

## Viabilidad técnica y económica de la producción de biodiésel a partir de aceite vegetal usado en Jalpa de Méndez, Tabasco

Kevin S. Olán-Rueda, Daniel A. Córdova-Chablé, Moisés A. Petriz-Prieto y Esveidi M. Valdovinos-García \*

División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez (DAMJM), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Carret. Estatal Libre Villahermosa-Comalcalco km. 27+000 s/n Ranchería Ribera Alta, Jalpa de Méndez, Tabasco, C.P. 86205, México

\* Autor de correspondencia: [esveidi.valdovinos@ujat.mx](mailto:esveidi.valdovinos@ujat.mx)

Desarrollo Sustentable (Economía Circular)

Recibido: 22 de agosto de 2025

Aceptado: 2 de octubre de 2025

Publicado: 27 de enero de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i1.626>

**Resumen:** El aceite vegetal usado (AVU) representa un residuo de alto impacto ambiental cuando es desechado inadecuadamente, generando contaminación en suelos y cuerpos de agua. En este estudio se evaluó la viabilidad técnica y económica de la producción de biodiésel a partir de AVU recolectado en el municipio de Jalpa de Méndez, Tabasco. La investigación se desarrolló en tres etapas: estimación del volumen potencial de recolección, producción y caracterización experimental de biodiésel, y simulación del proceso a escala industrial mediante Aspen Plus. Los resultados indicaron que existe disponibilidad significativa de AVU y disposición de los comerciantes para su aprovechamiento. El biodiésel obtenido presentó densidad y poder calorífico dentro de los rangos normativos, aunque la viscosidad fue ligeramente superior (7.50 mm<sup>2</sup>/s). La simulación mostró una conversión del 98 % y permitió estimar un costo de producción de 0.692 USD por litro, aunque el consumo energético en la etapa de purificación fue elevado. Estos hallazgos evidencian que la valorización del AVU para la producción de biodiésel constituye una alternativa ambientalmente favorable, aunque requiere optimizar la eficiencia energética para mejorar su competitividad económica.

**Palabras clave:** aceite vegetal usado, biodiésel, simulación de procesos, análisis económico, economía circular

## From waste to biofuel: technical and economic feasibility of biodiesel production from used vegetable oil in Jalpa de Méndez, Tabasco

**Abstract:** Used vegetable oil (UVO) represents a waste stream with high environmental impact when improperly disposed of, leading to contamination of soils and water bodies. In this study, the technical and economic feasibility of biodiesel production from UVO collected in the municipality of Jalpa de Méndez, Tabasco, was evaluated. The research was carried out in three stages: estimation of the potential collection volume, experimental production and characterization of biodiesel, and process simulation at industrial scale using Aspen Plus. The results indicated a significant availability of UVO and a willingness among local vendors to participate in its recovery. The produced biodiesel exhibited density and higher heating value within regulatory limits, although the viscosity was slightly higher (7.50 mm<sup>2</sup>/s). Process simulation showed a conversion efficiency of 98% and enabled the estimation of a production cost of 0.692 USD per liter; however, energy consumption during the purification stage was relatively high. These findings demonstrate that the valorization of UVO for biodiesel production is an environmentally favorable alternative, although improvements in energy efficiency are required to enhance its economic competitiveness.

**Keywords:** Used vegetable oil, biodiesel, process simulation, economic analysis, circular economy

### Introducción

Actualmente, los problemas ambientales derivados de la mala disposición de residuos son motivo de creciente preocupación. Entre ellos, el aceite vegetal usado (AVU), generado principalmente en actividades de fritura, representa un residuo altamente contaminante cuando es desechado inadecuadamente (Alarcón *et al.*, 2021). Su presencia en cuerpos de agua reduce la transferencia de oxígeno y luz, afectando gravemente los ecosistemas acuáticos y obstruyendo sistemas de alcantarillado debido a su baja biodegradabilidad. En suelos, puede generar una capa impermeable que disminuye la productividad agrícola (Alarcón *et al.*, 2021).

