

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO
COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE ENERGÍA**

**Aprovechamiento de la Higuera acorde a
los Objetivos del Desarrollo Sostenible en
México**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA ENERGÉTICA

(ORIENTACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA)

PRESENTA:

MARIANA ZELTZIN ROJAS CAÑAS

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Fernando Gabriel Arroyo Cabañas

Programa de Energía, Universidad Autónoma de la Ciudad de México

CODIRECTOR DE TESIS

Dr. Miguel Ángel Arellano González

Universidad Autónoma de la Ciudad de México



SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

INTEGRACIÓN DEL JURADO:

Presidente: Dr. Edgar Vicente Torres González, Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Secretario: Dr. Fernando Gabriel Arroyo Cabañas, Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Vocal: Dr. Miguel Ángel Arellano González, Universidad Autónoma de la Ciudad de México

1er. Suplente: Dr. Efrén Bernardo Ramírez Solíz, Universidad Autónoma de la Ciudad de México

2do. Suplente: Dr. Manuel Antonio Corona Sánchez, Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Lugar donde se realizó el posgrado:

PLANTEL DEL VALLE, UACM

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Fernando Gabriel Arroyo Cabañas

CODIRECTOR DE TESIS:

(solo en caso de existir)

Dr. Miguel Ángel Arellano González

i. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi codirector por estar pendiente en todo momento del desarrollo de mi investigación, además de facilitarme el acceso a los espacios de laboratorio en la UAM-Iztapalpa para el desarrollo de la misma.

También, agradezco a mi director de tesis por estar presente en los momentos de alta tensión y estrés, y por apoyarme constantemente durante todo este proceso en mi desarrollo como estudiante de Maestría e investigadora. Gracias por impulsarme y retarme a hacer cosas nuevas, lo cual me permitió crecer en el área.

Además, agradezco a la UACM por brindarme la oportunidad de acceder y prepararme profesionalmente, lo cual ha contribuido significativamente a mi crecimiento en el ámbito laboral. Gracias a ello, he podido explorar nuevos horizontes, establecer valiosas amistades, alianzas y contactos que han sido fundamentales para mi desarrollo profesional.

Agradezco a Conahcyt por brindarme el apoyo económico para continuar con mis estudios e investigación, que sé, aportará mucho en el ámbito académico y en mi vida profesional.

Agradezco profundamente a mis amigas Rosario y Paola por permitirme conocerlos y por brindarme su apoyo a lo largo de la maestría en los momentos difíciles. Sin ustedes, no estaría donde me encuentro hoy. También quiero agradecer a mis compañeros de salón, quienes me han acompañado y apoyado en el camino hacia esta recta final.

Por último, y no menos importante, agradezco profunda y eternamente a mi familia: mis padres, hermano, cuñada y abuelas. Su presencia y apoyo incondicional han sido fundamentales para mi crecimiento profesional. En los momentos de crisis, estuvieron ahí para consolarme e impulsarme a no rendirme y seguir adelante.

ii. DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia (padres y hermano) por apoyarme en los momentos más complicados de mi carrera, sobre todo mi padre, quien fue mi apoyo en todo momento y, agradezco su paciencia, sus motivaciones que me brindaban y sus consejos dados.

También la dedico esta tesis a mis abuelas Luz María y Enriqueta, por quererme y por motivarme a no rendirme y levantarme con la cabeza en alto en mis errores y fracasos.

También, está dedicada a mis grandes amigos, por mantenerme motivada para continuar con este proceso largo de elaboración de tesis, por apoyarme en los momentos más difíciles que pasé durante la carrera, por apoyarme en todas mis malas y buenas decisiones, por enseñarme a madurar y a entender que la vida es difícil allá afuera y, que se debe de arriesgar uno al tomar decisiones para lograr grandes cosas.

También está dedicada a mi profesor y director de tesis por apoyarme completamente en todo (académicamente), ayudándome a superar obstáculos complicados durante este proceso.

Pero, específicamente, dedico esta tesis a Dios (Jehová) nuestro padre celestial, porque me permitió tener salud, vida y, además, me bendijo con amor, con sabiduría y con familia. Dios es amor, es perdón, es paz y esperanza.

iii. Resumen

En la actualidad, nuestra dependencia total de los combustibles fósiles ha dejado una huella ecológica casi irreversible en el medio ambiente. Para abordar este desafío, se propone el uso de biocombustibles de un cultivo energético llamado higuera.

Esta alternativa busca reducir la demanda de los combustibles tradicionales y alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de la ONU. El bioetanol, obtenido a través de distintos procesos como la Hidrólisis Ácida (HA), Hidrólisis Básica (HB) y Fermentación Alcohólica (FA), a partir de la higuera, puede servir como sustituto de los combustibles convencionales. Su aplicación abarca desde la producción eléctrica hasta su uso como carburante o incluso como complemento farmacéutico.

El proyecto tiene como objetivo generar un biocombustible a partir de la higuera, un recurso no aprovechable en México, cumpliendo con el Objetivo 7 de la Agenda 2030 (“Energía Asequible y No Contaminante”). Además, la metodología a realizarse la caracterización de la higuera, analizar el cumplimiento del cultivo, acorde al Objetivo 7 de los ODS, aplicar los distintos procesos propuestos para obtener el bioetanol (HA, HB y FA) y graficar los resultados en Origin-Lab. Finalmente, los resultados esperados de esta investigación será determinar la cantidad de bioetanol producido por la higuera en comparación con otros tipos de cultivos. Este análisis comparativo nos permitirá evaluar la viabilidad de la higuera como fuente de bioetanol.

Palabras Clave: FMS, Cultivos Energéticos, Higuera, ODS, carburante, combustibles fósiles.

Contenido

I. AGRADECIMIENTOS	3
II. DEDICATORIA	4
III. RESUMEN	5
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. JUSTIFICACIÓN	1
1.2. OBJETIVO GENERAL	3
1.2.1 OBJETIVOS PARTICULARES	3
1.3 INTRODUCCIÓN	4
1.4 ANTECEDENTES	6
1.4.1 PROBLEMÁTICA DEL TEMA	9
1.4.2 CULTIVOS ENERGÉTICOS	10
1.4.3 LA HIGUERILLA	12
1.4.4 UBICACIÓN Y CONDICIONES CLIMÁTICAS	15
1.4.5 EVALUACIÓN DE LA HIGUERILLA COMO CULTIVO ENERGÉTICO	17
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	20
2.1. LOS OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE.	20
2.2. DEFINICIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE	22
2.3. DEFINICIÓN DE BIOETANOL	23
2.3.1. USOS Y VENTAJAS DEL BIOETANOL	24
2.7. DEFINICIÓN DE BIOGÁS	25
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	26
3.1 PRETRATAMIENTO DE LA HIGUERILLA	26
3.2 MÉTODO FENOL-SULFÚRICO (MÉTODO DUBOIS)	26
3.3 HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA HIGUERILLA	29
3.4 HIDRÓLISIS BÁSICA DE LA HIGUERILLA	32
3.5 FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA	34
CAPÍTULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS	37
4.1. HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA HIGUERILLA	37
4.3. FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA	40
4.4. FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA	41
4.5 FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE LA HIDRÓLISIS BÁSICA	47

4.6 RESULTADO DEL BIOETANOL OBTENIDO	49
CONCLUSIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXO	59

Índice de Cuadros

CUADRO 1.1. ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LOS BENEFICIOS QUE TIENEN LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	11
CUADRO 2.1. ESQUEMA DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	12
CUADRO 3.2. BENEFICIOS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	23

Índice de Figuras

FIGURA 1.1. CULTIVO ENERGÉTICO LA HIGUERILLA. FUENTE: ECOS DEL BOSQUE	14
FIGURA 2.1. MAPA DE LA REPÚBLICA MEXICANA, UBICACIÓN NACIONAL DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	16
FIGURA 3.2. LOGO DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ONU). AGENDA 2030. FUENTE: [40].	21
FIGURA 4.3. HIDRÓLISIS ÁCIDA (HCL) DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	31
FIGURA 5.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS LA DE HIDRÓLISIS ÁCIDA ANTES DE SER ANALIZADAS POR UN ESPECTRÓMETRO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	32
FIGURA 6.3. PROCESO DE LA HIDRÓLISIS BÁSICA (NAOH) EN LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	33
FIGURA 7.3. PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE LA HIDRÓLISIS BÁSICA PARA SU SER ANALIZADOS EN EL ESPECTRÓMETRO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	34
FIGURA 8.3. PROCESO DE FERMENTACIÓN DE LAS HIDRÓLISIS ÁCIDA Y BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	35
FIGURA 9.4. AZÚCARES MÁXIMOS Y MÍNIMOS OBTENIDOS POR MEDIO DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ORIGINLAB.	38
FIGURA 10.4. ÁZÚCARES MÁXIMOS Y MÍNIMOS OBTENIDOS POR MEDIO DE LA HIDRÓLISIS BÁSICA DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ORIGINLAB.	39
FIGURA 11.4. GRÁFICA GENERAL DE CO ₂ GENERADO POR LOS 12 EXPERIMENTOS REALIZADOS EN LA HIDRÓLISIS ÁCIDA. FUENTE: ORIGINLAB.	42
FIGURA 12.4. A) MÁXIMO GENERADO DE CO ₂ Y B), MÍNIMO GENERADO DE CO ₂ POR LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA REALIZADA EN LA HIDRÓLISIS ÁCIDA. FUENTE: ORIGINLAB.	43
FIGURA 13.4. GRÁFICA GENERAL DE CO ₂ GENERADO POR LOS 12 EXPERIMENTOS REALIZADOS EN LA HIDRÓLISIS BÁSICA. FUENTE: ORIGINLAB.	47
FIGURA 14.4 . A) MÁXIMO GENERADO DE CO ₂ Y B), MÍNIMO GENERADO DE CO ₂ POR LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA REALIZADA EN LA HIDRÓLISIS BÁSICA. FUENTE: ORIGINLAB.	48
FIGURA 15. FRACCIONAMIENTO PARAÍSO TLAHUICA - MORELOS.	59
FIGURA 16. RECOLECCIÓN DE LA HIGUERILLA EN EL ESTADO DE MORELOS - CUAUTLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	59

FIGURA 17. PRETRATAMIENTO DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	60
FIGURA 18. MATERIAL BÁSICO PARA LA EXPERIMENTACIÓN DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	61
FIGURA 19. ESPECTRÓMETRO UTILIZADO COMO HERRAMIENTA PARA DETERMINAR NIVELES DE AZÚCARES OBTENIDOS POR LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	61

Índice de Tablas

TABLA 1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	14
TABLA 2.1. EVALUACIÓN DE LA HIGUERILLA COMO CULTIVO ENERGÉTICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	17
TABLA 3.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE CUMPLIMIENTO ENTRE EL ODS 7 Y LA HIGUERILLA.[41]	21
TABLA 4.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL BIOETANOL. FUENTE: [48]	24
TABLA 5.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL BIOETANOL. FUENTE: [50]	25
TABLA 6.3. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA CURVA PATRÓN DE LA SACAROSA 100 MG/L. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	28
TABLA 7.3. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA (HCL) PARA LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	29
TABLA 8.3. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA HIDRÓLISIS BÁSICA (NAOH) PARA LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	32
TABLA 9.4. RENDIMIENTO TOTAL DE AZÚCARES [GAZÚCAR/ KGHIGUERILLA] DE CADA EXPERIMENTO POR MEDIO DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	38
TABLA 10.4. RENDIMIENTO TOTAL DE AZÚCARES [GAZÚCAR / KGHIGUERILLA] DE CADA EXPERIMENTO POR MEDIO DE LA HIDRÓLISIS BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	39
TABLA 11.4. RESULTADOS GENERADOS POR LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	41
TABLA 12.4. RESULTADOS GENERADOS POR LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE LA HIDRÓLISIS BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	46

Capítulo 1. Planteamiento del Problema

1.1. Justificación

En los últimos años, la Tierra ha experimentado modificaciones significativas en los patrones de climáticos debido a los efectos negativos derivados de las actividades humanas y el uso excesivo de combustibles fósiles para obtener energía. Esta sobreexplotación de recursos ha llevado al límite la disponibilidad de los mismos.

En México, en un informe de BBVA de 2024 sobre “Emisiones y Fuentes de Gases de Efecto Invernadero” [1], se destaca que el principal factor de contaminación en el país es el dióxido de carbono. Este gas se origina principalmente por la quema de combustibles para la generación de electricidad, calefacción y transporte, representando el 63.9% de las emisiones brutas de gases de efecto invernadero en México.

Es crucial abordar estos desafíos ambientales, sociales y de salud para buscar alternativas más sostenibles para garantizar un futuro más limpio y saludable para nuestro planeta. Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) generan impactos negativos importantes tales como [2]: deshielos de masas glaciares, inundaciones, migración de especies, impacto a la agricultura y ganadería, escasez de alimentos, enfermedades y pandemias, entre otros.

Por ello, es necesario evaluar el uso de fuentes más limpias con menor aporte de GEI, como los cultivos energéticos, ya que estos son recurso naturales y son utilizados como una alternativa para generar biocombustibles entre otros productos. Por lo anterior, es de suma importancia, que esta evaluación se encuentre alineada a los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), en particular al objetivo 7 “Energía Asequible y No Contaminante”.

De acuerdo a la información existente relacionada con el uso de diversos cultivos energéticos para la producción de biocombustibles, la mayor producción de bioetanol se genera a través del maíz y la caña de azúcar, sin embargo estos cultivos tienen un gran impacto negativo social y alimenticio. En este sentido, otra alternativa como cultivo energético es la Higuierilla, considerado como una planta plaga para México y el mundo por su rápida tasa de crecimiento. Este cultivo es una buena

alternativa debido a su adaptabilidad a cualquier zona y, no interviene en el sector alimenticio. Puede no aportar nutrientes al suelo y reducir la población de especies endémicas, pero su desecho permite ser utilizada como un potencial de energía asequible y sostenible que merece ser explorado a mayor escala.

1.2. Objetivo General

Desarrollar un biocombustible a partir de Higuierilla (*Ricinus Communis L.*) para su aprovechamiento a nivel agroindustrial de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

1.2.1 Objetivos Particulares

- Caracterización de la higuierilla como un cultivo energético a partir de los objetivos de desarrollo sostenible.
- Obtención de azúcares fermentables de la higuierilla a partir de hidrólisis ácida y básica.
- Obtención de las condiciones de hidrólisis concentración de ácido clorhídrico e hidróxido de sodio, tiempo de hidrólisis.
- Generación de bioetanol a partir de Fermentación Alcohólica de la Higuierilla.
- Obtención de las condiciones de la Fermentación Alcohólica para la obtención de Bioetanol.

1.3 Introducción

En los últimos años, el planeta tierra ha presentado una serie de modificaciones a los patrones de comportamiento de los procesos climáticos, debido a los efectos negativos derivados de las actividades humanas [3,4], como la producción industrial que depende fuertemente del petróleo, el consumo y la extracción desmedida de materias primas y recursos naturales no renovables; el crecimiento poblacional, entre otros factores.

Ante ello, se ha planteado una propuesta a la imperante necesidad de reducir, de manera local, los impactos de la actividad humana a modo de mitigar el Cambio Climático [5,6] y entre las principales soluciones se encuentra el sustituir las principales fuentes energéticas de origen fósil por otras alternativas que impliquen un menor aporte de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera [7,8].

Ante un panorama con fuertes impactos ambientales derivados de su aprovechamiento y ante una eventual escasez de los combustibles fósiles, se ha promovido desde 1997 en los países firmantes del Protocolo de Kyoto [9], el interés y fomento de alternativas energéticas, limpias, ecológicas y renovables, que mitiguen por un lado los efectos negativos de los combustibles sólidos y por el otro constituyan una opción energética viable para el futuro.

