

TECHNICAL FEASIBILITY OF A BIODIGESTER FROM *EICHHORNIA CRASSIPES* (WATER LILY) FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS IN HONDURAS

Wilson Díaz, *Estudiante Ingeniería Energía*¹, Santiago Gutiérrez, *PhD*², and Héctor Villatoro, *PhD*¹
Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, wilsondiaz1998@unitec.edu,
hector.villatoro@unitec.edu.hn Universidad Politécnica de Guanajuato, México, sgutierrez@upgto.edu.mx

Abstract– Lake Yojoa is the only natural lake in Honduras and from the 1980s to the present (2022) it has been affected by an aquatic plant called Eichhornia crassipes (water lily). Over the years, multiple projects have been implemented on how to control their reproduction, but they have not been successful. The water lily is considered an aquatic pest due to its high growth rate and rapid reproduction. This plant has had several consequences in Lake Yojoa, such as the obstruction and invasion of large areas on the shores of the lake, preventing and delaying local fishermen when they go fishing. As an alternative to reduce water hyacinth, this project aims to evaluate the technical feasibility and feasibility of implementing a biodigester that uses the Eichhornia crassipes plant as a primary energy resource for biogas production. For this, the proper process of how to extract and locate the water lily is presented, how is the proper process of anaerobic digestion and how is the drying process of the water lily. The model and type of biodigester to be used are presented, as well as the design of the prototype where its feasibility and viability for the production of biogas was evaluated, which is intended to be used as an alternative to LPG (liquefied petroleum gas).

Keywords: Plant extraction, Eichhornia crassipes, biogas, water hyacinth, biodigester, anaerobic digestion, LPG.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.764>
ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Factibilidad Técnica de un Biodigestor a partir de *Eichhornia Crassipes* (Lirio Acuático) para la Producción de Biogás en Honduras

Wilson Díaz, Estudiante Ingeniería Energía¹, Santiago Gutiérrez, PhD², and Héctor Villatoro, PhD¹
Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, wilsondiaz1998@unitec.edu, hector.villatoro@unitec.edu.hn
Universidad Politécnica de Guanajuato, México, sgutierrez@upgto.edu.mx

Resumen– *El Lago de Yojoa es el único lago natural de Honduras y desde la década del 80 hasta la actualidad (2022) se está viendo afectado por una planta acuática llamada Eichhornia crassipes (lirio acuático). Con el pasar de los años se han implementado múltiples proyectos de cómo poder controlar su reproducción, pero no han concluido con éxito. El lirio acuático es considerado una plaga acuática por su gran tasa de crecimiento y su rápida reproducción. Esta planta ha traído varias consecuencias en el Lago de Yojoa como la obstrucción e invasión de grandes extensiones en las orillas del lago impidiendo y atrasando a los pescadores locales cuando se dirigen a pescar. Como una alternativa para reducir el lirio acuático, en este proyecto se propone evaluar la factibilidad técnica y la viabilidad de la implementación de un biodigestor que utiliza como recurso energético primario la planta Eichhornia crassipes para la producción de biogás. Para esto se presenta el proceso adecuado de cómo extraer y ubicar el lirio acuático, cómo es el proceso adecuado de la digestión anaerobia y de cómo es el proceso de secado del lirio acuático. Se presenta el modelo y tipo de biodigestor a usar, el diseño del prototipo donde se evaluó su factibilidad y viabilidad para la producción de biogás, que se pretende usar como una alternativa del GLP (gas licuado de petróleo). Palabras claves: Extracción de la planta, Eichhornia crassipes, biogás, lirio acuático, biodigestor, digestión anaerobia, GLP.*

I. INTRODUCCIÓN

El gran exceso de la planta acuática *Eichhornia crassipes* (lirio acuático) en los cuerpos de agua dulce está generando un grave desequilibrio ambiental en los ríos, lagos y lagunas del mundo. El lirio acuático actúa como un filtro biológico, efectúa limpieza del agua, ya que absorbe nitratos, fosfatos y dióxido de carbono para luego liberarlos como oxígeno (Hernández et al., 2018) [7]. El lirio acuático mantiene preocupados a los pobladores cercanos a los cuerpos de agua, esto debido a que no saben cómo tener el control total de la planta. Se han implementado diversas actividades para poder extraerla ya que abarca grandes extensiones de agua (Tecnología Especializada en el Medio Ambiente, 2007) [3].

