

Recibido 31 de julio de 2023. Aceptado 15 de diciembre de 2023. Publicado 31 de mayo de 2024.

ISSN: 2448-7775

Potencial de obtención de biodiesel y biogás a partir de semilla de guamúchil (*Pithecellobium dulce*)

BRANDON ARMENTA MEDEL¹, JOSELYN GUADALUPE LEZAMA ROSAS¹, MARA FERNANDA JÚAREZ COTA², DAVID ULISES SANTOS-BALLARDO^{2,3}, DULCE LIBNA AMBRIZ-PEREZ^{2,3*}.

¹Licenciatura en Biotecnología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.

²Maestría en Ciencias Aplicadas, Universidad Politécnica de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México.

³Unidad Académica de Ingeniería en Energía, Universidad Politécnica de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México.

*Autor de Correspondencia: dambriz@upsin.edu.mx

RESUMEN El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar la semilla de guamúchil *Pithecellobium dulce* para darle un enfoque como materia prima en biorrefinería. Se analizaron sólidos totales y sólidos volátiles de harina de semilla de guamúchil, de la misma manera que se empleó el método de soxhlet para la extracción de aceites de la semilla, utilizado una relación (2:1) de cloroformo-metanol para permitir una extracción óptima de los ácidos grasos requeridos, posteriormente con la semilla desgrasada, se montaron reactores, en los que se utilizaron inóculos anaeróbicos proporcionados por diversas empresas pertenecientes al sector agroindustrial del estado de Sinaloa para producir biogás. Se obtuvieron un porcentaje de extracción de aceite de $11.36 \pm 0.84\%$, mientras que la producción de biometano a partir de la biomasa desgrasada estuvo entre 60.96 y 110.54 mililitros de metano por gramo de sólido volátil agregado al reactor.

PALABRAS CLAVE— Biorrefinería, guamúchil, biodiesel, biogás.

I. INTRODUCCIÓN

México es un país con un gran potencial para las energías renovables; la situación geográfica del país, los grandes recursos eólicos y sus niveles de irradiación solar, le sitúan, según datos de IRENA (2019), como uno de los países más prometedores de Latinoamérica [1]. En los últimos años, se ha buscado el desarrollo de la sustentabilidad energética con el fin de incluir al medio ambiente como uno de los elementos de competencia que contribuyan al desarrollo económico y social de la población, buscando alternativas que potencialicen recursos existentes de diversos sectores industriales, algunos de estos enfoques se han centrado en el desarrollo del aprovechamiento de los residuos agroindustriales de diversas industrias [2].

Una de las opciones más actuales para ello es la creación de biorrefinerías; las cuales son instalaciones dedicada a la producción de biocombustibles y/o bioproductos, donde la prioridad es el uso integral de recursos y subproductos, minimizando la generación de residuos [3].

Los productos obtenidos en biorrefinerías son clasificados en tres generaciones: La primera enfocada en recursos vegetales que usualmente pueden emplearse como alimentos (por ejemplo: maíz, soya, trigo, etc.); la segunda generación en donde se utilizan materiales vegetales que no son alimentos (como la jatrofa, o la palma aceitera), así como los residuos (aceites residuales, desechos agroindustriales,

entre otros); y finalmente la tercera generación, que se enfoca principalmente en microorganismos, destacando levaduras, hongos y microalgas [4].

Dentro de estas clasificaciones, los biocombustibles de segunda generación como el biodiesel y el biogás han adquirido mayor auge a lo largo de los últimos años, ya que, gracias al aprovechamiento de los residuos agroindustriales se han tenido diversas ventajas en la disminución de la carga orgánica que se arroja al ambiente, generando además la obtención de subproductos de mayor valor agregado [3].

Por otro lado, en nuestro país los residuos agroindustriales representan un reto importante, ya que se ha reportado que en México se generan anualmente alrededor de 76 millones de toneladas de residuos orgánicos, de los cuales solo una pequeña parte son aprovechados, mientras que la mayoría de ellos son desechados de manera inadecuada ocasionando problemáticas severas al ambiente [3, 4].

Un producto muy utilizado en México de manera casera y del cual no se han reportado ningún uso con la biomasa residual es el guamúchil (*Pithecellobium dulce*). El guamúchil, huamúchil o pinzán son algunos de los nombres comunes que se le otorgan, es un árbol que se utiliza como cerca viva en terrenos de cultivo y caminos rurales y su corteza tiene uso medicinal; de acuerdo con diversos autores [5], esta planta es utilizada para curtir pieles, manufactura para hacer jabones y usos medicinales. Entre otras

características se ha descrito que su semilla posee amplias cantidades de flavonoides, ácidos fenólicos, cumarinas, lignanos y taninos.