Cuando el aceite vegetal usado (AVU) ya se ha vertido en el suelo o en cuerpos de agua, existen alternativas de tratamiento como la biorremediación (mediante microorganismos, hongos o plantas), el uso de absorbentes naturales o sintéticos, la incineración controlada o el encapsulamiento del residuo (Qadeer *et al.*, 2021). Sin embargo, estas opciones suelen ser técnicamente complejas y económicamente inviables en muchos contextos locales. Por ejemplo, la biorremediación requiere condiciones ambientales controladas (como oxígeno, temperatura adecuada, nutrientes)

y puede tardar muchos meses o años, lo que encarece el proceso e introduce incertidumbres sobre su eficiencia (Alori, Gabasawa, Elenwo, & Agbeyegbe, 2022). El uso de absorbentes sofisticados (como esponjas o polímeros fabricados para separación de aceite) implica altos costos de producción y baja reutilización (Turco *et al.*, 2018). La incineración controlada, aunque elimina el contaminante, demanda instalaciones y filtros especializados para evitar emisiones peligrosas, lo que la hace poco accesible en zonas rurales, tal es el caso de Jalpa de Méndez. El encapsulamiento, en tanto que contiene el residuo aislándolo de su entorno, no elimina el contaminante, de modo que el problema simplemente se traslada, sin resolverlo de forma definitiva.

En respuesta a esta problemática, se han propuesto alternativas para el aprovechamiento del AVU, siendo la producción de biodiésel una de las más destacadas (Torroba, 2020, Campos-Ramírez *et al.*, 2020). Este biocombustible presenta propiedades biodegradables y menores emisiones contaminantes en comparación con el diésel fósil. Diversos estudios reportan reducciones de hasta un 13–21 % en monóxido de carbono y un 11 % en partículas suspendidas al mezclar biodiésel con diésel convencional (Qadeer *et al.*, 2021).

Desde inicios del año 2000, la producción de biodiésel ha incrementado significativamente, especialmente utilizando aceites como palma, soya y colza. No obstante, el AVU ha ganado atención por su bajo costo y disponibilidad, representando una opción viable dentro de esquemas de economía circular, Torroba, 2020. Gracias a sus resultados favorables, el desarrollo del biodiésel ha sido impulsado por políticas públicas y acuerdos internacionales que fomentan el uso de combustibles renovables. De hecho, se estima que las energías renovables representan hoy alrededor del 36 % de la matriz energética global (Torroba, 2020).

En el ámbito de la ingeniería básica de procesos, se utilizan herramientas de simulación como Aspen Plus, que permiten simular etapas de producción y realizar análisis técnicos y económicos para orientar decisiones sobre el escalamiento industrial. Este simulador es ampliamente utilizado en las industrias química y energética debido a su capacidad para modelar, optimizar y analizar costos en procesos complejos (Riojas-González *et al.*, 2022, Campos-Ramírez *et al.*, 2020).

En Jalpa de Méndez, Tabasco, la gastronomía local (particularmente la elaboración de productos fritos como la butifarra, empanadas, panuchos, y antojitos en general) genera grandes cantidades de AVU, el cual en muchos casos no recibe un tratamiento adecuado. Aunque algunos comerciantes entregan el aceite a empresas recolectoras, muchos otros lo desechan directamente en el drenaje o el suelo. Ante esta situación, el presente estudio se planteó como objetivo evaluar el potencial del AVU recolectado en este municipio para la producción de biodiésel, mediante su caracterización experimental y la simulación del proceso productivo para determinar su viabilidad técnica y económica.

## **Materiales y Métodos**

El presente proyecto se desarrolló en tres etapas, la primera fue la estimación de la capacidad de recolección de aceite vegetal usado (AVU) en el municipio de Jalpa de Méndez, la segunda fue la evaluación experimental de la calidad del biodiésel producido a partir del AVU recolectado, y la tercera fue la simulación del proceso de producción a escala industrial para analizar su viabilidad técnica y económica mediante el software Aspen Plus.

