

Aprovechamiento de la pulpa de café como medio para producir biogás.

José Alexander Mata Suarez, Ingeniero industrial y de sistemas.

¹Universidad tecnológica Centroamericana UNITEC, Honduras, josemata@unitec.edu

Resumen– En la actualidad el trato inadecuado de los desechos orgánicos generados durante procesos agrícolas e industriales tienen un significativo impacto negativo en el medio ambiente, ya que estos contaminan la atmósfera, fuentes de agua y suelos, por medio de materia orgánica que al estar en contacto con el suelo, agua y aire, generan compuestos que afectan el agua eliminando el oxígeno que es de mucha importancia para las especies acuáticas además contaminando las principales fuentes de aguas que son aprovechadas por el humano.

Para la solución de este problema lo que se busca es aprovechar de la mejor manera posible los desechos orgánicos generados día con día, eliminando considerablemente el impacto negativo que estos generan al medio ambiente. Una posible solución para este problema es tratar estos desechos orgánicos por medio de la digestión anaerobia, utilizando biodigestores que nos permitirán generar productos tales como el biogás y fertilizantes orgánicos.

Palabras claves: Pulpa de café, digestión anaeróbica, biodigestor.

Abstract– At present, the inadequate treatment of organic waste generated during agricultural and industrial processes has a significant negative impact on the environment, since it contaminates the atmosphere, water sources and soil, through organic matter that, when in contact with the soil, water and air, generate compounds that affect the water, eliminating the oxygen that is of great importance for aquatic species, as well as contaminating the main sources of water that are used by humans.

To solve this problem, what is sought is to take advantage of the organic waste generated day by day in the best possible way, considerably eliminating the negative impact that these generate on the environment. A possible solution to this problem is to treat this organic waste through anaerobic digestion, using biodigesters that will allow us to generate products such as biogas and organic fertilizers.

Keywords: Coffee pulp, anaerobic digestion, biodigester.

I. INTRODUCCIÓN

Gran parte de la economía de Honduras se basa en la producción del café tanto así que ocupa los primeros lugares a nivel mundial y gran parte de la población del país se sostienen de este valioso cultivo, incluyendo tanto a pequeños como a grandes productores que son responsables de manejar gran porcentaje de la economía agrícola del país, además de ello el café llegó a ser el principal producto de exportación de este país. Al ser el café el principal cultivo de Honduras, la capacidad de industrialización del fruto es grande y por consiguiente el proceso desde la cosecha de este genera subproductos o desechos orgánicos como la pulpa, el mucilago, cisco, tallos, hojas, etc. que en su mayoría son desaprovechados por el caficultor, ya sea por la ignorancia o el desinterés en poder darle un debido trato a estos subproductos. Gracias a estudios realizados con anterioridad, en la actualidad existen procesos que nos permiten darle un trato debido a estos subproductos del café, uno de los procesos en el que podemos aprovechar estos desechos orgánicos, es en la generación de energía limpia como ser el biogás, que ayudarán a que muchas familias productoras de café puedan aprovechar estos desechos obteniendo impactos positivos para su economía y el medio ambiente. En este proyecto se realizó un experimento partiendo desde la recolección de la materia prima (pulpa de café), montaje experimental y recolección de los datos para posteriormente ser analizados. Lo que se buscó en este análisis de los datos obtenidos será saber cuánta energía (biogás) podemos producir por cantidad de pulpa de café, teniendo en cuenta los factores como el tiempo transcurrido y las proporciones de mezcla utilizadas.

II. ANTECEDENTES

Soberats-Cobos sostiene que en la actualidad los pronunciamientos de los diferentes activistas ambientales respecto a la contaminación que genera el cuidado inadecuado del medio ambiente son más irrefutables, lo cual es de mucha importancia para conservar la vida y la especie en nuestro planeta. Los niveles de contaminación generados por toneladas de materia orgánica de origen humano, vegetal y animal en el planeta actualmente no están siendo tratados de la manera adecuada, todo esto hace que el medio ambiente incluyendo suelos y fuentes de agua como ríos, lagos y mares sean altamente contaminados produciendo consecuencias ambientales alarmantes que amenazan tanto la calidad de vida y la salud de la población [1].