Así, el aprovechamiento de la biomasa como fuente energética, ha tenido un importante auge en materia de investigación y fomento a nivel mundial en los últimos años [10,11]. Las investigaciones se han basado en la instalación de cultivos que son manejados con miras a ser utilizados como insumos en la generación de biocombustibles, principalmente líquidos, como el biodiesel y bioetanol, han tenido una alta aceptación a nivel mundial por la construcción social de ser ecológicos y por tanto de generar beneficios entre la sociedad [12].

La bioenergía está avanzando hacia nuevas fronteras, incluyendo la investigación sobre cultivos energéticos en terrenos degradados y a la optimización de procesos para el aprovechamiento de la biomasa residual; así como investigación en procesos prácticos que concreten los esfuerzos por mejorar su

extracción como las plantas de cogeneración, la extracción de biogás o incluso la mejora de elementos que permitan la interconexión con otras iniciativas energéticas.

En esta tesis, se propone profundizar sobre el uso de la higuera (Ricinus communis L.) como cultivo energético con el objetivo de mitigar el impacto negativo ambiental generado por los combustibles fósiles. Este proyecto consiste en cinco fases, las cuales consisten en: 1) Definición de higuera; 2) Definir el ODS de la agenda 2030 que más se adapte a esta investigación; 3) Realizar Hidrólisis ácida; 4) Realizar Hidrólisis Básica y finalizar con 5) Fermentación alcohólica para (3 y 4). En las primeras dos fases se definirá y caracterizará a la Higuera, además se evaluará el ODS que más se adapte a esta investigación, es decir, que cumpla con el mayor número de metas propuestas para cada ODS.

Para las fases restantes, se utilizarán distintas herramientas e insumos específicos que permitirán la realización de estos experimentos para ello, se considerarán dos variables clave: tiempo y temperatura.

Se diseñarán tres experimentos para determinar la concentración óptima de soluciones y organizar adecuadamente los ensayos, previo a las fases 3 y 4, se realizarán pruebas con curvas patrón para establecer la concentración ideal de los reactivos. La fase 5 permitirá medir la cantidad de bioetanol producido y calcular el nivel de CO₂ generado en cada una de las muestras. Estos datos facilitarán una comparación entre las muestras y ayudarán a identificar la opción más eficaz para reducir CO₂ y maximizar la producción de bioetanol.

1.4 Antecedentes

La producción de bioetanol a partir de cultivos energéticos se basa principalmente en especies ricas en azúcares, como la caña de azúcar, la remolacha, el maíz, el sorgo dulce, la avena, la cebada, la higuera, entre otras. El maíz, en particular, se ha establecido como el mayor generador de bioetanol, representando el 70% de la producción total entre los diferentes cultivos, seguido de la caña de azúcar con un 29% ¹, seguida por la melaza con un 7%, el trigo con un 6% ² y otros cereales como la mandioca o la remolacha azucarera.

Sin embargo, el maíz presenta un desafío importante desde la perspectiva de los ODS de la Agenda 2030. Aunque con ella, se produce bioetanol, para las familias mexicanas puede generar conflictos de interés, ya que es una fuente básica de alimentación. Esto también se aplica a los demás cultivos, excepto la higuera, que a menudo se considera una planta invasora sin utilidad aparente para las necesidades humanas.

La higuera es una de las plantas cultivadas más antiguas, aunque en la actualidad solo representa el 0.15% del aceite vegetal producido a nivel mundial. Al sembrar este cultivo como una barrera natural, los productores tienen la opción de obtener ingresos adicionales, ya que pueden utilizarlo con doble propósito: proteger los cultivos y generar ganancias extras. El desafío para cualquier país o región radica en la implementación de procesos de producción basados en materias primas locales [13].

En México-Guanajuato, existe un estudio llamado “Cadena productiva de la Higuera (*Ricinus communis* L.) Comercialización: Un eslabón con oportunidad

¹ Mejía, R. (2025). Los costos y la agricultura frenan la producción de bioetanol en México. Revista Expansión ESG. <https://esg.expansion.mx/innovacion/2025/02/28/costos-y-agricultura-frenan-produccion-de-bioetanol>

² Calzada, J. (2025). 6% de la producción mundial de cereales se destina a producir etanol para biocombustibles: 157 Mt. Bolsa de Comercio Rosario, No. de edición 1735. <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/6-de-la>

económica para pequeños productores de Guanajuato”, publicado por la revista Jóvenes en la Ciencia (2017) donde se busca conocer que tan rentable es para los productores cultivar esta planta además, su objetivo es brindarles una fuente adicional de ingresos a través de este cultivo, para ser vendido a las industrias que elaboran biocombustibles, además de que se capacita a los productores para que conozcan más cuáles son sus beneficios. Los resultados fueron alentadores: la producción de higuierilla se presenta como una opción viable en el medio rural, especialmente debido al clima propicio del estado. Además, al considerar que la higuierilla a menudo se considera una maleza, su cultivo puede agregar valor a lo que normalmente se percibe como una plaga indeseable.

También, en Península de Baja California Sur, región del noroeste de México, donde se llevó a cabo un proyecto que aprovechó la higuierilla para producir biomasa (Higuierilla - aceites) para las bioturbosinas. Además, de tratar aguas grises, buscando contribuir en la mitigación de impacto ambiental por los riesgos que significa el no-uso de las aguas grises y su posible derrame al mar, ya que las aguas marinas son valiosas para la vida en estos ecosistemas, donde el desierto y el mar se une en un equilibrio justo. Este proyecto aún continuo en proceso donde solo se ha logrado recabar información para establecer plantaciones suficientes para la obtención de aceites como materia prima para la producción de bioturbosina³ o biodiesel particularmente. Logrando así, un manejo integral al cultivo, operando adecuadamente en materia de enfermedades y plagas, prever que disminuyan los gastos de operación, así como la incorporación del aspecto agro-tecnológico del cultivo, con énfasis en el manejo de riego y uso eficiente del agua [14].

Otro proyecto relacionado con la higuierilla, llevado a cabo en Bolivia para el área de cosméticos y farmacéuticas. El artículo publicado por Buriticá Arbeláez, C. A. (2021) [15] busca obtener aceite con las semillas de la planta higuierilla para ser utilizado en las industrias cosmética y farmacéutica. Este proceso de obtención se

³**Bioturbosina:** Son combustibles limpios derivados de insumos renovables (biomasa) que cumplen las mismas especificaciones técnicas que la turbosina convencional, es decir, son combustibles alternativos para motores de aviación de reacción o propulsión a chorro [16]

llevó a cabo por medio de la pirolisis, este proceso descompone químicamente el producto calentándolo a altas temperaturas en ausencia de oxígeno. El proceso se lleva a cabo por medio de una torre destiladora, sin embargo, el tiempo y el dinero que esta requiere es mucho mayor, por ello, este proyecto propone un reactor para pirolisis de aceite de ricino que optimice procesos, a menor costos y con alto componente inclusivo y social, obteniendo así un registro de patente de invención por parte de la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia (SIC).

También, en Brasil existen proyectos para producir biodiesel, sin embargo, se enfrenta a un gran problema. El artículo realizado por César Aldara y Batalha Mario en el 2010 [17] publica que, el Programa Nacional Brasileño de Producción y Uso de Biodiesel (PNPB en portugués) ha creado una gran demanda de biodiesel en Brasil. El PNPB tiene una fuerte base en el desarrollo social a través de la inclusión de agricultores familiares en proyectos integrados con centrales de biodiesel. Entre las varias oleaginosas, se identificó al ricino (*Ricinus communis L.*) como el ideal para promover el desarrollo en la región semiárida. Sin embargo, aunque prometedores, los mecanismos del gobierno federal programa son aún insuficientes para promover la participación efectiva de los agricultores familiares.

Esta investigación muestra que las empresas se enfrentan a enormes problemas a la hora de aplicar los contratos con los agricultores familiares. Describe y analiza la dinámica de funcionamiento de esta cadena agroproductiva. Este documento aborda la identificación y la discusión de estos obstáculos, con el fin de aumentar la competitividad de las cadenas de agronegocios de biodiesel, a partir de proyectos sociales de ricino en Brasil. Con lo anterior se llegó a la conclusión de que, a nivel mundial, muchos países, en la parte social, hay dificultades para la siembra y cosecha de la higuera y su producción debido a la falta de información y capacitación de los agricultores.

Otro dato importante durante el taller "Los Biocombustibles Líquidos en la transición energética y climática" 2024, el CEO de Energy & Environment Sustainable Solutions, Luis F. Villegas M. [18], destacó un dato relevante. En la empresa ES2, Colombia, utilizan diésel como combustible para sus flotas de

transporte de carga. Sin embargo, también utilizan 10% de bioetanol en el tanque para mejorar la calidad del combustible. En este sentido, Villegas sostiene que la optimización del biocombustible se logra a través de sistemas cerrados a presión que eviten la liberación de vapores durante el proceso, ya que esto puede generar pérdidas en términos económicos y de cantidad de producción. Con esta técnica, se consiguen mayores rendimientos, así como una mayor calidad y cantidad del biocombustible.

En la tesis de Melisa Esquivel y Julián Santander (2018) [19] comparten una aportación respecto a los impactos ambientales que se genera al producir biodiesel por medio de la higuera, el análisis consistió desde la extracción de aceite de higuera y la síntesis de biodiesel a partir del mismo, así como el análisis de su ciclo de vida (ACV) incluyendo solo hasta la etapa de obtención del biocombustible. Se concluyó que la etapa de cultivo tuvo una mayor influencia en todas las categorías de impacto, debido a que el uso de fertilizantes, pesticidas y fungicidas requiere la presencia de químicos que pueden generar daños en la salud humana, animales y al medio ambiente, así también el uso de la cosechadora representa más de un 40%, influenciado por el uso del terreno, gastos energéticos generados por el uso de la misma, todo esto mostrando una gran contribución en los impactos potenciales asociados a la cadena productiva evaluada en este proyecto y, la etapa de extracción del aceite fue la que menos impacto generó en la producción de biodiesel de higuera, debido a que los recursos utilizados no representan una contribución significativamente alta, puesto que solo se presenta un consumo energético que aporta en la afectación del medio ambiente menos del 10%.

1.4.1 Problemática del tema

La gran problemática actual del uso de combustibles provenientes de los fósiles produce grandes cantidades de Gases de Efecto Invernadero (GEI) e impactos ambientales irreversibles, además los otros contaminantes provocados por el uso de otras fuentes no renovables han generado una huella ecológica que crece de manera gradual. Ante este problema se ha planteado utilizar, como una posible solución, el uso de la higuera como un cultivo energético para obtener

bioetanol que puede ser complemento o sustituto en un determinado porcentaje de los combustibles fósiles. Por lo que se realizará un análisis para determinar su comportamiento, a nivel laboratorio, para conocer qué tan contaminante o no, es producirlo, si es eficiente, entre otros.

Una vez obtenido los resultados, se podrá plantear un avance o nueva solución, para contribuir a la mejora del medio ambiente y frenar o disminuir afectaciones a la sociedad y la salud. Por ello, en esta investigación se conocerá esta propuesta iniciando con la caracterización de la Higuera, continuando con el análisis de cumplimiento de este cultivo con los 17 puntos de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) y después, realizar la experimentación para obtener el bioetanol, generando así, resultados capaces de determinar su eficiencia y eficacia como biocombustible.

1.4.2 Cultivos Energéticos

Los Cultivos Bioenergéticos o Energéticos se definen como plantas de rápido crecimiento para ser destinadas únicamente a la obtención de energía o como materia prima para obtener combustibles. Estas se originan de la producción de la biomasa de forma sólida [20]. Con ella se puede generar energía térmica o eléctrica o producir biocombustibles.

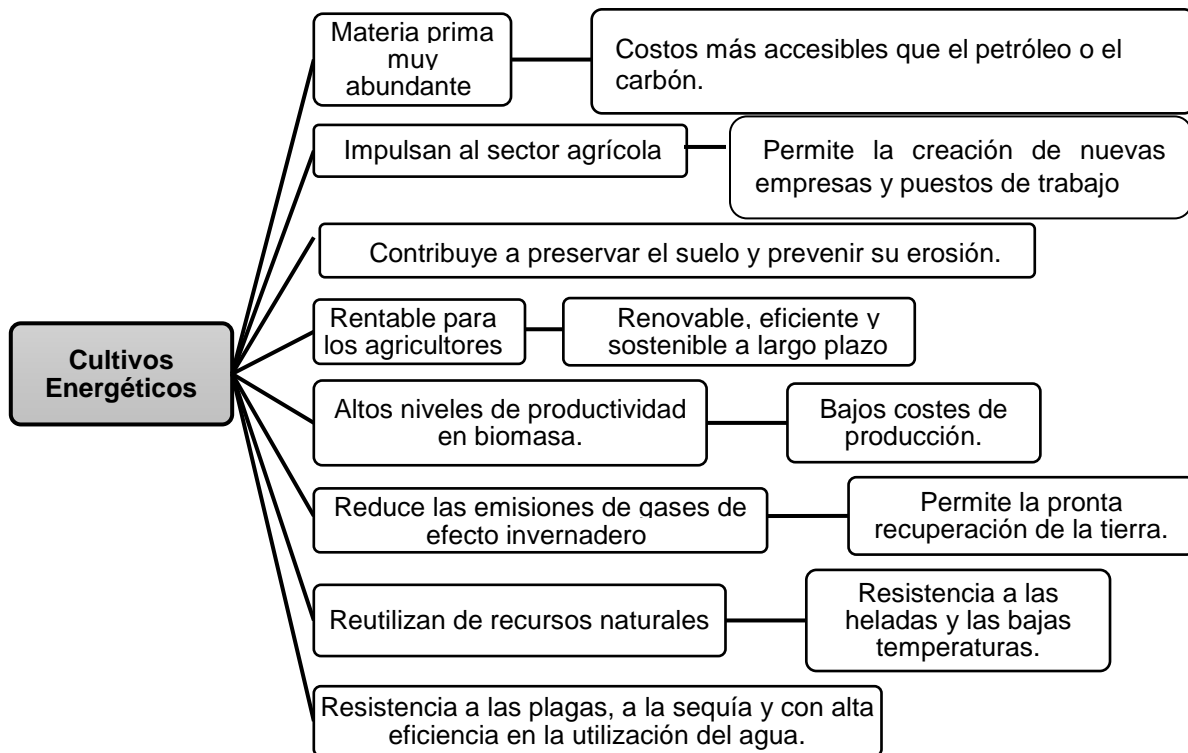
Los cultivos permiten mejorar la calidad del suelo del agua (absorción de las plantas) e impiden la absorción de contaminantes nocivos para el suelo. En el siguiente esquema (Cuadro 1.1) se puede visualizar a detalle los beneficios que tienen los cultivos energéticos y, dependiendo el caso de estudio, determinar si el cultivo que se pretende analizar genera los mismos beneficios que se muestran en ese esquema [21].

En el mercado mundial de los cultivos energéticos existen varios continentes que demandan estos recursos como América del Norte, Asia Pacífico, Europa, América Latina, Oriente Medio y África. Algunos países de estos continentes que utilizan estos recursos para generar energía son Estados Unidos (E.U.), Unión

Europea (U.E), Brasil, China, India, Canadá, Indonesia, Argentina, Tailandia, Colombia y Paraguay [22].

