

# COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOETANOL A PARTIR DE DIFERENTES FRACCIONES DEL MANGO Y PIÑA

## COMPARISON OF BIOETHANOL YIELD FROM DIFFERENT MANGO AND PINEAPPLE FRACTIONS

Jennifer Belén Yucta Silva<sup>1</sup>

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

[jennifer.yucta@epoch.edu.ec](mailto:jennifer.yucta@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-8339-943X>

Fecha de recepción: 13-02-2023

Fecha de aceptación: 27-02-2023

Fecha de publicación: 15-03-2023

### RESUMEN

La búsqueda de alternativas energéticas sostenibles ha adquirido un protagonismo notable, impulsando un renovado interés en la producción de biocombustibles a partir de residuos agroindustriales, como los derivados de frutas como el mango y la piña. Por ello el problema de investigación, se da debido a que existe la necesidad de comparar el potencial de cada fracción de los residuos de mango y piña en la producción de bioetanol, con el fin de optimizar el aprovechamiento de estos recursos y maximizar la eficiencia del proceso de conversión. El objetivo es llevar a cabo una comparación exhaustiva del rendimiento en la obtención de bioetanol a partir de las distintas fracciones de residuos generados por el mango y la piña. La metodología, se realizó mediante una investigación cuantitativa con una revisión sistemática de la literatura científica relevante de los últimos 5 años, para evaluar y comparar de manera objetiva el rendimiento del bioetanol producido a partir de residuos de mango y piña. Los estudios demostraron que tanto los residuos de mango como los de piña son fuentes prometedoras de azúcares fermentables para la producción de bioetanol. Los pretratamientos ácidos y físicos fueron efectivos para incrementar la liberación de estos azúcares, siendo la cáscara de mango ligeramente más eficiente en términos de rendimiento de azúcares reductores. En conclusión, los residuos de piña, particularmente la celulosa, presentaron los mayores rendimientos de bioetanol, llegando a alcanzar hasta un 57.6%, lo que demuestra que los residuos de piña constituyen una materia prima más adecuada y eficiente para la producción de este biocombustible renovable en comparación con los residuos de mango.

### Palabras clave

Bioetanol, residuos, azúcares, fermentación, hidrólisis, biomasa

## ABSTRACT

The search for sustainable energy alternatives has acquired a notable prominence, driving a renewed interest in the production of biofuels from agroindustrial wastes, such as those derived from fruits like mango and pineapple. Therefore, the research problem arises from the need to compare the potential of each fraction of mango and pineapple residues in the production of bioethanol, in order to optimize the use of these resources and maximize the efficiency of the conversion process. The objective is to carry out an exhaustive comparison of the performance in obtaining bioethanol from the different waste fractions generated by mango and pineapple. The methodology was carried out by means of quantitative research with a systematic review of the relevant scientific literature of the last 5 years, to objectively evaluate and compare the performance of bioethanol produced from mango and pineapple wastes. The studies showed that both mango and pineapple residues are promising sources of fermentable sugars for bioethanol production. Acid and physical pretreatments were effective in increasing the release of these sugars, with mango peel being slightly more efficient in terms of reducing sugar yield. In conclusion, pineapple residues, particularly cellulose, presented the highest bioethanol yields, reaching up to 57.6%, which shows that pineapple residues constitute a more suitable and efficient raw material for the production of this renewable biofuel compared to mango residues.

### Keywords

Bioethanol, waste, sugars, fermentation, hydrolysis, biomass

## INTRODUCCIÓN

La búsqueda de alternativas energéticas sostenibles ha adquirido un protagonismo notable y urgente en el discurso contemporáneo, especialmente en un contexto donde los efectos perjudiciales asociados al uso intensivo de combustibles fósiles se vuelven cada vez más evidentes y alarmantes. Esta creciente preocupación por el cambio climático y la degradación ambiental ha impulsado un renovado interés en la producción de biocombustibles, en particular aquellos que se generan a partir de residuos agroindustriales (1).

Estos biocombustibles se perfilan como una solución prometedora no solo para mitigar los efectos negativos del calentamiento global, sino también para optimizar el uso de los recursos naturales disponibles en nuestro entorno, fomentando así una economía más sostenible y circular. En este panorama, los residuos derivados de frutas como el mango y la piña emergen como una fuente potencialmente valiosa para la producción de bioetanol, dado que su procesamiento puede transformar lo que, de otro modo, sería considerado un mero desecho en un biocombustible renovable y sustentable que podría contribuir significativamente a la seguridad energética de las comunidades y regiones involucradas (2).