Actualmente, muchos países incluyendo países en vías de desarrollo se ven tentados por nuevos descubrimientos que permiten generar nuevos tipos de energías limpias que son beneficiosas en muchos aspectos de importancia para la preservación del medio ambiente y la salud de la población haciendo un uso correcto de materias primas orgánicas o subproductos que la naturaleza nos brinda. Estudios relevantes nos brindan información valiosa que puede ser aprovechada para la generación de energías limpias, que nos permitirían alcanzar la sostenibilidad en zonas donde la ganadería y la agricultura predomina, contribuyendo así a la mejoría notable del medio ambiente [2].

Acarley & Quipuzco concluyeron que los subproductos del café son de uso beneficioso para ser aprovechados en procesos bioquímicos naturales; como ser el proceso conocido como

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.708>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

digestión anaerobia donde el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes, produciendo altas concentraciones de microorganismos existentes en los subproductos del café [3].

III MARCO TEÓRICO

Existen indicios que indican que los primeros acontecimientos de la humanidad con el biogás se remontan al siglo X a. C. en Asiria donde se practicaba un proceso que consistía en calentar el agua con biogás, además de esto los primeros aprovechamientos de la digestión anaeróbica con desechos orgánicos y lodos se remontan al siglo XIX cuando países como China, Nueva Zelanda e India creaban biodigestores para producir biogás que luego se utilizaría como combustible para iluminar los faroles en los años de 1890. En China un inventor llamado Guorui Luo promovió el biogás para luego fabricar biodigestores que le permitirían años más tarde iniciar una empresa que se dedicaría a la comercialización de estos [4].

En la década de los 80 se instala en gran magnitud una planta productora de biogás, apostando al mejoramiento ambiental en el país de Dinamarca. Demostrando la gran capacidad de producción que puede llegar a tener una planta de esta magnitud. Además de eso los países en Europa apuntaban a la implementación de la tecnología de biodigestores que por medio de leyes que ayudarían a tomar fuerza fueron concretados [5].

Alemania siendo uno de los países más interesados de esta tecnología crea alrededor de 4000 plantas que proporcionarían 1270 MWh y al llegar el año 2020 doblarían esa cantidad de energía producida por plantas generadoras de biogás. Por otro lado, estudios revelan que para mediados de la década se abran construido unas 100,000 plantas de biogás en todo el mundo [6].

Parra Huertas define la digestión anaeróbica como la degradación de la materia orgánica producto de carencia de oxígeno durante todo el proceso, para obtener como producto final el biogás. Este proceso se desarrolla mediante fases o etapas que son la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y la metanogénesis [7]

Este como todo proceso genera ventajas y desventajas:
Ventajas:

- Este proceso no necesita un alto consumo de energía.
- Casi toda la materia orgánica suministrada es convertida en biogás.
- Los desechos que deja este proceso son pocos y pueden ser utilizados como fertilizantes orgánicos.
- Con este sistema se puede producir biogás con bajas y altas cantidades de materia orgánica suministrada.
- Presenta bajos costos de inversión comparado con la producción de biogás producido.

Desventajas [8]:

- En la mayoría de los casos existen olores fuertes.

- No se consigue calidad de efluente comparada con otros procesos aerobios.
- Tiempos de retención alto de la materia orgánica.

Primera etapa: Hidrólisis: En esta primera etapa de la digestión anaerobia, la materia orgánica es hidrolizada por un proceso bioquímico de oxidación-reducción, por medio de microorganismos que generan enzimas que participan en la fermentación y degradación de la materia. Obteniendo así mezclas de solución, que posteriormente serán descompuestas por bacterias durante este proceso [9].

Segunda etapa: acidogénesis: Durante esta etapa las mezclas solubles producto de la etapa de la hidrólisis son transformados en ácidos por diferentes bacterias anaeróbicas, dentro de los ácidos obtenidos durante esta etapa se hacen presente los ácidos butíricos, propanoicos y acéticos [8].

Tercera etapa: acetogénesis: Mediante esta etapa de la digestión los ácidos producidos en la etapa de acidogénesis son transformados en ácido acético mediante bacterias anaerobias acetogénicas por medio del hidrogeno [10].

Cuarta etapa: Metanogénesis: En esta última fase el acetato producido en la acetogénesis, con convertidos en metano y dióxido de carbono, por medio de bacterias que viven estrictamente en ambientes anaeróbicas llamadas Arqueas. Cabe mencionar que esta etapa es la más lenta de toda la digestión anaeróbica [11].

Microbiología en la digestión anaerobia

Dentro el proceso de digestión anaerobia existe microorganismos presentes en cada etapa, los cuales serán mencionados a continuación:

Hidrolíticas: Dentro de la etapa de la hidrolisis podemos encontrar diferentes microorganismos presentes como ser: *clostridium*, *acetivibrio*, *micrococcus*, *staphylococcus* y *bacillus* [7].