Por otro lado, el uso del guamúchil para la producción de biocombustibles es una nueva línea de investigación que no ha sido lo suficientemente explorada; según diversos autores el uso de la semilla de este material podría representar un avance en la producción de biocombustibles de segunda generación, que por sus características podrían ser utilizados en biorrefinerías [6].

El objetivo de este trabajo fue analizar el aprovechamiento integral de las semillas residuales de guamúchil (G), esto mediante el potencial uso de este producto para obtener una biorrefinería energética; para realizar estos procesos, se realizó extracción de aceite con el equipo de soxhlet (utilizando una mezcla de metanol-cloroformo como solvente), posteriormente se caracterizó el material desgrasado, determinando la humedad (H), cenizas (CZ), sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV) y finalmente, la biomasa desgrasada fue colocada en reactores, donde se le añadieron inóculos de diversas empresas del sector agroindustrial del estado de Sinaloa, para medir su capacidad de producción de biogás.

II. DESARROLLO

A. MATERIALES

Las semillas de guamúchil fueron recolectadas a partir de frutos maduros, ubicados en el estado de Sinaloa, y fueron almacenadas en congelación (-4 ± 1 °C) hasta su uso. Para el desarrollo del proyecto, las semillas se secaron en un horno (Novatech® HS35-ED) a 70°C por 18 horas, posteriormente se molieron mediante un molino eléctrico comercial, hasta obtener una harina homogénea y se almacenaron en congelación (-4 ± 1 °C) hasta su uso.

Para la producción del biogás como inóculos se utilizaron todos activados obtenidos a partir de plantas tratadoras de agua de dos empresas: Industria de Maíz y Trigo Blancas S.A. de C.V. (inóculo designado como LABT) y la empresa BeGaia S.A. de C.V. (inóculo designado como LABG)

B. METODOS

1. Extracción de aceite

La extracción de aceite de la harina de semillas de guamúchil (G) fue llevada a cabo mediante la técnica extracción Soxhlet, según lo reportado por AOAC [8]. Se emplearon aproximadamente 100 g de harina de G con mezcla de solventes metanol-cloroformo (2:1), la prueba se realizó por triplicado y se representa como promedio con desviación estándar. Posteriormente, el producto se sometió a un rotavapor a 45°C para la extracción de la mezcla de solventes. El porcentaje de aceite extraído se obtuvo por la diferencia de peso Ec. (1).

$$\% \text{ aceite} = \frac{(\text{matraz+aceite}) - (\text{matraz})}{\text{peso de la muestra}} \times 100 \quad (1)$$

2. Determinación de Sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), humedad (H) y cenizas (CZ)

Los contenidos de ST, H, CZ y SV se evaluaron según lo reportado por la EPA (Agencia de protección ambiental de Estados Unidos, por sus siglas en inglés) [7].

Para la determinación de ST, se calentaron crisoles, a 103-105°C en un horno de convección (Novatech® HS35-ED) hasta alcanzar peso constante, se dejaron enfriar en un desecador y se tomó su peso (P_{crisol}). Posteriormente, se colocaron aproximadamente 5 g de la muestra y se registró su peso (P_{muestra}); finalmente, se secaron las muestras a 103-105°C por 24 h. Se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente y se registró el peso (P_{total}).

La prueba se realizó por triplicado y se presentó como porcentaje promedio con desviación estándar. Dichos porcentajes se calcularon empleando la Ec. (2) [7].

$$\%ST = \frac{P_{\text{total}} - P_{\text{crisol}}}{P_{\text{muestra}} - P_{\text{crisol}}} \times 100 \quad (2)$$

El contenido de humedad se calculó restando la diferencia en porcentaje de los sólidos totales Ec. (3).

$$\%H = 100\% - \%ST \quad (3)$$

Para la determinación de SV y CZ se sometieron los crisoles con las muestras a un proceso de calcinación a 550°C, en el cual la temperatura fue aumentando progresivamente, hasta alcanzar los 550°C, el proceso de tuvo una duración de 240 minutos, posteriormente se registró el peso del residuo ($P_{\text{volátil}}$). Los SV y CZ se calcularon por triplicado y se presentan como porcentajes promedios con desviación estándar, se calcularon empleando las Ec. (4) y (5) [7].

$$\%SV = \frac{P_{\text{total}} - P_{\text{volátil}}}{P_{\text{total}} - P_{\text{crisol}}} \times 100 \quad (4)$$

$$\%CZ = \frac{P_{\text{volátil}} - P_{\text{crisol}}}{P_{\text{total}} - P_{\text{crisol}}} \times 100 \quad (5)$$