El mango y la piña son dos de las frutas más cultivadas y consumidas a nivel mundial, lo que resulta en la generación de enormes cantidades de residuos, entre los cuales se incluyen cáscaras, semillas y coronas, mismos que son notablemente ricos en

carbohidratos, exhiben un alto contenido de celulosa y hemicelulosa, componentes que pueden ser convertidos en azúcares fermentables a través de procesos de pretratamiento y posterior hidrólisis. Sin embargo, es fundamental destacar que la composición química de estos residuos puede variar considerablemente, dependiendo de la fracción específica utilizada, lo que puede influir de manera significativa en el rendimiento del bioetanol obtenido. Por lo tanto, se convierte en un imperativo investigar y comparar el potencial de cada fracción en la producción de bioetanol, con el fin de optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles y maximizar la eficiencia del proceso de conversión (3).

A pesar del potencial evidente que presentan estos residuos, la producción de bioetanol enfrenta una serie de desafíos técnicos que están relacionados con la complejidad de la matriz lignocelulósica que compone estos subproductos. Esta estructura presenta una cohesión robusta, lo que dificulta el acceso a los azúcares fermentables que son esenciales para la producción de bioetanol. Para abordar esta complejidad, resulta fundamental implementar pretratamientos adecuados que faciliten la descomposición de la biomasa y la conversión efectiva de los carbohidratos en azúcares fermentables (4).

Es crucial señalar que no existe un enfoque universal y homogéneo para el pretratamiento, ya que la diversidad en la composición de los residuos exige una selección y adaptación cuidadosa de los métodos aplicados, que deben ajustarse a las características específicas de cada tipo de biomasa (1).

En este contexto, la presente investigación se propone llevar a cabo una comparación exhaustiva del rendimiento en la obtención de bioetanol a partir de las distintas fracciones de residuos generados por el mango y la piña con el objetivo de identificar aquellas fracciones que presenten un mayor contenido de azúcares fermentables y, por ende, un potencial superior para la producción efectiva de bioetanol. Al evidenciar las variaciones en la composición y el rendimiento del bioetanol derivado de estas fracciones, se espera contribuir de manera significativa al desarrollo de estrategias más eficaces para la utilización de residuos agroindustriales en la producción de biocombustibles.

Este enfoque no solo promovería una economía circular y sostenible, sino que también fomentaría un uso responsable y eficiente de los recursos, alineándose con las necesidades actuales de conservación del medio ambiente y desarrollo sostenible aprovechando frutas de mango y piña (5).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Método de investigación:

La presente investigación se clasifica como un estudio de tipo cuantitativo, dado que se fundamenta en la recopilación y el análisis sistemático de datos numéricos extraídos de artículos científicos relevantes. Este enfoque metodológico permite evaluar y comparar de manera objetiva el rendimiento del bioetanol producido a partir de residuos de mango y piña. A través de este método, se busca establecer patrones, tendencias y

correlaciones que faciliten la formulación de conclusiones bien fundamentadas y respaldadas por la evidencia científica disponible en la literatura actual.

### **Población o muestra:**

Para llevar a cabo esta investigación, se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos científicas de renombre, tales como Scielo y Google Académico. Con el propósito de guiar la búsqueda y selección de literatura relevante, se formuló la pregunta de investigación: "¿Bioetanol a partir de residuos de mango y piña?". En el proceso de revisión, se incluyó un conjunto significativo de estudios que abordan la producción de bioetanol derivado de estos residuos frutales.

Criterios de inclusión: La búsqueda se limitó a artículos científicos publicados en revistas revisadas por pares, así como a libros especializados que abarcan los últimos 5 años. Se incluyeron estudios que investigaron métodos avanzados de extracción de compuestos antioxidantes de frutas y hortalizas, siempre que proporcionaran información relevante sobre la producción de bioetanol.

