



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter complejo, presentado al
H. Consejo Directivo, como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

TEMA:

Residuos agrícolas como alternativa en la producción de bioetanol y
sustituto de combustibles fósiles

AUTORA:

Endrik Jamileth Zuñiga Sandoya

TUTOR:

Mg. ia. Yary Ruiz Parrales, MAE.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

2024

RESUMEN

La producción de bioetanol a partir del bagazo de la caña de azúcar, rastrojo, residuos de madera, maíz, paja de trigo o arroz se discute como fuente de energía alternativa para reducir la dependencia de las economías regionales de los combustibles fósiles. La información obtenida fue parafraseada, resumida y analizada a fin de obtener información relevante sobre los residuos agrícolas como alternativa en la producción de bioetanol y sustituto de combustibles fósiles. Mediante el análisis de resultados se se determinaron las siguientes conclusiones: La producción de bioetanol se puede adquirir a partir de materias primas como: bagazo de la caña de azúcar, paja de trigo, rastrojos de maíz y residuos de frutas. Los residuos agrícolas representan una alternativa viable para la producción de bioetanol a gran escala. Los residuos agrícolas son abundantes, en la cual la biomasa para producir bioetanol es de 30 kg, mientras que solo se necesita 6 kg de biomasa para producir etanol. El método de hidrólisis enzimática es el más eficaz para producir bioetanol a partir de biomasa vegetal; donde se trata de la degradación microbiana de residuos lignocelulósicos mediante enzimas, siendo las más utilizadas las celulasas. La obtención de bioetanol a partir de los compuestos residuales generados durante el tratamiento lignocelulósico es una ruta de obtención de bioetanol más ecológica, económica y sostenible.

Palabras claves: Biomasa, hidrólisis, producción, bioetanol.

SUMMARY

The production of bioethanol from sugarcane bagasse, stubble, wood waste, corn, wheat straw or rice is discussed as an alternative energy source to reduce the dependence of regional economies on fossil fuels. The information obtained was paraphrased, summarized and analyzed in order to obtain relevant information on agricultural waste as an alternative in the production of bioethanol and substitute for fossil fuels. Through the analysis of results, the following conclusions were determined: The production of bioethanol can be acquired from raw materials such as: sugar cane bagasse, wheat straw, stubble, corn and fruit residues. Agricultural waste represents a viable alternative for large-scale bioethanol production. Agricultural waste is abundant, in which the biomass to produce bioethanol is 30 kg, while only 6 kg of biomass is needed to produce ethanol. The enzymatic hydrolysis method is the most effective to produce bioethanol from plant biomass; where it is the microbial degradation of lignocellulosic waste using enzymes, the most used being cellulases. Obtaining bioethanol from the residual compounds generated during lignocellulosic treatment is a more ecological, economical and sustainable route to obtain bioethanol.

Keywords: Biomass, hydrolysis, production, bioethanol.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	II
SUMMARY	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Línea de investigación	4
2. DESARROLLO	5
2.1. Marco conceptual	5
2.1.1. Importancia de los residuos agrícolas (bagazo de caña, rastrojo de maíz, paja de trigo y residuos de frutas) como alternativa en la producción de bioetanol y sustituto de combustibles fósiles	5
2.1.2. Bioetanol	5
2.1.3. Tipos de residuos agrícolas para la producción de bioetanol.....	6
2.1.3.1. Producción de bioetanol a partir de bagazo de caña.....	6
2.1.3.2. Producción de bioetanol a partir de paja de trigo	7
2.1.3.3. Producción de bioetanol a partir de rastrojos de maíz.....	8
2.1.3.4. Producción de bioetanol a partir de residuos de frutas.....	8
2.1.4. Métodos de extracción utilizados para el proceso de producción de bioetanol	9

2.1.4.1. Método de pretratamientos para la extracción de bioetanol a partir de residuos agrícolas	10
2.1.4.1.1. Método de pretratamientos físicos	10
2.1.4.1.2. Método de pretratamientos químicos	10
2.1.4.1.3. Método de pretratamientos biológicos.....	11
2.1.4.2. Método de hidrolisis para la extracción de bioetanol a partir de residuos agrícolas	12
2.1.4.2.1. Método de hidrolisis ácida.....	12
2.1.4.2.2. Método de hidrolisis enzimática	13
2.1.4.3. Método de fermentación para la producción de bioetanol a partir de residuos agrícolas	13
2.1.5. Ventajas y desventajas de utilizar residuos agrícolas para la producción de bioetanol	14
2.1.5.1. Ventajas	14
2.1.5.2. Desventajas.....	15
2.1.6. Nuevas tecnologías en la producción de bioetanol	15
2.2. Metodología.....	17
2.3. Resultados.....	18
2.4. Discusión de resultados.....	19
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	20
3.1. Conclusiones	20
3.2. Recomendaciones	21
4. REFERENCIAS Y ANEXOS	22
4.1. Referencias.....	22
4.2. Anexos.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Anexo 1.	Utilización del bagazo de caña de azúcar para la elaboración del bioetanol.....	31
Anexo 2.	Utilización de la paja de trigo para la elaboración del bioetanol.....	31
Anexo 3.	Utilización del rastrojo de maíz (hojas, hojuelas y tallos) para la elaboración del bioetanol.....	31
Anexo 4.	Utilización de restos de frutas para la elaboración del bioetanol.....	32
Anexo 5.	Proceso de hidrolisis enzimática para la producción de bioetanol.....	32
Anexo 6.	Bioetanol a partir de residuos agrícolas.....	32

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. Introducción

En todo el mundo se reconoce que los residuos agrícolas son una de las mejores opciones para sustituir a los granos en la producción de bioetanol combustible, sin poner en peligro la seguridad alimentaria, aunque todavía existen muchos desafíos para su conversión comercial, debido a su recalcitrancia a la degradación, así como a su composición química única (Zhao *et al.*, 2021).

La biomasa lignocelulósica para la producción de bioetanol proviene principalmente de residuos agrícolas tales como: rastrojos de maíz, paja de trigo, bagazo (residuos de caña de azúcar y sorgo), etc (Osotos, 2019).

Además, el etanol es uno de los componentes más importantes del biodiésel como combustible utilizado en motores de encendido por chispa. El etanol puede obtenerse a partir de fuentes de celulosa y almidón en productos agrícolas y utilizarse como combustible en su forma pura o mezclado con otras sustancias (Salehi *et al.*, 2018).