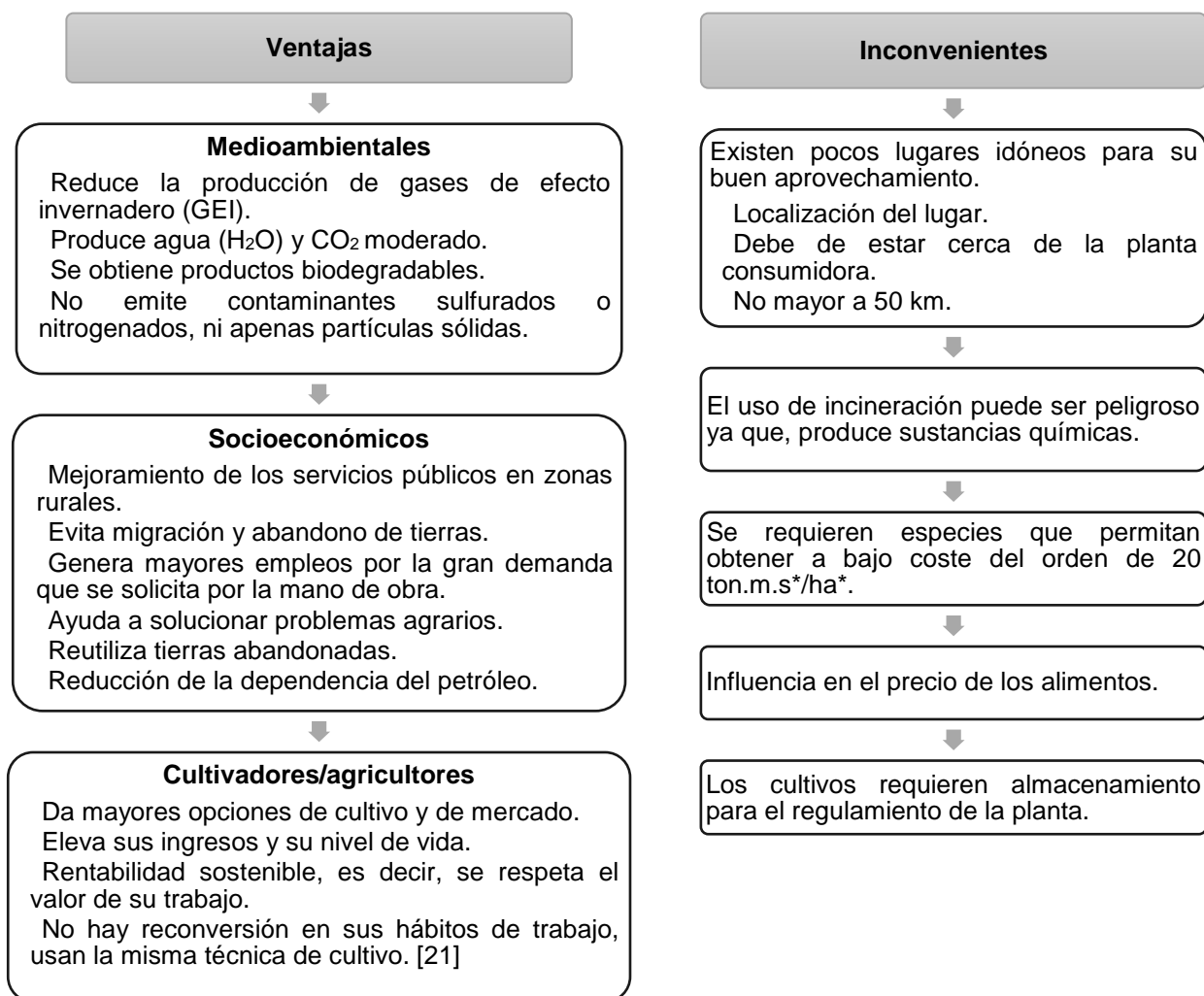
El uso de estos cultivos tiene ventajas (medioambientales, socioeconómicas y para los cultivadores / agricultores) e inconvenientes los cuales se presentan en el Cuadro 2.1., donde se marca los puntos importantes de estos.

En el siguiente apartado se podrá visualizar la higuera que es utilizada como un cultivo energético para obtener distintos productos y, a su vez, ser utilizada como una forma de saneamiento de tierra y agua. Sin embargo, se realizará un análisis para determinar si cumple o no con las características de un cultivo energético.



CUADRO 1.1. ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LOS BENEFICIOS QUE TIENEN LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

CUADRO 2.1. ESQUEMA DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



*ton.m.s. = Tonelada de materia seca, con menos de un 30% de humedad. *ha. = hectárea.

1.4.3 La Higuerilla

La higuerilla o ricino, llamada científicamente como *Ricinus Communis L.* es una planta exótica invasiva importante en México; en muchas regiones se encuentran en carreteras y es dominante en terrenos abandonados, sus semillas son altamente tóxicas. Es originaria de África perteneciente a la familia *Eurphorbiaceae*, de alta capacidad de distribución en regiones tropicales y subtropicales [23]; se distingue por ser un cultivo energético y con un sobresaliente potencial, debido a que todas las partes de la planta se pueden utilizar para la

producción múltiple de biocombustibles, también tiene diferentes aplicaciones potenciales como *lubricantes, plásticos, pinturas, farmacéuticos, cosméticos entre otros* (Véase en la Tabla 1.1). A pesar de que la higuera se tiene en cuenta como un cultivo de gran importancia y versatilidad en su uso, en diversas regiones del mundo no se ve como un cultivo a gran escala, debido a la presencia de sustancias tóxicas especialmente en su semilla [19], estas sustancias pueden generar daños a la salud (animales, humanos y hasta las plantas) como provocar alergias respiratorias en humanos (por su polen). En lo económico, no hay información disponible precisa sobre los impactos económicos de la invasión; sin embargo, las operaciones de control incurren en un costo financiero como daños o compensación de daños, pérdida de usos y costumbres, etc. y en la diversidad biológica, produce cambios físicos y químicos en agua, suelo, aire y luz, produce descendencia fértil por hibridación o provoca cambios reversibles a largo plazo (>de 20 años) a la comunidad (cambios en las redes tróficas, competencia por alimento y espacio, cambios conductuales) o causa afectaciones negativas en el tamaño de las poblaciones nativas de las plantas [24].

Sin embargo, si tiene una gran ventaja, se aprovecha esta planta considerada como plaga, para darle un destino de uso distinto. Por su alta demanda en el mercado nacional y extranjero, muchos países, incluyendo México, están interesados en cultivarla por sus vastas propiedades que ha permitido la extracción de aceite de ricino o, con ella, la producción de biocombustibles o energía, por lo que genera un ahorro en labores de siembra y semilla, que a su vez implica ahorro en los costos de producción, aunado a la demanda mínima de agua y, además es apreciada como materia prima [25].

Una desventaja de esta planta es el proceso para obtener algún biocombustible, este genera emisiones de CO₂, por ejemplo; Según una tesis publicada en 2019 por Agudelo L. William A. y Serrano C. Nicholas [26] comentan que en sus resultados obtenidos, la producción de bioetanol por medio de la higuera, para ser más específicos, obtener 100 mililitros de etanol se generaron

2.8 kg de CO₂ equivalente, genera menos CO₂ que el que produce el uso de energía eléctrica por lo que su impacto al medio ambiente es menor.

Tabla 1.1. Características de la Higuera. Fuente: Elaboración Propia.	
Altura	3 a 10 m
Tipo de planta	Oleaginosa no comestible
Capacidad de	Adaptación en cualquier región y clima
Zonas de humedad	Seca, Húmeda, Muy húmeda
Longevidad	Baja (0 - 35 años)
Tipo de suelo	Se desarrolla bien en suelos arcillosos, arenosos, profundos, con poca acidez y alto contenido de nitrógeno.
Función	Ornamental, Recuperación de suelos y/o áreas degradadas
Tallos	Huecos, ramificados y de color verde o rojizo.
Hojas	Partidas de 5 a 8 segmentos, en forma de estrella, con los nervios de color rojizo, sus bordes tienen dientecillos de tamaño irregular
Flores	Se encuentran en racimos, y los frutos son cápsulas espinosas que contienen 3 semillas grandes, lisas algo aplanadas y jaspeadas [27].
Raíz	Se hunde fácilmente en la tierra como una prolongación del tallo y presenta raíces ramificadas y superficiales que pueden alcanzar profundidades de hasta 6 metros [19].



FIGURA 1.1. CULTIVO ENERGÉTICO LA HIGUERILLA. FUENTE: ECOS DEL BOSQUE

1.4.4 Ubicación y Condiciones climáticas

En la República Mexicana presenta una amplia distribución de la higuera, teniendo registros en los estados de Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Ciudad de México, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán [28] (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), estas zonas se distinguen por ser cálidas, además, se ubica en ambientes silvestres, así como altamente modificados. La higuera también se puede utilizar con fines de biorremediación en sitios contaminados ya que tiene una gran capacidad para la extracción de Pb y Cd con [29].

Su uso es ampliamente popular e incluso cuenta con facilidades para su reproducción silvestre, adaptación a zonas marginales, bajos requerimientos de agua, entre otros, es un importante insumo para la *industria química, cosmética, farmacéutica, de pinturas y procedimientos textiles* [30]. En este sentido, es de los cultivos energéticos que cuentan con mayor potencial agronómico por los requerimientos agroclimáticos que tiene, por sus rendimientos y por *no competir con la producción de alimentos*; sin embargo, se debe considerar que factores fenológicos pueden afectar la composición química de la semilla y, por ende, la calidad del aceite [31]; además de que su aprovechamiento se ha encaminado a rubros más rentables como los farmacéuticos o cosméticos.

De acuerdo con Silitonga *et al.* (2016) [32], el rendimiento de semilla de higuera es de aproximadamente 902 kg/ha anualmente y sus semillas contienen alrededor de 46 % a 55 % de aceite; así como la composición total de ácidos grasos saturados e insaturados del aceite de ricino son del 2.58 % y del 8.15 %, respectivamente, y el contenido de ácido ricinoleico es del 89.15 %. Mientras que, los ácidos grasos saturados incluyen ácido esteárico, palmítico e *hidroxiesteárico* y, los insaturados incluyen ácido oleico, linoleico, linolénico, palmitoleico, ricinoleico y eicosenoico.



FIGURA 2.1. MAPA DE LA REPÚBLICA MEXICANA, UBICACIÓN NACIONAL DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Debido a los rendimientos en la producción de aceite en relación con la semilla utilizada que supera el 50 % de la misma; puede ser soluble en alcohol y poseer alta viscosidad y densidad en la naturaleza, actualmente el *aceite de higuerilla* es muy utilizado en la *producción de biodiesel* con *rendimientos medios de 1 320 L/ha* [33]. Sin embargo, según Ortiz-Laurel y col. (2017), la *producción de la planta requiere 28 % menos energía que la que se obtiene de su aprovechamiento*, además de notar que el aprovechamiento de toda la planta y no sólo las semillas, generaría el doble en cuanto aporte energético.

El INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) es la organización que ha realizado numerosos estudios en cuanto el cultivo de higuerilla (*Ricinus communis L.*) y que forman parte de una cobertura nacional llamada “Estudio de Insumos para la Obtención de Biocombustibles en México” que tiene como objetivo principal generar y adaptar tecnologías de producción, entre las que destaca la planta de higuerilla, para la obtención de insumos rentables de alta calidad para la producción de biocombustibles (biodiesel y etanol) en las regiones agroclimáticas del país [35]. El reto es que sin importar la zona geográfica en la que se requiera su obtención, su cultivo pueda realizarse bajo distintas tecnologías que permitan su producción en distintas áreas de siembra.

1.4.5 Evaluación de la Higuera como Cultivo Energético

En este apartado se realiza una breve evaluación para conocer si la Higuera cumple como cultivo energético o no, para ello se contemplan las características del Cuadro 1.1.

Tabla 2.1. Evaluación de la Higuera como Cultivo Energético. Fuente: Elaboración propia.	
Características de un Cultivo Energético	La Higuera
Materia prima muy abundante	<input checked="" type="checkbox"/>
Contribuye a preservar el suelo y prevenir su erosión.	<input checked="" type="checkbox"/>
Resistencia a las heladas y las bajas temperaturas (Adaptabilidad a diversos hábitats).	<input checked="" type="checkbox"/>
Resistencia a las plagas, a la sequía y con alta eficiencia en la utilización del agua.	<input checked="" type="checkbox"/>
Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero	<input checked="" type="checkbox"/>
Impulsan al sector agrícola	<input checked="" type="checkbox"/>
Permite la creación de nuevas empresas y puestos de trabajo	<input checked="" type="checkbox"/>
Rentable	<input checked="" type="checkbox"/>
Renovable, eficiente y sostenible a largo plazo	<input checked="" type="checkbox"/>
Permite la pronta recuperación de la tierra.	<input checked="" type="checkbox"/>
Costos más accesibles que el petróleo o el carbón.	<input checked="" type="checkbox"/>
Altos niveles de productividad en biomasa.	<input checked="" type="checkbox"/>

Bajos costos de producción.	<input checked="" type="checkbox"/>
Impiden la absorción de contaminantes nocivos para el suelo	<input type="checkbox"/>
No deben competir con la industria alimentaria	<input checked="" type="checkbox"/>

Como se puede visualizar en la Tabla 2.1, la Higuierilla cumple con todas las características que definen a un cultivo energético, excepto de un punto, el de “*impedir la absorción de contaminantes nocivos para el suelo*” debido a que la función de esta planta es sanar el suelo contaminado y permitir que este continúe generando cosecha, al no el impedir la absorción de contaminantes nocivos. Por lo que la Higuierilla es considerada una materia prima viable para la producción de biocombustibles, energía o lo que se desee obtener de ella de una manera sustentable además de ayudar a disminuir los impactos económicos, sociales y ambientales que afectan, en gran medida, a los pobladores locales o de la región por el mal uso de esta planta o bien, por la ignorancia de no saber cómo utilizarla.

La Higuierilla, como se mencionó anteriormente, es utilizada para distintos objetivos, sin embargo, para esta investigación se busca obtener un biocombustible que sirva como sustituto de la gasolina, como pesticida o algún otro enfoque que se le quiera dar. Este producto será realizado a nivel laboratorio, buscando que sea lo más eficiente posible, también se analizará el nivel de CO₂ que se puede generar en el proceso de obtención de este producto y se medirán los niveles de eficiencias y rendimiento. Los biocombustibles se describen como aquellos que son obtenidos por medio de la biomasa, donde la biomasa es cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas, o sus desechos metabólicos (el estiércol); el concepto de biomasa comprende productos tanto de origen vegetal como de origen animal. [36].

El tipo de biomasa seleccionada han sido los cultivos energéticos, considerados como paso intermedio hasta el desarrollo de energía renovable y

segura. Algunos ejemplos de cultivos energéticos son la caña de azúcar, el maíz, la soja, el girasol, la colza y otros. Estos cultivos se pueden dividir en aquellos que producen mayormente aceites y por lo tanto generan como producto final biodiesel y aquellos que producen alcoholes a partir de azúcares obteniendo así, el bioetanol [37].

En el mundo los dos biocombustibles más producidos y usados son el etanol y el biodiesel. Se utilizan principalmente en los motores de vehículos como automóviles y camiones. El etanol (que es un alcohol) generalmente se produce utilizando como materia prima la caña de azúcar, los cereales y el betabel (también llamado remolacha de azúcar). El biodiesel, que puede usarse en lugar del diésel convencional, se produce a partir de aceites vegetales o animales. Las especies más usadas para obtener biodiesel son la palma aceitera y la soja. El etanol representa cerca del 90% de la producción total de biocombustibles y el biodiesel el resto [38].