En la actualidad (2022) el Lago de Yojoa, en Honduras, aún cuenta con esta problemática del lirio acuático, ya que obstruye el paso a los pescadores aledaños de las diferentes comunidades del lago, hace que la eficiencia laboral sea menor, y su control sigue sin ser el ideal, ya que la planta solo la extraen a la orilla, y cuando hay olas fuertes la planta es devuelta al lago. En años anteriores (2011-2015) se implementaban métodos para extraer el lirio acuático, para luego secarlo y con el tallo de la planta hacer artesanías como

actividades prácticas en las diferentes escuelas en las comunidades del Lago de Yojoa [8].

Gutiérrez Vargas (2016) [2] realizó una implementación de producción de biogás a partir del lirio acuático para la sustentabilidad económica, social, ambiental y energética en la Laguna de Yuriria en México, con el propósito de ayudar a reducir el impacto ambiental de la laguna, y también ayudar a la sustentabilidad económica del mismo lugar. Galindo (2020) [1] diseñó e implementó un triturador para producción de biocombustibles a partir de lirio acuático, en la Laguna de Yuriria, México, con el propósito de implementar una trituradora adecuada para moler y cortar el lirio acuático para la producción de biogás.

Araya (1990) propone y utiliza el lirio acuático como una alternativa al tratamiento de aguas residuales, con la ayuda del lirio se absorberá toda el agua, ya que esta planta es acuática, luego se llevará a cabo su trituración que luego servirá en usos de biodigestores y abonos orgánicos [9]. Ramírez-Sánchez et al. (2016) utilizan el lirio acuático en diferentes tipos de procesos aerobios los cuales son utilizados para el control y tratamiento de los residuos orgánicos que tienen un alto contenido de humedad y bajo contenido de lignina y celulosa [10].

A diferencia de los trabajos mencionados anteriormente, este proyecto se centra en el Lago Yojoa ubicado en Honduras; considerando las condiciones meteorológicas locales se evaluará la factibilidad de producir biogás en esta zona [5].

La presente investigación tiene como propósito evaluar la implementación de un biodigestor a través de *Eichhornia crassipes* (lirio acuático) para producir biogás, y así poder tener una alternativa al uso de GLP (gas licuado de petróleo). Mediante el uso de biodigestor se evaluará la factibilidad técnica y la viabilidad del uso de lirio acuático como materia prima para la producción de biogás. En la investigación se detallan todos los pasos y los procesos adecuados para producir biogás mediante el lirio acuático, y también se muestra el diseño del biodigestor donde se evalúa la producción del biogás.

Esta investigación también está enfocada en poder ayudar a las personas aledaños al Lago de Yojoa a que puedan implementar esta técnica de producción de biogás, ya que también ayudará al lago a reducir la cantidad del lirio presente en las orillas. Y les ayudará a ahorrar ya que no dependerán del uso de GLP.

El principal objetivo de la investigación es: Evaluar la factibilidad técnica de la implementación de un biodigestor a partir de *Eichhornia crassipes* en el Lago de Yojoa para evaluar su viabilidad y tener una alternativa al GLP.

El presente documento se estructura de la siguiente manera: Sección dos, se determina el método que se implementará a lo largo del proyecto. Sección tres, en este apartado reúne los análisis y los resultados del proyecto para poder validar el tema de investigación. Sección cuatro, se enumeran conclusiones a lo largo de la investigación.

II. MÉTODO

En la presente sección se abordarán y definirán, métodos y procedimientos que serán de utilidad para definir las variables de la investigación.

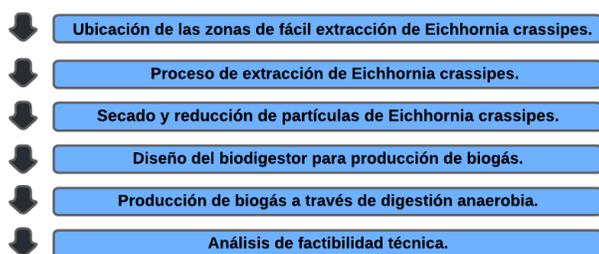


Fig. 1 Método de Validación

A. Ubicación de las zonas de fácil extracción de *Eichhornia crassipes*

Para poder ubicar las zonas de fácil extracción de *Eichhornia crassipes* es necesario poder ubicar zonas que sean de fácil acceso en las cuales su extracción sea sin complicaciones y evitar las zonas en las que la naturaleza nos impida llegar, como profundidades o lugares que haya mucha vegetación. Para fácil acceso se pueden buscar las orillas del lago, ya que no son profundas y el lirio se junta en las orillas y es fácil de extraer.

