

Evaluación de los residuos de cascarilla de arroz y café como sustratos para generación de biogás mediante el proceso biológico anaeróbico controlado

Evaluation of rice and coffee husk residues as substrates for the generation of biogas through controlled anaerobic biological process

Lesly Amabec Aguilar Zeas

Leslyzeas2728@gmail.com

Katherine Nohelia Gutiérrez Lanuza

Cckatherine0211@gmail.com

Maydelin Grissell Lanuza Blandón

maydellanuza@gmail.com

Edwin Antonio Reyes Aguilera

edwinra11@gmail.com

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objeto la evaluación de los residuos de cascarilla de arroz y café como sustratos para generación de biogás mediante el proceso biológico anaeróbico controlado. Este estudio se basa en el enfoque filosófico cuantitativo, descriptivo según el nivel de profundidad, el método de investigación es experimental, de acuerdo con el alcance y análisis de los resultados el estudio es analítico. Los tratamientos seleccionados fueron: cascarilla de café y cascarilla de arroz. La caracterización de las propiedades básicas de los tratamientos en estudio basó en la norma APHA/SM 2540-B. Los resultados determinaron según el análisis de varianzas univariadas que no existen diferencias significativas entre los tratamientos en estudio, los pH obtenidos en los rangos de temperatura (Mesofílico y Termofílico) estuvieron dentro de los rangos óptimos. Se demostró que el sustrato de cascarilla de café tuvo mayor rendimiento que la cascarilla de arroz en el régimen de temperatura Termofílico para la obtención de biogás. Se concluyó los sustratos en estudio presentaron similitud en las medias obtenidas, por lo tanto, no existe diferencias significativas entre ambos tratamientos. La cascarilla de café presentó mayor cantidad de biogás producidos.

Palabras clave: Generación de biogás, proceso biológico, residuos.

ABSTRACT

The present investigation was aimed at evaluating the scale residues of rice and coffee as substrates for the generation of biogas through the biological process controlled anaerobic. This study is based on the quantitative philosophical approach, descriptive according to the depth level, the research method is experimental, according to the scope and analysis of the results, the study is analytical. The treatments selected were: coffee husk and rice husk. The characterization of basic properties of the treatments under study based on the APHA / SM 2540-B standard. I know they applied interviews to research teachers from the El Limón Experimental Station. The Results determined according to the univariate analysis of variance that there are no differences significant among the treatments under study, the pH obtained in the ranges of temperature (Mesophilic and Thermophilic) were within the optimal ranges. I know showed that the coffee husk substrate had a higher yield than the coffee husk. rice in the Thermophilic temperature regime to obtain biogas. It concluded the substrates under study showed similarity in the means obtained, therefore, no there are significant differences between both treatments. The coffee husk presented greater amount of biogas produced.

Keywords: Biogas generation, biological process, waste.

Introducción

El desarrollo de la sociedad humana está basado en el consumo de grandes cantidades de energía. Los principales recursos energéticos utilizados (carbón, petróleo y gas natural) son limitados y, por lo tanto, pueden agotarse, además, su utilización provoca un gran impacto ambiental en la biósfera al contaminar aire, agua y suelo. Estos hechos han generado un interés creciente por el desarrollo de nuevas tecnologías para la utilización de alternativas fuentes de energía renovables.

La biomasa puede considerarse como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Estos recursos biomásicos pueden agruparse de forma general en agrícolas y forestales. También se considera biomasa la materia orgánica de las aguas residuales y los lodos de depuradora, así como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, y otros residuos derivados de las industrias.

Un biodigestor es un contenedor hermético que permite la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas y facilita la extracción del gas resultante para su uso como energía.

El biodigestor cuenta con una entrada para el material orgánico, un espacio para su descomposición, una salida con válvula de control para el gas y una salida para el material ya procesado (bioabono).

El presente trabajo tiene como propósito desarrollar un estudio de producción de biogás a partir de desechos de cascarilla de arroz y café. Este estudio se rige por el enfoque filosófico, por el uso de instrumentos de recolección de la información, análisis y vinculación de datos, el presente estudio se realizará mediante un enfoque cuantitativo de investigación.