Criterios de exclusión: Se excluyeron aquellos estudios que no proporcionaron información pertinente o que resultaron inaccesibles en su totalidad. Asimismo, se descartaron artículos que no se centraron específicamente en el bioetanol derivado de residuos de mango y piña, así como aquellos que no cumplieron con los estándares de revisión por pares o que fueron publicados en revistas de baja calidad. Esto asegura que solo se incluyan fuentes confiables y pertinentes que enriquezcan la base de datos de la investigación.

### **Entorno:**

La investigación se llevó a cabo en un entorno académico y de investigación, utilizando recursos bibliográficos accesibles a través de diversas plataformas digitales. Aunque no se realizó un trabajo de campo físico, el análisis se fundamentó en literatura científica que abarca diferentes contextos geográficos y productivos.

### **Mediciones:**

Para la recopilación de datos, se extrajeron datos relevantes de los estudios seleccionados, tales como los compuestos antioxidantes investigados, las frutas de interés y el bioetanol aplicado en cada caso. En este enfoque, se consideraron variables significativas, tales como el tipo de residuos utilizados, los métodos de extracción empleados y los rendimientos de bioetanol obtenidos. La información recopilada fue organizada de manera temática, lo que permitió abordar aspectos clave como la naturaleza de los residuos de frutas en la producción de bioetanol y su aptitud para dicha aplicación, facilitando así una comprensión más clara y precisa del potencial de estos subproductos.

### **Análisis de los datos:**

Se realizaron análisis descriptivos para resumir las características de los estudios revisados, así como análisis comparativos entre los diferentes métodos de extracción utilizados en los trabajos seleccionados. Este proceso permitió resaltar las ventajas, limitaciones y aplicaciones específicas de cada enfoque, contribuyendo a una comprensión más profunda de las metodologías empleadas en la obtención de bioetanol. Finalmente, se elaboró una síntesis de los resultados obtenidos, ofreciendo una perspectiva general sobre los últimos avances científicos en métodos avanzados para la producción de bioetanol a partir de residuos de mango y piña.

## RESULTADOS

### Azúcares fermentables de la cáscara de mango



**Grafica 1.** Cáscara de mango

**Fuente:** (6)

Los estudios de (6) demuestran que la biomasa del mango es una fuente significativa de carbohidratos, que incluye fibra (29% soluble y 27% insoluble), azúcares (5% sacarosa, 2% fructosa y 0.5% glucosa), almidón (0.3%) y pectina (15-32%). Esto indica un gran potencial para la producción de bioetanol a partir de los residuos de mango.

Seguidamente, en la Universidad de los Andes (7) se determinó una concentración inicial promedio de azúcares reductores de  $0.98 \pm 0.18$  g/L, proveniente de la mezcla de residuos de mango y agua. Esta concentración de monosacáridos se debe a los componentes extraíbles de los residuos de mango, especialmente de la semilla y la cáscara, que contienen un mayor porcentaje.

Después de la hidrólisis ácida, la concentración de azúcares alcanzó  $1.63 \pm 0.14$  g/L, lo cual es esperable debido a la acción de los iones  $H^+$  que rompen los enlaces entre los azúcares de la hemicelulosa y la celulosa, liberando una mayor cantidad de azúcares reductores como la glucosa, xilosa y manosa. Esto representa un incremento del 66.5% en comparación con la cantidad inicial de azúcares y una eficiencia de hidrólisis del 22.61% (8).

Posteriormente, en bibliografías de (9), (10), (11) se evidenciaron pruebas a la materia prima seca, como la determinación de azúcares totales (Método de Antrona), azúcares reductores (Método DNS), y contenido de fibra, con el objetivo de obtener datos iniciales (testigo) para compararlos con los obtenidos del proceso hidrolítico, además de un análisis proximal para caracterizar el residuo de mango.

En el proceso de hidrólisis ácida, se obtuvieron altas concentraciones de azúcares reductores (azúcares fermentables) utilizando ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 0,50%, logrando rendimientos del 52,75% en comparación con el material sin tratar. La hidrólisis de celulosa y hemicelulosa fue significativa con el tratamiento ácido, pero también se observó la conversión de estos polisacáridos en compuestos indeseables en la solución hidrolizada. Este efecto se refleja en la disminución de azúcares totales y en la alta degradación de celulosa y hemicelulosa con el tratamiento ácido (12). A continuación, en (13) se realiza un proceso químico que utiliza ácidos como catalizadores para convertir los polisacáridos de la biomasa lignocelulósica en monómeros. Entre los ácidos utilizados se encuentran el sulfúrico, clorhídrico, sulfuroso, fosfórico, nítrico y fórmico. Los métodos de hidrólisis ácida se dividen en dos categorías: el uso de ácidos concentrados (10-30%) a temperaturas de 170-190°C y el uso de ácidos diluidos (1-5%) a temperaturas de 160-270°C durante 1-12 segundos.

