



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

ELABORACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA PRODUCCIÓN DE UN BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS

**DEVELOPMENT OF A BIODIGESTER FOR THE PRODUCTION
OF BIOETHANOL FROM LIGNOCELLULOSIC WASTE**

José Rodrigo Rosario López
Tecnológico Nacional de México

Liliana Socorro Martínez
Tecnológico Nacional de México

Laura Alejandra Rosario López
Tecnológico Nacional de México

José Saldívar Garza
Tecnológico Nacional de México

Paula Rangel Oropeza
Tecnológico Nacional de México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5.21064

Elaboración de un Biodigestor para Producción de un Bioetanol a partir de Residuos Lignocelulósicos

José Rodrigo Rosario López¹jose.rl@matamoros.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0001-8936-2347>Tecnológico Nacional de México
México**Liliana Socorro Martínez**liliana.m@matamoros.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0002-6458-6541>Tecnológico Nacional de México
México**Laura Alejandra Rosario López**laura.rl@matamoros.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0009-6138-8663>Tecnológico Nacional de México
México**José Saldívar Garza**jose.sg@matamoros.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0005-7653-5532>Tecnológico Nacional de México
México**Paula Rangel Oropeza**paula.ro@matamoros.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0007-4027-3459>Tecnológico Nacional de México
México

RESUMEN

Actualmente, la principal fuente de energía en el mundo es la quema de combustibles fósiles. En los últimos años los biocombustibles han tenido un mayor auge en cuestión de desarrollo de tecnología e innovación (Casas et al., 2021). A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la producción de bioetanol utilizando material lignocelulósico el cual, fue sometido a una fermentación en estado sólido para producir un combustible renovable y así poder evaluar el potencial que tienen los biocombustibles como fuente de energía limpia.

Palabras clave: combustible, biocombustible, bioetanol, lignocelulósico

¹ Autor principal.

Correspondencia: jose.rl@matamoros.tecnm.mx

Development of a Biodigester for the Production of Bioethanol from Lignocellulosic Waste

ABSTRACT

Currently, the world's main source of energy is the burning of fossil fuels. In recent years, however, biofuels have gained greater prominence in terms of technological development and innovation (Casas et al., 2021). The following are the results obtained from the production of bioethanol using lignocellulosic material, which was subjected to solid-state fermentation to produce a renewable fuel and thus evaluate the potential of biofuels as a source of clean energy.

Keywords: fuels, biofuels, bioethanol, lignocellulosic

Artículo recibido 20 octubre 2025

Aceptado para publicación: 15 noviembre 2025



INTRODUCCIÓN

Durante la realización de este proyecto se utilizan residuos de poda de jardín, hojas de maíz y caña de azúcar como material lignocelulósico para generar bioetanol. En México se considera continuar consumiendo los combustibles fósiles hasta el año 2050 o 2060 (Alegria, 2023) por lo que la generación de biocombustibles es necesaria para tratar de amortiguar el impacto negativo ambiental que se tiene por el uso de los principales combustibles fósiles como lo son el petróleo, el carbón y el gas natural, de los cuales el petróleo sigue siendo el más utilizado (Razo, 2023). Por desgracia, la generación de energía renovable se ha estancado y se encuentra en los mismos niveles que en el 2021 (Nava, 2023). Los biocombustibles provienen de la biomasa (fuente de energía renovable) o materia orgánica presente en el planeta y se pueden clasificar en tres grupos siendo uno de ellos el bioetanol, un compuesto químico que puede obtenerse a partir de la fermentación de los azúcares. La biomasa lignocelulósica es una matriz compuesta principalmente por ésteres extraíbles, proteínas, carbohidratos, celulosa, hemicelulosa, lignina y material mineral. La lignina residual proveniente del aprovechamiento de la celulosa posee una alta densidad de energía por lo que puede ser utilizada en procesos térmicos o como intermediaria para la obtención de productos químicos por lo que, la biomasa lignocelulósica con un alto contenido de lignina es deseable para su uso en combustión y en la generación de electricidad, pero también puede afectar negativamente el rendimiento de azúcares fermentables debido a que su degradación es difícil (Vázquez, 2020). Existen microorganismos importantes en la producción de biodiésel como lo es el hongo *Trametes* o Yesquero blanco peludo también conocido como de la podredumbre blanca (Fungipedia, 2023). Este tipo de hongo es ideal para el pretratamiento de residuos agroindustriales por fermentación en estado sólido y son importantes en el aumento de rendimiento y eficiencia de la generación de biocombustibles como el bioetanol. La fermentación entendida como cambios bioquímicos que tienen lugar en sustancias orgánicas como consecuencia de la actividad de enzimas microbianas (Palazón, 2022). El biogás se obtiene de la descomposición de materia orgánica y lignocelulósica mediante acción bacteriana y en condiciones anaeróbicas. En el proyecto, el biodigestor juega un papel clave para su realización ya que siendo un recipiente herméticamente cerrado para la descomposición de residuos orgánicos es necesario para obtener gas metano y fertilizantes orgánicos (Conde y Martín, 2020).