La producción de bioetanol a partir del bagazo de la caña de azúcar, rastrojo de maíz, paja de trigo o residuos de frutas se discute como fuente de energía alternativa para reducir la dependencia de las economías regionales de los combustibles fósiles (Cardoso *et al.*, 2020).

La importancia de la utilización y del manejo correcto de los residuos y subproductos de la industria como una de las estrategias destinadas a la implantación de una agricultura y gestión sostenibles, es debido en especial a las presiones cada vez mayores hacia la necesidad de impedir la introducción de agentes contaminantes y disminuir las emisiones en el medio ambiente (Cardoso *et al.*, 2020).

1.2. Planteamiento del problema

La reciente evolución económica en muchos países del mundo ha aumentado la necesidad de recursos energéticos alternativos debido a los inconvenientes bien documentados de los combustibles fósiles tales como: la emisión de gases de efecto invernadero, calentamiento global, el aumento del precio y las fluctuaciones económicas inesperadas; todos estos puntos débiles han reforzado el interés por un combustible alternativo, renovable, sostenible y económicamente viable como es el bioetanol (Haghighi Mood *et al.*, 2020).

La presencia de residuos vegetales (bagazo de la caña de azúcar, la paja de trigo, rastrojo del maíz y residuos de frutas) en el campo agrícola e industrias, tiene efectos negativos en el medio ambiente, tales como emisiones de metano, que es un potente gas de efecto invernadero y contaminación de acuíferos por lixiviación (Abril y Navarro, 2021).

La dependencia de los combustibles fósiles para la producción de energía plantea serios problemas ambientales y económicos. Estos combustibles como el petróleo, son responsables de una importante contaminación medioambiental, que contribuye al cambio climático global. La extracción y procesamiento de estos recursos, provocan daños ambientales graves, como la contaminación del aire y del agua. Además, la explotación puede agotar los recursos naturales, creando una vulnerabilidad económica debido a la volatilidad de los precios y la creciente competencia por estos recursos limitados (Rosero *et al.*, 2020).

La biomasa agroindustrial, como el bagazo de la caña de azúcar, la paja del trigo, rastrojo del maíz y residuos de frutas se denominan biomasa lignocelulósica, la misma que es barata, abundante y renovables, constituyéndose en un recurso natural único para la producción de bioenergía a gran escala y de forma rentable (Rezania *et al.*, 2020).

1.3. Justificación

El generar biocombustibles a partir de diferentes materias orgánicas (bagazo de caña, rastrojo de maíz, paja de trigo y residuos de frutas) que provienen de procesos vivos, hace que estos desperdicios sean investigados desde hace algunas décadas. Las materias primas más utilizadas para generar bioetanol son principalmente la lignocelulósica y los desperdicios de plantas agroindustriales (Llenque *et al.*, 2020).

El bioetanol ha ganado interés en los últimos años debido a varios factores, entre ellos la creciente demanda mundial de energía, los efectos negativos atribuidos a los combustibles fósiles por cuestiones medioambientales y de sostenibilidad. Además, el volumen de residuos agrícolas generado en el mundo es considerable, donde existen 57 principales productos agrícolas con un volumen aproximado de 5.100 millones de toneladas (Rojas, 2022).

Los residuos orgánicos representan una alternativa para enfrentar y superar una problemática ambiental y social que demanda una solución oportuna, y a la vez existe una demanda declarada en la producción de bioetanol; donde para este proceso es importante implementar una estructura controlada que permita la degradación del material vegetal (bagazo de caña, rastrojo de maíz, paja de trigo y residuos de frutas) complejo en moléculas sencillas, y establecer el crecimiento efectivo de las células fermentadoras para la generación de bioetanol a partir de materia orgánica (Llangari, 2018).

Existen muchos conocimientos, investigaciones y tecnologías sobre el bioproceso de producción de bioetanol con materias primas permisibles de la agroindustria y agricultura convencional, por lo que es importante describir la importancia de los residuos orgánicos como alternativas en la producción de bioetanol para uso en la agricultura orgánica (Retto, 2019).

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Determinar la importancia de los residuos agrícolas como alternativa en la producción de bioetanol y sustituto de combustibles fósiles.

1.4.2. Objetivos específicos

- Describir los tipos de residuos agrícolas como alternativa en la producción de bioetanol y sustituto de combustibles fósiles.
- Explicar los métodos de extracción utilizados para el proceso de producción de bioetanol.

1.5. Línea de investigación

La presente investigación está enfocada dentro de los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo de Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología. Pues la temática de la presente investigación es “Residuos agrícolas como alternativa en la producción de bioetanol y sustituto de combustibles fósiles”, el mismo que se encuentra enfocado en la línea de: Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable y en la sublínea de: procesos agroindustriales.

2. DESARROLLO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Importancia de los residuos agrícolas (bagazo de caña, rastrojo de maíz, paja de trigo y residuos de frutas) como alternativa en la producción de bioetanol y sustituto de combustibles fósiles

Existen en el campo muchos residuos agrícolas proveniente de biomasa que contienen glucosa y fructosa, los mismos que son utilizados para la producción de biocombustibles (Arias, 2022).

El uso de bioenergía para la combustión de biomasa seca a la producción de biocombustible disminuye la degradación de ecosistemas naturales que han servido para la extracción o producción de biomasa en detrimento del almacenamiento de carbono (Pérez, 2020).

Existen numerosos métodos para obtener el bioetanol de los residuos secundarios de un cultivo. Los factores que determinarán el método más adecuado serán la disposición del residuo del producto, el contenido de fibra insoluble, el contenido de grasa del producto, la concentración de azúcar potencial y otros aspectos como el coste de la materia y el rendimiento y el coste del etanol (Villalobos & Plata, 2023).

2.1.2. Bioetanol

El bioetanol es un biocombustible obtenido a partir de residuos orgánicos esencialmente vegetales, como la biomasa lignocelulósica forestal. Generalmente, el bioetanol procedente de cereales es apropiado para fines industriales, pero no directamente para su utilización como biocombustible, por lo que debe ser desnaturalizado (Garmendia, 2021).

El uso de bioetanol en vehículos convencionales con motores de tecnología híbrida obsoleta, además de utilizar como biocombustible un recurso natural con un gran potencial de producción, permite obtener un combustible que posee propiedades como la limpieza en la combustión, no es tóxico, se mezcla fácilmente y tiene un elevado poder antidetonante. Su uso puede reducir ciertas emisiones contaminantes (Martelo, 2023).