Capítulo 2. Marco teórico

2.1. Los Objetivos del Desarrollo Sostenible.

Los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) pertenecen a la agenda de acción global 2030, teniendo un plan de acción a favor de las personas, donde se busca erradicar o disminuir la pobreza mundial y el hambre, construir sociedades justas, pacíficas e inclusivas, protegiendo los derechos humanos, la igualdad de género, fortalecer la paz, tener acceso a la justicia y garantizar la protección del planeta y sus recursos naturales para el 2030 [39].

Estos objetivos fueron creados en la Asamblea General de la ONU en septiembre de 2015, desarrollando programas mundiales con duración de 10 años, cumpliendo con ciertas metas y buscando alianzas de los estados para agilizar los medios e implementarlos. A esta se le identifica con el lema de “transformar nuestro mundo” [39]

La ODS cuenta con 17 objetivos y con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarca las áreas de económica, social y ambiental (véase en Figura 3.2). En esencia, estas acciones globales deben ser cumplidas para un beneficio común, delimitarlas en dimensiones económicas, ecológicas y sociales. Por ello, se debe asegurar las actividades humanas actuales de solución a las problemáticas contemporáneas de modo integral. El cumplimiento de la Higuierilla con los 17 ODS determina que no cumple al 100% con todas las expectativas de los objetivos, ya que existen demasiados retos por superar, personal que capacitar e informar y, por falta de la educación ambiental, etc. Además, pocas empresas invierten en estas fuentes de biomasa por los conflictos que se tienen con los pobladores de la zona, puede que haya despojo de tierras o bien, los ingresos serían menores que si trabajan en otro tipo de oficio [39].



FIGURA 3.2. LOGO DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ONU).

AGENDA 2030. FUENTE: [40].

Al analizar los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, se evidencia que no se están cumpliendo la mayoría de ellos, a excepción de uno. Este resultado se puede observar claramente en la siguiente tabla (Tabla 3.2):

Tabla 3.2. Análisis comparativo de cumplimiento entre el ODS 7 y la Higuierilla.[41]		
	Objetivo	Metas
7	Energía Asequible y No Contaminante	<p>1. Garantizar el acceso a energéticos asequibles, fiables y modernos.☒</p> <p>2. Aumentar las energías renovables con fuentes energéticas.☒</p> <p>3. Mejorar al doble la tasa mundial de eficiencia energética.☒</p> <p>3.a. Aumentar el acceso a la investigación y la tecnología en energía limpia, fuentes renovables, eficiencia energética, y tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.☒</p> <p>3.b. Ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo.☒</p>

A partir de este análisis, podemos observar que el objetivo alcanzado es el número 7, "Energía Asequible y no Contaminante". Esto significa que el cultivo en cuestión garantiza acceso a energía fiable, accesible y moderna, promoviendo el uso de energías renovables y la innovación tecnológica, entre otras ventajas. Es crucial poner en marcha medidas concretas para avanzar en el logro de los objetivos no cumplidos.

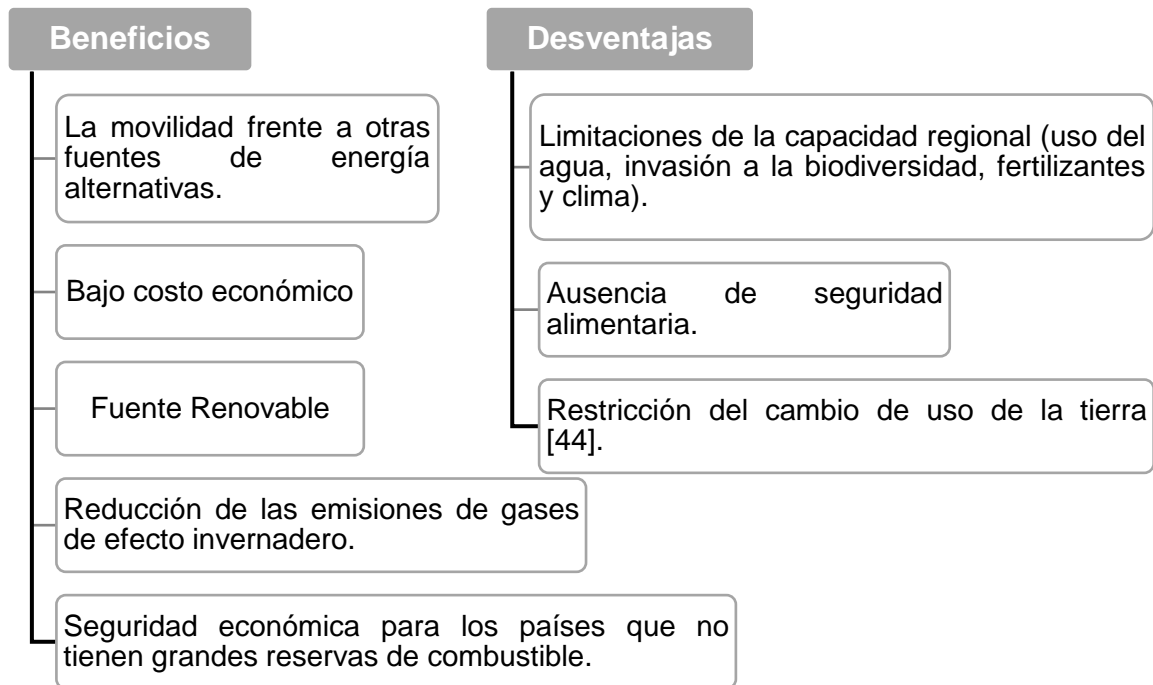
2.2. Definición de Biocombustible

Los biocombustibles son aquellos de origen biológico obtenidos de manera renovable a partir de restos orgánicos llamado biomasa. La biomasa se define como cualquier tipo de materia orgánica de origen biológico como organismos vivos, plantas, o sus desechos metabólicos (el estiércol); el concepto de biomasa comprende de productos de origen vegetal y animal. Actualmente, la materia prima orgánica es utilizada para obtener productos energéticos y materias primas de tipo renovable.

Estos biocombustibles tienen como objetivo principal reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que sobrecalientan la superficie terrestre y aceleran el cambio climático. Los biocombustibles más desarrollados y usados son el bioetanol y el biodiesel. [42, 36].

Actualmente, Brasil y Estados Unidos son los principales productores de bioetanol, mientras que Francia es el país que más lo consume y exporta. Este biocombustible se utiliza para generar calor, para el transporte y para producir electricidad [43]. Sin embargo, es importante analizar tanto los beneficios como las desventajas que su utilización ofrece, tal como se presenta en el Cuadro 3.2. Para obtener los azúcares de la higuera, es necesario realizar un pretratamiento previo en la planta para facilitar el acceso a sus azúcares. De esta manera se pueden llevar a cabo de manera más sencilla procesos como la hidrólisis ácida, básica y la fermentación alcohólica.

CUADRO 3.2. BENEFICIOS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



2.3. Definición de bioetanol

El bioetanol es un tipo de biocombustible de origen vegetal que se elabora mediante un proceso de fermentación de materia orgánica con alto contenido de azúcares. Se utiliza el método de hidrólisis para obtener los azúcares necesarios y, posteriormente, se somete a un proceso de fermentación alcohólica a cargo de una levaduras, lo que resulta en la producción de etanol y dióxido de carbono. Este último es el producto final obtenido en la fermentación alcohólica [45].

Cabe destacar que el bioetanol presenta una composición química y características similares a las del etanol convencional. La principal diferencia entre ambos radica en su origen, ya que el bioetanol se obtiene a partir de procesos de transformación de la biomasa, mientras que el etanol se produce a través de otros métodos.

La Revista Air & West (2012), en su artículo “Gasoline Evaporation–Ethanol and Nonethano IBlends” escrito por Aulich, T. R., et al. [46], señala que el bioetanol es un recurso que solo puede ser usado como aditivo más no un sustituto a los

combustibles convencionales. Cabe destacar que el porcentaje permitido para su uso como aditivo es del 10% en comparación con el uso de diésel o gasolina convencional.

Este biocombustible contribuye a la diversificación energética y puede fomentar la seguridad energética de un país al reducir su dependencia de petróleo importado. Sin embargo, el debate sobre el bioetanol incluye preocupaciones sobre su impacto en el uso del suelo, los precios de los alimentos y la biodiversidad [47].

Algunas características generales del bioetanol se visualizan en la Tabla 4.2:

Tabla 4.2. Características generales del bioetanol. Fuente: [48]	
Nombre alternativo	Alcohol etílico
Masa Molecular	46,07 g·mol ⁻¹
Densidad	0.789 g·cm ⁻³ (20 °C)
Apariencia	incoloro
Temperatura crítica	241 °C
Presión crítica	63 atm
Límite de explosión	3.3 a 19%

2.3.1. Usos y Ventajas del Bioetanol

El bioetanol puede utilizarse como fuente de energía motriz o eléctrica en sistemas de calefacción o transportes. En vehículos, se usa como aditivo para reducir las emisiones de gases contaminantes en comparación con los combustibles convencionales, agregar bioetanol a la gasolina mejora la eficiencia del motor y reduce el consumo al aumentar el índice de octano del combustible. En sistemas de calefacción, el bioetanol se quema en calderas diseñadas para distribuir eficientemente su calor a través de un circuito hidráulico.

Además de emplearse como la generación de electricidad a través de la combustión térmica, la producción de energía en celdas de combustible mediante reacciones termoquímicas, la implementación de sistemas de cogeneración que

combinan la generación de electricidad y calor, y su uso como materia prima esencial en diversos procesos y productos de la industria química. [47]

El bioetanol presenta múltiples ventajas, tales como su capacidad para reciclar y reutilizar residuos, reducir las emisiones contaminantes, promover el uso de energías renovables y fomentar la adopción de una movilidad más sostenible a nivel mundial.

2.7. Definición de Biogás

El biogás se obtiene a partir de la degradación biológica de residuos orgánicos, como los vegetales y animales, mediante una serie de complejas reacciones realizadas por diversos tipos de bacterias y arqueas en un proceso conocido como digestión anaerobia. Este gas está compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono, visto en la Tabla 5.2, y ha sido utilizado durante siglos en sistemas artificiales para la producción de energía. El biogás es una fuente energética muy valiosa, debido a que produce una cantidad importante de energía eléctrica por metro cúbico, estando su contenido energético directamente relacionado con la cantidad de metano presente en su composición. [49]

Tabla 5.2. Características generales del bioetanol. Fuente: [50]	
Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kWh/m ³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/ m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg k/mol

Capítulo 3. Metodología Experimental

En este capítulo se detalla la metodología empleada para la preparación de la Higuierilla antes de su experimentación. Este proceso es crucial, ya que la Higuierilla debe mantenerse en un estado específico, es decir, en condiciones secas, para facilitar su trituración y almacenamiento. El objetivo principal es permitir que, durante el secado a temperatura ambiente, se evapore toda el agua contenida en el cultivo, permitiendo una deshidratación para mejorar el manejo del material y asegurar su adecuado uso en las etapas posteriores del estudio.

3.1 Pretratamiento de la Higuierilla

Antes de llevar a cabo los procesos químicos correspondientes, se realizó a cabo un pretratamiento del cultivo con el objetivo de prepararlo adecuadamente. Este pretratamiento puede visualizarse, de manera más puntualizada, en el Anexo. Se pueden encontrar fotografías que documentan este procedimiento, además, una vez finalizado, se almacenó el cultivo para posteriormente proceder a los experimentos de hidrólisis.

3.2 Método Fenol-Sulfúrico (Método Dubois)

Previo a proceder a los procesos de hidrólisis, llevamos a cabo una fase de calibración de las muestras con el objetivo de determinar la concentración óptima del reactivo necesaria para efectuar la hidrólisis de la higuierilla. Para llevar a cabo estas pruebas, se generó una solución de sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$), comúnmente llamada "sal", y agua destilada. En total, se prepararon nueve muestras con una solución madre de 100 mg/L de concentración de sacarosa en 100 mL de solución. Para hacer esto, se determinó la cantidad de agua necesaria para cada muestra en relación con la Ecuación 1.3. Se consideró que cada muestra debía tener una solución final de 10 mL y una reducción del 10% en su concentración. Por ejemplo:

ECUACIÓN 1.3.

$$c_1V_1 = c_2V_2$$

Donde:

C_1 = Concentración de la muestra anterior [mg/L]

V_1 = Volumen total de la muestra [mL]

C_2 = Concentración 10% menor a la muestra anterior [mg/L]

V_2 = Volumen de agua para diluir la solución [mL]

Tomando la Ecuación 1.3., despejamos V_2 .

$$V_2 = \frac{C_1 V_1}{C_2}$$

Muestra 1

$$v_{2.1} = \frac{(90 \text{ mg/L})\left(\frac{10}{1000} \text{ L}\right)}{(100 \text{ mg/L})}$$

$$v_{2.1} = 0.009 \text{ L} \approx 9 \text{ mL}$$

Muestra 2

$$v_{2.2} = \frac{(80 \text{ mg/L})\left(\frac{10}{1000} \text{ L}\right)}{(100 \text{ mg/L})}$$

$$v_{2.2} = 0.008 \text{ L} \approx 8 \text{ mL}$$

En consecuencia, para obtener la muestra 1, se utilizó 1 mL de la solución madre (con una concentración de 90 mg/L), la cual se diluyó en agua por lo que su volumen fue de $v_{2.1} = 9 \text{ mL}$ de sacarosa. Para la muestra 2, se tomó 1 mL de la muestra 1 (con una concentración de 8 mg/L) y se agregó $v_{2.2} = 8 \text{ mL}$ de agua, y así sucesivamente hasta obtener las nueve muestras, en la siguiente Tabla 6.3. se puede visualizar el diseño experimental de este.

Para ser llevadas a analizar las muestras, se procede a preparar nueve muestras más donde se toma 1 mL de cada muestra anterior y se le vierten dos reactivos (Fenol al 20% de concentración de 0.1 mL y Ácido Sulfúrico de 2 mL) para así, posteriormente ser llevados a analizar en el espectrómetro. Adicional a esto, se

realiza una muestra blanco que consiste en usar 0.1 mL de fenol al 20%, 2 mL de ácido sulfúrico y 1 mL de agua, lo que nos va a permitir calibrar el espectrómetro en base a las muestras realizadas anteriormente.

Una vez completados estos procedimientos, se procede a analizarlas muestras mediante el uso de un espectrómetro [4]. Este instrumento permite medir la absorción de luz de la muestra al hacer pasar un haz de luz a través de ella, permitiéndonos medir su nivel de absorbancia en una longitud de onda específica (λ). Para este experimento, la lectura de las muestras se estableció un rango de longitud de onda de $350 \mu m \leq \lambda \leq 800 \mu m$ y una absorbancia de $0 \leq abs \leq 1$, por lo que se procedió a tomar los datos máximos arrojados que oscilaban entre $450 \leq \lambda \leq 500 \mu m$.

TABLA 6.3. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA CURVA PATRÓN DE LA SACAROSA 100 MG/L.						
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.						
Muestras	Solución anterior	Concentración 10% reducida	Concentración 10% reducida	Volumen sacarosa	Agua	V_{total} de solución
	mg/L	mg/L	g/L	mL	mL	mL
0	100	100	0.1	10	0	10
9	100	90	0.09	10	0	10
8	100	80	0.08	9	1	10
7	100	70	0.07	8	2	10
6	100	60	0.06	7	3	10
5	100	50	0.05	6	4	10
4	100	40	0.04	5	5	10
3	100	30	0.03	4	6	10
2	100	20	0.02	3	7	10
1	100	10	0.01	2	8	10

[4] **Espectrómetro:** Es un aparato capaz de analizar el espectro de frecuencias propios de un movimiento ondulatorio, además de determinar la pureza y las características químicas de las sustancias.