Acidógenos: En esta etapa los encargados de convertir la materia orgánica en ácidos ocupan un 90% de los microorganismos presentes en un biodigestor, algunos de estos son: *Acinetobacter Lwoffii*, *pasteurella spp*, *alcaligenes*, *bacillus*, *clostridium spp*, *bifidobacterium*, *lactobacillus* y *escherichia coli* [7].

Metanogénicos: Para la etapa de producción de metano están presenten microorganismos de diferentes géneros como ser: *Methanosarcina* y *methanosaeta* incluidos en estos dos géneros la *methanobacterium*, *methanobacillus* y *Methanococcus* [7].

Biodigestor anaeróbico

Gonzáles define un biodigestor anaeróbico como un contenedor sellado completamente, siendo su principal característica la carencia de oxígeno, con esto los microorganismos que son capaces de vivir en ambientes de este tipo se multiplican y descomponen la materia orgánica durante 4 etapas (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis), teniendo como resultado final la generación de

biogás y abonos orgánicos producto de la materia orgánica descompuesta [12]

Tipos de biodigestores por su forma

De cúpula fija: Este tipo de digestores son aquellos que se componen por una sola pieza, este tipo de digestores son generalmente son construidos bajo tierra con materiales resistentes como el hormigón y en cuanto a su forma se recomienda que sea de media naranja debido a las altas presiones que éste podría alcanzar. Otros factores para tomar en cuenta al construir este tipo de digestores es la impermeable para evitar las fugas de gas, fluidos y residuos orgánicos [13].

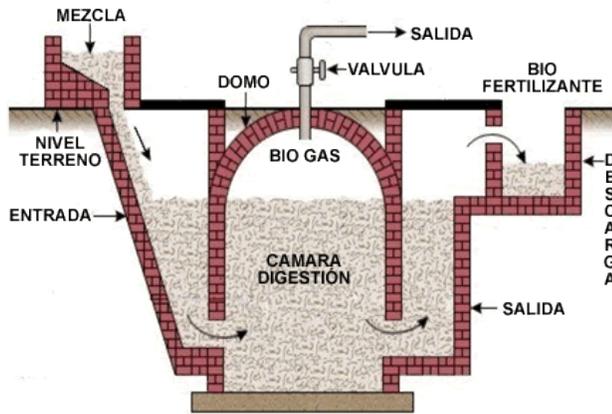


FIG. 1 Biodigestor de cúpula fija

Digestor de cúpula móvil: Este tipo de digestores a diferencia de la cúpula fija este compuesto en dos partes la primera que es la cámara de digestión y la segunda se le denomina campana flotante que va superpuesta sobre la cámara de digestión, estos digestores están construidos de materiales sólidos, y su recomendación en construirlos bajo tierra, y en cuanto a la campana flotante generalmente está fabricada de metal [9].

Biodigestor de Sistema Batch: Esta variedad de digestores tienen como característica principal que son de uso intermitente, y una vez cumple con su proceso de generar biogás y haber descompuesto la materia orgánica suministrada es vaciado para luego ser suministrado nuevamente, ósea este sistema es de tipo discontinuo, estos consisten en cisternas o tanques con salida de gas en su parte superior. Este tipo de digestores son apropiados para realizar experimentos de tipo laboratorio, ya que podemos analizar los comportamientos de las mezclas y también estudiar variaciones del proceso conforme a datos obtenidos. Es por esta razón que este biodigestor fue utilizado durante el experimento [14].

Biodigestor tubular o de bolsa de polietileno: Este es un tipo de sistema de flujo continuo, tienen como característica principal que están fabricados de plástico y por ende son considerados vulnerables a cualquier accidente humano o a daños causados por la misma naturaleza, se recomienda ser empleados en climas calurosos, ya que al ser expuestos a temperaturas bajas mayor es el tiempo de producción de biogás

debido a la poca resistencia de este material a las temperaturas extremas [15].