2.1.3. Tipos de residuos agrícolas para la producción de bioetanol

Los cultivos energéticos tienen como finalidad la producción de energía, principalmente para la generación y producción de biocombustible (Llano & Cardona, 2020).

En general, hay alrededor de 1,500 millones de toneladas de residuos de cultivos disponibles a nivel mundial. Estos residuos tienen un importante potencial de generación de bioetanol, ya que el contenido de materia seca varía entre 70 y 90%, con una significativa concentración de celulosa, hemicelulosa y lignina, que son los principales componentes del bioetanol. Muchos estudios han abordado en la actualidad la conversión de residuos agrícolas a bioetanol (Caratori & Di Tella, 2021).

2.1.3.1. Producción de bioetanol a partir de bagazo de caña

El bagazo de caña de azúcar (CCA) ha sido utilizado históricamente como fuente de energía para la climatización y la generación de vapor destinado a la producción de energía en la industria azucarera. Con el desarrollo del mercado de biocombustibles, que ha sido impulsado como política para la reducción de la dependencia energética y la mitigación del impacto ambiental de las emisiones de gases de efecto invernadero, su potencial como fuente de materias primas para la producción de bioetanol ha cobrado particular relevancia (Rodríguez *et al.*, 2023).

El bagazo de caña es el residuo que se obtiene de la caña de azúcar una vez realizados procesos de prensado y triturado para obtener el jugo azucarado. El bagazo tiene un alto contenido de fibra, celulosa y hemicelulosa, lo que significa una mayor cantidad de carbohidratos disponibles para la producción de energía (Vallejo, 2024). Tal como observamos en el **anexo 1**.

Entre los biocombustibles producidos a partir de fuentes renovables se encuentra el bioetanol, que se puede obtener a partir de los azúcares hidrolizados de la celulosa en residuos lignocelulósicos, como la caña de azúcar. Existen etapas experimentales con diferentes procesos interesados en la hidrólisis química o fermentativa del azúcar de caña y la separación de lignina para su conversión en energía u otros de alto valor (UFOP, 2022).

2.1.3.2. Producción de bioetanol a partir de paja de trigo

La paja de trigo presenta un contenido de lignina que oscila entre 20 a 30% de la materia seca (MS). La digestibilidad de la celulosa disminuye un 9% por cada 1% de lignina. La lignina es un componente que limita la degradación de la pared celular y es responsable de la menor utilización del forraje por los microorganismos del rumen. La baja energía de las pajas no fibrosas lixivía cantidades importantes de azúcares (Cabrera, 2023). Tal como observamos en el **anexo 2**.

La paja de trigo se ha utilizado en el pasado como un material para producir bioetanol. Este material podía ser encontrado en cantidades ilimitadas y en varias partes de la tierra. Toda la paja que queda en los campos después de las cosechas se puede usar para elaborar biocombustibles a partir del tratamiento químico adecuado. Sin embargo, existen dos limitaciones principales del material orgánico que dificultan la fabricación de bioetanol: poca producción de azúcares fermentables (1,80 g de azúcares/100 g de paja) y baja permeabilidad del material natural al transporte de material (Vele *et al.*, 2021).

2.1.3.3. Producción de bioetanol a partir de rastrojos de maíz

Los rastrojos de maíz como las hojas, hojuelas y la tuza se encuentran en uno de los grupos de biomasa más estudiados. Se ha demostrado que pueden ser un material crudo para la producción de bioetanol. Actualmente, el 90% de los rastrojos de maíz terminan en el abono orgánico que se utiliza directamente en los cultivos o en la elaboración de alimento para el ganado y aves. El 10% restante se quema en la misma zona de producción con el fin de nutrir el suelo, lo cual provoca intoxicación por el monóxido de carbono en el suelo y efectos dañinos para los seres vivos (Villanueva, 2024). Tal como observamos en el **anexo 3**.

El rastrojo de maíz es rico en celulosa cruda (51%), hemicelulosa (27%) y lignina (18%). En cuanto al proceso de producción de bioetanol, los rastrojos de maíz se muelen, se tratan en calor, se agitan y luego se inicia el proceso normal. En cuanto a la hidrólisis diluida con ácido, se tiene un rendimiento de bioetanol del 20%, las enzimáticas rinden un 68,4% y las ácidas rinden un 89,7% (Hernández et al., 2024).

Algunos grupos han reportado la obtención de bioetanol para distintas rutas. Por ejemplo, para el maíz empleado en el campo, con cáscara, para el frijol, con hierba, observan Tasas de Rendimiento Neto (NR) para Gasolina equivalente superiores a los 3.5, 2.6 y 3.5 ha⁻¹ año⁻¹ para cada caso, respectivamente, y de recuperación de la Energía Incremental (IER) rinden un 106, 148 y 103%, es decir que habría energía neta útil (Loor & Lee, 2024).

2.1.3.4. Producción de bioetanol a partir de residuos de frutas

Reportan que en la piel, semilla y bagazo de la pitahaya roja es donde se encuentra la mayor proporción de celulosa. Por su parte, en la pulpa el contenido de almidón es significativamente bajo y el de compuestos hemicelulósicos es elevado, por lo tanto, la pulpa no

es una buena fuente para la obtención de azúcares (Solano, 2023). Tal como observamos en el **anexo 4**.

La composición química de los residuos agroindustriales varía significativamente dependiendo de la procedencia del material. La celulosa, hemicelulosa y lignina son los compuestos más abundantes en la pared celular de la fruta. En los frutos de albaricoque, la celulosa (34-44 %), hemicelulosa (18-24 %) y lignina (18-37 %) constituyen cerca del 70 % del residuo (Raza et al., 2023).

Los residuos de frutas se pueden considerar como sustratos de bajo coste para la producción de bioetanol debido a que la generación de muchos de ellos tiene un elevado costo. Aunque suponga aprovechar un residuo para producción de bioetanol, se debe considerar, además de factores económicos y de la cadena de suministro, factores ambientales que identifiquen la sostenibilidad del proceso (Carrera & Vélez, 2021).

2.1.4. Métodos de extracción utilizados para el proceso de producción de bioetanol

Los métodos de extracción para la obtención de este biocombustible pueden ser variados, ya que existen distintos procesos biotecnológicos y enzimáticos que pueden tener aplicación a nivel industrial. Es bien conocido que el método de mayor aplicación en la actualidad para la producción de bioetanol a nivel industrial es el fermentativo, usando levaduras y ácido sulfúrico al 2% v/v para el proceso de separación etanol-agua (Abanto & Mendoza, 2024).