La reacción principal es la hidrólisis de hemicelulosa, xilano y glucomano. Con el objetivo principal de la hidrólisis es liberar glucosa presente en la biomasa lignocelulósica, produciendo azúcares fermentables a partir de la celulosa y hemicelulosa. Sin embargo, antes de iniciar la hidrólisis, es necesario realizar un pretratamiento para aumentar la susceptibilidad del material. Se utiliza NaOH diluido como catalizador en la biomasa lignocelulósica, a 60°C por 24 horas, generando reacciones de solvatación y saponificación, lo que permite que la biomasa se expanda y sea más accesible a las enzimas.

En concentraciones alcalinas altas, se produce la degradación y ruptura de los polisacáridos, por lo que es importante controlar el pH de la muestra (14), (15). Una vez realizado el pretratamiento, se obtiene una muestra sólida insoluble en agua, rica en celulosa y lignina, y otra muestra líquida compuesta de hemicelulosa. Luego se realiza la hidrólisis de cada muestra, obteniéndose monómeros, es decir, hexosas y pentosas, que son la materia prima para la producción de etanol (16).

Posterior a ello (17), se demuestra que en las cascarras de mango se encontró una concentración inicial promedio de azúcares reductores de  $0.98 \pm 0.18$  g/L en la mezcla de residuos de mango y agua. Esta concentración de monosacáridos proviene de los componentes extraíbles de los residuos de mango, especialmente de la semilla y la cáscara, que contienen un mayor porcentaje.

Tras la hidrólisis ácida, la concentración de azúcares aumentó a  $1.63 \pm 0.14$  g/L, lo cual es esperable debido a la acción de los iones  $H^+$  que rompen los enlaces entre los azúcares de la hemicelulosa y la celulosa, liberando una mayor cantidad de azúcares reductores como glucosa, xilosa y manosa. Esto representa un incremento del 66.5% en comparación con la cantidad inicial de azúcares y una eficiencia de hidrólisis del 22.61%.

### Azúcares fermentables de la cáscara de piña



**Grafica 2.** Cascara de piña

**Fuente:** (18)

En el caso de los residuos de piña, la cuantificación de azúcares reductores del sustrato extraído de piña con métodos ácidos, en las muestras de A, las concentraciones de azúcares reductores revelaron un máximo de 4,66 g/L al inicio de la, disminuyendo posteriormente a una concentración mínima de 3,18 g/L y 2.78 g/L después de 108 horas, en las muestras A y B respectivamente (18).

Por ello, la concentración de azúcares reductores en las cáscaras de piña hidrolizadas con aireación forzada fue de 2,236 g/L, mientras que en la hidrólisis sin aireación forzada fue de 1,369 g/L. Estos resultados indican que el pretratamiento físico, como la reducción del tamaño del sustrato, es suficiente para obtener azúcares reductores. No es necesario realizar pretratamientos químicos al sustrato debido a su baja concentración de lignina, un polímero que disminuye la eficiencia de la hidrólisis (19).

Además, a hidrólisis se llevó a cabo en dos etapas una fuerte al 72% y una diluida al 8%, logrando convertir tanto la celulosa como el bagazo de piña en glucosa. La conversión del bagazo alcanzó un 40%, mientras que la celulosa alcanzó un 78%. Este aumento se debe a que la celulosa contiene una mayor cantidad de unidades de D-glucosa, mientras que el bagazo de piña contiene pectina, lignina e impurezas que interfieren en la hidrólisis. Mediante fermentación anaerobia con *Saccharomyces cerevisiae*, se transformó la glucosa en etanol, que luego se obtuvo por destilación. Las mejores condiciones de fermentación fueron a 30°C durante 48 horas para el bagazo y 72 horas para la celulosa, con rendimientos de 34.5% y 57.6% respectivamente (15).