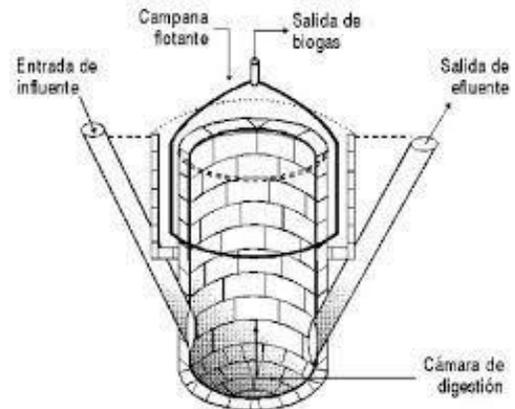


FIG.2 Biodigestor de cúpula móvil

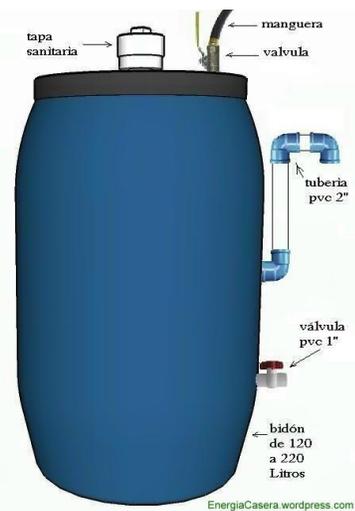


FIG.3 Biodigestor de Sistema Batch

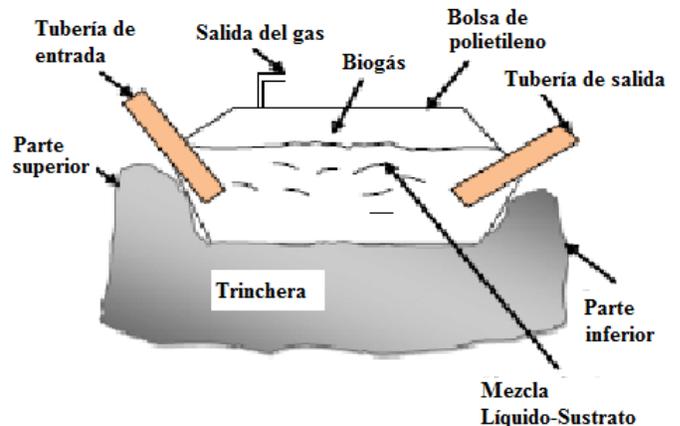


FIG.4 Biodigestor de tubular o de bolsa de polietileno

Subproductos del café

Pulpa de Café: Este es el primer subproducto que podemos obtener mediante el proceso de despulpado, este representa aproximadamente el 43,58% del peso de la baya recién cortada. Este desecho orgánico puede ser aprovechado para producir biogás, bioetanol y también para ser utilizado como combustible directo [16]

Mucilago de café: Este subproducto es obtenido mediante la etapa de desmucilaginado, este desecho está compuesto por carbohidratos en un 81,4% de los cuales la mitad son azúcares no reductores, además está compuesto por carbohidratos coloidales complejos y fibras [17].

Cisco de Café: Es la cascarilla que cubre al grano de café, obtenida en el proceso de trilla [18].

Borra de Café: Este subproducto es obtenido durante la preparación de la bebida del café, luego de ser molido y procesado el grano una vez tostado, compuesta por gran cantidad de antioxidantes excelente para la salud. Por eso es demandado por la industria farmacéutica y alimentaria [19].

IV. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

1. **Obtención de la Materia prima:** Para este experimento se necesitó de la pulpa de café como materia prima, que fue adquirida en una finca localizada en la aldea Subirara, departamento de Yoro municipio de Yoro. Esta materia prima fue extraída por medio del proceso de despulpado una vez el café fue cosechado, durante el despulpado se separó el grano de café de la pulpa, luego de esto la pulpa fue introducida en sacos, para posteriormente ser cargada para su transporte.
2. **Montaje de los biodigestores:** Para el montaje y ensamblado de ambos biodigestores (Sistema Batch) se necesitó dos barriles de polietileno de 55 galones, cada uno con una salida de gas en su parte superior, donde se conectó un sistema de tubos y válvulas que nos permitió medir la presión del biodigestor por medio de un manómetro de baja presión marca WIKA que estuvo conectado al sistema, durante todo el periodo de experimento.
3. **Pesaje de la Pulpa:** En esta etapa anterior a la mezcla, se pesó la pulpa de café en una balanza de reloj marca "DETECTO", con un total de 31 libras para cada biodigestor.
4. **Preparación de la mezcla:** En esta etapa del experimento, se preparó una mezcla de la pulpa de café y agua dónde se utilizaron proporciones de mezcla diferentes para cada biodigestor:
 - **Proporción de mezcla biodigestor 1:** En este biodigestor se preparó una mezcla con proporción 1:3 (por cada libra de pulpa de café agregamos 3 litros de agua), la cantidad en libras de pulpa de café utilizadas para este biodigestor fueron de 31 libras, por lo tanto, la cantidad de agua agregada a este biodigestor fueron de 93 litros.