2.1.4.1. Método de pretratamientos para la extracción de bioetanol a partir de residuos agrícolas

Este es el primer proceso de conversión de los componentes principales, celulosa, hemicelulosa y lignina. Estos procesos no reducen los ataques enzimáticos porque su objetivo es reducir el contenido de lignina en las paredes celulares. Además, también se debe reducir la estructura cristalina de la celulosa y aumentar la superficie. A continuación, se detallan algunos de los procesos ejecutados por la naturaleza. Algunos de estos procesos no pueden aplicarse a escala industrial debido a dificultades técnicas y elevados costes (Llenque *et al.*, 2020).

2.1.4.1.1. Método de pretratamientos físicos

Su principal objetivo es reducir el tamaño y la densidad de las sustancias. Los métodos más importantes son la molienda mecánica y la pirólisis. El primero de ellos sirve para reducir el tamaño de las partículas, pero en realidad no mejora el rendimiento de la hidrólisis. La pirólisis, por otro lado, define las características y velocidades de los procesos secundarios. En algunos casos se puede realizar una ecografía para extraer hemicelulosa y lignina (Bello, 2021).

2.1.4.1.2. Método de pretratamientos químicos

Los pretratamientos químicos cambian la estructura química de las sustancias mediante los siguientes procesos, tal como lo indica Orizano & Valdizán (2021):

- Explosión de vapor (“steam explosion”): Es uno de los métodos más utilizados y estudiados en el campo de los materiales lignocelulósicos. La biomasa se expone a altas temperaturas y presiones y luego se alivia rápidamente. Esto significa que los componentes se separan utilizando menos energía que un proceso mecánico. El problema es la producción de inhibidores de la fermentación.

- Explosión con amoníaco (“explosión de amoníaco”): Este método es similar al método anterior, excepto que el material está expuesto a un ataque de amoníaco líquido. Este método permite romper la estructura cristalina de la celulosa y reciclar el amoníaco. La principal diferencia con el método de explosión de vapor es que no se generan inhibidores de la fermentación.
- Agua líquida caliente: En este método, la biomasa se expone a la influencia del agua caliente a temperaturas entre 170 y 230 °C. Esto permite disolver la hemicelulosa en celulosa, haciendo que la celulosa sea más accesible. El valor del pH debe mantenerse entre 4 y 7 durante el proceso para evitar la formación de inhibidores.
- Hidrólisis ácida: este proceso utiliza un catalizador ácido para convertir los polisacáridos de la biomasa en monómeros elementales. Los principales ácidos utilizados son el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico.
- Ozonización: Se realiza en condiciones de presión y temperatura ambiente. Permite la degradación de la lignina y la hemicelulosa, pero la celulosa también se ve afectada por este tratamiento.

2.1.4.1.3. Método de pretratamientos biológicos

Este tipo de tratamientos descomponen la lignina y la hemicelulosa para acceder a la celulosa y realizar un ataque enzimático. En algunos casos es necesario realizar previamente un tratamiento fúngico para un posterior ataque enzimático. El problema de estos tratamientos fúngicos es que también consumen celulosa, lo que genera problemas con su rendimiento general (Restrepo et al., 2021).

2.1.4.2. Método de hidrolisis para la extracción de bioetanol a partir de residuos agrícolas

Después de dividir las materias primas, la celulosa y la hemicelulosa se hidrolizan para obtener glucosa y xilosa. Los polisacáridos materiales se convierten en monosacáridos. Esta hidrólisis puede realizarse por métodos ácidos o enzimáticos (De *et al.*, 2021).

2.1.4.2.1. Método de hidrolisis ácida

La hidrólisis es una técnica útil y, de forma muy importante, para aquellos residuos que tienen en su estructura compuestos lignocelulósicos, cuya extracción libera azúcares que, de otra forma, no podrían ser aprovechados (bagazo extraído tras la extracción del jugo de la caña de azúcar). La hidrólisis de los residuos se puede abordar desde dos enfoques bien diferenciados (Taïpe & Yugsî, 2021).

La hidrólisis con ácidos concentrados permite utilizar temperaturas más bajas en el proceso, reduciendo la cantidad de subproductos y logrando mayores rendimientos de azúcar. Los ácidos concentrados atacan los enlaces de hidrógeno entre las cadenas de celulosa y destruyen la cristalinidad de la celulosa. Esto forma un ion carbonilo intermedio para el paso de hidrólisis. Esto ocurre a temperaturas moderadas (20-50 °C). Esto reduce las reacciones de degradación y proporciona rendimientos aceptables de glucosa en un tiempo relativamente corto. El ácido sulfúrico tiene problemas con su recuperación. La ventaja de utilizar ácido clorhídrico es que es volátil y por tanto fácil de recuperar, pero su alta corrosividad aumenta los costes de mantenimiento. El ácido fluorhídrico también es volátil y, por tanto, fácil de recuperar, pero su peligro y su elevado coste son sus desventajas. (Castillo *et al.*, 2022).

2.1.4.2.2. Método de hidrólisis enzimática

Este método es el más eficaz para producir etanol a partir de biomasa. Se trata de la degradación microbiana de residuos lignocelulósicos mediante enzimas, siendo las más utilizadas las celulasas. Esta actividad depende de la capacidad de absorber sustratos y formar complejos enzima-sustrato activos. Esto afecta no sólo a las propiedades de la enzima, sino también a factores como la composición física y morfológica, la cristalinidad y la estructura química (Guaraca, 2023). Tal como observamos en el **anexo 5**.

La característica principal de este proceso es el importante ahorro de energía y equipos en comparación con los procesos ácidos. Este problema ocurre cuando se forman compuestos inhibidores y se requiere la desintoxicación de la corriente para la fermentación posterior. Estos inhibidores resultan de la hidrólisis de diversos componentes, ácidos orgánicos esterificados de hemicelulosa o derivados fenólicos solubilizados de lignina. Lo mismo ocurre con la descomposición de los azúcares solubles (Marín, 2022).

2.1.4.3. Método de fermentación para la producción de bioetanol a partir de residuos agrícolas

Los azúcares liberados durante la hidrólisis enzimática se fermentan, produciendo principalmente etanol, dióxido de carbono, butanol, ácidos orgánicos, xilitol y furfural (Rodrigo, 2024).