3.3 Hidrólisis Ácida de la Higuera

Para este experimento, se ideó un diseño experimental en el que se emplea un total de 12 muestras. Las concentraciones de ácido clorhídrico (HCl) y los tiempos, son variables en cada una de ellas. Cada muestra se encargó de hidrolizar 5 gramos de higuera. En la Tabla 7.3. se pueden observar las características particulares de cada muestra.

Tabla 7.3. Diseño Experimental de la Hidrólisis Ácida (HCL) para la obtención de azúcares de la Higuera. Fuente: Elaboración Propia.				
Concentración [Moles]	Tiempos (h)			
	1	2	3	4
1	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4
2	Experimento 5	Experimento 6	Experimento 7	Experimento 8
3	Experimento 9	Experimento 10	Experimento 11	Experimento 12

Una vez hemos definido cada muestra, procedemos a hidrolizar cada una de ellas. Para ello, se requieren vasos precipitados de 600 mL, agitadores magnéticos, barras magnéticas (o coloquialmente llamada pulga), un pH-metro o potenciómetro y paquete de tela quirúrgica para la filtración.

Previo a hidrolizar, se prepara el reactivo planteado previamente. En este caso se trata del HCl en estado líquido al 37% de pureza, a tres concentraciones distintas que se diluirá en agua hasta obtener un volumen total de 1.5 L (1500 mL). Para calcular la cantidad exacta de HCl a utilizar, se consideran las siguientes ecuaciones de:

ECUACIÓN 2.3.

$$n = \frac{\text{masa (g)}}{\text{peso molecular } \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)} = \text{número de moles}$$

ECUACIÓN 3.3.

$$d = \frac{\text{masa (g)}}{\text{volumen (ml)}} = \text{densidad } \left(\frac{\text{g}}{\text{mL}}\right)$$

ECUACIÓN 4.3.

$$Volumen_{HCl_{100\%}} = \frac{(100\%)(volumen_{HCl_{37\%}})}{37\%}$$

Considerando la Ecuación 2.3 a la Ecuación 4.3, calculamos las concentraciones de HCl a preparar.

Para preparar el reactivo necesario para la hidrólisis, consideramos tres concentraciones distintas de ácido clorhídrico (HCl). En un volumen total de 1.5 litros (1500 mL), se encuentra 1 M de HCl:

$m = \text{número de moles} * \text{peso molecular}$	$m = (1 \text{ mol}) \left(36.46 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = 36.46 \text{ g}$
$v = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}}$	$v = 36.46 \frac{\text{g}}{1.188 \text{ g/mL}} = 30.69 \text{ mL}$
$Volumen_{HCl_{100\%}} = \frac{(100\%)(volumen_{HCl_{37\%}})}{37\%}$	$Volumen_{HCl_{100\%}} = \frac{(100\%)(30.69 \text{ mL})}{37\%} = 82.946 \text{ mL}$

De manera que, en 1 M hay 82.946 mL de HCl, en 2 M – 165.89 mL y en 3 M, 248.838 mL. Una vez preparados los reactivos, se almacenan para proceder con la hidrólisis. Este proceso implica en verter 5 g de higuierilla en un vaso precipitado de 600 mL y añadir 200 mL del reactivo HCl previamente preparado. Se agita a 5 - 6 rpm [5] a los distintos intervalos de tiempo marcados previamente (véase en Figura 4.3).

[5]rpm: revoluciones por minuto.



FIGURA 4.3. HIDRÓLISIS ÁCIDA (HCL) DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Una vez concluido el periodo de hidrólisis, se procede al proceso de filtración de la solución. A continuando, se neutraliza el pH utilizando hidróxido de sodio (NaOH) en estado sólido hasta alcanzar un valor 7, según la medición del pH – metro. Para completar la etapa de Hidrólisis Ácida, se preparan nuevas muestras tomando 1 mL de las soluciones de la Tabla 7.3. y una muestra blanco, la cual contiene agua y contiene 1 mL, a cada muestra se le añaden 0.1 mL de fenol al 20% y 3 mL de ácido sulfúrico, véase en Figura 5.3. Una vez preparadas las muestras se agitan brevemente y se tapan. Estas se someten al análisis en el espectrómetro, que proporcionará el nivel de azúcares totales presentes en cada muestra, como en el análisis de la sacarosa. Las lecturas de las muestras se realizan en un rango de longitud de onda de $350 \mu m \leq \lambda \leq 800 \mu m$, con una absorbancia en el intervalo $0 \leq abs \leq 1$. Finalmente, las muestras de la Figura 5.3 se almacenan para dar continuidad a la Fermentación Alcohólica.

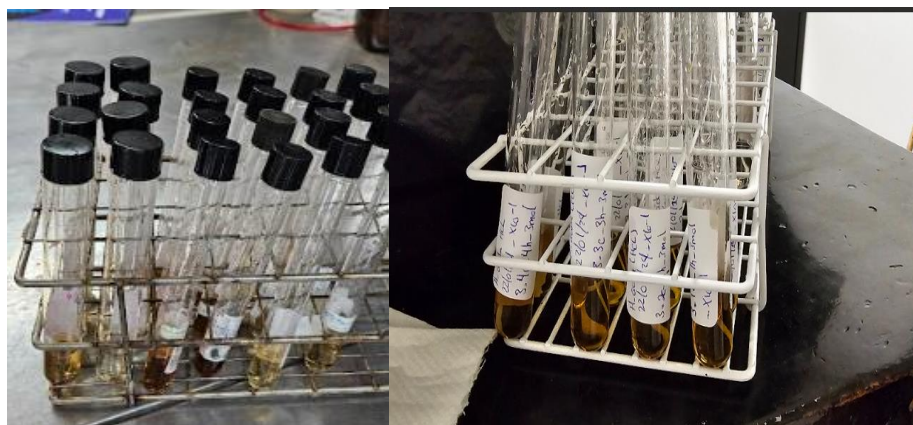


FIGURA 5.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS LA DE HIDRÓLISIS ÁCIDA ANTES DE SER ANALIZADAS POR UN ESPECTRÓMETRO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

3.4 Hidrólisis Básica de la Higuera

Para este experimento, el diseño experimental (Tabla 8.3.) y el proceso es el mismo que la Hidrólisis Ácida. Sin embargo, a diferencia del HCl, el reactivo NaOH se encuentra en estado sólido. Para calcular la cantidad necesaria a utilizar para las concentraciones previamente estipuladas, se utilizan las siguientes equivalencias.

Tabla 8.3. Diseño Experimental de la Hidrólisis Básica (NaOH) para la obtención de azúcares de la Higuera. Fuente: Elaboración Propia.

Concentración [Moles]	Tiempos (h)			
	1	2	3	4
1	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4
2	Experimento 5	Experimento 6	Experimento 7	Experimento 8
3	Experimento 9	Experimento 10	Experimento 11	Experimento 12

Considerando que 1 Mol_{NaOH} equivale a 40 g/L de NaOH, entonces:

ECUACIÓN 5.3.

$$1 \text{ Mol}_{\text{NaOH}} = 40 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

ECUACIÓN 6.3.

$$2 \text{ Mol}_{\text{NaOH}} = 80 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

ECUACIÓN 7.3.

$$1 \text{ Mol}_{\text{NaOH}} = 120 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Dado que la solución total a preparar es de 1.5 L, entonces realizamos una regla de tres para determinar la cantidad específica de NaOH a utilizar en cada solución.

$$m_{1M} = \frac{(40 \text{ g})(1.5 \text{ L})}{1 \text{ L}} = 60 \text{ g}$$

De manera que, en 1 M hay 60 g de NaOH, en 2 M – 120 g de NaOH y en 3 M, 180 g de NaOH. Una vez preparadas estas soluciones, se almacenan para dar continuidad a la hidrólisis básica.

El proceso de ejecución de la hidrólisis es similar a la hidrólisis ácida. Se vierten 5 g de higuierilla en un vaso precipitado de 600 mL y se agregan 200 mL de NaOH. La mezcla se agita a una velocidad entre 5 a 6 rpm en los distintos intervalos de tiempo previamente establecidos. Finalmente se filtra la solución y se neutraliza. En este caso, se utiliza HCL líquido al 37% de pureza para obtener un PH de 7, véase en Figura 6.3.



FIGURA 6.3. PROCESO DE LA HIDRÓLISIS BÁSICA (NaOH) EN LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Para completar la etapa de Hidrólisis Básica, siguiendo un procedimiento similar al utilizado en la hidrólisis ácida, se preparan nuevas muestras tomando 1 mL de las soluciones de la Figura 7.3. Además, se crea una muestra blanco con agua, que contiene 1 mL. A cada muestra se le añaden 0.1 mL de fenol al 20% y 3 mL de ácido sulfúrico (véase Figura 7.3.).



FIGURA 7.3. PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE LA HIDRÓLISIS BÁSICA PARA SU SER ANALIZADOS EN EL ESPECTRÓMETRO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Una vez preparadas las muestras se agitan brevemente y se tapan. Estas se someten al análisis en el espectrómetro, que proporcionará el nivel de azúcares totales presentes en cada muestra, como en el análisis de la sacarosa. Las lecturas de las muestras se realizan en un rango de longitud de onda de $350 \mu m \leq \lambda \leq 800 \mu m$, con una absorbancia en el intervalo $0 \leq abs \leq 1$. Finalmente, las muestras de la Figura 7.3., se almacenan para dar continuidad a la Fermentación Alcohólica.

3.5 Fermentación Alcohólica

Continuando con el proceso de Fermentación Alcohólica (FA), utilizamos la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, un microorganismo comúnmente empleado en la fermentación de la glucosa para la producción de etanol. Para este experimento, hemos considerado las siguientes variables:

Temperatura: Se mantendrá en un rango de 25 °C a 28 °C, correspondiente a la temperatura ambiente.

Tiempo: El proceso de fermentación se llevará a cabo durante 3 días, lo que equivale a 96 horas. Durante este período, se realizarán mediciones de biogás obtenido cada 11 o 12 horas.

Siguiendo la tesis de William Andrés (2019), para una solución de levadura de 1,000 mL (1L), se considera una cantidad de 17 g de levadura. En nuestros experimentos, proponemos utilizar 80 mL de solución de cada una de las hidrólisis realizadas anteriormente. Para determinar la cantidad exacta de levadura a utilizar en el proceso de FA, aplicaremos una regla de tres.

$$m_{levadura} = \frac{(80mL_{solución})(17g_{levadura})}{1000 mL} = 1.36 g_{levadura}$$

En cada experimento fermentado, se utilizará un contenido de 1.36 g de levadura. Además, los experimentos se llevarán a cabo mediante un proceso anaerobio y en baño María para su previa fermentación manteniendo una temperatura ambiente, mencionado anteriormente. En las siguiente Figura 8.3. se puede visualizar el proceso de fermentación y de medición.

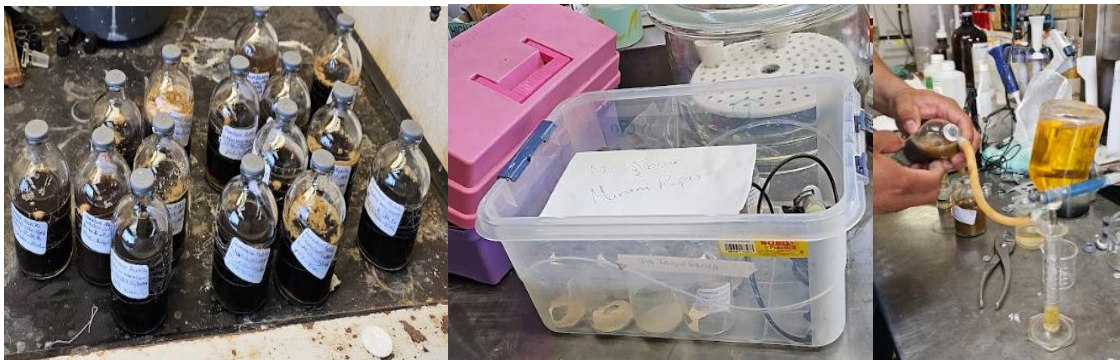


FIGURA 8.3. PROCESO DE FERMENTACIÓN DE LAS HIDRÓLISIS ÁCIDA Y BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Este diseño nos permitirá evaluar la cantidad de producción de etanol generado y, mediante una equivalencia de concentraciones, determinar la cantidad de bioetanol producido por la higuera.

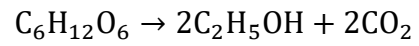
Considerando que:

ECUACIÓN 8.3.

$$1 M_{\text{CO}_2} = 1 M_{\text{bioetanol}}$$

Y, recordando la ecuación general de la fermentación:

ECUACIÓN 9.3.



Como nota adicional, el bioetanol es equivalente al etanol, por lo tanto, la cantidad o porcentaje generado de etanol será el mismo que el del bioetanol.

Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Hidrólisis Ácida de la Higuera

Tras la etapa de hidrólisis ácida, cada muestra presentó niveles variables de azúcares obtenidos. Ahora, con estos datos en mano, procederemos al cálculo de los rendimientos generados por cada muestra. Para ello, consideraremos las siguientes ecuaciones:

Considerando la curva de calibración $y = 0.0042x$.

ECUACIÓN 10.4.

$$x \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] = \frac{\text{absorbancia HCl (y)}}{\text{absorbancia } 100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ (y)}}$$

Donde:

X = concentración de la solución [mg/L]

Sustituimos Ecuación 10.4. en Ecuación 11.4.

ECUACIÓN 11.4.

$$\text{Rendimiento} \left[\frac{\text{mg}_{\text{Az}}}{\text{mg}_{\text{Higuera}}} \right] = \frac{x \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] * \text{Sol. tot de HCl (L)}}{\text{kg}_{\text{Higuera}}}$$

Se realizan conversiones de unidades para conocer el nivel de rendimiento en $\left[\frac{\text{g}_{\text{Az}}}{\text{kg}_{\text{Higuera}}} \right]$.

Como resultado de cálculos, en la siguiente Tabla 9.4 se visualizan los rendimientos generados de cada experimento. Gracias a esto, se logró obtener el máximo y mínimo de rendimientos generados por cada muestra realizada a distintas concentraciones y tiempos de hidrólisis, estos resultados pueden visualizarse en la siguiente Figura 9.4.

TABLA 9.4. RENDIMIENTO TOTAL DE AZÚCARES [$G_{AZÚCAR} / KG_{HIGUERILLA}$] DE CADA EXPERIMENTO POR MEDIO DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.				
Concentración [M]	Tiempos (h)			
	1	2	3	4
1	38.0789	55.1019	54.9292	76.7709
2	81.8075	145.8256	157.4106	226.6689
3	94.9950	86.5917	313.2122	80.4679

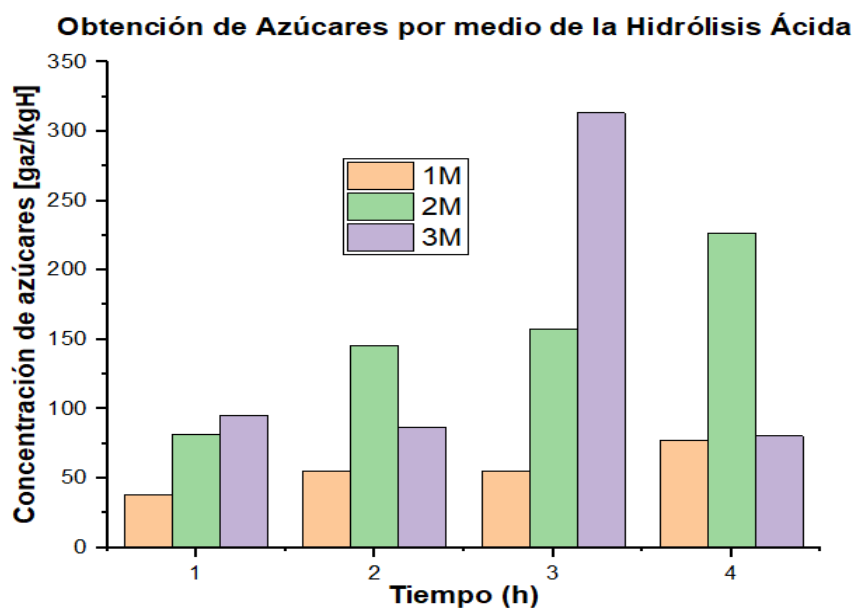


FIGURA 9.4. AZÚCARES MÁXIMOS Y MÍNIMOS OBTENIDOS POR MEDIO DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ORIGINLAB.