Por ultimo los resultados demuestran que tanto los residuos de mango como los de piña son fuentes prometedoras de azúcares fermentables para la producción de bioetanol. Los pretratamientos ácidos y físicos han sido efectivos para incrementar la liberación de estos azúcares, siendo la cáscara de mango ligeramente más eficiente en términos de rendimiento de azúcares reductores. Sin embargo, la composición química específica de cada fracción de residuo debe ser considerada para optimizar los procesos de hidrólisis y conversión a bioetanol.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian diferencias significativas en el rendimiento de bioetanol a partir de las distintas fracciones de residuos de mango y

piña. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado en la literatura científica de (20), donde se destaca que la composición química de los residuos agroindustriales puede variar considerablemente dependiendo de la fracción específica utilizada.

En el caso de los residuos de mango, se observó que la cáscara y la semilla presentan un mayor contenido de carbohidratos fermentables en comparación con otras partes del fruto. Esto se debe a que estos componentes contienen una mayor proporción de fibra soluble, azúcares como sacarosa, fructosa y glucosa, así como almidón y pectina, ya que los estudios revisados (21) indican que, mediante pretratamientos adecuados como la hidrólisis ácida, es posible incrementar significativamente la concentración de azúcares reductores a partir de estos residuos, llegando a aumentos del 66.5% en algunos casos.

Por otra parte, los residuos de piña también mostraron un gran potencial para la producción de bioetanol. Particularmente, la cáscara de piña demostró ser una fuente rica en carbohidratos fermentables, con concentraciones de azúcares reductores que alcanzaron hasta 4.66 g/L en los estudios analizados (22). A diferencia de los residuos de mango, los de piña presentan una menor concentración de lignina, lo que facilita la hidrólisis y la liberación de los azúcares fermentables. Incluso se evidenció que, en algunos casos, el pretratamiento físico, como la reducción del tamaño de partícula, fue suficiente para obtener rendimientos satisfactorios sin necesidad de aplicar tratamientos químicos.

Al comparar el rendimiento de bioetanol entre las diferentes fracciones de mango y piña, se observa que los residuos de piña, especialmente la cáscara, presentan un mayor potencial. Esto se debe a que la composición de la piña contiene una menor proporción de compuestos recalcitrantes, como la lignina, lo que facilita la hidrólisis y la conversión de los carbohidratos en azúcares fermentables. Además, los estudios (23) indican que los rendimientos de bioetanol a partir de la celulosa de piña pueden alcanzar hasta un 57.6%, mientras que en el caso del bagazo de piña los rendimientos alcanzan un 34.5%.

En contraste, los residuos de mango, si bien presentan un buen potencial para la producción de bioetanol, requieren de etapas de pretratamiento más intensivas, como la hidrólisis ácida, para lograr una mayor liberación de los azúcares fermentables. Esto se debe a la mayor complejidad de la matriz lignocelulósica presente en los residuos de mango, que incluye una mayor proporción de fibra insoluble y otros compuestos estructurales que dificultan el acceso a los carbohidratos (24).

Es importante destacar que la variabilidad en la composición de los residuos, incluso dentro de una misma fruta, puede influir de manera significativa en los rendimientos de bioetanol obtenidos. Factores como la madurez del fruto, las condiciones de cultivo y las prácticas de pos-cosecha pueden afectar la proporción de los diferentes componentes presentes en los residuos, lo que se traduce en rendimientos variables (25). Por lo tanto, es fundamental considerar estas particularidades al momento de diseñar y optimizar los procesos de producción de bioetanol a partir de estos subproductos agroindustriales.

En general, los resultados del presente estudio resaltan el gran potencial que presentan los residuos de mango y piña como sustratos para la producción de bioetanol. Sin

embargo, también ponen de manifiesto la necesidad de implementar estrategias de pretratamiento y procesos de conversión adecuados que permitan maximizar el aprovechamiento de estos recursos y optimizar los rendimientos de bioetanol obtenidos (26). El desarrollo de tecnologías más eficientes y sostenibles para la valorización de estos residuos agroindustriales contribuirá de manera significativa a la transición hacia una economía circular y la mitigación del impacto ambiental asociado a la gestión inadecuada de estos subproductos.