2.1.4.4. Destilación y disposición de residuos agrícolas (bagazo de caña, paja de trigo, rastrojo de maíz y residuos de frutas)

Una vez recuperado el bioetanol, se realiza una destilación para rectificar y purificar el bioetanol. Este proceso se realiza de forma tradicional para eliminar el agua presente en el

combustible. Considerando que el punto de ebullición del bioetanol es 78,3 °C y el punto de ebullición del agua es 100 °C, se calienta la masa y el etanol se evapora, provocando la separación (Medina, 2023). Tal como observamos en el **anexo 6**.

En última instancia, los residuos resultantes deben eliminarse para garantizar la protección del medio ambiente. Por lo tanto, junto con la lignina, estos residuos pueden utilizarse como combustible para proporcionar calor y electricidad a las plantas, o el excedente puede inyectarse a la red eléctrica. Algunos materiales de desecho, como aguas residuales y productos químicos, se reciclan (Ruiz, 2023).

2.1.5. Ventajas y desventajas de utilizar residuos agrícolas para la producción de bioetanol

2.1.5.1. Ventajas

Debido a su origen, se encuentra en diversas partes de la economía, pudiendo variar, pero basándose generalmente en el cultivo de una gran cantidad de biomasa (Lokazyuk, 2023).

Los residuos agrícolas generalmente no están destinados para consumo alimentario ni son de carácter orgánico. La producción de etanol carburante no entraría en conflicto con la producción de alimentos y se podría utilizar como desinfectante sin desestabilizar los mercados (Beltrán & Duarte, 2021).

Los residuos agrícolas son abundantes. La biomasa disponible para producir etanol es de 30 kg, mientras que solo se necesita 6 kg de biomasa para producir etanol (Escobedo & Calderón, 2021).

En el caso de las gramíneas, las ventajas son todavía mayores, ya que estas plantas podrían ser muy beneficiosas para mejorar la calidad del suelo. Además, hay que destacar el

potencial abono de la fracción lignocelulósica que no se convierte en bioetanol después del proceso fermentativo (Coronado & Yullieht, 2023).

Al utilizar residuos agrícolas, se reduce la competencia entre la utilización de las materias primas para producir biocombustibles y el suministro de alimentos a la población, a los animales y en la industria agroalimentaria, especialmente si se trata de residuos que no presentan un valor añadido económico (Chavarría *et al.*, 2024).

2.1.5.2. Desventajas

Los productos obtenidos pueden estar por debajo del precio del mercado y se cuestiona la sostenibilidad de desarrollar una tecnología para la obtención de un producto que compite y no está supeditada a la obtención de alimentos, productos químicos, etc (Lara, 2020).

La tecnología aún es incipiente, aun así la utilización de residuos agrícolas para la producción de bioetanol está utilizando energía no renovable para el transporte, gestión de terrenos, cosecha, tratamiento previo del residuo y producción de fertilizante, resultando en un balance de energía unitario (Macias *et al.*, 2022).

El aporte de los residuos para la producción de bioetanol no aporta un beneficio económico, ya que el precio, al menos en su estado actual, no compensa el gasto producido (Ivars, 2023).

2.1.6. Nuevas tecnologías en la producción de bioetanol

De especial interés el desarrollo de biocombustibles de origen vegetal permitiría, entre otros beneficios, la intensificación agrícola, es decir, incrementar la producción de biomasa con las mínimas transformaciones de la intervención antropogénica en los elementos potentes

químicos, economizador de agua para riego, y trabajo y generador de una energía próxima al CO₂ liberado durante la combustión de origen fósil (Sotomonte, 2021).

Los avances ya realizados y los que se están investigando en el diseño de estrategias sostenibles para obtener bioetanol a partir de residuos agrícolas pueden resumirse en las siguientes tecnologías, tal como lo indica Quintero & Gómez (2023):

- Pretratamientos fisicoquímicos que permitan la liberación de los azúcares polímeros y evitar la formación de productos tóxicos durante la degradación de los lignocelulósicos (rotura de las uniones estéricas y covalentes en la estructura de la lignina y su dispersión sin degradarlo químicamente)
- Desarrollo de cepas microbianas de la levadura que sean capaces de fermentar compuestos muy tóxicos, resistentes frente a los compuestos presentes y realizar la fermentación simultánea de los distintos azúcares hallados en el medio procedentes del hidrolizado desarrollado,
- Mayor rendimiento en la mejora en la conversión del sustrato al producto final, azúcar a etanol,
- Formar complejos de la maquinaria de producción de bioetanol y que el consumo de agua y de energía sea más eficiente y acelerar la producción, en términos de tiempo.

2.2. Metodología

El presente trabajo consistió en una investigación bibliográfica, que se realizará utilizando el método inductivo - deductivo, documental bibliográfico, información de los dspace de universidades, bibliografía de Google académico, artículos científicos, revistas indexadas y otros espacios de consulta bibliográfica especializada.

La información obtenida fue parafraseada, resumida y analizada a fin de obtener información relevante sobre los residuos agrícolas como alternativa en la producción de bioetanol como sustituto de los combustibles fósiles.

2.3. Resultados

En base al trabajo de investigación realizado sobre los residuos agrícolas como alternativa en la producción de bioetanol y sustituto de combustibles fósiles, se determino los siguientes resultados:

El bagazo de caña es el residuo que se obtiene de la caña de azúcar una vez realizados procesos de prensado y triturado para obtener el jugo azucarado; el bagazo tiene un alto contenido de fibra, celulosa y hemicelulosa, lo que significa una mayor cantidad de carbohidratos disponibles para la producción de energía.

La paja de trigo es considerada como un desperdicio en algunos países, el mismo que es utilizado para producir bioetanol como biocombustible, para contribuir al suministro de energía útil y respetuosa con el medio ambiente.

Los rastrojos de maíz se encuentran en uno de los grupos de biomasa más estudiados; donde se ha demostrado que pueden ser un material crudo para la producción de bioetanol. El rastrojo de maíz es rico en celulosa cruda (51 %), hemicelulosa (27 %) y lignina (18 %).

Los residuos de frutas presentan en la cascara, semilla y bagazo la mayor proporción de celulosa, en la pulpa el contenido de almidón es significativamente bajo y el de compuestos hemicelulósicos es elevado que puede ser utilizado como un material crudo para la producción de bioetanol

El bioetanol puede ser producido por hidrólisis enzimática o usando organismos que metabolizan azúcares, como la levadura, en presencia de un sustrato. Los métodos de extracción para la obtención de este biocombustible pueden ser variados, ya que existen distintos procesos biotecnológicos y enzimáticos que pueden tener aplicación a nivel industrial.