### *Determinación de la capacidad de recolección de aceite usado*

Como punto de partida, se aplicó una encuesta a 55 comercios dedicados a la preparación de alimentos en la zona centro de Jalpa de Méndez, municipio de Tabasco, con el objetivo de conocer los volúmenes aproximados de AVU generados y su disposición final. Las encuestas incluyeron preguntas clave como: “¿Donarías el aceite que desechas?” y “¿Dónde desechas el aceite que utilizas?”, lo que permitió identificar tanto la cantidad potencial de AVU disponible como el grado de disposición de los comerciantes para su donación. Durante las visitas, también se recolectaron muestras de aceite usado directamente de los establecimientos, las cuales se emplearon posteriormente en la etapa experimental para la producción de biodiésel.

### *Producción y caracterización de biodiésel a partir de AVU*

La producción experimental de biodiésel se llevó a cabo en laboratorio, mediante tres etapas principales: pretratamiento del AVU, reacción de transesterificación y caracterización del producto. Para el pretratamiento del

aceite usado y recolectado primero se sometió a un proceso de limpieza para eliminar sólidos y compuestos que pudieran afectar la eficiencia de la reacción. Este proceso incluyó filtración del aceite con el fin de retirar partículas sólidas del aceite, posteriormente un lavado con agua destilada a 70°C manteniendo agitación mecánica para eliminar impurezas químicas, y posteriormente se realizó la separación del agua usando un decantador. Finalmente, el aceite filtrado y lavado se sometió a calentamiento para el secado térmico por 2 horas a más de 110°C con el fin de eliminar humedad.

Para la producción de biodiésel se utilizó metanol como alcohol y NaOH como catalizador. Para la reacción química se preparó una solución de metóxido con 0.2 g de NaOH y 20 mL de metanol, se mezclaron con 50 ml aceite (relación molar aproximada aceite:metanol, 10:1) y se mantuvieron en agitación y a 40°C constante durante una hora. Posteriormente, la mezcla se decantó durante 24 horas, separándose en dos fases: glicerina (fase inferior) y biodiésel (fase superior), Figura 1. El biodiésel fue lavado varias veces con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro y finalmente purificado mediante calentamiento para eliminar restos de agua y metanol.

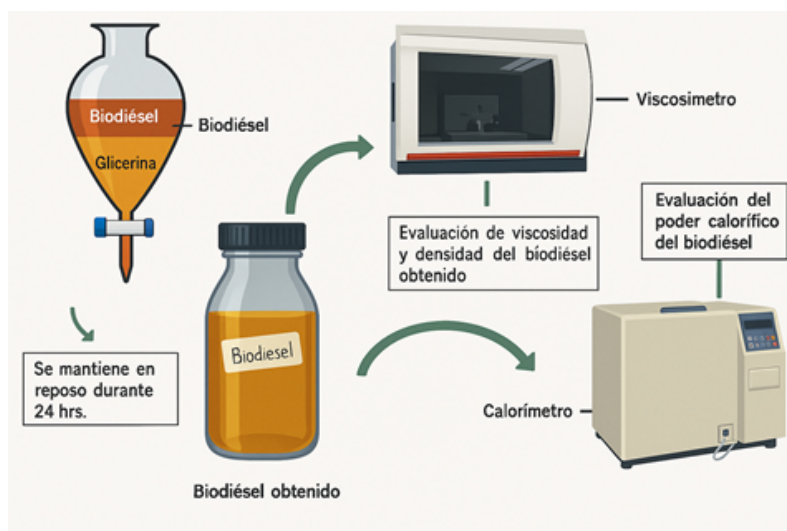


Figura 1. Esquema de seguimiento del biodiésel para la caracterización

El biodiésel se caracterizó (por triplicado) evaluando densidad, viscosidad y poder calorífico, además de realizar la prueba de la flama. La densidad y la viscosidad se determinaron mediante un viscosímetro Stabinger SVM 2001, Anton Parr, el poder calorífico se determinó utilizando un calorímetro adiabático. Para la prueba a la flama se prepararon 3 mecheros caseros, uno se llenó con aceite usado, otro con biodiésel y el tercero con diésel comercial, se encendieron las mechas y se comparó el tamaño de la flama y la cantidad de humo que generó la combustión de cada una de las muestras de combustibles.

