 cm) y entera. Se realizó la matriz sólida en forma de discos utilizando una compresa hidráulica. (6). Posteriormente, se hidrataron los discos con cal y se dejaron al oreo por 24 horas para ambas condiciones de biomasa lignocelulolítica (molida y entera). Finalmente, se inoculó el hongo realizando cortes a esterilidad y siendo monitoreados a condiciones de temperatura de 18°C y 82% de humedad por 30 días. Cada disco fue colocado en una bandeja la cual fue sellada.

V.2. PILAS DE DEGRADACIÓN CON MICROORGANISMOS LIGNOCELULOLÍTICOS

Esta metodología consistió en la realización de compostaje mediante las cepas bacterianas del cepario del laboratorio de Biotecnología, codificadas como CQ1, PC1 y BC1 que fueron conservadas en agar nutritivo. Se transfirieron en 200 mL de caldo nutritivo (para cada cepa) y se procedió con el escalado en caldo melaza a 2 L, 20 L, 200 L y 10 m³. Posteriormente se realizó la formación de pilas de biomasa y cachaza en una relación 30/70. Se realizó el regado a los 15 días añadiendo 10% de los microorganismos lignocelulolíticos dos veces durante los 60 días de duración del proceso.

V.3. POZAS DE DEGRADACIÓN CON MICROORGANISMOS LIGNOCELULOLÍTICOS

Esta metodología consistió en la realización de compostaje mediante las cepas bacterianas del cepario del laboratorio de Biotecnología, codificadas como CQ1, PC1 y BC1 que fueron conservadas en agar nutritivo. Se transfirieron en 200 mL de caldo nutritivo (para cada cepa) se procedió con el escalado en caldo melaza a 2 L, 20 L, 200 L y 10 m³. Posteriormente se realizó las pozas de biomasa y cachaza en una relación 30/70, con una profundidad de 70 cm, finalmente se realizó el regado a los 15 días añadiendo 10% de los microorganismos lignocelulolíticos dos veces durante los 60 días de duración del proceso. La humedad se mantuvo entre 45 a 60 %.

V.4. DISCOS DE MATRIZ SÓLIDA INOCULADOS CON *ASPERGILLUS* SP.

Esta metodología consistió en la aplicación de discos de matriz sólida inoculados con *Aspergillus*. Se partió del cultivo en medio sólido en agar extracto de salvado de trigo en placas Petri para el crecimiento del hongo. Continuando con la elaboración de la matriz sólida con biomasa lignocelulolítica, para ello se pesó la biomasa lignocelulolítica bajo dos condiciones: molida (picado menor a 1 cm) y entera. Se realizó la matriz sólida en forma de discos utilizando una compresora hidráulica. (6). Posteriormente, se hidrataron los discos con cal y se dejaron al oreo por 24 horas para ambas condiciones de biomasa lignocelulolítica (molida y entera). Finalmente, se inoculó el hongo realizando cortes a esterilidad y siendo monitoreados a condiciones de temperatura de 18°C y 82% de humedad por 30 días.

V.4. EVALUACIÓN DE LIGNINA INSOLUBLE POR EL MÉTODO TAPPI T222

La determinación de lignina insoluble en las muestras de hojas de caña de azúcar fue realizada por diferentes métodos de degradación en el Departamento Académico de Industrias Forenses, en el área de Transformación Química del Laboratorio de Pulpa y Papel de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

VI. RESULTADOS

VI.1. DISCOS DE MATRIZ SÓLIDA INOCULADOS CON *PLEUROTUS OSTREATUS*

Tras la aplicación de discos de matriz sólida inoculados con *Pleurotus ostreatus* se evidenció el crecimiento micelial en la matriz de biomasa a los 30 días. Asimismo, se logró la degradación de la biomasa a diferencia de los discos control que se mantienen en el volumen y características iniciales.



Figura 2. A. Discos control. B y C discos inoculados con *Pleurotus ostreatus*.

VI.2. PILAS DE DEGRADACIÓN CON MICROORGANISMOS LIGNOCELULOLÍTICOS

En ambos días de evaluación, se evidenció la correcta oxigenación mediante cromatografía. (Figura



3).

Figura 3. Discos de cromatografía en el día 15 (izquierda) y día 60 (derecha).