3. Producción de biogás

Para analizar el potencial metanogénico de la biomasa desgrasada de guamúchil (G), se utilizaron reactores de vidrio de 60 ml sellados con tapas de aluminio con septum hermético de polietileno (PTFE), para el proceso de digestión anaeróbica se utilizaron dos inóculos provenientes de dos agroindustrias del estado de Sinaloa (Industria de Maíz y Trigo Blancas S.A. de C.V.) (LABT) y BeGaia® (LABG), a la cuales se les agregó como sustrato la biomasa desgrasada, en un volumen de trabajo de 45ml, para agregar la cantidad adecuada se utilizó el método reportado por Ramírez Camperos [9]; se utilizaron como blanco los inóculos, y se utilizó un mezcla del inóculo con el sustrato en

una relación (2:1) y se realizó un agitación manual diaria para una homogeneización adecuada de la mezcla.

La prueba se realizó por triplicado y se presenta como el promedio con desviación estándar. El cálculo de SV para carga de reactores se realizó mediante la Ec. (6).

$$gSV = \frac{vol}{m} (ST)(SV) \quad (6)$$

Al realizarse la prueba, se utilizó el método de eudiometría, en el cual por medio de una solución de hidróxido de sodio 1N (NaOH), se generó una trampa de metano CH₄, para atrapar el dióxido de carbono (CO₂) producido por los reactores y de esta manera medir el biometano producido por los mismos.

C. RESULTADOS Y DISCUSIONES

I. Extracción de aceite

El título El porcentaje de aceite extraído de la semilla de guamúchil fue de $11.36 \pm 0.84\%$, que según los datos reportados por otros autores que realizaron extracciones de aceite a partir del mismo material, sus valores se encuentran entre 10-22% de extracción, por lo que el valor del porcentaje de extracción obtenido en el presente trabajo se encuentra dentro del rango reportado previamente [10,11,12]

La cantidad de aceite obtenida en este experimento muestra potencial para la producción de biodiesel, sin embargo, antes de determinar la posibilidad real de utilizarse para ese objetivo, es necesario realizar más pruebas, entre las cuales podemos incluir: un perfil de ácidos grasos, índice de acidez, índice de saponificación, entre otras propiedades relacionadas con la calidad del biodiesel [5]. Cabe mencionar que, hasta ahora, son muy pocos los reportes que se tiene en donde se haya utilizado la semilla de guamúchil para producir biocombustibles, lo que hace que esta investigación sea más novedosa, sin embargo, es de vital importancia realizar más pruebas para poder tener la certeza que este producto, es el más adecuado.

II. Determinación de Sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), humedad (H) y cenizas (CZ)

En la **Tabla I** se muestran los resultados obtenidos en la determinación de ST, SV, H y CZ, se determinó que la humedad de la semilla de guamúchil es del $13.96 \pm 1.12\%$ y para los sólidos totales es del $94.02 \pm 3.49\%$, que en comparación con publicaciones realizadas en 2021 por Alcántara Jiménez [13] en donde alcanzo valores del 13% para humedad y 92% para sólidos totales, los valores reportados en este trabajo están dentro del rango; para las cenizas se registró un promedio de $3.72 \pm 0.060\%$ y para los sólidos volátiles un valor de 96.28 ± 8.60 ; la determinación de sólidos totales y volátiles, son de vital importancia para determinar la viabilidad del material para su posible aplicación en biocombustibles o en alguna otra aplicación industrial que se desee realizar con la misma, debido a que

estos valores se relacionan con la cantidad de materia orgánica disponible para aprovecharse o transformarse; de la misma manera que las cenizas nos permiten identificar la cantidad de minerales que contiene el material y representa el material no aprovechable [14, 15].

III. Producción de biogás

Para la producción de biogás se reporta un tiempo de retención hidráulica de 18 días, arrojando valores de producción acumulada de 60.93 ± 1.15 ml de CH₄/gSV con el inoculo LATB; mientras que con LABG se obtuvo una producción acumulada de 110.544 ± 0.08 ml de CH₄/gSV **Fig. 1**, estos valores no se pueden comparar directamente con producción de biometano de residuos de Guamúchil, ya que no se encontraron referencias previas sobre el tema; sin embargo, fueron más elevados en comparación con trabajos reportados sobre digestión anaeróbica de residuos alimenticios; como el de Gonzales-Sánchez et al. [16] donde se analizaron residuos agroindustriales de mango y plátano, reportando valores de 63ml de CH₄/gSV, lo que indica que los valores obtenidos hasta el momento de la digestión anaerobia prometen resultados prometedores en cuanto a la producción de biogás.