La digestión anaerobia como sucede con la pirolisis, se lleva a cabo en ausencia de aire; pero en este caso la descomposición de la biomasa es debida a la acción de bacterias y no a altas temperaturas. Los materiales de la biomasa que alimentan el proceso suelen ser residuos ganaderos (estiércol de animales, restos de animales muertos, etc.), residuos obtenidos en depuradora de aguas residuales (lodos) y residuos de industrias orgánicas (azucareras, papeleras, etc.). El producto resultante es el biogás, que contiene fundamentalmente, dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), junto con fango. Los componentes sólidos del fango pueden emplearse en la alimentación de animales o como fertilizante de terrenos (Carta González, Calero Pérez, & Castro Gil, 2009).

En una fermentación anaeróbica, la materia orgánica es catabolizada en ausencia de un aceptor de electrones externo mediante microorganismos anaeróbicos estrictos o facultativos a través de reacciones de oxidación-reducción bajo condiciones de oscuridad. El producto generado durante el proceso acepta los electrones liberados durante la descomposición de la materia orgánica. Por lo tanto, la materia orgánica actúa como dador y aceptor de electrones. En la fermentación, el sustrato es parcialmente oxidado y, por lo tanto, sólo una pequeña cantidad de la energía contenida en el sustrato se conserva (FAO, 2011).

Se entiende por biomasa cualquier tipo de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. Estos materiales tienen como nexo común su origen directo o indirecto del proceso de fotosíntesis. Por eso se presenta de forma periódica y no limitada en el tiempo, es decir, de forma renovable. Quedan, por tanto, fuera de este concepto los combustibles fósiles o los productos orgánicos derivados de éste, aunque también tuvieran un origen biológico (Segalás, y otros, 2011).

Los residuos agrícolas se caracterizan por su estacionalidad y se obtienen de los restos de cultivos o de limpiezas que se hacen del campo para evitar las plagas o los incendios. Estos residuos pueden ser clasificados en dos grupos: los residuos

herbáceos (plantas verdes, pajas, cascarillas de cereales, tallos, etc.) y los residuos leñosos (restos de podas, ramas, etc.) (Carta et. al. 2009).

Ortis y Meneses (2016) mencionan que la cascarilla de arroz es un subproducto de la industria molinera, que resulta de la separación del grano de arroz de los residuos, está es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, liviano, buen drenaje, buena aireación. El principal inconveniente que presenta la cascarilla de arroz es su baja capacidad de retención de humedad y lo difícil que es lograr el reparto homogéneo de la misma (humectabilidad).

La cascarilla de café es la capa gruesa de la cereza y representa cerca del 43% del peso. Debido a la cantidad que representa en peso, es el residuo que aporta el mayor porcentaje de contaminación al balance global, por tanto, se considera una gran fuente de investigación en la fabricación de nuevos productos. Está constituida por un alto contenido de azúcares, por lo que su potencial industrial es grande. De acuerdo con estudios realizados por (Roa, 2003), la cascarilla del café presenta un poder calorífico aproximado a 4180 cal/g o 7458 kcal/kg, cuya composición en material volátil es de 87.7% y el tamaño de la cascarilla ronda entre 0.425 y 2.36 mm de diámetro. Tomando en cuenta estas propiedades, se puede considerar como materia prima apta para la elaboración de biocombustibles (Arias Ortis & Meneses Cruz, 2016).

Romero (2017), plantea que el biogás es un combustible natural, no fósil, de alto poder calorífico dependiente del contenido de gas metano (CH_4). El poder calorífico del biogás es 50 de 4.700 a 5.500 kcal/m³ o 6,27 kW/m³ dependiendo del contenido de gas metano (CH_4) y puede generar una cantidad de calor equivalente a 22.000 BTU/m³ o 21.5 MJ/m³ (573 BTU por pie cúbico), valor que puede variar entre 19.7 y 23 MJ/m³. Su temperatura de autoignición es similar a la del metano puro y varía de 650 - 6750 °C.

Valdivia (2000), propone para la fermentación los microorganismos metanogénicos requiriendo de suficiente material de carga para que el proceso de digestión no se interrumpa, el porcentaje más adecuado de contenido en sólidos es del 5% al 10% lo que indica que la biomasa más adecuada es la de alto contenido en humedad. Durante la digestión se encuentra que no toda materia prima se digiere, si no que parte se convierte en metano, otra en sedimento y habrá también una porción que no se digiere, esta y otras propiedades básicas de la materia se expresan casi siempre como sigue:

Humedad

Cantidad de agua existente en la materia a utilizar. Se obtiene al secarse el material a 104°C, hasta que no pierda peso; la diferencia entre el peso inicial y el peso final es equivalente a la humedad que contenía la materia. Las bacterias y otros microorganismos no pueden funcionar efectivamente cuando el contenido de agua de la mezcla es demasiado bajo, y la cantidad de biogás producido será

pequeña. Cuando la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción del biogás es limitada.