METODOLOGÍA

Materiales

Mechero, 32. 5 gramos de agar, agua destilada, 2 matraces Erlenmeyer de 500 ml, solución de cobre anhidro, termómetro, embudo de vidrio, tubo condensador lineal, manguera hule látex, matraz de destilación Engler de 500 ml, termómetro, 2 soportes universales, 2 abrazaderas, vaso de precipitado de 100 ml, vaso de precipitado de 1 lt, 20 cajas Petri esterilizadas, vidrio de reloj, probeta de 500 ml, espátula-cuchara de laboratorio, agitador magnético y charola mechero de Fisher, encendedor, alcohol al 70%, dispensador de agua manual, 3 recipientes uno de 25 lts con tapa, otro de 20 lts y uno de 500 ml, cinta teflón, cuchillo, taladro, sierra, adhesivo epóxico y llave para porta garrafón, ramas y hojas secas de árboles, bagazo de caña y hojas secas de maíz, 2 vasos de precipitados de 1 lt, probeta, plancha de calentamiento y balanza analítica.

Preparación

Todo el material es esterilizado, lavado previamente con agua destilada y secado con papel Kraft. En el caso de la probeta, la espátula-cuchara y el agitador magnético son esterilizados solamente con alcohol y se dejan secar durante 5 minutos. Una vez que están secos, se cubre solamente la boca de la probeta con papel estraza mientras que la espátula-cuchara y el agitador magnético se cubren totalmente; luego se coloca cinta para que no se caiga el papel. El resto de los materiales se envuelven con papel estraza (a los matraces Erlenmeyer y al vaso de precipitados solamente se les cubre la boca, las cajas Petri y el vidrio de reloj se cubren totalmente) y se meten a la autoclave a una temperatura de 121 °C (presión de 0.11 MPa aproximadamente) durante 40 minutos. A este material no se le remueve el papel estraza a menos que se vaya a iniciar la preparación de los cultivos, ya que, de quitarlo, el material se contamina y se tiene que realizar el proceso de esterilización nuevamente.

Desarrollo

Teniendo como objetivo la obtención de bioetanol a partir de la fermentación en estado sólido de residuos lignocelulósicos inoculados por el hongo *Trametes spp*, el proyecto se realiza en tres etapas: primera, obtención de cepa local de dicho hongo; segunda, se inoculan residuos lignocelulósicos con hongos de la podredumbre marrón para su degradación y, tercera, se elabora un prototipo biodigestor a pequeña escala para la obtención y almacenamiento del bioetanol.



En la primera etapa se mezcla el agar con agua destilada y se agita con calentamiento, posteriormente se vierte la sustancia en los 2 matraces Erlenmeyer y se esterilizan durante 15 minutos en la autoclave. Una vez que se sacan y se dejan enfriar, se vierten 25 ml de la solución de agar en cada una de las cajas Petri, dejando reposar la solución durante aproximadamente una hora a una temperatura de 25 grados centígrados hasta su gelificación.