III. CONCLUSIONES

La semilla de guamúchil (*Pithecellobium dulce*) ha sido descrita por sus diversos usos, entre los cuales destacan los medicinales, industriales, nutricionales, entre otros; sin embargo, su valorización en el mercado se ha visto mermada, ya que, no se ha tenido un análisis profundo de lo que este material nos puede aportar, en cuanto al guamúchil como residuo agroindustrial, la parte de la investigación que se ha realizado es mínima por lo que los productores no conocen que beneficios tienen estos desechos.

TABLA I. SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS VOLÁTILES DE LA SEMILLA DE CHILE POBLANO.

	Sólidos totales (%)	Sólidos volátiles (%)	Humedad (%)	Ceniza (%)
Semilla de guamúchil desgrasada	94.02 ±3.49	96.28 ±8.60	13.96 ±1.12	3.72 ± 0.06

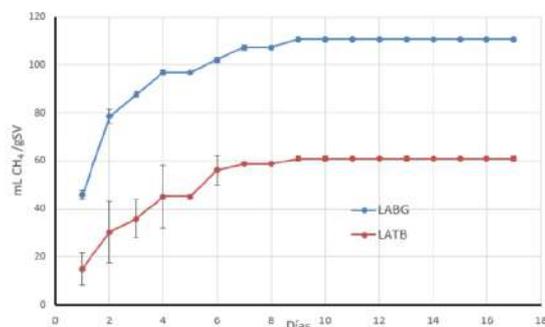


Fig. 1. Comparación de la producción acumulada de la producción metano a partir de biomasa desgrasada de guamúchil, con los lodos LATB y LABG.

La inclusión de la semilla de guamúchil en las biorrefinerías es un avance significativo para la producción de diversos materiales que podrían traer grandes beneficios económicos ambientales y científicos; las pruebas realizadas en este estudio, nos muestran que la biomasa residual de guamúchil puede ser aprovechada para la creación de biocombustibles, ya que según los valores de ST y SV, estos en comparación con otros materiales son competitivos, la cantidad de aceite obtenida es adecuada para generar biodiesel (aunque falta analizar factores importantes como el perfil de ácidos grasos), mientras que con la biomasa desgrasada se observó un buen potencial para obtención de biogás y biometano.

En conclusión, se considera que el presente estudio es relevante, ya que, al no existir información científica que describa el aprovechamiento integral de este residuo, los resultados obtenidos podrían significar un avance para el aprovechamiento integral de este tipo de materiales, lo que permitirá estar más cerca de procesos sustentables de aprovechamiento de la biomasa.

REFERENCIAS

- [1] Álvarez, O. R. (2020). Energías renovables en México . En O. R. Álvarez, *La demanda energética en México* (págs. 1-13). Ciudad de México : ICEX.
- [2] Cervantes, V. M. (2007). Técnicas para Propagar Especies Nativas de la Selva Baja Caducifolia y Criterios para Establecer Áreas de Reforestación. *PRONARE SEMARNAP*, 13-17.
- [3] Mahesha, C., Rani, J., Dattu, V. S., Rao, Y. K., Madhusudhanan, J., L. N., y otros. (2022). Optimization of transesterification production of biodiesel from *Pithecellobium dulce* seed oil. *International Conference on Advances on Clean Energy Research, ICACER*, 13-20.
- [4] Alcántara-Jiménez, J. Á.-H.-E.-N.-A. (2021). Caracterización de la semilla de guamúchil *Pithecellobium dulce* (Roxb.). *Benth. E-CUCBA*, 131-137.
- [5] Monroy, R., & Colin, H. (2004). El guamúchil *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth, un ejemplo de uso múltiple. *Madera y Bosques, vol. 10, núm. 1*, pp.35-53.
- [6] Parrota, J. C. (2005). *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. *International Council for Research in Agroforestry*, 265-268.
- [7] Agency, U. E. (01 de January de 2001). *Total fixed, and volatile Solids in water and Biosolids Draft*. Recuperado el 27 de Julio de 2023, de EPA-821-R-01-015: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1002CZ8.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>
- [8] AOAC. (1999). Official Methods Of Analysis International. *Association of Analytical Communities Gaithersburg*.
- [9] Dhinesh, N. J., Sankaranarayana, B., & Madasamy. (2023). Using *Pithecellobium Dulce* seed-derived biodiesel combined with Groundnut shell nanoparticles for diesel engines as a well-advised approach towards sustainable waste-to-energy management. 8-11.
- [10] Duran, S. (2020). "A review on oil extraction and biofuel from various materials". *Materials Today: Proceedings*, 26, no.2, 261-265.
- [11] Joaquín Coldwell, P., & Beltrán Rodríguez, L. (2019). Perspectiva de energías renovables 2016-2030. En S. d. México, *Perspectiva de energías renovables 2016-2030* (págs. 13-52). Ciudad de México .
- [12] Parrota, J. C. (2005). *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. *International Council for Research in Agroforestry*, 265-268.
- [13] Vargas-Madriz Ángel Felix, e. a.-G.-M.-S.-M.-S.-M. (2020). Phenolic profile and antioxidant capacity of *Pithecellobium dulce* (Roxb) Benth. *National Library of Medicine*, 10-14.