La materia orgánica se hizo evidente a los 85 días, presentando también mayor presencia de actividad microbiana en el mismo tiempo.

La materia orgánica se mantuvo por encima de 70% por lo que está disponible para su interacción con el suelo y cultivo. La lignina tiene una tendencia a bajar en todo el proceso, y los resultados de azúcares reductores cuanto más elevados, indican se relaciona con el proceso de degradación o rotura de enlaces de carbonos que se relaciona con la lignina, celulosa y hemicelulosa. Se evidencia la gran presencia de materia orgánica pues se mantiene por encima de 70% por lo que indica que está disponible para su interacción con el suelo y cultivo. Por otro lado, la lignina tuvo una tendencia a la baja de aproximadamente 40% a 20% en todo el proceso, y los resultados de azúcares reductores estuvieron fluctuando al alza, pues cuanto más elevados indican que se está desarrollando el proceso de degradación o rotura de enlaces de carbonos de la lignina, celulosa y hemicelulosa. De esta manera podemos determinar que se ha logrado la degradación de la lignina generando un abono enriquecido.



Figura 4: Proceso de incorporación mediante regado de los microorganismos lignocelulolíticos.

VI.3. POZAS DE DEGRADACIÓN CON MICROORGANISMOS LIGNOCELULOLÍTICOS

Tras realizar los análisis se evidenció una correcta oxigenación. Asimismo, los análisis fisicoquímicos evidencian que las pozas con aplicación de microorganismo generan un mayor porcentaje de materia orgánica en relación con la poza control.

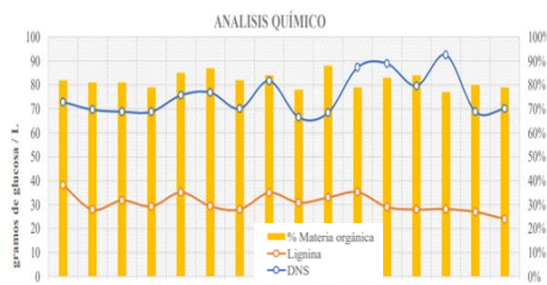


Figura 5. Evaluación de materia orgánica, lignina y DNS durante los 60 días de proceso.



Figura 6. Pozas de degradación.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos de las tres pozas. Poza 1 y 2 posas de aplicación y poza 3 controles.

MUESTRA	ANÁLISIS DE BROZA, ENSAYO POZAS PAMPA BALLENA					
	DENSIDAD (g/ml)	%HUMEDAD	% MO	% CENIZA	pH	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)
CAMA 1	0.30	70.56	58.82	41.18	8.29	1.40
CAMA 2	0.30	66.03	53.52	46.48	8.10	1.79
CAMA 3	0.29	50.00	31.37	68.63	7.55	1.11

VI.4. DISCOS DE MATRIZ SÓLIDA INOCULADOS CON *ASPERGILLUS SP.*

Tras la aplicación de discos de matriz sólida inoculados con *Aspergillus sp* se evidencio el crecimiento micelial en la matriz de biomasa a los 30 días. Asimismo, se logró la degradación de la biomasa a diferencia de los discos control que se mantienen en el volumen y características iniciales



Figura 7. A. Discos inoculados con *Aspergillus sp.* B y C Discos control
Fuente: *Elaboración propia.*

VI.5. EVALUACIÓN DE LIGNINA INSOLUBLE POR EL MÉTODO TAPPI T222

Se obtuvieron los resultados del departamento Académico de Industrias Forestales, área de Transformación química del laboratorio de Pulpa y Papel de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Se observa que el microorganismo *Pleurotus* logró una degradación total de lignina insoluble. Asimismo, también en ensayo realizado en Pampa Ballena con microorganismos lignocelulósicos nos indica un gran potencial de degradación de lignina, seguido del compostaje, en el cual también se han empleado estos microorganismos.