2.4. Discusión de resultados

El bioetanol es un combustible líquido renovable producido por fermentación de los azúcares simples presentes en la biomasa (glucosa y fructosa), obtenidos de los productos agrícolas. Además, se menciona que la biomasa agroindustrial, como el bagazo de la caña de azúcar, la paja del trigo y el rastrojo del maíz, es una biomasa lignocelulósica, la misma que es barata, abundante y renovables, constituyéndose en un recurso natural único para la producción de bioenergía a gran escala y de forma rentable (Arias, 2022).

La importancia de la utilización y del manejo correcto de los residuos agrícolas y subproductos de la industria para la producción de bioetanol, es debido en especial a las presiones cada vez mayores hacia la necesidad de impedir la introducción de agentes contaminantes y disminuir las emisiones en el medio ambiente (Cardoso *et al.*, 2020).

Abanto & Mendoza (2024) mencionan que existen numerosos métodos para obtener el bioetanol de los residuos vegetales, el cual los factores que determinarán el método más adecuado serán la disposición del residuo del producto, el contenido de fibra insoluble, el contenido de grasa del producto, la concentración de azúcar potencial y otros aspectos como el coste de la materia, rendimiento, etc., tomando como referencia lo expresado por Guaraca (2023) quien menciona que el método por hidrolisis enzimática es más eficaz para producir etanol a partir de biomasa; se trata de la degradación microbiana de residuos lignocelulósicos mediante enzimas, siendo las más utilizadas las celulasas; esto depende de la capacidad de absorber sustratos y formar complejos enzima-sustrato activos; en comparación del método por hidrolisis ácida que es una técnica útil y, menos eficaz, para aquellos residuos que tienen en su estructura compuestos lignocelulósicos, cuya extracción libera azúcares que, de otra forma, no podrían ser aprovechados (bagazo extraído tras la extracción del jugo de la caña de azúcar). La hidrólisis de los residuos se puede abordar desde dos enfoques bien diferenciados (Taipe & Yugsi, 2021).

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

De acuerdo al análisis de los resultados se detallan las siguientes conclusiones:

- La producción de bioetanol se puede adquirir a partir de materias primas como: bagazo de la caña de azúcar, paja de trigo, rastrojos de maíz y residuos de frutas.
- El bagazo de caña es el residuo que posee un alto contenido de fibra, celulosa y hemicelulosa, en relación a los demás residuos estudiados, lo cual representa una mayor cantidad de carbohidratos disponibles para la producción de bioetanol.
- Los residuos agrícolas representan una alternativa factible para la producción de bioetanol a gran escala, proporcionando una opción viable y sostenible en la obtención de biocombustible.
- Los residuos agrícolas son abundantes se necesitan alrededor de 30 kg de biomasa, para generar una cantidad significativa de bioetanol, donde destaca que el potencial de estos residuos es una fuente muy valiosa para la producción de biocombustible.
- El método de hidrólisis enzimática es el más eficaz para producir bioetanol a partir de biomasa vegetal; donde se trata de la degradación microbiana de residuos lignocelulósicos mediante enzimas, siendo las más utilizadas las celulasas.
- La obtención de bioetanol a partir de los compuestos residuales generados durante el tratamiento del lignocelulósico es una ruta de obtención de bioetanol más ecológica, económica y sostenible.

3.2. Recomendaciones

A continuación, se mencionan las siguientes recomendaciones:

- Recomiendo que los residuos vegetales como bagazo de la caña de azúcar, paja de trigo, rastrojos de maíz y residuos de frutas, deben ser destinados de forma correcta al proceso industrial para la producción de bioetanol.
- Considerar que los desperdicios agrícolas se usen como una alternativa ecológica y eficaz, ya que ofrecen una opción efectiva y sostenible para la producción de bioetanol.
- En base al trabajo realizado recomiendo establecer áreas de recolección para la correcta gestión de la biomasa vegetal resultante de la actividad agrícola, ya que disponen en grandes cantidades, dónde se requiere aproximadamente 30kg de biomasa para producir una cantidad elevada de bioetanol.
- Aplicar el método de hidrólisis enzimática para obtener de forma eficaz bioetanol a partir de residuos vegetales. Lo cual implica la degradación de residuos lignocelulósicos mediante enzimas, resultando ser el más eficiente.
- Implementar avances tecnológicos en los tratamientos lignocelulósicos para optimizar la producción de bioetanol a partir de residuos agrícolas, desarrollando una productividad más ecológica y rentable.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. Referencias

Abril, A., Navarro, E. (2021). Etanol a partir de biomasa lignocelulósica. *Aleta*.

Arias, P. (2022). Obtención de bioetanol a partir de la fermentación del lixiviado generado de los residuos urbanos orgánicos provenientes del mercado municipal El Arenal del Cantón Cuenca (Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana Ecuador).
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25012/1/UPS-CT010569.pdf>

Altamirano, C., Calvopiña, F., Chicaiza, X., & Pilco, C. (2021). Potencialidad de Biocombustibles a partir de Residuos Orgánicos. *Revista Scientific*, 6(21), 40-57.

Bello, A. (2021). Licuefacción hidrotérmica de biomasa macroalgal. Una visión general: e23. *Revista Estudiantil Nacional de Ingeniería y Arquitectura*, 2(3).

Beltrán, K. & Duarte, L. (2021). Propuesta de aprovechamiento de alimentos agrícolas en la ciudad de Bogotá: Una mirada a la logística de distribución (tesis de grado, Universidad de América). <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8581>

Castillo, N., Duran, Y., Rosero, J., & Pardo, L. (2022). Optimización de la hidrólisis enzimática de la fracción sólida del mucílago de café. *Nuevo Panorama de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación*. universidadean.edu.co

Cabrera, E. (2023). Efecto de los niveles de levadura y tiempos de fermentación en la composición química del ensilado de residuos de cosecha (Tesis grado, Universidad Nacional del Centro del Perú).
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9857/T010_44666802_T.pdf?sequence=8&isAllowed=y