B. Proceso de extracción de *Eichhornia crassipes*

Una manera de extraer la planta del lago es ubicando las zonas de fácil acceso o extracción. Se necesita ubicar las zonas con mayor facilidad de extracción de *Eichhornia crassipes* del Lago de Yojoa. Una vez seleccionada la zona o las zonas, se va a proceder a su extracción. Si el lugar para extraerlo son las orillas del lago, se podrá hacer fácil con la ayuda de algún rastrillo. Y si son un poco profundas se tendrá que utilizar una lancha para poder llegar hasta la planta y extraerla.

C. Secado y reducción de partículas de *Eichhornia crassipes*

Luego de obtener el lirio se procederá su reducción de partículas o el tallo del lirio el cual será molido. Para esto se necesitó la ayuda de un pequeño molino de mano el cual ayudo a triturar el lirio acuático. Se recuperó el agua que este absorbe

mediante sus raíces y solo se dejaría la materia sólida aparte. “El lirio acuático es una planta que es un 90% agua y un 10% materia sólida” (S. Gutiérrez, comunicación personal, 3 de febrero de 2022).

Este proceso ayudará a hacer que la materia sólida sea más fina y ayude en la mezcla junto al agua que se va a recuperar para el biodigestor. Es necesario que la materia sólida esté lo suficientemente seca. Se puso a prueba luego de la trituration un secado en el sol, pero este proceso es lento. La materia sólida se dejó en un horno durante dos horas a 100 °C para poder observar su porcentaje de humedad.

$$\%H = \frac{(B - A) - (C - A)}{(B - A)} \times 100$$

Ecuación 1 Porcentaje de Humedad

Donde:

%H = Porcentaje de Humedad (%)

A = Peso Cápsula (kg)

B = Peso inicial de la muestra (kg)

C = Muestra Seca (kg)

Fuente: [6]

Para saber el tiempo de secado natural del lirio acuático se tomó una pequeña muestra de 13.4 libras para ser sacada todos los días al sol. Se peso todos los días a la misma hora, luego se observó en una tabla y gráfica su variación de peso y el porcentaje de agua que perdió todos los días y ver cuánto tiempo es el necesario para que llegue a perder el 90% del agua que contiene.



Fig. 2 Trituración de Lirio Acuático mediante un molino de mano





Fig. 3 Recuperación de materia sólida y líquida

Fig. 4 Materia sólida en el horno a 100 °C durante dos horas



Fig. 5 Secado de lirio acuático en el sol

D. Diseño del biodigestor para producción de biogás

Para poder evaluar la factibilidad y viabilidad del proyecto se evaluó en un pequeño biodigestor de tipo discontinuo o tipo Batch, utilizando un garrafón de agua de 18 litros.



Fig. 6 Garrafón de agua de 18 litros
Como boquilla se utilizará la mitad de un bote de agua plástico, junto a una manguera que se utiliza en los cilindros de gas que van conectadas a las estufas.



Fig. 7 Boquilla con bote plástico

Para poder fijar la boquilla en el biodigestor se utilizó cinta americana negra, la cual nos ayudó a poder evitar todo tipo de fugas que pueda haber. Y lo más importante evitar que haya oxígeno para el proceso de producción de biogás.



Fig. 8 Sellado de la boquilla al biodigestor con cinta americana negra

Por último, se utilizará una válvula de bola estriada la cual ayudará a permitir que no haya ingreso de oxígeno y también a que el biogás no se escape cuando empiece el proceso de producción.

Fig. 10 Elaboración de inóculo



Fig. 9 Válvula de bola estriada

E. Producción de biogás a través de digestión anaerobia

Mediante la digestión anaeróbica y sus reacciones bioquímicas se va a generar el biogás en ausencia de oxígeno. El biogás está constituido principalmente por dos elementos, el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2). El biogás se puede utilizar como combustible o se utiliza para la cocción de alimentos. La digestión anaeróbica, es un método de tratamiento el cual permite que los residuos sólidos puedan disminuir la cantidad de materia orgánica contaminante, y al mismo tiempo sacarle un beneficio para producir biogás (Varnero, 2011) [4].