Tabla 3. Determinación de Lignina insoluble por el método TAPPI T222

Muestras	Valor (%)
CONTROL	18.38
DISCOS DE MATRIZ SÓLIDA INOCULADOS CON	n.p

PLEUROTUS OSTREATUS	
PILAS DE DEGRADACIÓN CON MICROORGANISMOS LIGNOCELULOLÍTICOS	3.96
POZAS DE DEGRADACIÓN CON MICROORGANISMOS LIGNOCELULOLITICOS	1.03
DISCOS DE MATRIZ SÓLIDA INOCULADOS CON ASPERGILLUS SP.	5.06

n.p*: no presenta lignina.

VII. DISCUSIÓN

La agroindustria de la caña de azúcar produce anualmente una gran cantidad de residuos agrícolas, incluyendo hojas, cogollos y cañas no recuperables. Estos residuos pueden ser valiosos para la industria de derivados como alimento animal, energía y fertilizantes, contribuyendo a la sostenibilidad. La biotecnología desempeña un papel fundamental en la transformación tecnológica al investigar el aprovechamiento de estos residuos (2). La liberación inadecuada de estos residuos puede causar contaminación ambiental y riesgos para la salud. La lignocelulosa, el componente principal de la biomasa vegetal, es abundante y se genera en grandes cantidades en la industria cañera. Puede ser utilizado de diversas formas, como abono, para mejorar la calidad del suelo (3).

Los hongos son destacados recicladores de carbono de la lignina, gracias a su habilidad hidrolítica y capacidad como degradadores de lignina, siendo organismos lignocelulolíticos de gran importancia. (2) *Pleurotus ostreatus* es ampliamente utilizado debido a su capacidad única de degradar eficientemente la lignina a CO₂ y agua, descomponiendo este componente resistente en la pared celular de diversos residuos.(15). Las principales enzimas que actúan directa o indirectamente sobre la lignina son: lignina peroxidadas (LiP), manganeso peroxidadas (MnP) y lacasas. *P. ostreatus* secreta una o más de las tres enzimas extracelulares oxidativas esenciales en la mineralización de lignina: la LiP que, por síntesis endógena de H₂O₂, oxida el veratril alcohol y compuestos aromáticos no fenólicos; la MnP, que oxida componentes fenólicos de la lignina; y la lacasa, una fenoloxidasas con cobre, que oxida anillos de la lignina (16). En los resultados de la evaluación de Lignina insoluble por el método TAPPI T222 se indica que de las cuatro metodologías, la empleada con *Pleurotus ostreatus* ha logrado la total desintegración de la lignina insoluble. Así mismo el ensayo por pozas de degradación realizada en Pampa Ballena también mostró una gran capacidad degradadora. El compostaje produjo resultados satisfactorios, con análisis fisicoquímicos que muestran un alto contenido de materia orgánica. La lignina disminuyó de alrededor del 40% al 20% durante el proceso, y los niveles de azúcares reductores fluctuaron al alza, indicando una degradación de los enlaces de carbono en la lignina, celulosa y hemicelulosa. Esto confirma la degradación de la lignina y la generación de un bono enriquecido, como lo reflejan los resultados cromatográficos. Estudios previos respaldan estos hallazgos. En un estudio realizado por Vargas y colaboradores (2012) en el que se empleó el hongo *Pleurotus ostreatus* y el sustrato empleado fue hojarasca de roble y bagazo de caña, logró un agotamiento de las mismas mostrando una disminución del contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa, diversos estudios determinan resultados similares. Teniendo en cuenta que la lignina en la biomasa lignocelulolítica de caña de azúcar suele estar en el rango del 15 al 20%, en los resultados se logra ver una diferencia significativa en cuanto a la degradación de lignina insoluble entre el control y los diferentes tratamientos, de manera que el empleo de microorganismos tiene un gran impacto en la degradación de la lignina (Velázquez et al., 2020; Enshasy et al., 2019; Knežević et al., 2013).