Se obtiene una muestra del hongo que pertenece a la especie *Trametes* y estando cerca de un mechero para eliminar las bacterias en el medio ambiente, se hacen cuatro cortes perpendiculares en él con un instrumento estéril y cada porción obtenida permite realizar un sembrado en cuatro cajas Petri. Con la ayuda de un hisopo se efectúa el tallado de cada una de las paredes interiores de las partes cortadas para recolectar trazas, después se hace un estriado suave en las cajas Petri y se colocan pequeñas trazas del hongo encima. Al concluir con este procedimiento en todas las cajas Petri se ponen en un recipiente expuesto a una temperatura de 25 grados centígrados y se dejan por 2 semanas. Por otro lado, se aplica el proceso de fermentación alcohólica a la materia prima y se obtiene un biogás capturado con un biodigestor integrado en dos secciones, la inferior que es un contenedor para la fermentación en estado sólido y en la superior un condensador para convertir el gas recolectado en estado líquido. La materia lignocelulósica se desinfecta y se vierte en los vasos de precipitados de 1 lt, se llenan de agua y se calientan hasta hervir por 20 minutos. A continuación, se recolecta la materia lignocelulósica, se deja secar por seis horas y se pesa, obteniendo un total de 1851.3 grs. Por otra parte, una vez que se obtiene un crecimiento del hongo en las cajas Petri, se procede a inocularlo dentro del biodigestor sobre la materia lignocelulósica. Para la inoculación del hongo se coloca la materia lignocelulósica en la sección inferior del biodigestor, se agregan 500 ml de sulfato de cobre anhidro y se agrega la parte superior de los cultivos. Posteriormente, se procede a cerrar el biodigestor y sellarlo, además de llenar con agua fría la parte superior para dejarlo reposar durante dos semanas a una temperatura entre 20 y 28 grados centígrados. Se espera que durante la segunda semana se genere el biogás en la sección inferior y una vez que tiene líquido en la sección superior, se vacía a través de la llave.



Figura 1. Cultivos para inoculación.



Figura 2. Biodigestor.



Figura 3. Crecimiento del hongo en la materia lignocelulósica tras 2 semanas.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuantificación del bioetanol

Una vez concluido el proceso de fermentación, se recolectaron 86 ml de bioetanol en la sección superior del biodigestor. En la sección inferior se recolectaron 1.823 lt de líquido color verde oscuro. Como resultado de la primera destilación, se obtuvieron 838 ml de un líquido semitransparente con presencia de partículas suspendidas debido a que la destilación arrastró partículas orgánicas de la materia lignocelulósica. Al líquido transparente se le realizó una destilación de la cual se obtuvieron finalmente 106 ml de bioetanol, producidos en la parte inferior del biodigestor. La cantidad total recolectada en el biodigestor fue de 192 ml y el líquido sobrante fue de 1.631 lt. De acuerdo con la Tabla 1, el líquido sobrante contenía partículas orgánicas provenientes de la materia lignocelulósica utilizada combinadas con agua debido a la humedad generada dentro del biodigestor.

Tabla 1. Volúmenes obtenidos en el biodigestor

Volumen	Sección Superior	Sección Inferior	Total
Bioetanol (ml)	86	106	192
Sobrante (ml)	0	1631	1631
Total (ml)			1823

Rendimiento de bioetanol por materia lignocelulósica

Considerando los resultados mostrados en la Tabla 1, se deduce que se produjeron 103.71 ml de bioetanol por cada kg de materia lignocelulósica utilizada.

Determinación de la concentración

Para poder determinar el porcentaje en volumen del bioetanol sobre el volumen total obtenido, se utilizó un alcoholímetro en escala de unidades de grados Gay/Lussac/Cartier y una probeta de 250 ml. Se vaciaron 150 ml de bioetanol dentro de la probeta y se colocó el alcoholímetro adentro, evitando que tocara las paredes de la probeta. Una vez pasados algunos segundos, se revisó el alcoholímetro para ver el porcentaje de alcohol indicado. En la Figura 4 se muestra una imagen del cálculo de la concentración del bioetanol. La concentración de bioetanol a la temperatura de 24 grados centígrados registrada en el líquido al momento de la medición fue de 77.3%.

Figura 4. Cálculo de la concentración de bioetanol



Determinación de la densidad

Para poder determinar la densidad del bioetanol obtenido se utilizó el método del picnómetro con el uso de una probeta de 100 ml. En la Figura 5 se observa cómo se determinó que el picnómetro tenía un volumen de 51 ml.