#### Simulación del proceso y análisis Tecnoeconómico

Con base en los resultados experimentales, se simuló el proceso de producción de biodiésel en Aspen Plus v10. Se modelaron las etapas de pretratamiento del aceite usado, transesterificación del aceite y purificación de biodiésel obtenido. Para esta simulación, Figura 2, se consideró una alimentación de 24.232 kg/día de AVU, con una mezcla de 25% metanol y 75% dióxido de carbono como solvente en la reacción.

Para la etapa de pretratamiento se consideró el uso de equipos del simulador tales como filtros separadores de sólidos, mezcladores y tanques flash. En la etapa de transesterificación se utilizó CO<sub>2</sub> como solvente ya que ayuda a mejorar la efectividad de conversión en las reacciones de transesterificación del aceite, y metanol como alcohol primario, la Tabla 1 muestra las reacciones que se usaron para la simulación de esta etapa. El CO<sub>2</sub> es un solvente no tóxico, que puede retirarse fácilmente (por depresión de presión) sin dejar residuos, y en condiciones supercríticas ayuda a reducir los requerimientos de temperatura, presión o exceso de alcohol comparado con métodos que usan solo alcohol o solventes orgánicos tradicionales (Maçaira *et al.*, 2014). Para la simulación de la transesterificación se mezcla el metanol con aceite que ya fue tratado, para ello se usó un Mixer, la mezcla se calienta hasta una temperatura de 40°C

mediante un intercambiador de calor, ya que esta es la temperatura a la cual se llevará a cabo las reacciones principales. Posteriormente la mezcla ya calentada es enviada a un reactor estequiométrico para producir el biodiésel con las reacciones de transesterificación. Se consideró un reactor estequiométrico ya que no se contaban con datos cinéticos.

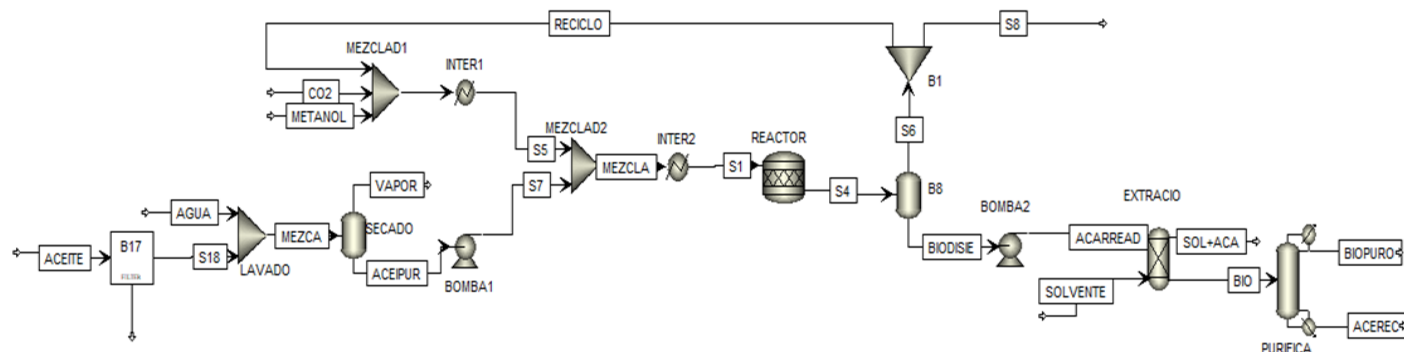


Figura 2. Flowsheet desarrollado en Aspen plus para evaluar la propuesta de producción de biodiésel a partir de aceite vegetal usado (AVU)

Tabla 1. Reacciones de transesterificación que se usaron para la simulación

Reacciones
$C_{57}H_{104}O_6 + 3 CH_3OH \leftrightarrow 3 C_{19}H_{36}O_2 + C_3H_8O_3$ Trioleína + Metanol $\leftrightarrow$ Oleato De Metilo + Glicerina
$C_{57}H_{98}O_6 + 3 CH_3OH \leftrightarrow 3 C_{19}H_{34}O_2 + C_3H_8O_3$ Trilinoleína + Metanol $\leftrightarrow$ Linoleato De Metilo + Glicerina
$C_{51}H_{98}O_6 + 3 CH_3OH \leftrightarrow 3 C_{17}H_{34}O_2 + C_3H_8O_3$ Tripalmitina + Metanol $\leftrightarrow$ Palmitato De Metilo + Glicerina
$C_{57}H_{110}O_6 + 3 CH_3OH \leftrightarrow 3 C_{19}H_{38}O_2 + C_3H_8O_3$ Triestearina + Metanol $\leftrightarrow$ Estearato De Metilo + Glicerina