Según se observa en la Figura 9.4, el experimento que arrojó el mayor rendimiento de azúcares totales fue el número 11. En este caso, se utilizó una concentración de HCl de 3 moles y un tiempo de hidrólisis de 3 horas. Por otro lado, el experimento 1 generó el menor rendimiento total durante la hidrólisis. En este experimento, se empleó una concentración de HCl de 1 mol y un tiempo de hidrólisis de 1 hora.

4.2. Hidrólisis Básica de la Higuera

En este experimento, también se observaron niveles variables de azúcares obtenidos en cada muestra. Ahora, utilizando los mismos procedimientos de cálculo aplicados en la hidrólisis ácida, determinaremos los rendimientos de cada experimento. Los resultados obtenidos, se presentan en la siguiente Tabla 10.4.

TABLA 10.4. RENDIMIENTO TOTAL DE AZÚCARES [$G_{AZÚCAR} / KG_{HIGUERILLA}$] DE CADA EXPERIMENTO POR MEDIO DE LA HIDRÓLISIS BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.				
Concentración [Moles]	Tiempos (h)			
	1	2	3	4
1	181.6048	203.9476	257.7810	138.2083
2	191.3048	527.2762	203.4286	231.8794
3	5.9840	177.1109	123.5862	173.5910

Gracias a esto, se logró obtener el máximo y mínimo de rendimientos generados por cada muestra realizada a distintas concentraciones y tiempos de hidrólisis, estos resultados pueden visualizarse en la siguiente Figura 10.4.

Obtención de Azúcares por medio de la Hidrólisis Básica

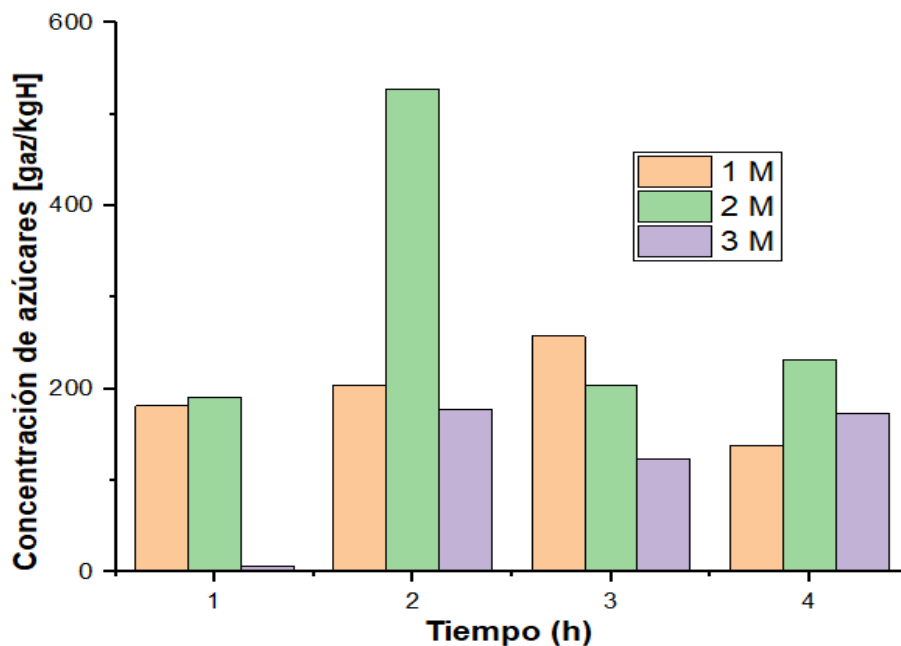


FIGURA 10.4. AZÚCARES MÁXIMOS Y MÍNIMOS OBTENIDOS POR MEDIO DE LA HIDRÓLISIS BÁSICA DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ORIGINLAB.

Según se observa en la Figura 10.4, el experimento que arrojó la mayor cantidad de azúcares totales fue el número 6. En este caso, se utilizó una concentración de NaOH de 2 moles y un tiempo de hidrólisis de 2 horas. Por otro lado, el experimento 9 generó la menor cantidad de azúcares totales durante la hidrólisis. En este experimento, se empleó una concentración de NaOH de 3 mol y un tiempo de hidrólisis de 1 hora.

4.3. Fermentación Alcohólica

Para concluir los experimentos, se plantea el uso de 80 mL de solución en cada uno de ellos. A estas soluciones se les añaden 1.36 g de levadura de cocina (*Saccharomyces cerevisiae*). Posteriormente, los frascos se sellan y se colocan en un baño María durante 3 días a temperatura ambiente.

Como resultado, en las siguientes tablas se presenta el registro del volumen de biogás producido por la fermentación en las hidrólisis ácida y básica. Además, se realizan sumatorias acumuladas para determinar la cantidad total de biogás obtenido en cada muestra. Cabe mencionar que la cantidad de biogás está directamente relacionada con el CO₂ generado durante el tratamiento de la higuera.

4.4. Fermentación Alcohólica de la Hidrólisis Ácida

Tabla 11.4. Resultados de los Experimentos Generados por la Fermentación Alcohólica de la Hidrólisis Ácida. Fuente: Elaboración Propia.

Tiempo fermentado horas (h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	8	27	14	15	14	14	13	8.8	8	10	14	4.8
23	20	38	20.3	34	29	29	25	19.2	20	21	27	15
35	29	50	23.8	38	43	43	31.8	20.4	29	26.2	32	23.9
48	29.1	50	23.9	38.1	43	43	31.8	22.6	29.1	26.2	32.3	27.7
60	38.8	62	29.9	47.2	46.9	46.9	40.3	23.4	38.8	36.1	41.4	27.9
72	40.6	65.9	32.4	50.5	48.5	48.5	43	23.4	40.6	39.2	43	27.9
84	40.6	65.9	32.4	50.5	48.5	48.7	43	23.4	40.6	39.2	43	27.9
96	40.6	65.9	32.4	50.5	48.5	48.7	43	23.4	40.6	39.2	43	27.9
Vmáx. [mL]	40.6	65.9	32.4	50.5	48.5	48.7	43	23.4	40.6	39.2	43	27.9
Vmáx. [L]	0.0406	0.0659	0.0324	0.0505	0.0485	0.0487	0.043	0.0234	0.0406	0.0392	0.043	0.0279

En la tabla presentada, se observa que el CO₂ generado varía en cada muestra. Para representar visualmente el comportamiento del biogás o CO₂ en cada experimento, se muestra la Figura 11.4. Esta gráfica, generada con la herramienta OriginLab, nos permite identificar de manera visual cuál experimento produjo la mayor cantidad de CO₂ y cuál experimento tuvo la menor producción.

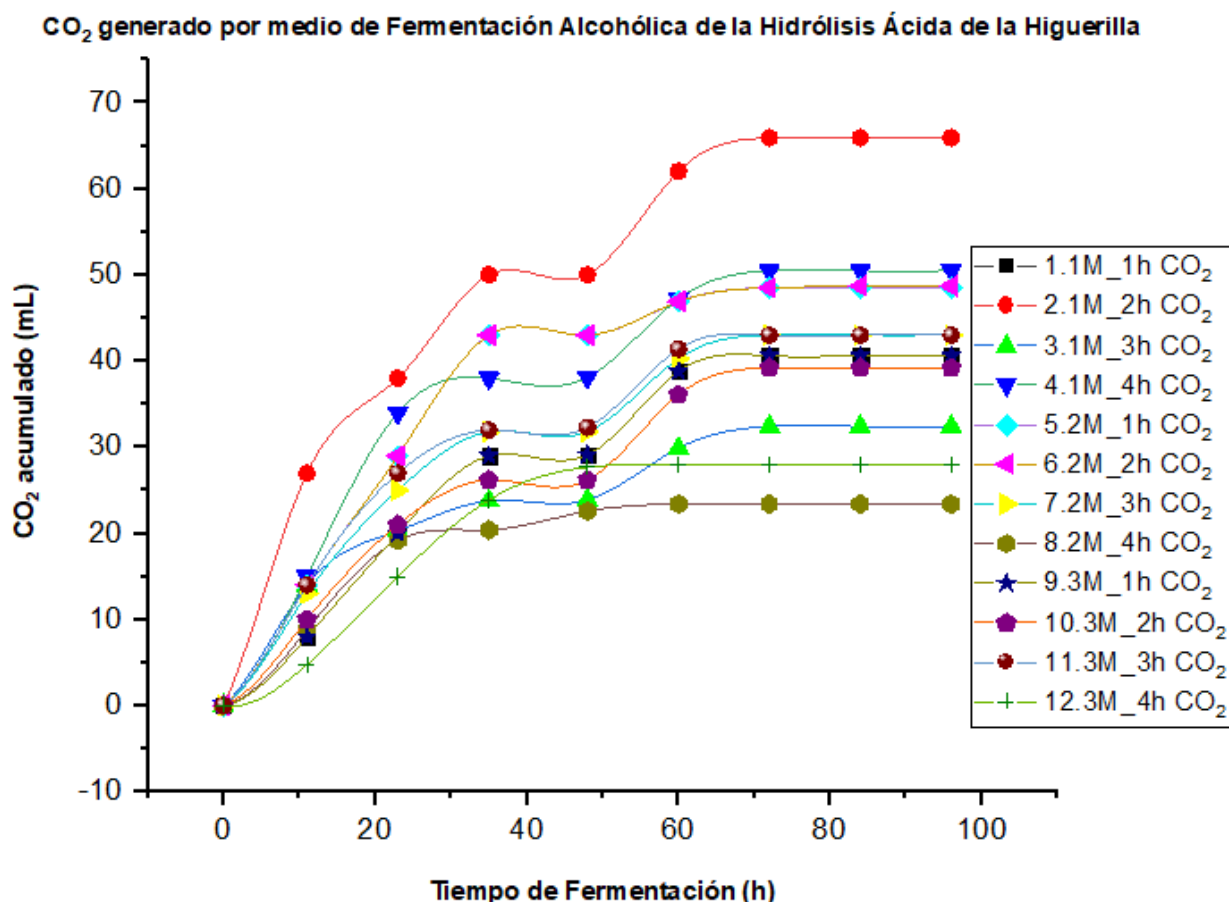


FIGURA 11.4. GRÁFICA GENERAL DE CO₂ GENERADO POR LOS 12 EXPERIMENTOS REALIZADOS EN LA HIDRÓLISIS ÁCIDA. FUENTE: ORIGINLAB.

En la siguiente Figura 12.4, el inciso a) muestra el resultado que tuvo mayor generación de CO₂ y en el b), muestra el resultado que tuvo la menor generación de CO₂ acorde a los experimentos realizados de la hidrólisis ácida.

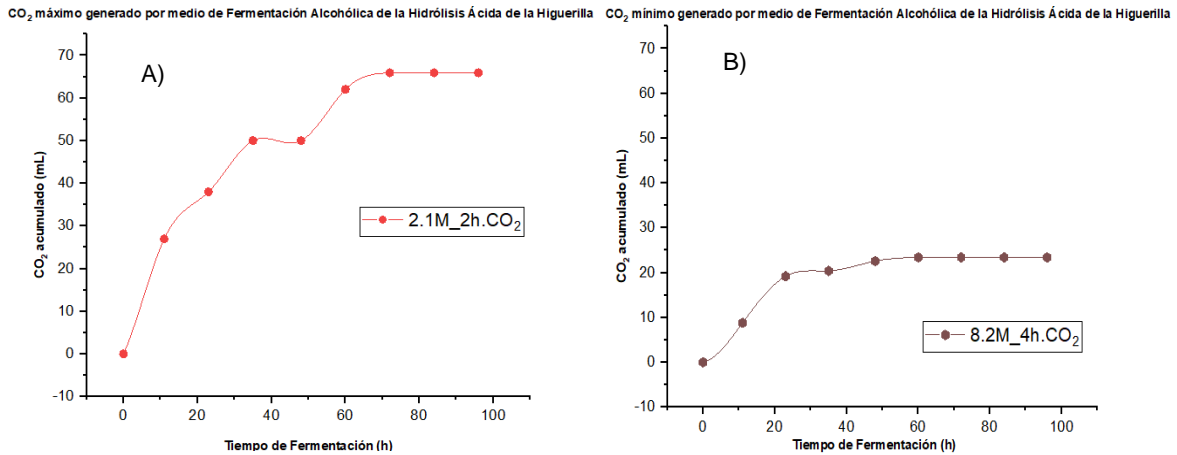


FIGURA 12.4. A) MÁXIMO GENERADO DE CO₂ Y B), MÍNIMO GENERADO DE CO₂ POR LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA REALIZADA EN LA HIDRÓLISIS ÁCIDA. FUENTE: ORIGINLAB.

Por lo que, resultados obtenidos, se obtiene que el experimento 2 generó la mayor cantidad de CO₂ o biogás durante la fermentación equivalentes a 65.9 mL y el experimento 8, registró la menor producción de CO₂ de 23.4 mL.

Considerando que, para cada una de las muestras, se utilizaron 5g de Higuierilla entonces, se realiza una conversión de mL de CO₂ a g de CO₂ por cada kg de higuierilla utilizada. Por lo que, el resultado generado de las muestras con menor y mayor obtención de CO₂ son los siguientes:

Dónde:

$$V_{exp2} = 65.9 \text{ mL} = 0.0659 \text{ L}$$

$$V_{exp8} = 23.4 \text{ mL} = 0.0234 \text{ L}$$

$$PM_{bioetanol} = 46 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$PM_{CO_2} = 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$T_{ideal} = 27 \text{ }^\circ\text{C} = 300.15 \text{ K}$$

$$P_{atm \text{ de cdmx}} = 585 \text{ mmHg}$$

$$= 0.7697 \text{ atm}$$

$$R = 0.082057 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$$

$$m_{Higuierilla} = 5 \text{ g} = 0.005 \text{ kg}$$

y la Ecuación 8.3.

Entonces:

Utilizando la ecuación de los Gases Ideales, se determina que:

ECUACIÓN 12.4.

$$n_{CO_2} = \frac{PV_{exp}}{RT}$$
$$n_{CO_2} = \frac{(0.7697 \text{ atm})(0.0659 \text{ L})}{(0.082057 \frac{\text{atm}\cdot\text{L}}{\text{k}\cdot\text{mol}})(300.15 \text{ k})} = 0.0021 \text{ mol}$$

ECUACIÓN 13.4.

$$m_{CO_2} = \frac{PM_{CO_2}}{n_{CO_2}}$$
$$m_{CO_2} = \frac{44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0.0021 \text{ mol}} = 0.0906 \text{ g}$$

ECUACIÓN 14.4.

$$m_{CO_2}/kg_H = \frac{m_{CO_2}}{m_{Higuerilla}}$$
$$m_{CO_2}/kg_H = \frac{0.0906 \text{ g}}{0.005 \text{ kg}} = 18.1241 \frac{g_{CO_2}}{kg_H}$$

De manera que, para el experimento 2 la masa generada de CO₂ es de 18.1241 $\frac{g_{CO_2}}{kg_H}$ y, para el experimento 8, la masa generada de CO₂ es de 6.43557 $\frac{g_{CO_2}}{kg_H}$.