## CONCLUSIONES

Los residuos de mango, particularmente la cáscara y la semilla, demostraron un notable potencial para la producción de bioetanol. Mediante la aplicación estratégica de pretratamientos ácidos, se logró incrementar de manera significativa la concentración de azúcares reductores, lo que se tradujo en un incremento del 66.5% en el rendimiento de bioetanol en comparación con los residuos sin tratamiento. Esto evidencia el valioso contenido de carbohidratos fermentables que poseen estas fracciones del mango.

En el caso de los residuos de piña, especialmente la cáscara, también se perfilaron como una fuente prometedora de sustratos para la obtención de bioetanol. La menor concentración de lignina presente en estos residuos de piña facilitó notablemente los procesos de hidrólisis, lo que permitió la liberación y cuantificación de concentraciones de azúcares reductores que alcanzaron hasta 4.66 g/L. Estos resultados destacan la aptitud de los residuos de piña como materia prima viable para la producción de este biocombustible.

Al realizar una comparación integral del desempeño de las diferentes fracciones de mango y piña, se evidenció que los residuos de piña, particularmente la celulosa, presentaron los mayores rendimientos de bioetanol, llegando a alcanzar hasta un 57.6%. Estos datos demuestran que los residuos de piña, en comparación con los del mango, constituyen una materia prima más adecuada y eficiente para la producción de este valioso biocombustible renovable.

## AGRADECIMIENTO

Queremos expresar un agradecimiento a las personas que contribuyeron al desarrollo de la investigación de las distintas instituciones como la Universidad de los Andes, universidad EAFIT de Colombia Y la fundación Universitaria de Libertadores por permitir a los estudiantes tener los recursos requeridos para llevar a cabo sus investigaciones que han permitido darnos información para la elaboración de este artículo científico. Un profundo agradecimiento a todos los investigadores que han sido citados sus trabajos en este artículo de los cuales nos hemos basado para la revisión bibliográfica. Su dedicación y esfuerzo han sido de gran importancia para el conocimiento de mejores alternativas para la producción de bioetanol a partir de residuos procedentes de las frutas.

## CONFLICTOS DE INTERÉS

Por medio de la literatura citada los autores no mencionan la existencia de conflictos de interés con relación a sus artículos publicados. Las opiniones mencionadas en esta publicación no reflejan puntos de vista de ninguna afiliación o financiadores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Elzinga. El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible [Internet]. 2024 [citado 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/es/chronicle/ticle/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>
2. Ortiz. OBTENCIÓN DE AZÚCARES FERMENTABLES A PARTIR DE DIVERSOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES [Internet]. 2017 [citado 2024]. Disponible en: [https://smbb.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/simposios/SimposioIX\\_Ortiz.pdf](https://smbb.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/simposios/SimposioIX_Ortiz.pdf)
3. ONU [Internet]. 2020 [citado 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
4. Guerrero. OBTENCIÓN DE AZÚCARES FERMENTABLES POR HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE MANGO (Mangífera Indica L.) [Internet]. 2017 [citado 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/4280/Cajo%20Guerrero%20-%20V%C3%A1squez%20Ramos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. Corona M. PRODUCCIÓN DE AZÚCARES FERMENTABLES A PARTIR DE RESIDUOS DE NARANJA Citrus spp. PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL [Internet]. 2017 [citado 2024]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/80144/Tesis+Brenda+Corona-Correcctabcv.pdf?jsessionid=8301C9A175011BFA017C04BBDDD10FA9?sequence=1>
6. Aguilar. Biocombustibles mediante residuos agroindustriales [Internet]. 2021 [citado 2024]. Disponible en: <file:///C:/Users/edgar/Downloads/1410-Texto%20del%20art%C3%ADculo-5426-1-10-20220106.pdf>
7. García A. PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE MANGO (Manguifera indica) [Internet]. 2019 [citado 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/7e1801ab-42d1-42ef-b635-f0cfa8dc83b1/content#:~:text=Los%20desechos%20de%20mango%20>
8. J S. Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad [Internet]. 2019 [citado 2024]. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/ap>
9. L M. Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango com'un (Mangifera indica L.) en la obtención de azúcares fermentables [Internet]. 2007 [citado 2024]. Disponible en: [file:///C:/Users/hp/Downloads/lbenavid,+Gestor\\_a+de+la+revista,+440-1219-1-CE.pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/lbenavid,+Gestor_a+de+la+revista,+440-1219-1-CE.pdf)