Previo a la preparación de la mezcla para el biodigestor se necesita preparar un inóculo. Esto es debido a que ayudará a que los procesos de producción de biogás sean en menor tiempo (Varnero, 2011) [4]. La inoculación consiste en agregar al biodigestor microorganismos degradadores. Para elaborar nuestro propio inóculo es necesario utilizar lirio acuático para que se fermente durante siete a 10 días. Es necesario introducir el lirio fresco en una bolsa plástica y luego cerrarla para que impida que entre oxígeno.



Las bolsas plásticas que tendrán el inóculo tienen que estar en un lugar seguro y fresco, donde no se puedan dañar. Hay que asegurarse de que las bolsas no tengan arañazos o pequeños agujeros, así se evita la fuga del agua que la planta escurre.

Para cargar el biodigestor se necesita saber qué volumen vamos a utilizar, ya que se necesitará un 90% de materia líquida y un 10% de materia sólida. Para el garrafón de 18 litros se utilizarán 15 litros, de los cuales 1.5 kilogramos serán de materia sólida y 13.5 litros de materia líquida.

F. Análisis de factibilidad técnica

Luego de haber obtenido resultados de la producción de biogás mediante el uso de la planta *Eichhornia crassipes*, se llevará a cabo el análisis de la factibilidad técnica, la cual es implementada en el biodigestor casero, dependerá directamente de la cantidad de materia prima (lirio acuático) disponible en el Lago de Yojoa, temperatura ambiente y la digestión anaerobia, para luego proceder a probar a encender una pequeña estufa con el biogás producido con la planta acuática.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la presente sección se detallarán y presentarán los análisis y resultados del proyecto de investigación. Los resultados ayudarán a brindar un mejor análisis y así se podrá evaluar si el proyecto es factible técnicamente.

A. Ubicación de las zonas de fácil extracción de *Eichhornia crassipes*

Mediante un recorrido en las orillas del Lago de Yojoa, se ubicó una pequeña cuneta junto a los restaurantes de venta de pescado frito, dicha cuneta desemboca directamente al Lago de Yojoa. Se observó que entre los residuos sólidos hay desechos de agricultura como café y plátano. También se observó que hay manteca en la superficie del agua. Estos residuos ayudan al lirio a crecer y alimentarse. Es el lirio que se necesita para el proceso de extracción.

Fig.11 Lirio Acuático en las orillas del Lago de Yojoa



Fig. 12 Cuneta ubicada en el lugar del proyecto

B. Proceso de extracción de *Eichhornia crassipes*

Para el proceso de extracción del lirio acuático, se utilizó un rastrillo con el cual se puede extraer el lirio, esto debido a su fácil manejo y alcance en la orilla del lago. El lirio que se extraía se depositaba en un recipiente, con el cual se transportaba hasta el lugar donde iba a ser triturado.



Fig. 13 Lirio Acuático en las orillas del Lago de Yojoa



Fig. 14 Proceso de extracción del Lirio Acuático

C. Secado y reducción de partículas de *Eichhornia crassipes*

Para proceder a reducir el lirio o triturarlo es necesario que esté completamente seco, así se asegura que se obtendrá el 10% de la materia sólida. También tener el lirio seco ayuda a que sea más fácil de triturar ya que la planta está muerta. Para la investigación se extrajo una muestra de 10.6 kilogramos de lirio acuático. Dicha muestra fue triturada con la ayuda de un molino de mano para ayudar a reducir su porcentaje de humedad lo más posible y tener la materia completamente seca.

Luego de haber triturado el lirio acuático se obtuvieron 1.95 kilogramos de materia ya triturada (referirse a la figura 3), las cuales se pusieron en un horno a 100 °C durante dos horas. Resultado que dio 1.5 kilogramos; luego se utilizó la fórmula del porcentaje de humedad para conocer la humedad total de la muestra inicial del lirio.



Fig. 15 Resultado final de muestra seca

$$\%H = \frac{(10.6 - 0.043) - (1.5 - 0.043)}{(10.6 - 0.043)} \times 100$$

Donde:

%H = Porcentaje de Humedad (%)

A = Peso cápsula = 0.043 (kg)

B = Peso inicial de la muestra = 10.6 (kg)

C = Peso de la muestra seca = 1.5 (kg)

$$\%H=86.2\%$$

Para el proceso de secado natural del lirio acuático, se extrajo una muestra de 13.4 libras. La muestra (referirse a la figura 5) se sacó al sol todos los días, a excepción de los días lluviosos, ya que, al ser una planta acuática, la lluvia haría que nuevamente recupere su materia líquida. Esto traería como consecuencia que el secado se tardara aún más. Es necesario que el sol cubra toda la planta, así ayuda que seque más rápido. Con el pasar de los días se nota cómo la planta va quedando seca poco a poco y pierde su color natural que es el verde a un color café y la planta se tuesta y es fácil de cortarla o romperla (como se muestra en la siguiente figura).