Para la etapa de purificación la corriente de salida del reactor se envía a un tanque flash el cual se encargó de separar de la mezcla el metanol que no reaccionó y el cosolvente, y para aprovechar estos compuestos se recircularon al reactor. Después de separar el cosolvente y el metanol, la mezcla se envía a una columna de extracción líquido-líquido, ya que de esta mezcla se necesita separar la glicerina que se produjo como subproducto en las reacciones de transesterificación. La columna de extracción líquido-líquido opera inicialmente con un total de 8 etapas y utiliza agua como solvente. Por último, la mezcla biodiésel-aceite después de salir de la columna de extracción líquido-líquido fue enviada a una columna de destilación simple, esto con el objetivo de poder separar de la mejor manera el aceite del biodiésel. Dicha columna de destilación trabajo con un total de 20 platos, la etapa de alimentación de la mezcla fue la etapa número 4.

Esta configuración se eligió con el objetivo de comparar consumo de energía y los costos asociados al proceso. Se utilizó el modelo termodinámico Peng-Robinson por su eficacia en sistemas con compuestos no polares y semi-polares. A partir de la simulación, se obtuvieron los flujos de salida y los costos asociados a materias primas y energía, que fueron utilizados para calcular el costo unitario de producción por litro de biodiésel.

## Resultados y Discusión

### Evaluación de la capacidad de recolección de AVU

Con base en la encuesta aplicada a 55 comercios ubicados en la zona centro del municipio de Jalpa de Méndez, se identificó que la mayoría de los establecimientos genera y desecha aceite vegetal usado (AVU) en cantidades

significativas. Las respuestas a las preguntas clave (¿Donarías el aceite que desechas? Y ¿Dónde desechas el aceite que utilizas?) evidenciaron que una proporción considerable de comerciantes estaría dispuesta a donar el AVU para proyectos de aprovechamiento, mientras que otro grupo lo desecha directamente al drenaje o al suelo, lo que representa un riesgo ambiental. La estimación aproximada de recolección mensual de aceite fue de 790 litros. Estos resultados reflejan una oportunidad para implementar estrategias de valorización del AVU en el municipio (Figura 2).

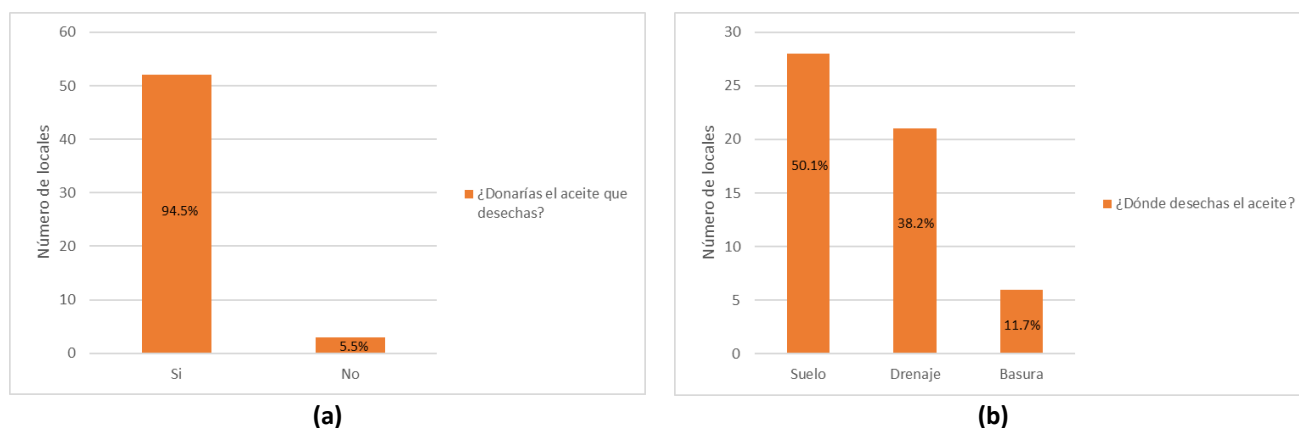


Figura 2. Respuesta a las preguntas: (a) ¿Donarías el aceite que desechas? y (b) ¿Dónde desechas el aceite?