- **Proporción de mezcla biodigestor 2:** En el caso de nuestro segundo biodigestor la proporción utilizada fue de 1:4 (por cada libra de pulpa de café agregamos 4 litros de agua), la cantidad de pulpa utilizada para este biodigestor fue de 31 libras, por lo tanto, la cantidad de agua agregada a este biodigestor fueron de 124 litros.

V. RESULTADOS

Datos obtenidos durante el experimento

Durante el tiempo de experimentación a lo largo de 20 días, se obtuvieron y tabularon datos midiendo la presión de los biodigestores por medio de un manómetro de baja presión de 0-100 Mbar marca WIKA, programando dos alarmas en el celular que nos ayudaron a obtener los datos en el tiempo preciso dejando un margen de 12 horas entre cada toma de presión. Los datos obtenidos para cada biodigestor son los siguientes:

Biodigestor con proporción de mezcla 1:4

Tabla 1 Presión acumulada de biodigestor con proporción de mezcla 1:4

Días	Presión
0,5	0
1	0
1,5	0
2	0
2,5	0
3	0
3,5	0
4	0
4,5	0
5	0
5,5	0
6	0,5
6,5	1
7	1,5
7,5	2
8	2,5
8,5	3
9	4,5
9,5	7
10	8
10,5	10
11	12
11,5	14
12	16
12,5	18
13	21
13,5	25
14	29
14,5	32
15	36
15,5	41
16	46
16,5	51
17	55
17,5	58
18	60

18.5	62
19	64
19.5	65
20	66

14.5	4
15	5
15.5	5
16	5
16.5	4
17	3
17.5	2
18	2
18.5	2
19	1
19.5	1

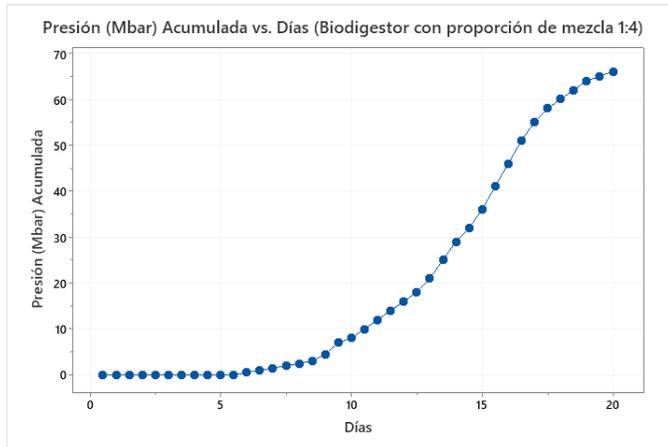


FIG.5 Presión Acumulada (Mbar) vs. Días

En la figura 5 podemos interpretar el gráfico de dispersión del biodigestor con proporción de mezcla 1:4, observamos que empieza a generar biogás a partir del día 6, con una producción de gas de 0,5 Mbar, aumentando su acumulado hasta el día 20 con una producción de biogás de 66 Mbar.

Tabla 2 Presión diaria de biodigestor con proporción de mezcla 1:4

Días	Presión
0.5	0
1	0
1.5	0
2	0
2.5	0
3	0
3.5	0
4	0
4.5	0
5	0
5.5	0.5
6	0.5
6.5	0.5
7	0.5
7.5	0.5
8	0.5
8.5	1.5
9	2.5
9.5	1
10	2
10.5	2
11	2
11.5	2
12	2
12.5	3
13	4
13.5	4
14	3

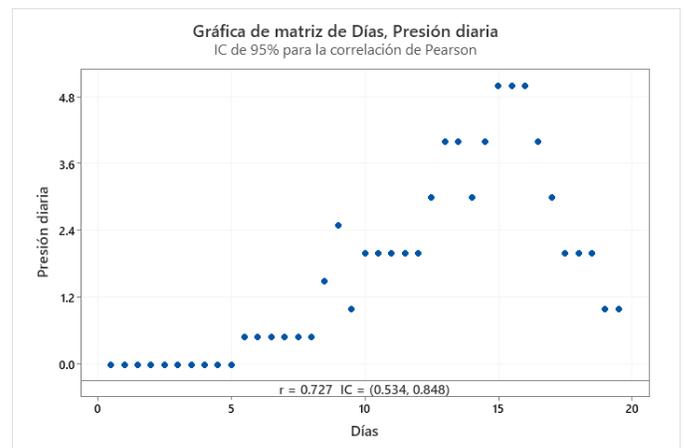


FIG.6 Correlación: Días, Presión diaria (Biodigestor con proporción de mezcla 1:4)