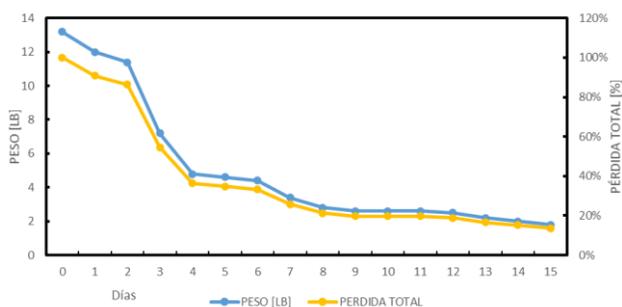


Fig. 16 Secado del lirio en el sol, día 2 y día 12

A continuación, en la siguiente gráfica se muestra su variación durante 15 días, desde el día cero cómo la planta ha ido perdiendo peso, y también su porcentaje de humedad. Los días lluviosos la planta pierde poco peso debido a que su naturaleza son las fuentes de agua (ríos, lagos, lagunas, entre

otros). Luego de pasar una semana, la planta empieza a perder un poco de peso, esto es debido a que el agua de sus raíces se seca primero, dejando por último el agua que está en su tallo.

Refiriéndonos al proceso anterior utilizando la fórmula de humedad, y utilizando el horno para secar el lirio acuático, el porcentaje de humedad dio 86.2% dejando un 13.8% de materia sólida. En la gráfica se observa que son 15 los días que se necesitan para llegar a ese porcentaje de materia sólida, ya que la planta perdió 86% de su peso en humedad; y el total de materia sólida que hay luego de sacarse al sol todos los días es de un 14% de materia sólida.



Gráfica 1 Secado diario del lirio acuático

D. Diseño del biodigestor para producción de biogás

A continuación, se puede ver el resultado final del biodigestor: se utilizó un neumático de una motocicleta como cámara de gas, la cual es donde se almacenará todo el biogás que se produzca del biodigestor de 15 litros. El neumático ayuda también a que se pueda producir biogás sin que haya presión dentro del mismo garrafón, ya que, si no se contara con cámara de gas, la presión del biogás podría salirse en la anexión que se le hizo al biodigestor. También se puede apreciar cómo el neumático se va llenando de biogás y su aumento de volumen.



Fig. 17 Instalación del biodigestor

E. Producción de biogás a través de digestión anaerobia

Recolección de muestra de inóculo

Ya pasado el tiempo de fermentación del inóculo se procede a sustraerlo de la bolsa donde se preparó inicialmente. Se logra notar que su color es totalmente diferente al color del agua que se recuperó del lirio, siendo ésta un color más amarillo, y el color del agua que se recupera del lirio, es de un color negro. Hay gran diferencia entre sus tonalidades, y también de esta manera se logra identificar la materia líquida que está fermentada y la que no está. Otro factor fue su olor, ya que se siente como si fuera el olor de un vino suave; alcanzando este olor indica que la fermentación fue correcta.



Fig. 18 Agua recuperada del lirio acuático e inóculo de lirio acuático

Llenado del biodigestor

Inicialmente en el garrafón de agua de 18 litros se utilizaron 15 litros, los cuales serán 13.5 litros de materia líquida y 1.5 kg de materia sólida. Primero se pondrá la materia sólida y luego la materia líquida con un combinado de agua recuperada del lirio acuático y el inóculo que se preparó. Siendo 11.5 litros del agua que se recuperó de la planta cuando se trituró y 2 litros del inóculo preparado.