En este punto, se establece una equivalencia para determinar la masa de bioetanol producida en función de la masa de CO₂ generada. Esto implica calcular cuánta masa de bioetanol se produce por una cantidad específica de masa de CO₂. Esta cantidad se determina mediante las siguientes ecuaciones:

ECUACIÓN 15.4

$$m_{bioetanol} [g] = n_{CO_2} * PM_{bioetanol}$$

ECUACIÓN 16.4

$$m_{bioetanol} \left[\frac{g_{bioetanol}}{kg_{higuerilla}} \right] = m_{bioetanol} [g] / kg_{Higuerilla}$$

Considerando que el peso molecular (PM) del bioetanol es de 46 g/mol y que el peso utilizado en los experimentos con higuera es de 5 g (equivalente a 0.005 kg), procedemos a realizar los siguientes cálculos utilizando las ecuaciones 15.4 y 16.4 para los experimentos 2 y 8.

Experimento 2

$$m_{\text{bioetanol}} [g] = 0.0021 \text{ mol} * 46 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{bioetanol}} [g] = 0.0966 \text{ g}$$

$$m_{\text{bioetanol}} \left[\frac{g_{\text{bioetanol}}}{kg_{\text{higuera}}} \right] = \frac{0.0966 \text{ g}}{0.005 kg_{\text{higuera}}}$$

$$m_{\text{bioetanol}} \left[\frac{g_{\text{bioetanol}}}{kg_{\text{higuera}}} \right] = 18.948 \frac{g_{\text{bioetanol}}}{kg_{\text{higuera}}}$$

Por lo tanto, el experimento 2 arroja un resultado de obtención de masa de bioetanol de 18.948 g_{bioetanol}/kg_{higuera}. Para el experimento 8, se obtiene una masa de bioetanol de 6.7281g_{bioetanol}/kg_{higuera}.

Estos hallazgos son fundamentales para comprender el comportamiento de la higuera en el proceso de fermentación y su potencial como fuente de biogás. Además, proporcionan información valiosa para futuras investigaciones y aplicaciones en el campo de las energías renovables.

Tabla 12.4. Resultados de los Experimentos Generados por la Fermentación Alcohólica de la Hidrólisis Básica. Fuente: Elaboración Propia.

Tiempo fermentado horas (h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	13	14	18	15	8	17	27	14	8	10	14	20
23	25	20.3	37.5	34	19	28	38	27	20	21	29	26
35	31.8	23.8	41.7	38	24.9	30	50	32	29	26.2	43	31.5
48	31.8	23.9	41.7	38.1	25.9	30	50	32.3	29.1	26.2	43	31.6
60	40.3	29.9	43.7	47.2	37.4	35.2	62	41.4	38.8	36.1	46.9	40
72	43	32.4	45.2	50.5	38.3	37.8	65.9	43	40.6	39.2	48.5	43.2
84	43	32.4	45.2	50.5	39.5	37.8	65.9	43.2	40.6	39.2	48.5	43.2
96	43	32.4	45.2	50.5	39.5	37.8	65.9	43.2	40.6	39.2	48.5	43.2
V _{máx.} [mL]	43	32.4	45.2	50.5	39.5	37.8	65.9	43.2	40.6	39.2	48.5	43.2
V _{máx.} [L]	0.043	0.0324	0.0452	0.0505	0.0395	0.0378	0.0659	0.0432	0.0406	0.0392	0.0485	0.0432

4.5 Fermentación Alcohólica de la Hidrólisis Básica

En la Tabla 12.4 presentada, se observa que el CO₂ generado varía en cada muestra. Para representar visualmente el comportamiento del biogás o CO₂ en cada experimento, se muestra la Figura 13.4. Esta gráfica, generada con la herramienta OriginLab, nos permite identificar de manera visual cuál experimento produjo la mayor cantidad de CO₂ y cuál experimento tuvo la menor producción.

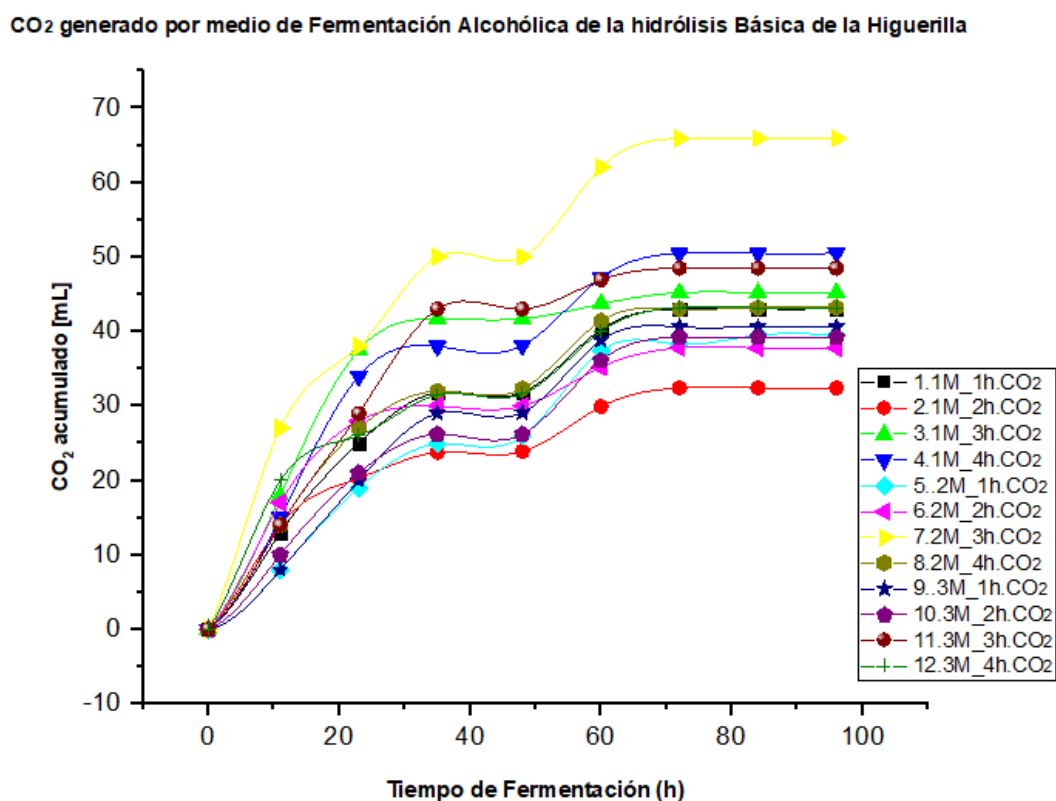


FIGURA 13.4. GRÁFICA GENERAL DE CO₂ GENERADO POR LOS 12 EXPERIMENTOS REALIZADOS EN LA HIDRÓLISIS BÁSICA. FUENTE: ORIGINLAB.

En la siguiente imagen, se detalla de manera más puntual cuál es el experimento que generó la mayor y la menor cantidad de CO₂.

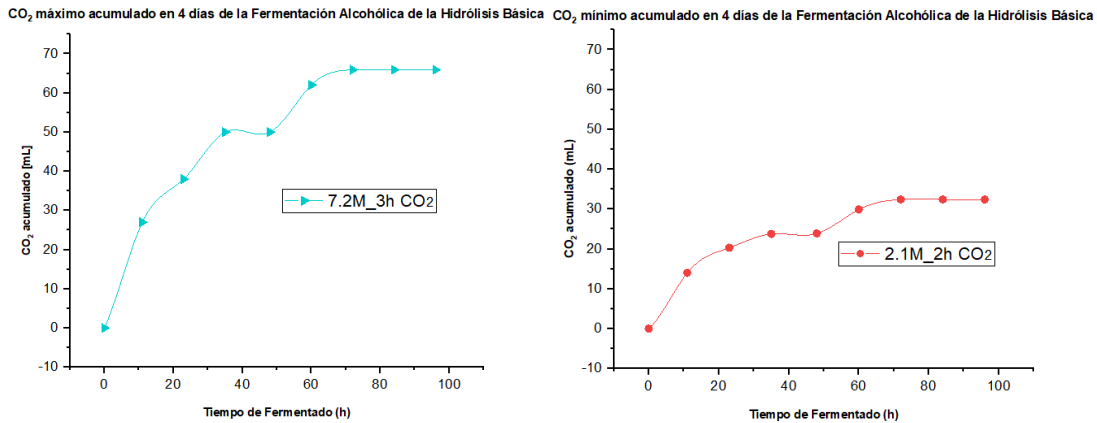


FIGURA 14.4 . A) MÁXIMO GENERADO DE CO₂ Y B), MÍNIMO GENERADO DE CO₂ POR LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA REALIZADA EN LA HIDRÓLISIS BÁSICA. FUENTE: ORIGINLAB.

En base a los resultados obtenidos, se obtiene que el experimento 7 generó la mayor cantidad de CO₂ o biogás durante la fermentación equivalentes a 65.9 mL. Por otro lado, el experimento 2 registró la menor producción de CO₂ de 32.4 mL.

Para esta fermentación de la hidrólisis básica, los procedimientos de cálculos fueron los mismos que de las ecuaciones Ecuación 12, Ecuación 13 y Ecuación 14 de manera que, para el experimento 7 la masa generada de CO₂ es de $18.1241 \frac{g_{CO_2}}{kg H}$ y, para el experimento 2, la masa generada de CO₂ es de $8.9108 \frac{g_{CO_2}}{kg H}$.

En este punto, se establece una equivalencia para determinar la masa de bioetanol producida en función de la masa de CO₂ generada. Esto implica calcular cuánta masa de bioetanol se produce por una cantidad específica de masa de CO₂. Dicha cantidad se determina mediante las ecuaciones Ecuación 15.4 y Ecuación 16.4 mencionadas anteriormente y se aplican en los experimentos 7 y 2.

Como resultado, el experimento 7 arroja un resultado de obtención de masa de bioetanol de 18.948 g_{bioetanol}/kg_{higuerilla}. Para el experimento 2, se obtiene una masa de bioetanol de 9.3158 g_{bioetanol}/kg_{higuerilla}.

Estos hallazgos son fundamentales para comprender el comportamiento de la higuerilla en el proceso de fermentación y su potencial como fuente de biogás.

Además, proporcionan información valiosa para futuras investigaciones y aplicaciones en el campo de las energías renovables.

4.6 Resultado del bioetanol obtenido

Como resultado de este experimento, y dado que el cultivo del maíz genera el mayor porcentaje de bioetanol, se realizó una comparativa para determinar el porcentaje total de bioetanol obtenido mediante esta metodología en comparación con la del maíz. Cabe recordar que el maíz genera el 60% del bioetanol, en comparación con otros cultivos energéticos.

Considerando que por cada 100 mL de bioetanol producido se generan 2.8 kg de CO₂ [26], equivalente al 100% de bioetanol obtenido, determinamos el porcentaje de bioetanol generado para esta investigación.

Hidrólisis Ácida (HCl)

Para estos experimentos, se realiza una equivalencia con el dato mencionado anteriormente para determinar el porcentaje de bioetanol generado por cada 100 mL producidos en los experimentos con el máximo (Experimento 2) y mínimo (Experimento 8) de producción de CO₂.

$$\text{Experimento 2} = \frac{(100 \text{ mL}_{\text{bioetanol}}) * (0.0181241 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kg H}})}{2.8 \text{ kgCO}_2} = 0.65 \frac{\text{mL}_{\text{bioetanol}}}{\text{kg H}}$$

$$\frac{\left(0.65 \frac{\text{mL}_{\text{bioetanol}}}{\text{kg H}}\right) * 100\%}{100 \text{ mL}_{\text{bioetanol}}} = 0.65\%$$

Por lo tanto, el porcentaje producido de bioetanol en el experimento 2 es de 0.65%, y en el experimento 8, es de 0.23%.

Hidrólisis Básica (NaOH)

Para este método, el porcentaje de obtención de bioetanol producido por la higuera por cada 100 mL de solución en los experimentos 7 (máximo producido de CO₂) es de 0.65% y en el experimento 2 (mínimo producido de CO₂) es de 0.32%.

CONCLUSIONES

En resumen, se concluye que el porcentaje de bioetanol producido por la higuera en 100 mL de solución en los experimentos realizados es bajo en comparación con el maíz, que puede generar hasta un 70% de bioetanol por 100 mL de solución. Por lo tanto, se determina que este cultivo energético no es viable como sustituto de los combustibles fósiles.

Sin embargo, la higuera puede ser aprovechada para proyectos específicos y a pequeña escala, complementando productos que requieran los beneficios de este cultivo. Además, es posible mejorar los procesos de optimización de las hidrólisis y la cuantificación de los azúcares reductores por el método de Dubois para aumentar las fermentaciones de estas soluciones, y así, mejorar las reacciones para obtener mayores rendimientos de bioetanol.

En conclusión, aunque la higuera no es una opción viable para la producción masiva de bioetanol, su potencial en aplicaciones a pequeña escala y la posibilidad de optimizar los procesos abren oportunidades para su uso eficiente y complementario en sectores específicos.

Bibliografía

- [1] Ng, M. A. (2024). *México: Emisiones y fuentes de los gases de efecto invernadero*. BBVA Research. Recuperado de <https://www.bbva.com/wp-content/uploads/2024/01/2024-Emisiones-y-fuentes-GEI-Mexico.pdf>
- [2] Energía y Sociedad. (s.f.). *Gases de efecto invernadero: El efecto invernadero - causas y consecuencias*. Recuperado de <https://www.energiaysociedad.es/cambio-climatico/gases-de-efecto-invernadero/>
- [3] Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., & Dasgupta, P. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. Disponible en: https://epic.awi.de/id/eprint/37530/1/IPCC_AR5_SYR_Final.pdf
- [4] Cook, J., Oreskes, N., Doran, P. T., Anderegg, W. R., Verheggen, B., Maibach, E. W., ..., & Green, S. A. (2016). Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters*. 11(4): 048002.
- [5] Urry, J. (2015). Climate change and society, en *Why the social sciences matter* (pp. 45-59). Springer. Disponible en: <http://dlib.scu.ac.ir/bitstream/Ebook/32786/2/9781137269911.pdf#page=56>.
Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2022.
- [6] Baer, H. & Singer, M. (2016). *Global warming and the political ecology of health: Emerging crises and systemic solutions*. Routledge. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=76oYDQAAQB> AJ . Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2022.