En la figura 6, se realizó un gráfico de correlación de Pearson a las variables de producción biogás (presión diaria) y los días transcurridos, con un nivel de confianza del 95%, donde se obtuvo un índice del correlación $r = 0.727$, indicándonos que entre las variables producción de biogás y días transcurridos existe una correlación fuerte positiva, por lo tanto las variables están asociadas en sentido directo, o en pocas palabras la cantidad de biogás producido dependerá de los días transcurridos.

Biodigestor con proporción de mezcla 1:3

Tabla 3 Presión acumulada para biodigestor con proporción de mezcla 1:3

Días	Presión Acumulada
0.5	0
1	0
1.5	0
2	0
2.5	0
3	0
3.5	0
4	0
4.5	0
5	0
5.5	0
6	0
6.5	0
7	0.5

7.5	1
8	1.5
8.5	2
9	2.5
9.5	3
10	3.5
10.5	4.5
11	6
11.5	7.5
12	9
12.5	11
13	13
13.5	16
14	19
14.5	22
15	25
15.5	28
16	32
16.5	36
17	40
17.5	45
18	50
18.5	53
19	56
19.5	59
20	62

3.5	0
4	0
4.5	0
5	0
5.5	0
6	0
6.5	0.5
7	0.5
7.5	0.5
8	0.5
8.5	0.5
9	0.5
9.5	0.5
10	1
10.5	1.5
11	1.5
11.5	1.5
12	2
12.5	2
13	3
13.5	3
14	3
14.5	3
15	3
15.5	4
16	4
16.5	4
17	5
17.5	5
18	3
18.5	3
19	3
19.5	3

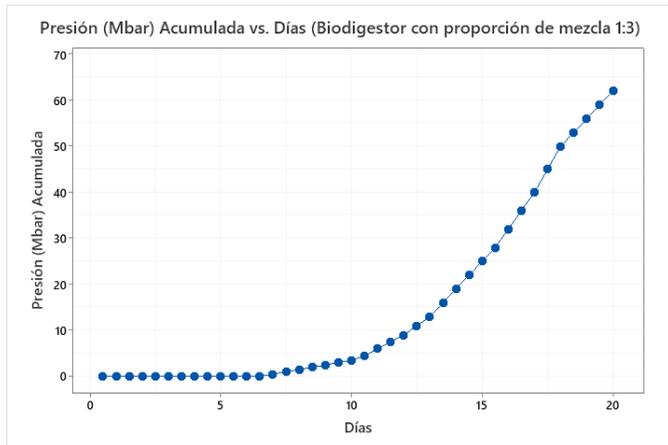


FIG.7 Presión Acumulada (Mbar) vs. Días

En la figura 7 podemos interpretar el gráfico de dispersión del biodigestor con proporción de mezcla 1:3, observamos que empieza a generar biogás a partir del día 7, con una producción de gas de 0.5 Mbar, aumentando su acumulado hasta el día 20 con una producción de biogás de 62 Mbar.

Tabla 4: Presión diaria para biodigestor con proporción de mezcla 1:3

Días	Presión
0.5	0
1	0
1.5	0
2	0
2.5	0
3	0

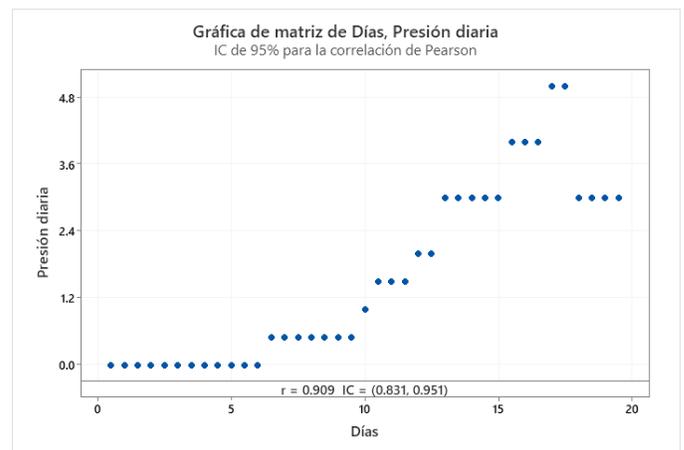


FIG. 8 Correlación: Días, Presión diaria (Biodigestor con proporción de mezcla 1:3)