10. Marín T. PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A TRAVÉS DE LA FERMENTACIÓN EN BATCH DE LA CÁSCARA DE MANGO (MANGIFERA INDICA) USANDO COMO INOCULO LA SACCHAROMYCES CEREVISIAE [Internet]. 2018 [citado 2024]. Disponible en: <https://repository.libertadores.edu.co/server/api/core/bitstreams/9373f7be-5059-493f-aa7e-737798a7a8f3/content>
11. Ramos. Obtención de azúcares fermentables por hidrólisis enzimática a partir de los residuos de mango (Mangífera Indica L.) [Internet]. 2017 [citado 2024]. Disponible en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USSS\\_646800025920bbb1e70a92150e9499c6/Details](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USSS_646800025920bbb1e70a92150e9499c6/Details)
12. Busgos L. CUANTIFICACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES DEL [Internet]. 2018 [citado 2024]. Disponible en: <file:///C:/Users/hp/Downloads/ART.+5.pdf>
13. Chandler C. Hidrólisis ácida diluida en dos etapas de bagazo de caña de azúcar para la producción de azúcares fermentables [Internet]. 2022 [citado 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/904/90426810002.pdf>
14. Kapilraj N, Keerthanan S, Sithambaresan M. Natural Plant Extracts as Acid-Base Indicator and Determination of Their pKa Value. Journal Of Chemistry. 2019;2019:1-6. doi: 10.1155/2019/2031342
15. Kim Y, Jang J, Park S, Um B. Dilute sulfuric acid fractionation of Korean food waste for ethanol and lactic acid production by yeast. Waste Management. 2018;74:231-240. doi: 10.1016/j.wasman.2018.01.012
16. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Indicadores e Instrumentos Cadena de Mango [Internet]. 2018 [citado 2024]. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/002%20%20Cifras%20Sectoriales/002%20-%20Cifras%20Sectoriales%20%202018%20Septiembre%20Mango.pdf>
17. Agronet. Evaluaciones Agropecuarias del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Internet]. 2017 [citado 2024]. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
18. Carrillo-Nieves D, Rostro Alanís M, de la Cruz Quiroz R, Ruiz H, Iqbal H, Parra-Saldívar R. Current status and future trends of bioethanol production from agroindustrial wastes in Mexico. Renewable And Sustainable Energy Reviews. 2019; 102:63-74. doi: 10.1016/j.rser.2018.11.03
19. Ayala-Zavala JF. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. Food Research International. 2011;44(7):1866-1874. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.021>
20. Patiño Ardila K, Torres Navarrete S. ALTERNATIVA DE OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE LOS DESECHOS DE PIÑA GENERADOS POR INDUSTRIAS KARPOS SAS [Proyecto integral de grado]. Bogotá: Fundación Universidad de América; 2021. Medina Rico RE.
21. Kapilraj N, Keerthanan S, Sithambaresan M. Natural Plant Extracts as Acid-Base Indicator and Determination of Their pKa Value. Journal Of Chemistry. 2019; 2019:1-6. doi: 10.1155/2019/2031342
22. Bio-Rad Laboratories, Inc. Chromatography Aminex HPLC Columns [Internet]. [citado 2024]. Disponible en: <http://www.bio-rad.com/>



23. Ávila Núñez R, Rivas Pérez B, Hernández Motzezak R, Chirinos M. Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en Agave cocui Trelease. MULTICIENCIAS. 2012;12(2).
24. Kumar S, Dheeran P, Singh S, Mishra I, Adhikari D. Kinetic studies of twostage sulphuric acid hydrolysis of sugarcane bagasse. Renewable Energy. 2019; 83:850-858. doi: 10.1016/j.renene.2015.05.033
25. Kim Y, Jang J, Park S, Um B. Dilute sulfuric acid fractionation of Korean food waste for ethanol and lactic acid production by yeast. Waste Management. 2018; 74:231-240. doi: 10.1016/j.wasman.2018.01.012
26. Li X, Yu B, Curran P, Liu S. Impact of two Williopsis yeast strains on the volatile composition of mango wine. International Journal Of Food Science & Technology. 2012;47(4):808-815. doi: 10.1111/j.1365-2621.2011. 02912.