Sólidos totales o masa seca

Materia orgánica sin humedad, es decir, el peso de la materia seca que queda después del secado como se indicó antes. El sólido total suele ser equivalente al peso en seco (sin embargo, si se secan los materiales al sol, es de suponer que aun contendrán, cerca del 30% de humedad). El 39 sólido total incluye componentes digeribles o “sólidos volátiles” y residuos no digeribles o “sólidos fijos”. Podemos apreciar de los datos recogidos en la tabla 1 del contenido de sólidos totales de algunos sustratos orgánicos.

Sólidos Volátiles (SV)

Es aquella porción de sólidos totales que se libera de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante dos horas a 600°C. Los SV contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano (Varnero & Arellano, 1990).

Sólidos Fijos (SF)

Material que no será transformado durante el proceso y es el peso que queda después del encendido (cenizas), se trata de material biológicamente inerte. Los sólidos fijos son el residuo de los sólidos totales, disueltos o suspendidos, después de llevar una muestra a sequedad durante un tiempo determinado a 550°C.

Relación carbono/nitrógeno (C/N)

La relación C/N permite conocer la capacidad mineralizadora del residuo sólido en procesos de recuperación y aprovechamiento de la materia orgánica. La variación de esta relación C/N dependerá del aporte de la fracción cartón-papel. Los valores de C/N más elevados son característicos de los países más desarrollados (valores medio superiores a 34) debido a la mayor cantidad de papel-cartón.

MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo al método de investigación el presente estudio es experimental (Pedroza Pacheco, 1993) y según el nivel de profundidad del conocimiento es descriptivo (Piura, 2006). De acuerdo, al tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio es prospectivo (Pineda, Alvarado, & Canales, 1994), el análisis y alcance de los resultados el estudio es analítico (Veiga de Cabo, De la Fuente Díez, & Zimmermann Verdejo, 2008).

La presente investigación se realizó en la ciudad de Estelí, específicamente en el laboratorio de la Estación Experimental para el Trópico Seco El Limón de la Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM-Estelí), aquí se caracterizaron y

evaluaron los sustratos orgánicos, asimismo se instalaron las unidades de análisis experimental.

El universo de este estudio fueron todos los sustratos orgánicos estudiados y contó con doce repeticiones para la caracterización de los sustratos y dos tratamientos (cascarilla de arroz y café), los que se obtuvieron en beneficios de secado de café y arroceras de las zonas de San Isidro y Sébaco, para obtener estos residuos se pidió permiso a los dueños de los lugares mencionados y se utilizaron bolsas (previamente identificadas) de todos los residuos.

Para la caracterización de las propiedades básicas de la materia orgánica se basó en la norma APHA/SM 2540-B, se realizó mediante una técnica gravimétrica utilizando una balanza analítica ACCULAB, en la que se pesaron los sustratos orgánicos que posteriormente se introducen en un horno SELECTA, en capsulas de porcelana, a una temperatura de 105°C durante un tiempo de 24 horas. Posteriormente las muestras se enfriaron en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente y posteriormente se aplicó el proceso de pesado en la balanza analítica para conocer el porcentaje de humedad y masa seca respectivamente, El aumento de peso sobre el peso del crisol vacío representa la cantidad de sólidos totales o masa seca del sustrato.

Para llevar a cabo la determinación de los Sólidos Volátiles (SV), se calcinó el residuo seco procedente de la determinación de ST hasta peso constante en un horno de mufla a una temperatura de 550°C durante 4 horas. Concluido este proceso se procedió a la extracción de las muestras, pesándolas para conocer el porcentaje de cenizas y el contenido de sólidos volátiles presente en las muestras. La disminución de peso del crisol tras la incineración del residuo seco (ST), representa el contenido en SV.

se calculó el porcentaje de Carbono Orgánico (CO) a partir de los porcentajes de materia orgánica (Sólidos Volátiles). El porcentaje de CO se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$CO(\%) = \frac{MO}{1,8} \quad \text{ec. 1} \quad \text{Donde: 1.8= factor de conversión}$$

A partir de los datos que fueron recolectados, se diseñó la base de datos correspondientes, utilizando el software estadístico InfoStat, versión 2019 para Windows. Una vez que se realizó el control de calidad de los datos registrados, se realizaron los análisis estadísticos pertinentes.