Los suelos agrícolas suelen ser pobres en materia orgánica, con menos del 1%. Un suelo con 1% de materia orgánica aporta 17,4 kg de N por hectárea, mientras que uno rico en materia orgánica (4%) puede contribuir con hasta 69,6 kg de N por ha anual. Esto destaca la importancia de la materia orgánica en el suelo, no solo nutricionalmente, sino también para mejorar las propiedades físicas y mantener la vida microbiana del suelo. Para mantener un buen contenido de materia orgánica en el suelo, es esencial agregar

abonos orgánicos y residuos vegetales e industriales transformados como compost. Es así que al emplear un acelerador biológico como *Pleurotus ostreatus* y microorganismos lignocelulolíticos, para el compostaje de la biomasa generará un enriquecimiento de los suelos. Dado los resultados TAPPI T222 los hongos *Pleurotus ostreatus* son potentes agentes biológicos capaces de degradar materiales muy complejos ricos en lignina, celulosa y hemicelulosa. Esto lo pueden realizar con la secreción de enzimas como celulasas, lacasas, peroxidasa que rompen las moléculas, convirtiendo estos residuos en alimento. Por otro lado, los resultados TAPPI T 222 realizados en pilas de biomasa y los realizados por pozas de degradación, arrojan resultados diferentes pese a tener composición similar (biomasa, cachaza y microorganismos lignocelulósicos) se obtuvo mayor degradación en las pozas de degradación, pues estas condiciones favorecieron el desarrollo microbiano y por ende generar mayor degradación de la lignina. Como se evidencia en las muestras control el porcentaje de presencia de lignina insoluble es alto, he allí la importancia de emplear microorganismo para acelerar la degradación y en algunos casos obtener la degradación total. Diversos estudios se han enfocado en determinar la fracción de lignina restante de manera natural en un periodo de tiempo. En un bosque boreal, Berg et al. (1982) determinó una pérdida del 48% de la fracción de lignina después de 5 años. Por otro lado, después de 9 años en cultivos de maíz, el 47% de la lignina original había sido reemplazada por lignina derivada del maíz (Gleixner et al., 2002). Estos estudios nos dan el soporte que de manera natural la lignina tarda años en descomponerse y ser fuente de nutrientes para los suelos como indican los resultados de este estudio en los que la acción de microorganismos acelera enormemente este proceso.

VIII. CONCLUSIONES

Se llega a la conclusión de estas 4 metodologías de degradación empleadas se determina por el análisis de lignina insoluble que el método de aplicación de Hongos *Pleurotus ostreatus* es 100% eficiente para la biomasa de caña de azúcar, los procesos siguientes también presentan degradación eficaz por lo que pueda aplicarse cualquiera de estos métodos. En las metodologías empleadas en este estudio los microorganismos lignocelulolíticos, como *Pleurotus ostreatus*, descomponen eficazmente la lignina en compuestos más simples, utilizando enzimas como lignina peroxidasa (LiP), manganeso peroxidasa (MnP) y lacasas, transformando estos residuos en abono enriquecido. De manera similar las metodologías que incluyen la aplicación de cepas bacterianas lignocelulolíticas aceleran el proceso de degradación de la lignina insoluble, considerándose ligeramente más eficiente las pozas de degradación en relación con las pilas. Estas metodologías no solo contribuyen a la mejora de la calidad del suelo, sino que también reduce la contaminación ambiental y minimiza el desperdicio de un recurso valioso.

Contribución de autores

La autoría del presente estudio se atribuye AgroIndustrial Paramonga S.A.A

Conflictos de interés

Declaro no presentar ningún conflicto de interés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Triana-Hernández O, León-Martínez TS, Céspedes-Vázquez MI, Cámara-Pérez A. Caracterización de los residuos de la cosecha de la caña de azúcar almacenados a granel. *ICIDCA Sobre los Deriv la Caña Azúcar*. 2014;48(1):65–70.
2. Bermúdez-Savón RC, García-Oduardo N, Aguilera-Rodríguez IA, Mendoza-Montero Y. Biodegradación de residuos lignocelulósicos secundarios por *Pleurotus* spp. *Tecnol Química* [Internet]. 2023;43(1):157–73. Available from: <https://tecnologiaquimica.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/5317/4757>