### Caracterización del biodiésel obtenido

El biodiésel producido a partir de AVU fue sometido a pruebas de densidad, viscosidad y poder calorífico, además de una comparación física mediante la prueba de combustión. En la Tabla 2 se presentan los valores experimentales obtenidos y su comparación con los rangos establecidos por las normas ASTM D6751-23. Se tomaron muestras por triplicado y lo que se presenta en la Tabla 2 es un valor promedio.

Tabla 2. Resultados de la caracterización de biodiésel obtenido

Muestra	Densidad a 15°C (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosidad a 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	Poder calorífico (kJ/kg)
Biodiésel obtenido	0.9031	7.4948	37.876
Especificación ASTM	0.86 – 0.90	1.9 - 6	37 - 41

Se observa que la densidad y el poder calorífico se encuentran dentro del rango aceptable, aunque la viscosidad resultó ligeramente superior al límite especificado, lo que indica la necesidad de optimizar el proceso de purificación. Estos resultados coinciden con estudios previos, donde el biodiésel derivado de AVU presenta propiedades muy próximas a las establecidas en normativas internacionales (Qadeer *et al.*, 2021).

En la prueba de combustión comparativa (Figura 3), el biodiésel mostró una flama similar a la del biodiésel comercial, con una menor producción de humo que el aceite vegetal, lo que confirma su potencial como combustible alternativo.



Figura 3. Prueba de flama comparativa, diésel, biodiésel y aceite usado

### Evaluación y análisis tecnoeconómico

Con la finalidad de proyectar el proceso a escala industrial, se realizó una simulación en Aspen Plus v10 empleando un flujo de alimentación de 24.232 kg/día de AVU. El flujo de alimentación se estableció con base en los resultados de la encuesta. El proceso experimental tuvo una conversión del 98%, y esto se estableció para la simulación. Los resultados obtenidos en las diferentes etapas que considera el proceso se describen a continuación.

En la etapa de pretratamiento, Figura 4(a), se pudo observar que el aceite se puede limpiar de manera eficiente y controlada con los equipos propuestos en la simulación, alcanzando hasta un 99% de limpieza, lo que resultaría muy satisfactorio por el hecho de que el biodiésel saldría más libre y limpio de contaminantes. Respecto a esta etapa, el consumo energético fue de 1567.04 Btu/h. En la etapa de reacción, Figura 4(b), se pudo observar que la transformación del aceite alcanzó la conversión del 98% y el consumo de energía fue de 91.149 Btu/h.

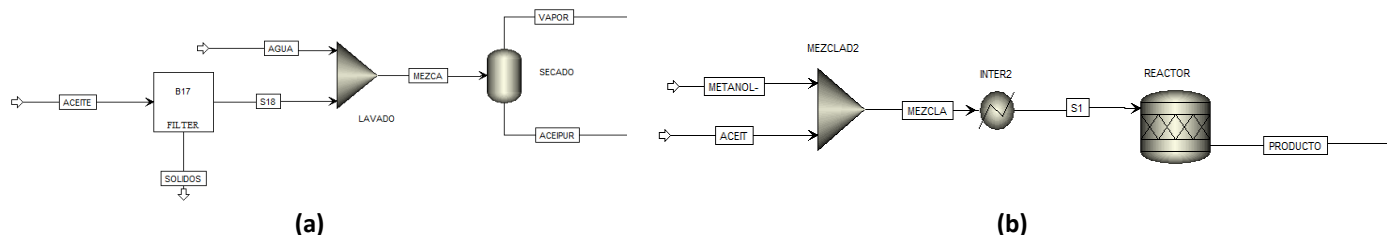


Figura 4. (a) Etapa de pretratamiento del aceite vegetal usado y (b) Etapa de reacción