Así mismo, se realizó los análisis inferenciales específicos o prueba de hipótesis, de acuerdo con el compromiso establecido en los objetivos específicos, relacionado con el Análisis de Varianza Univariada (ANOVA de Fisher) y el test de Fisher (prueba de LSD). El procedimiento estadístico fue realizado de acuerdo con Pedroza & Dicovski (2006) .

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Análisis de la Varianza para la variable % Masa seca

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.99	1	4.99	5.58	0.0774
Tratamientos	4.99	1	4.99	5.58	0.0774
Error	3.57	4	0.89		
Total	8.56	5			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de los diferentes sustratos sobre el % de Masa Seca, demostró lo siguiente:

Existe un efecto no significativo del tratamiento (diferentes sustratos cascarilla de arroz y café), sobre la variable respuesta % de Masa Seca, lo cual se evidencia con un $p = 0,0774$, que resultó ser mayor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es no significativa, lo cual demostró que no existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (diferentes sustratos cascarilla de arroz y café), sobre la variable respuesta % de Masa Seca.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05. Esta prueba permitió demostrar que, los sustratos de cascarilla de arroz y café, no tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Masa Seca, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 88.67 para la cascarilla de arroz y un valor mínimo de 86.78 para el sustrato de cascarilla de arroz. Por ello, se recomienda la cascarilla de café en primer lugar y luego la cascarilla de arroz.

Tabla 2. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.15373

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Cascarilla café	86.78	3	0.55 A
Cascarilla arroz	88.67	3	0.55 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Los resultados obtenidos para la cascarilla de arroz y café se encuentran en los rangos entre el 92 y 85% definidos por (Scientia et.al.,2007) y (Varnero & Arellano,

1991).

Tabla 3. Análisis de la Varianza para la variable % Cenizas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.95	1	0.95	0.37	0.5746
Tratamientos	0.95	1	0.95	0.37	0.5746
Error	10.22	4	2.56		
Total	11.18	5			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de las cascarillas arroz y café en relación al % de Cenizas, demostró lo siguiente:

Existe un efecto no significativo del tratamiento (cascarilla de arroz y cascarilla de café), sobre la variable % de Cenizas, lo que se evidencia con un $p = 0,5746$, que resultó ser mayor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es no significativa, lo cual no demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (cascarilla de arroz y cascarilla de café), sobre la variable % de Cenizas.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de cascarilla de arroz y café, no tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Cenizas, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 87.86 para la cascarilla de arroz y un valor mínimo de 87.06 para la cascarilla de café.

Tabla 4. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=3.62438

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Cascarilla café	87.06	3	0.92 A
Cascarilla arroz	87.86	3	0.92 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 5. Análisis de la Varianza para la variable % Sólidos volátiles

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.95	1	0.95	0.37	0.5746
Tratamientos	0.95	1	0.95	0.37	0.5746
Error	10.22	4	2.56		
Total	11.18	5			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de las cascarillas arroz y café en relación al % de Sólidos volátiles, demostró lo siguiente:

Existe un efecto no significativo del tratamiento (cascarilla de arroz y cascarilla de café), sobre la variable % de Sólidos Volátiles, lo que se evidencia con un $p = 0,5746$, que resultó ser mayor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es no significativa, lo cual no demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (cascarilla de arroz y cascarilla de café), sobre la variable % de Sólidos Volátiles.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de cascarilla de arroz y café, no tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Sólidos Volátiles, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 12.93 para la cascarilla de café y un valor mínimo de 12.13 para la cascarilla de arroz.