- Coronado, P. & Yullieht, K. (2023). Identificación de impactos ambientales y sociales generados a la seguridad alimentaria en Colombia a causa de la producción de biodiesel (Tesis de grado, Universidad de América).
<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/9321>
- Chavarría, H., Torroba, A., Porras, C., Gamboa, H., Rocha, P., & Blanco, M. (2024). Bioeconomía en ALC: definiciones, senderos y potencial para su aprovechamiento. Informe de situación y perspectivas de la bioeconomía en América Latina y el Caribe. iica.int
- Castillo, E. (2021). Evaluación de la producción de bioetanol a partir de residuos vinícolas producidos en Baja California (Tesis de grado, Universidad Autónoma de Baja California).
<https://repositorioinstitucional.uabc.mx/server/api/core/bitstreams/5cf4e888-3a0f-4b9d-a55f-6744d342cf84/content>
- Carrera, C. & Vélez, D. (2021). Bioetanol a partir de los residuos de frutas y verduras de los mercados de Calceta y Quiroga (Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”).
<https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/42000/1633/TTMA47D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caratori, L. & Di Tella, F. (2021). El potencial de los biocombustibles argentinos para contribuir al cumplimiento de las contribuciones de Argentina en el marco del Acuerdo de París. INTA.
https://www.researchgate.net/publication/353093331_El_potencial_de_los_biocombustibles_argentinos_para_contribuir_al_cumplimiento_de_las_contribuciones_de_Argentina_en_el_marco_del_Acuerdo_de_Paris

- Escobedo, M. & Calderón, A. (2021). Biomasa microalgal con alto potencial para la producción de biocombustibles. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 265-282. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.030>
- Garmendia, M. (2021). Estimación de la generación de residuos y subproductos en la industria alimentaria en Navarra (Tesis de grado, Universidad Pública de Navarra). <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/40350>
- Guaraca, N. (2023). Extracción de azúcares fermentables a partir del nopal (opuntia ficus) de la estación experimental Tunshi-Riobamba mediante hidrólisis ácida como fuente de obtención de bioetanol (Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21540>
- Hernández, R., Robles, C., Calderín, A., Castañeda, E., Muñiz, S., & Perez, S. (2024). Ácidos húmicos inducen crecimiento y protección contra el estrés hídrico en maíces nativo de México: Ácidos húmicos atenúan el déficit hídrico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(1).
- Haghighi, S., Hossein, A., Tabatabaei, M., Salehi Jouzani, G., Hassan Najaf, G., Gholam, M., Ardjmand, M. (2020). Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77-93. DOI: 10.1016/j.rser.2013.06.033
- Ivars, L. (2023). Aplicación de ultrasonidos y extracción subcrítica para la obtención de extractos acuosos activos de la paja de arroz (Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia). <https://riunet.upv.es/handle/10251/198218>
- Kang, Q., Appels, L., Tan, T., Dewil, R. (2020). Bioethanol from Lignocellulosic Biomass: Current Findings Determine Research Priorities. *Hindawi*, 13. DOI:10.1155/2014/298153

- Llangari, A. (2018). Comparación del rendimiento y calidad de bioetanol obtenido a partir de la biomasa lignocelulósica de los pseudotallos de banano (Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador).
- Llenque, L., Díaz, A., Lino, L., & Vega, R. (2020). Producción de bioetanol a partir de residuos orgánicos vegetales. Revista de Investigación Científica REBIO, 40 (1), 21 – 29.
file:///C:/Users/hp/Downloads/2991-Texto%20del%20art%C3%ADculo-10454-1-10-20200730%20(2).pdf
- Llor Zambrano, L. E. & Lee Saltos, V. D. (2024). Desarrollo de un panel aislante térmico y acústico a partir de cáscaras de huevo y almidón de maíz para la construcción (Tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil).
file:///C:/Users/hp/Downloads/T-ULVR-5465.pdf
- Llenque, L., Quintana, A., Torres, L., Segura, R. (2020). Producción de bioetanol a partir de residuos orgánicos vegetales. REBIOL: Revista de Investigación Científica, 40(1), 21-29,
<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/facccbiol/article/view/2991>
- Lara, C. (2020). Obtención del bioetanol como aditivo de gasolina apto para biocombustible alternativo a partir de la fermentación de residuos cítricos de la Amazonia Boliviana (Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés).
<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/33643>
- Lokazyuk, P. (2023). Estudio técnico-económico inicial de usos industriales de la biomasa procedente de especies vegetales invasoras (Tesis de grado, Universidad de Sevilla).
<https://idus.us.es/handle/11441/151950>
- Llano, A., Cardona, J., Lenis, S., Pemberthy, J., Salazar, S., & Agudelo, M. (2020). Análisis de la producción de bioetanol desde la biomasa lignocelulósica del maíz producida en la huerta

- del colegio de la UPB a partir de la literatura científica (Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana). <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/8005>
- Macias, A., Parra, J., & Puentes, J. (2022). Pasado, presente y perspectiva del Bioetanol en Ecuador. *CIENCIA UNEMI*, 15(40), 38-51. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol15iss40.2022pp38-51p>
- Medina, J. (2023). Análisis de alternativas para el aprovechamiento de residuos generados por la industria del cannabis (Tesis de grado, Universidad Santo Tomás). https://redcol.minciencias.gov.co/Record/SANTTOMAS2_6962eadeefbb3a18e2386f788ce03aca
- Martelo, N. (2023). Procesos integrales de biorefinería aplicados a la valorización de residuos lignocelulósicos locales para producción de productos químicos y energía (Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia). <https://addi.ehu.es/handle/10810/61323>
- Marín, G. (2022). Estudio del efecto de la saponina de quinua en la hidrólisis enzimática de tallos de quinua pre-tratados utilizando enzimas Cellic Ctec2 para la producción de glucosa (Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés). <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/30880/PG-8287.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nguyen, Q., Yang, J., Bae, H.. (2020). Bioethanol production from individual and mixed agricultural biomass residues. *Industrial Crops and Products*, 718-725. doi: 10.17113/ftb.56.03.18.5546
- Orizano, V. & Valdizán, H. (2021). Aprovechamiento de cáliz de aguaymanto (*Physalis Peruviana*) y cáscara de yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) para la producción de bioetanol (Tesis de grado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán).

<https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/6170/TAI00174066.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Osotos, F. (2019). *Mejora de trigo y triticale para la producción de bioetanol lignocelulósico usando herramientas clásicas y moleculares*. UCOPress.