Tabla 1 Mezcla para el biodigestor

Materia	Tipo	Cantidad
Sólida	<i>Eichhornia crassipes</i>	1.5 kilogramos
Líquida	Agua recuperada	11.5 litros
Líquida	Inóculo	2 litros



Fig. 19 Llenado del biodigestor con la materia sólida



Fig. 20 Llenado del biodigestor con la materia líquida, agua recuperada e inóculo

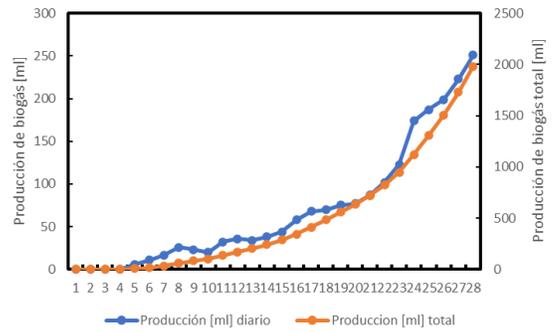
Medición del volumen de biogás producido

Para medir el biogás producido se utilizó el método de desplazamiento de agua, el cual consiste en introducir una probeta llena de agua, en un recipiente de agua, se introduce la manguera dentro de la probeta, se procede a abrir la válvula de bola poco a poco, y se puede observar cómo el volumen de la probeta baja; de esta manera se midió la cantidad de biogás producido. Para este proyecto, no se pudo contar exactamente con una probeta, pero se utilizó un pequeño recipiente que es utilizado para medir veneno de plagas.



Fig.21 Método de medición de la producción de biogás

Desde el día uno hasta el día 28 se midió la producción de biogás diariamente con este método, los primeros cuatro días la medición era de cero ml. A partir del día cinco empezó a producir por pequeñas cantidades. Un gran factor que afecta a la producción de biogás es la temperatura del ambiente, ya que los primeros cinco días el clima no fue el adecuado, ya que llovía mucho y se rondaban temperaturas promedio de 19 °C. Fue a partir de la primera semana que se logró observar cómo el promedio de producción se incrementaba.



Gráfica 2 Producción de biogás

Durante la noche del día 12 se hizo una pequeña prueba para ver si el biogás ya producía una pequeña flama de fuego: se abrió la válvula y con la ayuda de un encendedor se observó que la intensidad de la flama del encendedor aumentó notablemente por la liberación del biogás, dando como resultado que ya está empezando a ser inflamable.



Fig. 22 Prueba del biogás con un encendedor

F. Análisis de factibilidad técnica

En cuanto al análisis de la factibilidad técnica se comprobó que el prototipo de biodigestor casero diseñado fue ideal para evaluar su factibilidad y viabilidad. Se lograron resultados positivos a partir de la semana 3 en la retención de materia en el biodigestor. Con tan solo 1.5 kg de *Eichhornia crassipes* se ha logrado producir diariamente más de 251 ml de biogás. El prototipo del biodigestor cumple con su función, no tiene fugas y en la cámara de gas instalada se almacena el biogás adecuadamente. Se hizo nuevamente la prueba de encender el biogás con el encendedor en el día 23 y los resultados de la flama son notablemente mayores. También por último se

conectó una pequeña estufa y se logró encenderla sin problemas con el biogás. A continuación, se ven los resultados finales.



Fig. 23 Cámara de gas llena



Fig. 24 Prueba final de biogás con encendedor



Fig. 25 Estufa de cocina siendo alimentada por biogás producido a partir de lirio acuático

IV. CONCLUSIONES

Se realizó la implementación de un biodigestor para evaluar la factibilidad y viabilidad de producir biogás a partir de *Eichhornia crassipes* (lirio acuático) en el Lago de Yojoa. Para evaluar la factibilidad técnica se diseñó un pequeño prototipo de un biodigestor casero. Durante cinco días de retención el biodigestor empezó a producir biogás en pequeñas cantidades, y luego de cuatro semanas el biodigestor empezó a tener una producción diaria de 251 ml de biogás diarios. Con estos resultados se comprobó que es posible implementar biodigestores para la producción de biogás a partir de *Eichhornia crassipes*. Se encontraron los siguientes resultados o conclusiones:

- Se determinó que las mejores zonas para extraer *Eichhornia crassipes* en el Lago de Yojoa son las zonas de fácil acceso, orillas del lago, y también donde haya desembocaduras de cunetas. Esto es debido a que traen muchos desechos orgánicos y esto ayuda a que el lirio acuático se alimente de los nutrientes contenidos en estos desechos.
- La mejor manera de extraer el lirio acuático es desde las orillas del lago con la ayuda de un rastrillo, ya que se levanta fácilmente del lago y se saca de la orilla.
- Se necesita poner a secar el lirio acuático de manera natural con el sol, ya que se determinó que es un 10% materia sólida y el otro 90% materia líquida.
- Se necesitaron 14 días para que la planta se secase totalmente.
- El lirio acuático una vez seco es fácil de triturar, esto debido a que la planta está totalmente muerta. En cambio, si se tritura en verde la labor se dificulta, debido a que la planta se mantiene viva y es más sólida por el agua que tiene en su interior.
- Para evaluar la factibilidad del proyecto se implementó un pequeño biodigestor casero, con el cual se dieron resultados positivos: se produjo biogás y se observó que es inflamable, y se logró encender una pequeña estufa.