Tabla 6. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=3.62438

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Cascarilla arroz	12.13	3	0.92 A
Cascarilla café	12.93	3	0.92 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 7. Análisis de la Varianza para la variable % Masa húmeda

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.17	1	5.17	5.75	0.0745
Tratamientos	5.17	1	5.17	5.75	0.0745
Error	3.60	4	0.90		
Total	8.77	5			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de las cascarillas arroz y café en relación al % de Masa húmeda, demostró lo siguiente:

Existe un efecto no significativo del tratamiento (cascarilla de arroz y cascarilla de café), sobre la variable % de Masa húmeda, lo que se evidencia con un $p = 0,0745$, que resultó ser mayor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es no significativa, lo cual no demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (cascarilla de arroz y cascarilla de café), sobre la variable % de Masa húmeda.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de cascarilla de arroz y café, no tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Masa húmeda, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 13.19 para la cascarilla de café y un valor mínimo de 11.33 para la cascarilla de arroz.

Tabla 8. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.14915

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Cascarilla arroz	11.33	3	0.55 A
Cascarilla café	13.19	3	0.55 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

El contenido de humedad de la biomasa es la cantidad de agua en el material, expresado como porcentaje del peso del material. El porcentaje de masa húmeda para el sustrato de cascarilla de arroz y café, coincide con los rangos reportados por (Centeno & Rodríguez, 2018).

Tabla 9. Análisis de la Varianza para la variable Carbono

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	26.46	1	26.46	13.78	0.0206
Tratamientos	26.46	1	26.46	13.78	0.0206
Error	7.68	4	1.92		
Total	34.14	5			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de las cascarillas arroz y café en relación al % de Carbono, demostró lo siguiente:

Existe un efecto significativo del tratamiento (cascarilla de arroz y cascarilla de café), sobre la variable % de Carbono, lo que se evidencia con un $p = 0,0206$, que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (cascarilla de arroz y cascarilla de café), sobre la variable % de Carbono.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de cascarilla de arroz y café, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Carbono, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 44 para la cascarilla de café y un valor mínimo de 39.80 para la cascarilla de arroz.

Tabla 10. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.02467

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Cascarilla arroz	39.80	3	0.80 A
Cascarilla café	44.00	3	0.80 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

El valor de 39.80 para el carbono de la cascarilla de arroz, coincide con el encontrado de 39.1 de (Quinceno y Mosquera, 2010).

Tabla 11. Análisis de la Varianza para la variable Nitrógeno

F.V.	SC	g	CM	F	p-valor
Modelo	0.06	1	0.06	18.00	0.0132
Tratamientos	0.0	1	0.06	18.00	0.0132
Error	0.01	4	0.01		
Total	0.07	5			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de las cascarillas arroz y café en relación al % de Nitrógeno, demostró lo siguiente:

Existe un efecto significativo del tratamiento (cascarilla de arroz y cascarilla de café), sobre la variable % de Nitrógeno, lo que se evidencia con un $p = 0,0132$, que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (cascarilla de arroz y cascarilla de café), sobre la variable % de Nitrógeno.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de cascarilla de arroz y café, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Nitrógeno, para la cual se obtuvo un valor

promedio máximo de 2.23 para la cascarilla de café y un valor mínimo de 2.03 para la cascarilla de arroz.

Tabla 12. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.19057

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Cascarilla arroz	2.03	3	0.03 A
Cascarilla café	2.23	3	0.03 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 13. Análisis de la Varianza para la variable Relación C/N

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.02	1	0.2	1.13	0.3486
Tratamientos	0.02	1	0.02	1.13	0.3486
Error	0.05	4	0.01		
Total	0.07	5			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de las cascarillas arroz y café en relación al de Relación C/N, demostró lo siguiente:

Existe un efecto no significativo del tratamiento (cascarilla de arroz y cascarilla de café), sobre la variable de Relación C/N, lo que se evidencia con un $p = 0,3486$, que resultó ser mayor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es no significativa, lo cual no demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (cascarilla de arroz y cascarilla de café), sobre la variable de Relación C/N.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de cascarilla de arroz y café, no tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente de Relación C/N, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 19.67 para la cascarilla de café y un valor mínimo de 19.57 para la cascarilla de arroz.

Tabla 14. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.27046

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Cascarilla arroz	19.57	3	0.07 A
Cascarilla café	19.67	3	0.07 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Determinación de la producción de biogás generado en un biodigestor a escala de laboratorio a partir de los residuos orgánicos del café y arroz.