En la etapa de purificación del biodiésel, Figura 5, se buscó separar el biodiésel de los restos de reactivos que no reaccionaron y del subproducto. Para ello se utilizaron tres métodos convencionales de operaciones unitarias, separación flash, extracción líquido-líquido y destilación común. La primera operación unitaria se encargó de separar el metanol y el cosolvente del resto de la mezcla. Dicha corriente fue recirculada de nuevo al proceso, para así poder seguir reutilizándolo, y aprovecharlo al máximo. La separación máxima que se obtuvo aquí fue del 99% del metanol que no reacciona. En la parte de la extracción líquido-líquido se buscó la separación de la glicerina que se creó como subproducto, en esta operación unitaria se utilizó agua como solvente y gracias a ello se pudo lograr una separación total de la glicerina. Por último, se buscó separar el biodiésel del aceite que no reaccionó, para así poder obtenerlo, lo más puro y limpio posible, para ello se utilizó una columna de destilación simple en la cual se alcanzó una separación del 99.9% de biodiésel de la mezcla, lo cual resulta muy satisfactorio ya que el producto saldría con una excelente calidad. En esta etapa a diferencia de las anteriores, es la que utiliza el mayor consumo energético, el cual es de 618,807.812 Btu/h.

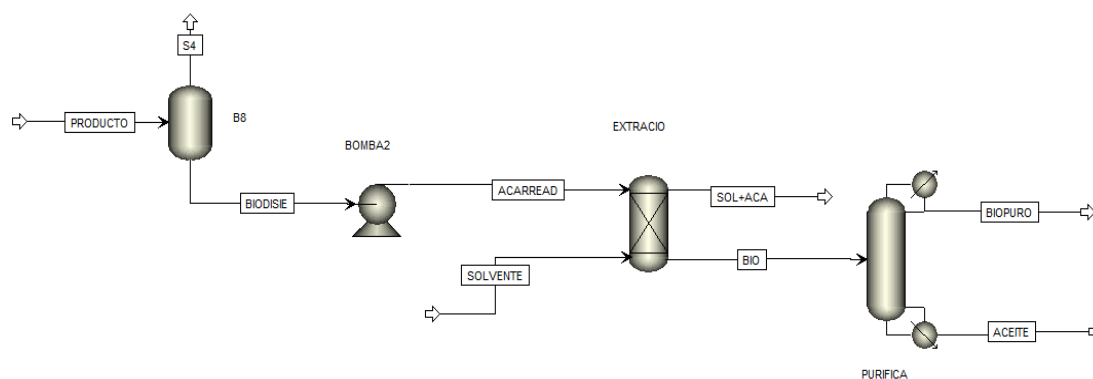


Figura 5. Etapa de purificación del biodiésel

Con estos resultados se estimó que la producción anual de biodiésel podría alcanzar los 6,832.435 litros, a la planta le costaría 0.692 USD producir 1 litro de biodiésel, el capital total que se necesitaría para poder construir la planta sería de 4,349,390 USD, lo que incluiría costos de instalación y equipos, el costo total de operación sería de 1,450,670 USD. Este valor se encuentra dentro del rango reportado en estudios previos, que varía entre 0.36 y 1.27 USD/L, dependiendo de la tecnología empleada y la escala de producción (Karmee, 2015). Los costos estimados indican que, aunque la producción de biodiésel a partir de AVU presenta ventajas ambientales y de economía circular, su competitividad económica frente al diésel fósil depende en gran medida de la optimización del proceso y de incentivos regulatorios. Otros estudios confirman que la ruta supercrítica, si bien evita el uso de catalizadores, implica mayores requerimientos energéticos, lo que incrementa el costo operativo (Tipsri & Lersbamrungsuk, 2019). A pesar de ello, el uso de AVU sigue siendo una alternativa prometedora para reducir impactos ambientales y valorizar residuos urbanos.