Las limitaciones que se presentaron para el proyecto de investigación fueron las siguientes: es necesario ubicar zonas accesibles para la extracción del lirio acuático, ya que hay zonas en las cuales la naturaleza impide llegar. Esta fue la primera limitante ya que también es necesario ubicar zonas con desembocaduras de desechos orgánicos, es debido a que el lirio acuático se alimenta de esos nutrientes y este tipo de lirio es el adecuado para producir biogás. La siguiente limitante es que es necesario que el lirio acuático pierda toda su materia líquida y solo reste toda su materia sólida, esto es debido a que la planta es un 90% materia líquida y un 10% materia sólida. Son 14 días

para que pierda todo ese peso líquido, ya una vez la planta este totalmente seca es más fácil triturarla, esto es debido a que la planta está muerta.

Se espera que este proyecto se utilice como referencias en futuras investigaciones enfocadas a la producción de biogás. De tal manera que logre ser mejorado y se implemente a mayores escalas, esto con la ayuda de un triturador de martillos el cual facilite la trituración de *Eichhornia crassipes*. El molino de mano ayuda, pero es un proceso lento. también ayudar a las personas aledañas al Lago de Yojoa a optar por estas nuevas alternativas de producción de biogás.

REFERENCIAS

- [1] Galindo, L. (2020). "DISEÑO DE UN TRITURADOR PARA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE LIRIO ACUÁTICO".
- [2] Gutiérrez, S. (2016). Producción de biogás a partir del lirio acuático para la sustentabilidad económica, social, ambiental y energética en la Laguna de Yuriria. https://app.ecologiagto.mx/servicios/archivosc/laguna_yuriria/Produccion_Biogas_a_partir_de_Lirio_Acuatico.pdf
- [3] Tecnología Especializada en el Medio Ambiente. (2007). Lirio acuático: De problema ambiental a fortaleza institucional • Teorema Ambiental. Retrieved March 6, 2022, from <http://www.teorema.com.mx/sostenibilidad/lirio-acuatico-de-problema-ambiental-a-fortaleza-institucional/>
- [4] Varnero, M. (2011). MANUAL DE BIOGÁS MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF. <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- [5] Marca País Honduras. (2018). En tu visita al Lago de Yojoa, no te puedes perder de estos maravillosos lugares | Marca País Honduras. Marca País Honduras. <https://www.marcahonduras.hn/en-tu-visita-al-lago-de-yojoa-no-te-puedes-perder-de-estos-maravillosos-lugares/>
- [6] Universidad de Zaragoza. (2014). DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN ALIMENTOS. https://ppcta.unizar.es/sites/ppcta.unizar.es/files/users/ARCHIVOS/Video_s_y_otros/Documentos/PRACTICAS_ANALISIS/practica_1_humedad.pdf
- [7] Hernández, A. E. C., Vargas, S. G., & Galván, M. F. L. (2018). Diseño de un proceso de molienda de *Eichhornia crassipes* para la producción de Biocombustible bajo la premisa costo nulo de Energía. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 4(1), 18-22.
- [8] Turismo & Negocios. (2011). *De contaminante del lago de Yojoa a hermosas artesanías Turismo & Negocios*. <https://turismoynegocios.wordpress.com/2011/05/27/de-contaminante-del-lago-de-yojoa-a-hermosas-artesantias/>
- [9] Araya, J. G. C. (1990). El uso del lirio acuático *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*, 10(3), 23-28.
- [10] Mendoza, F. J., Vargas-Soto, J. C., & Robles-Martínez, F. (2016). USO DE VIRUTA DE MADERA Y LIRIO ACUÁTICO (*Eichhornia crassipes*) COMO AGENTES ESTRUCTURANTES EN TRATAMIENTOS AEROBIOS DE RESIDUOS HORTICOLAS. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 153-160. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.11>