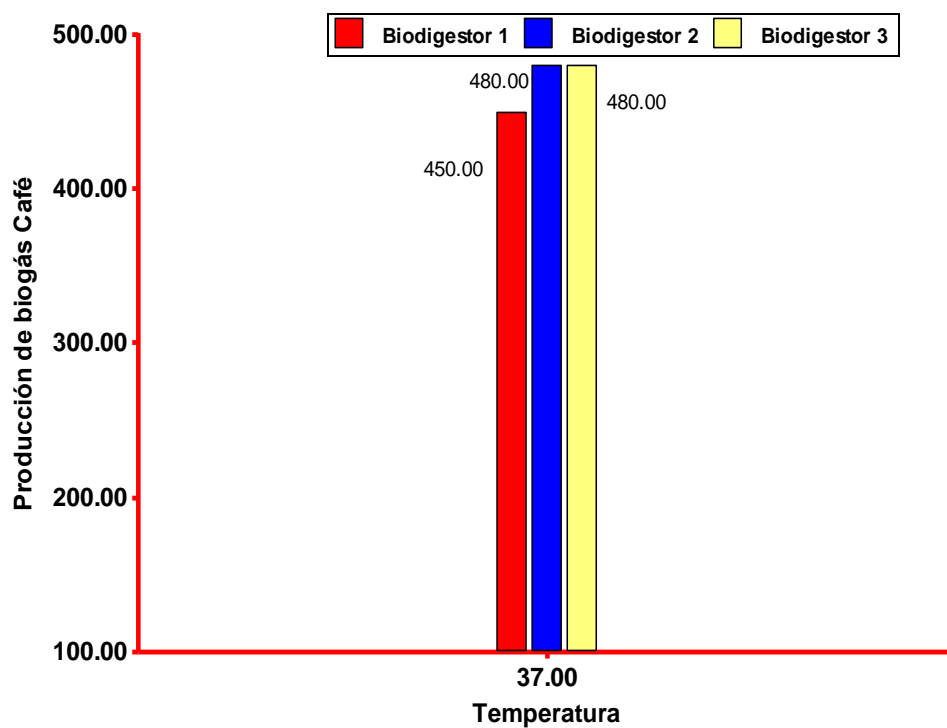


Figura 1. Producción de Biogás Cascarilla de café en Rango Mesofilico.

La producción de biogás de la cascarilla de café a 37 grados el promedio de producción de los tres biodigestores fue de 470 ml, lo cual indica que se aprovecha el 50% del volumen total introducido al biodigestor.

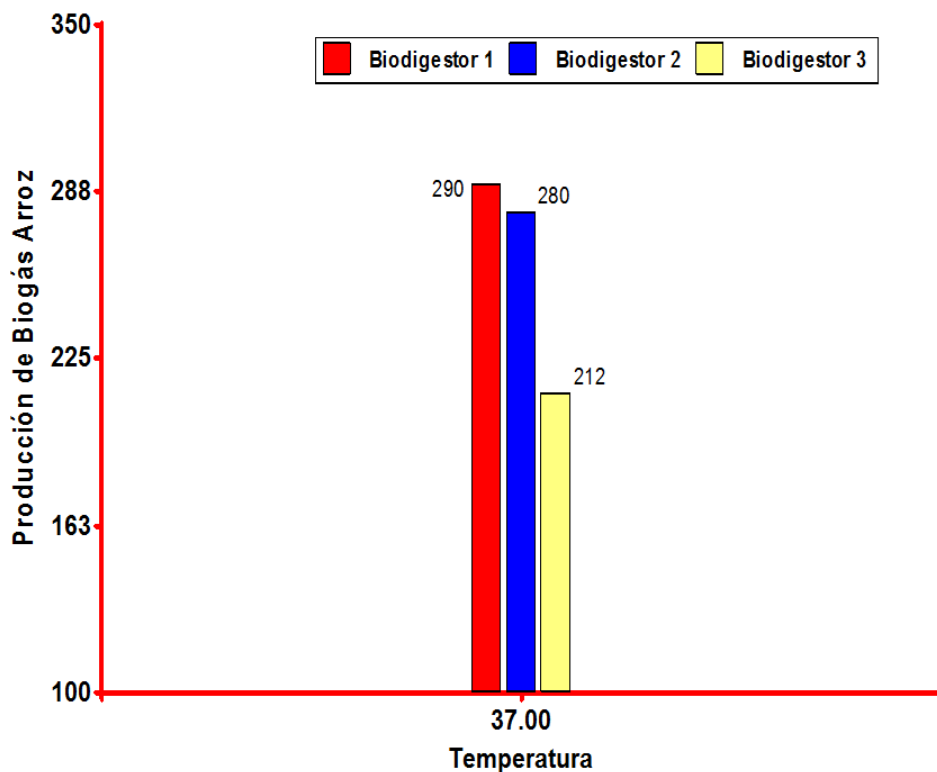


Figura 2. Producción de Biogás Cascarilla de arroz en Rango Mesofílico.