Figura 5. Picnómetro utilizado



Una vez que se obtuvo el volumen del picnómetro, se realizó el cálculo de los pesos tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Pesos obtenidos

Picnómetro	Peso (g)
Vacío	28.8055
Con agua	79.5281
Con bioetanol	72.7467

Con estos valores se realizó el cálculo de la densidad del agua y posteriormente, la densidad del bioetanol extraído dando como resultado: $\rho_{bioetanol} = 0.8616 \text{ g/ml}$

Espectro de absorción

Se irradia una muestra con luz a ciertas longitudes de onda de aproximadamente 200-800 nm para obtener el espectro de absorción. La espectroscopia permite que al realizar la identificación se considere como una huella dactilar de dicha sustancia por lo que se realizó una comparativa de los espectros de absorción entre los de etanol a concentraciones de 70% y 95% con el bioetanol obtenido. La diferencia se puede deber a las diferentes concentraciones y a que el etanol al 70% esté desnaturalizado con otras sustancias.

Propiedades físicas y químicas del bioetanol

Una vez concluido el proyecto se obtuvieron como resultados los siguientes datos presentados en la Tabla 3 que especifica las propiedades en el bioetanol obtenido.

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del bioetanol recolectado

Estado físico	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Característico
pH	6
Inflamabilidad	Inflamable
Punto de ebullición	79°C
Solubilidad en agua	Completamente soluble
Densidad	0.8616 g/ml

Trabajo a futuro

Gracias a los resultados obtenidos, se ha identificado que es necesario realizar más pruebas en las que uno de los objetivos sea minimizar la densidad del producto final. Básicamente, la presencia de agua en el bioetanol fue la causante de una densidad mayor a la esperada.

CONCLUSIONES

El objetivo del proyecto fue alcanzado obteniendo un buen porcentaje de rendimiento gracias a la materia lignocelulósica utilizada. Las características físicas y químicas del bioetanol obtenido mostraron que la aplicación de la fermentación en estado sólido es un buen método. Es importante destacar que la elección de la materia lignocelulósica y el tipo de microorganismo tienen un gran impacto en la calidad del producto obtenido. El biodigestor deberá ser construido con materiales adecuados tomando en cuenta las necesidades y el ambiente en el que será utilizado. También es importante que los hongos utilizados no muestren la presencia de microorganismos externos, así como colocar los cultivos de hongos entre cada una de las capas de la materia lignocelulósica para que tengan un buen crecimiento. Es necesario realizar todas las destilaciones necesarias hasta obtener una buena concentración de bioetanol.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alegría, A. (21 de agosto de 2023). En México, el uso de energía fósil seguirá hasta 2060. La Jornada.

Recuperado de <https://www.jornada.com.mx/notas/2023/08/21/economia/en-mexico-el-uso-de-energia-fosil-seguira-hasta-2060/>

Asociación Micológica Fungipedia. (s.f.). Trametes hirsuta. Fungipedia. Recuperado el 23 de septiembre de 2023, de

https://www.fungipedia.org/hongos/trametes-hirsuta.html#google_vignette

Belda Palazón, C. (2022). La fermentación como estrategia para la mejora de las propiedades funcionales de residuos y subproductos de alimentos de origen vegetal [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. Recuperado de

<https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/68a1f114-d200-48bb-9565-82bbcd4e29a9/content>

Casas Jiménez, P. M., Escudero González, C. A., Martínez Guerrero, T. Z., Mendoza Díaz, M. del C., Gutiérrez Ortega, N. L., & Ramos Ramírez, E. (2021). Procesos sustentables para la producción de biocombustibles: A review. Jóvenes en la Ciencia, 10, 1–15. Recuperado de

<http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/6396/1/Procesos%20sustentables%20para%20la%20producci%20n%20de%20biocombustibles%20a%20review.pdf>



Nava, D. (12 de octubre de 2023). La generación eléctrica se dirige hacia un aumento en el uso de fuentes fósiles. Expansión. Recuperado de

<https://expansion.mx/empresas/2023/10/12/generacion-electrica-dirige-fuentes-fosiles>

Raso Romero, C. (18 de agosto de 2023). Los combustibles fósiles lideran el consumo de energía a nivel global. El Economista. Recuperado de

<https://www.eleconomista.es/energia/noticias/12410392/08/23/los-combustibles-fosiles-lideran-el-consumo-de-energia-a-nivel-global.html>

Vázquez Noh, W. P. (2020). Evaluación de diferentes pretratamientos en la deslignificación de residuos de coco verde (Cocos nucifera) para producción de bioetanol de segunda generación [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.]. Recuperado de

https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1777/1/PCER_M_Tesis_2020_Wendy_Priscilla_Varguez_Noh.pdf