- [7] Apergis, N. & Payne, J. E. (2014). Renewable energy, output, CO 2 emissions, and fossil fuel prices in Central America: evidence from a nonlinear panel smooth transition vector error correction model. *Energy Economics*. 42: 226-232.
- [8] Abas, N., Kalair, A., & Khan, N. (2015). Review of fossil fuels and future energy technologies. *Futures*. 69: 31-49.
- [9] CMNUCC, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (1997). *Protocolo de Kioto*. Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- [10] Yue, D., You, F., & Snyder, S. W. (2014). Biomass-to-bioenergy and biofuel supply chain optimization: overview, key issues and challenges. *Computers & Chemical Engineering*. 66: 36-56.
- [11] García, C. A., & Masera, C. O. (2016). *Estado del arte de la bioenergía en México*. Publicación de la Red Temática de Bioenergía (RTB) del CONACYT, Red Mexicana de Bioenergía, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 135 pp. Recuperado de <https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/6d95688b94fb96e56675c3ff6387225f-2.pdf> (consultado en noviembre de 2022).
- [12] Mendes-Souza, G. M., Ballester, M. V. R., de Brito Cruz, C. H., Chum, H., Dale, B., Dale, V. H., ... Van der Wielen, L. (2017). The role of bioenergy in a climate-changing world. *Environmental Development*, 23, 57–64.
- [13] García A. Héctor E., León A. Marilú y Ortega H. Alejandro (2017). Cadena productiva de la higuera (Ricinus communis L.) Comercialización: un eslabón con oportunidad económica para pequeños productores de Guanajuato. *Jóvenes en la Ciencia*. 3(2): 1194-1199.
- [14] Verdugo, A. G. (2018). *Producción de biomasa de aceites de Jatropha e higuera para bioturbosina*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR). Recuperado de

<https://www.cibnor.gob.mx/espacio-rotativo/2168-produccion-de-biomasa-de-aceites-de-jatropha-e-higuerilla-para-bioturbosina>

- [15] Buriticá Arbeláez, C. A. (2021). Patente con mucha química para industria cosmética y farmacéutica. *Universitas Científica*, 24(1), 48–51. Recuperado de <https://revistas.upb.edu.co/index.php/universitas/article/view/7408>
- [16] Ortiz, M., Pacheco, F. J., Rivera, C., Gómez, G. M., & Padilla, M. E. (s.f.). *Reporte de inteligencia tecnológica bioturbosina*. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/324018/Inteligencia Tecnologica Bioturbosina Final.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/324018/Inteligencia_Tecnologica_Bioturbosina_Final.pdf)
- [17] César Aldara da Silva & Batalha Mário Otávio (2010). Biodiesel production from castor oil in Brazil: A difficult reality. Article ELSEVIER. Energy Policy 4031–4039
- [18] Luis F. Villegas M. (2024). Taller "Los Biocombustibles líquidos en la transición energética y climática" 2024, el CEO de Energy & Environment Sustainable Solutions.
- [19] Esquivel, M., & Julián, S. (2018). *Síntesis de biodiesel a partir de higuerilla (Ricinus communis) y análisis de su ciclo de vida*. Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB). Recuperado de https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1498/2018_Tesis_Esquivel_Rojas_Melisa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [20] IDEA. (2007). *Biomasa: Cultivos energéticos*. Energías Renovables, Energía de la Biomasa. Recuperado de https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10737_biomasa_cultivos_energeticos_07_4bd9c8e7.pdf
- [21] Nava-García, Francisco y Doldán-García, Xoán (2014). Cultivos energéticos. Agricultura, sociedad y desarrollo. 11(1): 25-34. Recuperado de:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722014000100002

- [22] OECD. (s.f.). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2020-2029: Biocombustibles*. Recuperado de <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/8d79647e-es/index.html?itemId=/content/component/8d79647e-es#chapter-d1e22424>
- [23] Saadaoui, E., Martín-Gómez, J. J., Ghazel, N., Yahia, B., Tlili, N., & Cervantes, E. (2017). Genetic variation and seed yield in Tunisian castor bean (*Ricinus communis* L.). *Botanical Sciences*, 95(2), 271-281. <https://doi.org/10.17129/botsci.850>
- [24] CONABIO. (2015). *Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México*. Recuperado de https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/Instrutivo_MERI_2020.pdf
- [25] NIFAP. (2022). *La higuierilla como cultivo de alternativa*. Publicado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de <https://www.gob.mx/inifap/es/articulos/la-higuierilla-como-cultivo-de-alternativa#:~:text=La%20higuierilla%20tiene%20la%20ventaja,demanda%20menor%20cantidad%20de%20agua>.
- [26] Agudelo, L. W. A., & Serrano, C. (2019). *Producción de bioetanol a partir del residuo del proceso de extracción de aceite de higuierilla (*Ricinus communis*) y análisis de sus impactos ambientales*. Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB). Recuperado de <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/7141>
- [27] Fideicomiso de Riesgo Compartido. (2017). *Higuierilla, planta convertida en aceite*. Recuperado de <https://www.gob.mx/firco/articulos/higuierilla-planta-convertida-en-aceite?idiom=es#:~:text=La%20higuierilla%20es%20una%20planta,subtropi>

[cales%20del%20mundo%20incluyendo%20M%C3%A9xico.&text=La%20higuerilla%20es%20una%20planta%20arbusiva%20de%201%20a%205m,de%20color%20verde%20o%20rojizo.](#)

- [28] Peña-Gabriel. (2021). *Morfometría y fisiología de plantas de ecotipos silvestres de higuerilla (Ricinus communis L.) del norte de México*. Recuperado de <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/090f1d5e-f83f-4797-892a-35244f7af685/content>
- [29] Ruiz-Olivares, A., González-Chávez, M. C., & Carrillo-González, R. (2017). ¿Es posible usar suelos contaminados con elementos potencialmente tóxicos para producción de plantas de interés bioenergético? *Agroproductividad*, 10(4), 63-67. Recuperado de <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1004>
- [30] Sánchez, M., Castañeda, R., & Castañeda, M. (2016). Usos y potencialidad de la higuerilla (*Ricinus communis*) en sistemas agroforestales en Colombia. *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia*, 10(6), 507-512. Recuperado de <https://www.pubvet.com.br/artigo/2728/usos-y-potencialidad-de-la-higuerilla-ricinus-communis-en-sistemas-agroforestales-en-colombia>
- [31] Vasco-Leal, J., Hernández-Ríos, I., Méndez-Gallegos, S., Ventura-Ramos, E., Cuellar-Núñez, L., & Mosquera-Artamonov, J. (2017). Relación entre la composición química de la semilla y la calidad de aceite de doce accesiones de *Ricinus communis* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1343-1356. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n6/2007-0934-remexca-8-06-1343.pdf>
- [32] Silitonga, A. S.; Masjuki, H. H.; Ong, H. C.; Yusaf, T.; Kusumo, F. & Mahlia, T. M. I. 2016. Synthesis and optimization of *Hevea brasiliensis* and *Ricinus communis* as feedstock for biodiesel production: A comparative study. *Industrial Crops and Products*, 85: 274-286.

- [33] González R., K., García, J. A., Matus, J. A. & Martínez, T. (2011). Vulnerabilidad del mercado nacional de maíz (*Zea mays* L.) ante cambios exógenos internacionales. *Agrociencia*. 45(6): 733-744.
- [34] Ortiz-Laurel, Hipólito, Rossel-Kipping, Dietmar, Durán-García, Héctor; González-Muñoz, Liliana, y Amante-Orozco, Alejandro (2017). Calculating energy balance for higuierilla (*Ricinus communis* L.) from field productive stages to energy value for whole plant constituents. *Nova Scientia*, 9(18), 43-54. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6488432>
- [35] Zamarripa-Colmenero, A.; Ruíz-Cruz, P.A.; Solís-Bonilla, J.L.; Martínez-Herrera, J.; Olivera de los Santos, A. y Martínez-Valencia, B. (2009). Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L. en el trópico de México. Folleto Técnico Núm. 12. INIFAP. Chiapas, México. Obtenido de: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3428>
- [36] Salinas Callejas, Edmar; Gasca Quezada, Víctor. Los biocombustibles El Cotidiano, núm. 157, septiembre-octubre, 2009, pp. 75-82.
- [37] Míguez, E. F., & Míguez, H. F. (s.f.). *Biocombustibles*. Recuperado de <http://miguezlab.agron.iastate.edu/OldWebsite/Research/Biocombustibles.pdf>
- [38] Espinoza de A., W., Goddard J., M., Gutiérrez A., C., & Bonfil S., C. (2011). *Revista ¿Cómo ves? No. 123*. Recuperado de <https://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/123/los-biocombustibles>
- [39] Martos E., Y. (2020). *Objetivos del desarrollo sostenible: Agenda 2030*. E-Learning S.L.
- [40] EDUCO, EDUCAR CURA. (2019). *Qué son los 17 objetivos de desarrollo sostenible y la Agenda 2030*. Recuperado de

<https://www.educo.org/blog/Que-son-los-17-Objetivos-de-Desarrollo-Sostenible>

- [41] ONU. (s.f.). *Objetivos del desarrollo sostenible*. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [42] IICA. (2007). *Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Recuperado de <https://www.administracion.usmp.edu.pe/institutoconsumo/wp-content/uploads/2013/08/Biocombustibles-IICA.pdf>
- [43] REPSOL. (s.f.). *Generar energía a través de la agricultura*. Recuperado de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/cultivos-energeticos/index.cshtml>
- [44] CEUPE. (s.f.). *Ventajas y desventajas de los biocombustibles*. CEUPE Magazine. Recuperado de <https://www.ceupe.com/blog/ventajas-y-desventajas-de-los-biocombustibles.html>
- [45] Ortíz, M. G., et al. (2017). *Reporte de inteligencia tecnológica “bioetanol”*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/296708/IT_Bioetanol_0102_2018.pdf
- [46] Aulich, T. R., He, X., Grisanti, A. A., & Knudson, C. L. (2012). Gasoline Evaporation–Ethanol and Nonethanol Blends. *Air & Waste*, 44(8), 1004–1009. <https://doi.org/10.1080/10473289.1994.10467294>
- [47] Castellanos, P. (2024). *Bioetanol: definición, proceso de fabricación y usos industriales*. Manufactura LATAM. Recuperado de <https://www.manufactura-latam.com/es/noticias/bioetanol-definicion-proceso-de-fabricacion-y-usos-industriales>

- [48] CREMER OLEO. (s.f.). *Bioetanol: ¿Qué es el bioetanol?* Recuperado de <https://www.cremeroleo.de/es/productos/bioetanol.html#:~:text=En%20CREMER%20OLEO%20solo%20vendemos,No%20ofrecemos%20etanol%20sin%20t%C3%A9tico>
- [49] CNBIOGÁS. (s.f.). *¿Qué es el biogás?* Recuperado de [https://www.cnbiogas.mx/que-es-el-biogas#:~:text=El%20biog%C3%A1s%20es%20el%20producto,%2C%202012\)%20Ver%20Figura%201](https://www.cnbiogas.mx/que-es-el-biogas#:~:text=El%20biog%C3%A1s%20es%20el%20producto,%2C%202012)%20Ver%20Figura%201)
- [50] FAO. (2011). *Manual de Biogás*. Recuperado de <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>

Anexo

Pretratamiento de la Higuierilla

Es importante destacar que esta planta fue recolectada en el Fraccionamiento Paraíso Tlahuica, ubicado en el Estado de Morelos, sobre la carretera Izúcar de Matamoros – Cuautla, esta ubicación puede visualizarse en la siguiente imagen.

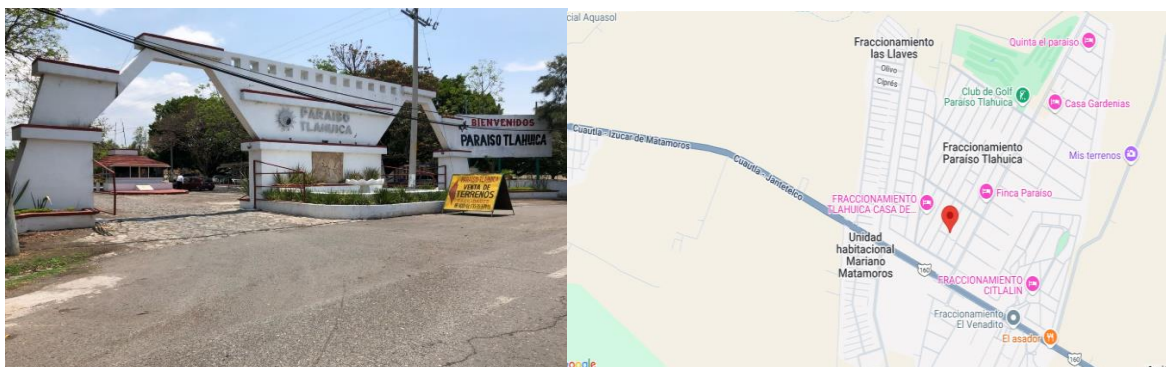


FIGURA 15. FRACCIONAMIENTO PARAÍSO TLAHUICA - MORELOS.

Esta región cuenta con una gran cantidad de tierras abandonadas donde crece la Higuierilla en grandes cantidades, lo que generó un punto estratégico para recolectar la planta y aprovecharla. Cabe mencionar que, esta planta es considerada como una plaga en el área, ya que crece y se reproduce de manera acelerada que llega a causar algunos desequilibrios ambientales en el lugar. Por ello, cada cierto tiempo, se realiza mantenimiento en la zona, para mantener un control de esta plaga. Para esta investigación, se planteó recolectar al menos 2 kg de esta, con la finalidad de evitar cualquier escasez que pudiera dificultar el progreso de éste experimento.



FIGURA 16. RECOLECCIÓN DE LA HIGUERILLA EN EL ESTADO DE MORELOS - CUAUTLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Una vez finalizada la recolección, se procede a su almacenamiento para ser trasladada al laboratorio, donde será pretratada para su posterior experimentación. Durante este proceso, las hojas de higuera son separadas de sus ramas y colocadas en una base plana para una distribución uniforme. Luego se dejan secar al aire libre durante al menos tres días a temperatura ambiente, minimizando su exposición al sol (después de las 4 de la tarde). Después de secarlas, se trituran y se empacan en bolsas resellables de doble sello. Por último, se almacenan para su uso posterior a los tratamientos químicos (véase en la Figura 17).



FIGURA 17. PRETRATAMIENTO DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Experimentos con la Higuera

Dado los procesos previos a la experimentación de la Higuera, se preparan distintos reactivos para generar reacciones químicas para poder obtener el biocombustible deseado. Por ello, se requerirán de reactivos básicos como el Hidróxido de Sodio (NaOH) de forma sólida y, el Ácido Clorhídrico (HCl), donde son mezclados con otro tipo de reactivos, visto en el capítulo 3, que permiten una reacción química en las muestras de la Higuera. El material utilizado, puede visualizarse en la siguiente

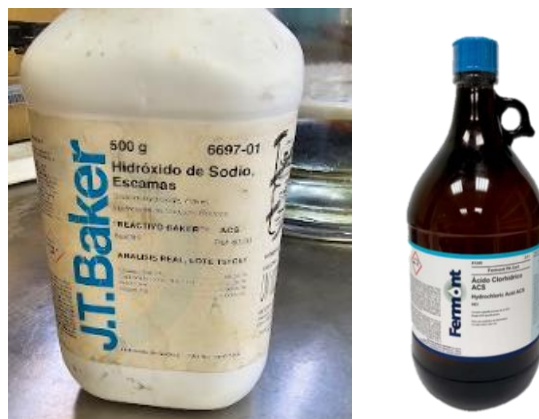


FIGURA 18. MATERIAL BÁSICO PARA LA EXPERIMENTACIÓN DE LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Una vez finalizados los experimentos, se procede a llevar las muestras a un espectrómetro, un aparato de rayos UV-visible (véase Figura 19). Este dispositivo permite detectar los niveles de azúcar que puede generar cada muestra a distintas concentraciones de los reactivos, ya que cada sustancia absorbe luz a una longitud de onda específica, lo que proporciona una relación única entre la sustancia y su espectro UV-VIS.



FIGURA 19. ESPECTRÓMETRO UTILIZADO COMO HERRAMIENTA PARA DETERMINAR NIVELES DE AZÚCARES OBTENIDOS POR LA HIGUERILLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Estos procedimientos nos permiten evaluar la eficacia las muestras preparadas y las condiciones experimentales en la producción del bioetanol a partir de la higuera, proporcionando datos cruciales para futuros desarrollos en el campo de los biocombustibles.