La producción de biogás de la cascarilla de arroz a 37 grados el promedio de producción de los tres biodigestores fue de 260 ml, lo cual indica que se aprovecha el 26% del volumen total introducido al biodigestor.

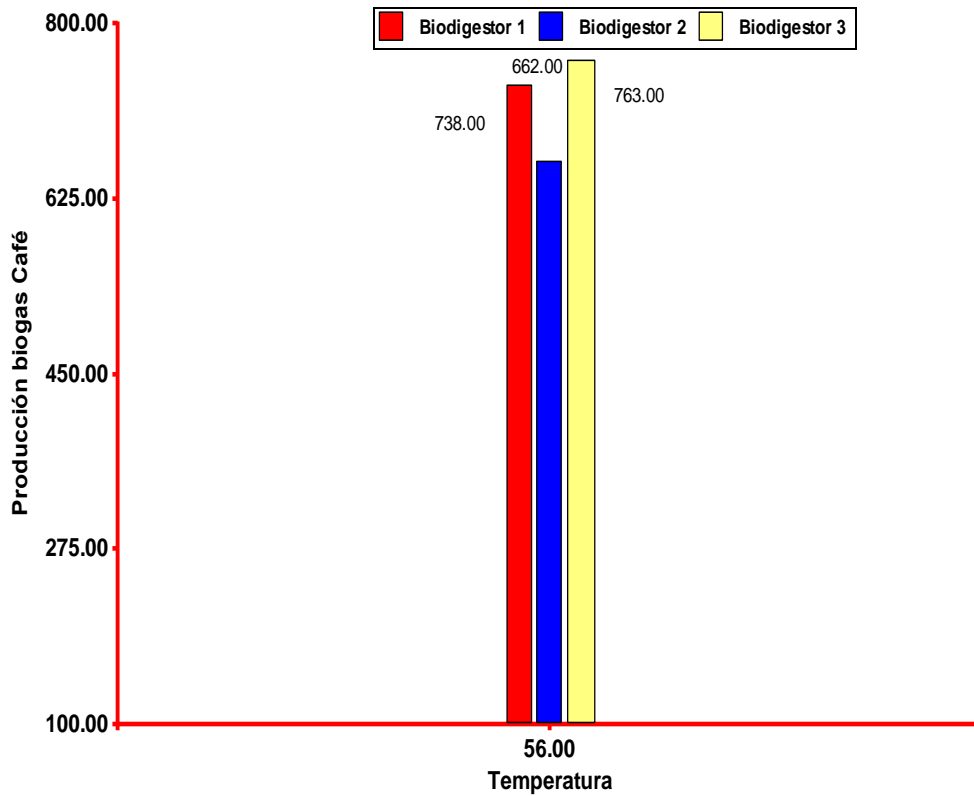


Figura 3. Producción de Biogás cascarilla de café en Rango Termofílico.

La producción de biogás de la cascarilla de café a 56 grados el promedio de producción de los tres biodigestores fue de 721 ml, lo cual indica que se aprovecha el 70% del volumen total introducido al biodigestor.