## Conclusiones

El estudio demostró la viabilidad técnica y económica de producir biodiésel a partir de aceite vegetal usado (AVU) recolectado en Jalpa de Méndez, Tabasco, confirmando que existe una disponibilidad significativa de materia prima y disposición de los comerciantes para su aprovechamiento. El biodiésel obtenido presentó densidad y poder calorífico dentro de los rangos establecidos por la norma ASTM D6751-23, aunque la viscosidad fue ligeramente superior, lo que indica la necesidad de optimizar la purificación. La simulación en Aspen Plus validó la factibilidad del proceso, alcanzando una conversión del 98 %, pero evidenció un alto consumo energético en la etapa de purificación. El análisis económico arrojó un costo de 0.692 USD por litro, competitivo frente a valores reportados, aunque su viabilidad frente al diésel fósil dependerá de la optimización del proceso y de incentivos regulatorios. En conjunto, la valorización del AVU para la producción de biodiésel es una alternativa ambientalmente favorable y viable dentro de esquemas de economía circular, aunque se recomienda continuar con estudios orientados a mejorar la eficiencia energética e integrar fuentes renovables para fortalecer la sostenibilidad del proceso en el escalamiento.

**Agradecimientos y financiamiento:** Agradecemos a los comerciantes que respondieron las preguntas y su disposición. Agradecemos también a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por todo el apoyo otorgado.

## Bibliografía

- Alarcón Tarira, M., & Romero Mosquera, R. (2021). *Estudio y diseño de un sistema de recolección de aceite vegetal usado para el sector comercial y residencial del Norte de la ciudad de Guayaquil*. Proyecto técnico de titulación, Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- Alori, E. T., Gabasawa, A. I., Elenwo, C. E., & Agbeyegbe, O. O. (2022). Bioremediation techniques as affected by limiting factors in soil environment. *Frontiers in Soil Science*, 2, 937186. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.937186>
- ASTM International. (2023). *ASTM D6751-23: Standard specification for biodiesel fuel blend stock (B100) for middle distillate fuels*. ASTM International. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/astm/09830f91-323-49b6-be4d-c791da-d67-23>
- Campos-Ramírez, L., Pérez-Sánchez, A., Benítez-Legrá, A., & Benítez, I. (2020). Estudio técnico-económico de dos tecnologías de producción de biodiesel a partir de aceite de soya empleando el simulador SuperPro Designer. *Tecnológicas*, 23(48), 119–141. <https://doi.org/10.22430/22565337.1568>
- Karmee, S. K. (2015). Techno-economic evaluation of biodiesel production from waste cooking oil—a case study of Hong Kong. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(3), 4362–4371. <https://doi.org/10.3390/ijms16034362>
- Maçaira, J., Santana, A., Costa, A., Ramirez, E., & Larrayoz, M. A. (2014). Process intensification using CO<sub>2</sub> as cosolvent under supercritical conditions applied to the design of biodiesel production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(10), 3985–3995. <https://doi.org/10.1021/ie402657e>
- Qadeer, M. U., Ayoub, M., Komiyama, M., Daulatzai, M. U. K., Mukhtar, A., Saqib, S., Ullah, S., Qyyum, M. A., Asif, S., & Bokhari, A. (2021). Review of biodiesel synthesis technologies, current trends, yield influencing factors and economical analysis of supercritical process. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125575. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127388>
- Riojas-González, H. H., Guerra-Bautista, R., Ruiz, H. A., & Rodríguez-Jasso, R. M. (2022). Producción de biodiésel y análisis de costos usando aceite de cocina. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 1(1), 1–20. [https://riiit.com.mx/apps/site/files\\_v2450/biodiesel\\_tam\\_9\\_riiit\\_mar-abr\\_2023.pdf](https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/biodiesel_tam_9_riiit_mar-abr_2023.pdf)
- Tipsri, T., & Lersbamrungsuk, V. (2019). Techno-economic analysis of biodiesel production from waste cooking oil using supercritical and subcritical processes. *Science, Engineering and Health Studies*, 13(3), 153–162. <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/SUST/10993617.pdf>
- Torroba, A. (2020). *Atlas de los biocombustibles líquidos 2019–2020*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://www.biodiesel.com.ar/atlas-biocombustibles-liquidos.pdf>
- Turco, A., Primiceri, E., Frigione, M., Maruccio, G., & Malitesta, C. (2018). An innovative, fast and facile soft-template approach for the fabrication of porous PDMS for oil-water separation. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1809.03719>