En la figura 8, se realizó un gráfico de correlación de Pearson a las variables de producción biogás (presión diaria) y los días de transcurridos, con un nivel de confianza del 95%, donde se obtuvo un índice del correlación $r = 0.909$, muy cercano a 1, que nos indica que entre las variables producción de biogás y días transcurridos existe una correlación fuerte

positiva, por lo tanto las variables están asociadas en sentido directo, o en pocas palabras la cantidad de biogás producido dependerá de los días transcurridos.

Comparación de producción de gas entre ambos biodigestores durante 20 días.

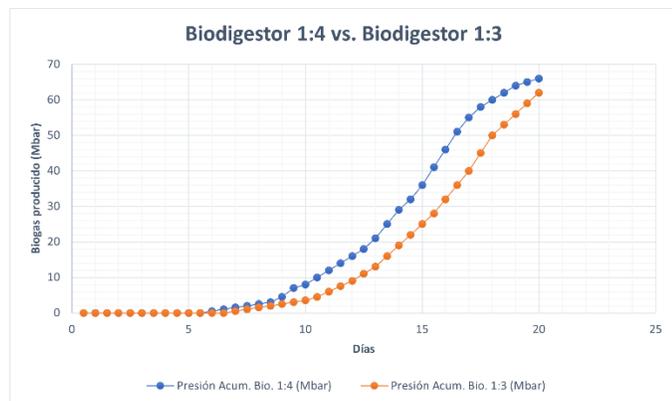


FIG.9 Interpretación visual de la diferencia de producción de gas entre los dos biodigestores.

En la figura 18 podemos apreciar las diferencias entre los niveles de producción de biogás acumulada durante 20 días, de igual manera podemos ver que el biodigestor con proporción de mezcla 1:4 inició la producción de gas en el día 6 con 0.5 Mbar, mientras que el biodigestor con proporción 1:3 inició la producción de biogás en el día 7 igual con 0.5 Mbar. Además en este gráfico podemos determinar que el biodigestor que más biogás produjo durante los 20 días fue el biodigestor con proporción de mezcla 1:4 con 66 Mbar, mientras que el otro biodigestor durante los 20 días tuvo una producción de 62 Mbar, notándose una diferencia entre ambos biodigestores de 4 Mbar.

Prueba T Student para dos muestras

Una vez analizamos cada una de las medias de las presiones obtenidas podemos determinar que estas difieren, una vez sabido esta parte procederemos a saber si esta diferencia entre las dos muestras es significativa por medio de la prueba estadística T Student para dos muestras.

Prueba T e IC de dos muestras: Presión diaria biodigestor 1:4, Presión diaria biodigestor 1:3

Método

μ_1 : media de población de Presión diaria biodigestor 1:4

μ_2 : media de población de Presión diaria biodigestor 1:3

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Presión diaria biodigestor 1:4	40	1.65	1.62	0.26
Presión diaria biodigestor 1:3	40	1.55	1.60	0.25

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
0.100	(-0.617, 0.817)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
0.28	77	0.782

Después de realizar la prueba T Student para dos muestras con un intervalo de confianza de 95% para los grupos de datos de los dos biodigestores, podemos decir que nuestra hipótesis nula no se rechaza ya que podemos observar un valor $p = 0.782 > 0.05$.

VI. CONCLUSIONES

- Se midió la cantidad de biogás que generaron los biodigestores durante 20 días y la cantidad de biogás generado por el biodigestor con proporción de mezcla 1:4 fue de 66 Mbar, mientras que la cantidad de biogás generado por el biodigestor con proporción de mezcla 1:3 fue de 62 Mbar. Estos biodigestores tienen la capacidad de poder aportar a la matriz energética en Honduras como los paneles solares residenciales [20].
- Al comparar las presiones generadas por los biodigestores notamos una diferencia de 4 Mbar, pero al aplicar la prueba T Student esta diferencia no es

significativa, por lo tanto, el factor de proporción de mezcla no influye en la producción de biogás.