Pérez, N. (2020). Valoración del biocombustible obtenido mediante fermentación de residuos agroindustriales (Tesis de grado, Universidad Científica del Sur).
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1503>

Restrepo, H., Valencia, J., Arriola, E., Bedoya, S., Valencia, J. D., & Ardila, A. (2021). Evaluación de la extracción de fibras de celulosa a partir de pseudotallos de banano con uso potencial en la industria papelera. *Renewable Energy, Biomass & Sustainability (REB&S)*, 3(1), 35-40. https://aldeser.org/uploads/1/3/0/8/130818527/a4_v3n1_reb_s.pdf

Quintero, M. & Gómez, K. (2023). Susceptibilidad de *Nakaseomyces glabratus* a Complejos Metálicos con Ligandos (Tesis de grado, Universidad de Santander).
<https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/4773df8d-2acb-4305-b87d-94c9f0766ef5>

Rojas, A. (2022). Obtención de biocombustible mediante pirólisis con base en el aprovechamiento de residuos agrícolas partiendo de la cascarilla de arroz en los cultivos de la región de Tolima Grande (Tolima y Huila) (Tesis de grado, Universidad de América).
<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8889>

Rezania, S., Oryani, B., Cho, J., Talaiekhosani, A., Sabbagh, F., Hashemi, B., Mohammadi, A. (2020). Different pretreatment technologies of lignocellulosic biomass for bioethanol production: An overview. *Energy* 199, 375-387. doi.org/10.1016/j.energy.2020.117457

- Rodrigo, O. (2024). El estudio y diseño de un prototipo para la captación de energía de las olas del mar (Tesis de grado, Universitat Politècnica de Catalunya). https://apren.upc.edu/ca/materials/2117_409177
- Raza, B., Intriago, R., Briones, G., & Cedeño, R. (2023). Lignocellulosic waste and activated carbon production method. *Revista Minerva: Multidisciplinaria de Investigación Científica*, 2023(2023), 13.
- Ruiz, A. (2023). Modificación de un motor de combustión interna de gas natural de 2mw para su utilización con gas de petróleo asociado de bajo número de metano (Tesis de grado, Universidad de Coruña). <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/33514>
- Rodríguez, K., Aguila, R., de la Caridad, J., Ortega, L., & Michelena, G. (2023). Tratamiento biológico con microorganismos eficientes, para reducir la carga contaminante en aguas residuales de la industria azucarera y los derivados. *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 57(2), 83-96.
- Rosero, M., Tapie, W., Rosero, D. (2020). Diversidad fenotípica de papas nativas en las comunidades indígenas de la etnia de los Pastos (Nariño, Colombia): Agricultura ecológica para la seguridad alimentaria y el desarrollo rural. *Revista peruana de biología*, 27(4), 509-516. scielo.org.pe
- Retto, P. (2019). Potencial energético de la producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales lignocelulósicos en el Perú (Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo). <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12153>
- Solano Vara, Z. L. (2023). Cerveza artesanal de pitahaya (*Selenicereus undatus* fruta, *Hylocereus undatus* planta), a nivel piloto para la creación de pequeños emprendimientos (Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión). <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/7342>

- Salehi, R., Taghizadeh, A., Jahanbakhshi, A., Shahidi, F. (2018). Evaluation and measurement of bioethanol extraction from melon waste (Qassari cultivar). *AgricEngInt: CIGR Journal*, 127-131. doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i2.193
- Sotomonte, K. (2021). Análisis de los beneficios que obtiene el medio ambiente a partir de la producción de biocombustibles (Tesis de grado, Universidad ECCI). <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/1064/Trabajo%20de%20grado.pdf?ssequence=1&isAllowed=y>
- Taipe, C. & Yugsi, C. (2021). Evaluación y caracterización de ácidos orgánicos presentes en la bebida fermentada ancestral de chonta (*Bactris gasipaes*) con kéfir (Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi). <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10135>
- UFOP (UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL- UND PROTEINPFLANZEN E. V.). (2022). Cifras de la producción de etanol y biodiésel y materias primas utilizadas <https://www.salvalaselva.org/exitos-y-noticias/10861/cifras-de-la-produccion-de-etanol-y-biodiesel-y-materias-primas-utilizadas>
- Vele, A., Abril, M., Zalamea, T., & Pinos, V. (2021). Mini revisión: aplicación de líquidos iónicos en hidrólisis ácida de material lignocelulósico para la obtención de azúcares. *Ciencia en Desarrollo*, 12(1), 55-67.
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439-453.
- Vallejo, A. (2024). Obtención de fibras textiles, a partir del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) generado en la industria panelera del cantón Echeandia (Tesis de grado, Universidad Nacional de Chimborazo). <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/13058>

Villanueva, C. (2024). Efecto de bioestimulantes orgánicos en el rendimiento y calidad de maíz choclero (*Zea mays* L.) en condiciones de Huariaca Pasco (Tesis de grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión). <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3984>

Zhao, X.-Q., Zi, L.-H., Bai, F.-W., Lin, H.-L., Hao, X.-M., Yue, G.-J., & Ho, N. (2021). Bioethanol from Lignocellulosic Biomass. *Adv Biochem Engin/Biotechnol*, 25-51. DOI: 10.1007/10_2011_129

4.2. Anexos



Anexo 1. Utilización del bagazo de caña de azúcar para la elaboración del bioetanol (Vallejo, 2024)



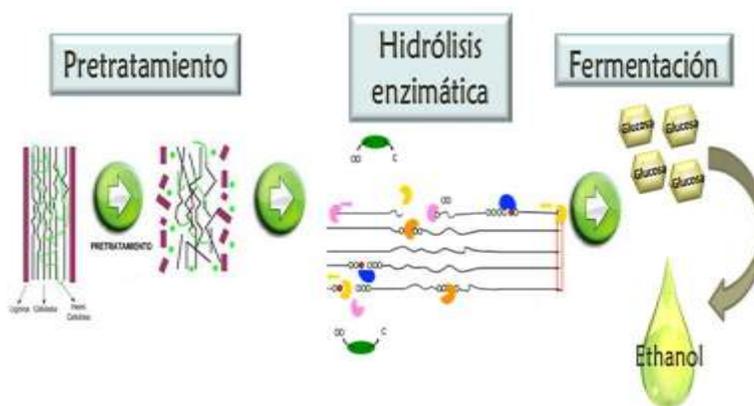
Anexo 2. Utilización de la paja de trigo para la elaboración del bioetanol (Cabrera, 2023)



Anexo 3. Utilización del rastrojo de maíz (hojas, hojuelas y tallos) para la elaboración del bioetanol (Villanueva, 2024).



Anexo 4. Utilización de restos de frutas para la elaboración del bioetanol (Solano, 2023)



Anexo 5. Proceso de hidrolisis enzimática para la producción de bioetanol (Guaraca, 2023).



Anexo 6. Bioetanol a partir de residuos agrícolas (Medina, 2023).