3. Sagarpa, Conadesuca. Nota técnica del sector Aprovechamiento de residuos de caña de azúcar. 2016; Available from: www.conadesuca.gob.mx
4. Feofilova EP, Mysyakina IS. Lignin: Chemical structure, biodegradation, and practical application (a review). *Appl Biochem Microbiol*. 2016;52(6):573–81.
5. Naranjo EI. Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost. *Univ Tec Ambato*. 2013;78.
6. Sánchez S, Crespo G, Hernández M, García Y. Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales Biotic and abiotic factors that influence litter decomposition in pasturelands. *Pastos y Forrajes*. 2008;31(2):99–118.
7. Velázquez Fernández JB, Hernández-Rosales IP, Contreras Ramos SM. Composting sugar cane bagasse at full scale: Organic matter decay kinetics, metagenomics and plant-growth promoting bacteria capabilities. *Rev Int Contam Ambient*. 2020;36(2):361–70.
8. Sahay S. Deconstruction of lignocelluloses: potential biological approaches. *Handb Biofuels*. 2022;(5):207–32.
9. Yadav VK, Gupta N, Kumar P, Dashti MG, Tirth V, Khan SH, et al. Recent Advances in Synthesis and Degradation of Lignin and Lignin Nanoparticles and Their Emerging Applications in Nanotechnology. *Materials (Basel)*. 2022;15(3).
10. Pérez-Gimeno A, Navarro-Pedreño J, Almendro-Candel MB, Gómez I, Zorpas AA. The use of wastes (organic and inorganic) in land restoration in relation to their characteristics and cost. *Waste Manag Res*. 2019;37(5):502–7.
11. Kamimura N, Sakamoto S, Mitsuda N, Masai E, Kajita S. Advances in microbial lignin degradation and its applications. *Curr Opin Biotechnol [Internet]*. 2019;56:179–86. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.11.011>
12. Grgas D, Rukavina M, Bešlo D, Štefanac T, Crnek V, Šiki T, et al. The Bacterial Degradation of Lignin — A Review. 2023;1–17.
13. Yu J. Exploring the mechanism associated with methane emissions during composting: Inoculation with lignocellulose-degrading microorganisms. :22–4.
14. Bohórquez A, Puentes Y, Menjivar JC. Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Cienc Tecnol Agropecu*. 2015;15(1):73–81.
15. Rodríguez A. ANÁLISIS DEL EFECTO DE EXTRACTOS CRUDOS DE *Cordyceps nidus* EN LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE LACASAS DE *Pleurotus ostreatus* PARA LA DEGRADACIÓN DE LIGNINA. *Angew Chemie Int Ed* 6(11), 951–952. 1967;(Mi):5–24.
16. Nath Yadav A, Singh S, Mishra S, Gupta A. Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi Volume 3: Perspective of Sustainable Environment. *Fungal Biol*. 2019;3:75292.

Este preprint fue presentado bajo las siguientes condiciones:

- Los autores declaran que son conscientes de que son los únicos responsables del contenido del preprint y que el depósito en SciELO Preprints no significa ningún compromiso por parte de SciELO, excepto su preservación y difusión.
- Los autores declaran que se obtuvieron los términos necesarios del consentimiento libre e informado de los participantes o pacientes en la investigación y se describen en el manuscrito, cuando corresponde.
- Los autores declaran que la preparación del manuscrito siguió las normas éticas de comunicación científica.
- Los autores declaran que los datos, las aplicaciones y otros contenidos subyacentes al manuscrito están referenciados.
- El manuscrito depositado está en formato PDF.
- Los autores declaran que la investigación que dio origen al manuscrito siguió buenas prácticas éticas y que las aprobaciones necesarias de los comités de ética de investigación, cuando corresponda, se describen en el manuscrito.
- Los autores declaran que una vez que un manuscrito es postado en el servidor SciELO Preprints, sólo puede ser retirado mediante solicitud a la Secretaría Editorial deSciELO Preprints, que publicará un aviso de retracción en su lugar.
- Los autores aceptan que el manuscrito aprobado esté disponible bajo licencia [Creative Commons CC-BY](#).
- El autor que presenta el manuscrito declara que las contribuciones de todos los autores y la declaración de conflicto de intereses se incluyen explícitamente y en secciones específicas del manuscrito.
- Los autores declaran que el manuscrito no fue depositado y/o previamente puesto a disposición en otro servidor de preprints o publicado en una revista.
- Si el manuscrito está siendo evaluado o siendo preparando para su publicación pero aún no ha sido publicado por una revista, los autores declaran que han recibido autorización de la revista para hacer este depósito.
- El autor que envía el manuscrito declara que todos los autores del mismo están de acuerdo con el envío a SciELO Preprints.