- [14] Sekhar, S. C., Karuppasamy, K., Vedaraman, N., Kabeel, A., Sathyamurthy, R., Elkelawy, M., y otros. (2021). Biodiesel production process optimization from *Pithecellobium dulce* seed oil: Performance, combustion, and emission analysis on compression ignition engine fuelled with diesel/biodiesel blends. *ELSEVIER*, 35-66.
- [15] Ramirez Camperos, e. (2004). FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS. *Fundamentos teóricos de lodos activados y aereación extendida*, 36-38.
- [16] González-Sánchez, M. E., Pérez-Fabiel, S., Wong-Villarreal, A., Bello-Mendoza, R., & Yáñez-Ocampo, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia Residuos agroindustriales metanización y composición bacteriana en digestión anaerobia. *ELSEVIER*, 15-23.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad politécnica de Sinaloa por su apoyo en el desarrollo de este proyecto, a la empresa Industria de Maíz y Trigo Blancas S.A. de C.V. (LABT) y la empresa BeGaia S.A. de C.V. (LABG) por donarnos los lodos activados para hacer los comparativos de los reactores para producir biogás.

BIOGRAFÍAS



BRANDON ARMENTA MEDEL Estudiante de la Licenciatura en Biotecnología en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Con capacidad para el desarrollo de trabajo en el laboratorio, capacidad en la resolución de problemas críticos, experiencia en oferta y distribución de productos farmacológicos, certificado para el manejo del idioma inglés. Actualmente desarrollando investigación en el estudio del cáncer cervicouterino con modelos de animales con una dieta hipercalórica.



JOSELYN GUADALUPE LEZAMA ROSAS Estudiante de la licenciatura en Biotecnología en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con capacidad en el desarrollo de investigación aplicada. Ha trabajado en diversas áreas referentes a la biotecnología, tales como alimentos funcionales y nanomedicina, actualmente se encuentra trabajando en líneas celulares de cáncer.



MARA F. JUÁREZ COTA Maestrando en Desarrollo Sustentable en programa Maestría en Ciencias Aplicadas en UPSIN. Formación en Ingeniería en Energía en la misma casa de estudios. Experiencia como profesor de asignatura en el área de inglés conversacional, enseñanza del idioma a nivel principiante, básico e intermedio, además de ciencias básicas nivel bachiller. Experiencia como asistente de coordinación y recepción de materias primas de HQ Flavor, y desarrollo de propuesta de proyecto para eficiencia energética e instalaciones fotovoltaica.



DAVID U. SANTOS BALLARDO Ingeniero Bioquímico; Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos; Doctor en Biotecnología Ambiental, por la Universidad Autónoma de Sinaloa; Profesor-Investigador de la Universidad Politécnica de Sinaloa; Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2017; Miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos como Investigador Honorífico; Miembro de la Red Mexicana de Bioenergía y de la Red Temática de Bioenergía; Autor de publicaciones científicas en revistas indizadas, actualmente desarrollando investigación relacionada con el desarrollo de energías renovables, específicamente biocombustibles de segunda y tercera generación, así como el desarrollo de biorrefinerías que promuevan la sostenibilidad de diversos procesos para la generación de bioproductos de alto valor.



DULCE L. AMBRIZ PÉREZ Lic. Química en Alimentos, egresada de la UAEM, Maestra en Ciencias egresada de la UAS y Doctora en Ciencias egresada de CIAD-Culiacán. Ha realizado múltiples estancias de investigación en universidades nacionales e internacionales, destacando CIIDIR Sinaloa y Texas A&M University; Profesora en la Universidad Politécnica de Sinaloa; pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), Nivel I, desde enero 2018. Miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos como Investigador Honorífico. Formación y experiencia en el área de alimentos funcionales y compuestos nutraceuticos, ha trabajado en la extracción, cuantificación e identificación de compuestos de interés. Autora de diversas publicaciones científicas indizadas y de divulgación.