3. Mediante las tomas de presión diaria nos dimos cuenta de que el biodigestor con proporción de mezcla 1:4 tardó 6 días en empezar a producir biogás, mientras que el biodigestor con proporción de mezcla 1:3 tardó 7 días para empezar a producir biogás.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Soberats-Cobos, J., González-Santesteban, I., & González-Rodríguez, S. (2019). Valoración de la eficiencia ambiental en biodigestores a nivel territorial. 25, 11.
- [2] Mago, M. G., Sosa, J. L., Flores, B., & Tovar, L. (2014). Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor©. 21(2), 7.
- [3] Acarley, F., & Quipezco, L. (2020). Methane production through anaerobic digestion of honey water, byproduct of coffee wet process. *Agroindustrial Science*, 10(1), 7-16. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.01.01>
- [4] Bond, T., & Templeton, M. R. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*, 15(4), 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003>
- [5] Cussó, R. R. (2011). ANÁLISIS Y ADAPTACIÓN DE MOTORES DE CICLO OTTO Y DIESEL OPERANDO CON BIOGAS. 113.
- [6] Arango Gómez, J. E., Sierra Vargas, F. E., & Silva Leal, V. (2013). Análisis exploratorio de investigaciones sobre los motores de combustión interna que trabajan con biogás. *Revista Tecnura*, 18(39), 152. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.1.a.11>
- [7] Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, & Parra Huertas, R. A. (2015). Digestión anaeróbica: Mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Producción + Limpia*, 10(2), 142-159. <https://doi.org/10.22507/pml.v10n2a13>
- [8] Acosta, Y. L., & Abreu, M. C. O. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XXXIX(1), 35-48.
- [9] Reyes Aguilera, E. A. (2018). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 24, 60-81. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i24.5552>
- [10] Magaña-Ramírez, J. L., Rubio-Núñez, R., Jiménez-Islas, H., & Martínez-García, M. T. (2011). Tratamiento anaerobio de desechos lácticos y estiércol de cabra. 31(1), 7.
- [11] Adekunle, K. F., & Okolie, J. A. (2015). A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 06(03), 205-212. <https://doi.org/10.4236/abb.2015.63020>
- [12] González, J. M. M., Daza, C. A. D., & Urueña, C. H. G. (2007). Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 133-142.
- [13] Sanabria, O. J., Sánchez, A. E., & Rodas, Y. S. (2018, septiembre 1). GENERACIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA A PARTIR DE APROVECHAMIENTO DE SUSTRATOS ORGÁNICOS (PASTO Y ASERRIN), EN LA CIUDAD DE ESTELÍ EN EL AÑO 2017. <https://repositorio.unan.edu.ni/9367/1/18880.pdf>
- [14] Garzón Cuji, M. F. (2011). Estudio de un biodigestor generador de gas metano mediante abono orgánico para prácticas de energías alternativas en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/1344>
- [15] Barrera-Cardoso, E. L., Odales-Bernal, L., Carabeo-Pérez, A., Alba-Reyes, Y., Hermida-García, Ms. F. O., Barrera-Cardoso, E. L., Odales-Bernal, L., Carabeo-Pérez, A., Alba-Reyes, Y., & Hermida-García, Ms. F. O. (2020). Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural. *Tecnología Química*, 40(2), 303-321.
- [16] Rodríguez V., N., & Zambrano F., D. A. (2013). Los subproductos del café: Fuente de energía renovable [Technical Report]. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/351>
- [17] Peñuela-Martínez, A.-E., Tibaduiza-Vianchá, C.-A., Morcillo, C.-A., Restrepo-Rivera, M.-V., Peñuela-Martínez, A.-E., Tibaduiza-Vianchá, C.-A., Morcillo, C.-A., & Restrepo-Rivera, M.-V. (2021). Degradación enzimática de mucilago de Coffea arábica L., para la producción de café suave lavado. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(2), 170-183. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1848>
- [18] Federación Nacional de Cafeteros. (2022). Cisco. Federación Nacional de Cafeteros. <https://federaciondecafeteros.org/wp/glosario/cisco/>
- [19] Puertas-Mejía, M. A., Villegas-Guzmán, P., & Alberto Rojano, B. (2013). Borra de café colombiano (Coffea arabica) como fuente potencial de sustancias con capacidad antirradicales libres in vitro. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(3), 469-478.
- [20] J. L. O. Fernandez, J. L. O. Avila, y R. A. Ordoñez, «Potential effect on the energetic matrix of Honduras with the installation of residential photovoltaic generators for self-consumption», en 2019 IEEE 39th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIX), nov. 2019, pp. 1-6. doi: 10.1109/CONCAPANXXXIX47272.2019.8976994.