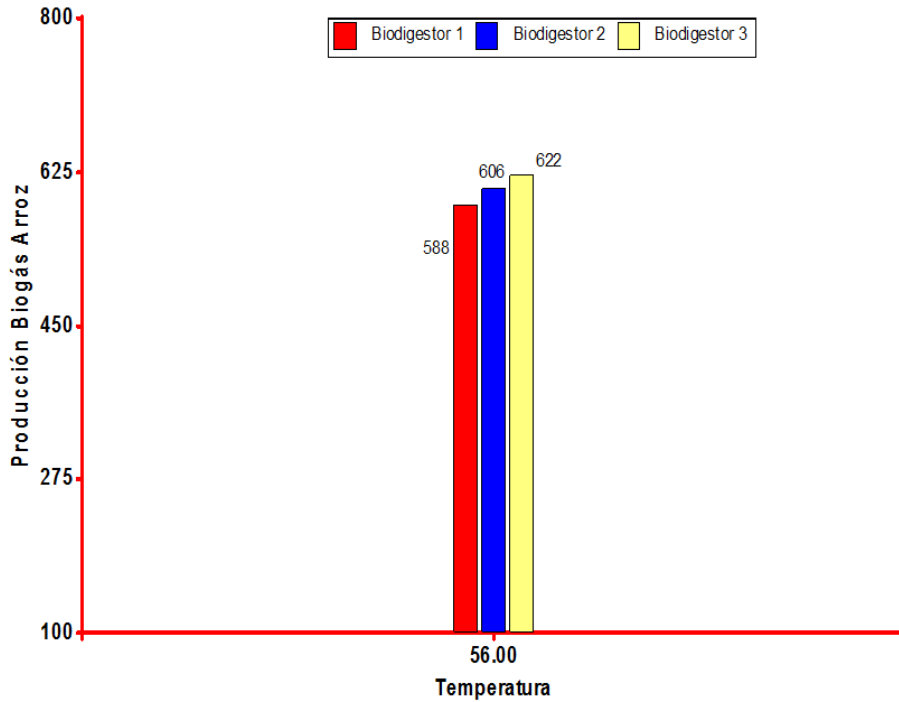


Figura 4. Producción de Biogás cascarilla de arroz en Rango Termofílico.

La producción de biogás de la cascarilla de arroz a 56 grados el promedio de producción de los tres biodigestores fue de 738 ml, lo cual indica que se aprovecha el 70% del volumen total introducido al biodigestor.

Tabla 14. Perfil de medias de pH en rango Mesofílico 37°C

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
pH café 1	4	6.92	0.31	6.58	7.33
pH café 2	4	6.3	0.21	6.58	7.10
pH café 3	4	7.36	0.09	7.25	7.46
pH arroz 1	4	6.85	0.11	6.72	6.96
pH arroz 2	4	6.69	0.24	6.38	6.90
pH arroz 3	4	6.72	0.15	6.51	6.85

Los pH obtenidos en régimen Mesofílico a 37 grados en las unidades de análisis

experimental, la cascarilla de café y la cascarilla de arroz obtuvieron valores comprendidos entre 6.85 y 7.33 lo cual coincide con lo establecido por Lay, Li, & Noike (1997) que plantea que el pH debe mantenerse entre 6 y 8. Esto permitió no correr el riesgo de que el proceso de fermentación se inhibiera y pudiera detenerse, similar a lo reportado por Reyes Aguilera (2019), que obtuvo las mayores cantidades de biogás a pH entre 6 y 8, además , indica que el pH influye en la producción de biogás.

Tabla 15. Perfil de medias de pH para el rango Termofílico 56 grados

<u>Variable</u>	<u>n</u>	<u>Media</u>	<u>D.E.</u>	<u>Mín</u>	<u>Máx</u>
pH cafe 1	4	6.67	0.13	6.51	6.80
pH cafe 2	4	6.42	0.13	6.27	6.56
pH cafe 3	4	6.83	0.07	6.75	6.90
pH arroz 1	4	6.41	0.13	6.29	6.60
pH arroz 2	4	6.77	0.11	6.66	6.90
pH arroz 3	4	6.39	0.14	6.20	6.50

Como se observa en la tabla 15, los pH obtenidos en régimen Termofílico a 56 grados en las unidades de análisis experimental, la cascarilla de café y la cascarilla de arroz obtuvieron valores comprendidos entre 6.90 y 6.20 lo cual coincide con lo establecido por Lay, Li, & Noike (1997) que plantea que el pH debe mantenerse entre 6 y 8. De acuerdo con Clark et al., (1989), los microorganismos anaerobios necesitan de manera estricta un pH en torno a la neutralidad para su desarrollo correcto, aunque permiten cierta oscilación, pueden presentarse problemas si baja de 6 o sube de 8.

El pH a temperaturas de 37°C y 56°C presentaron diferencias en cuanto a valores máximos y mínimos, en régimen Termofílico las medidas estuvieron cercanas a 6 lo cual indica que a mayor temperatura el pH tiende a desestabilizarse (Martinez , Numpaque , & Alavarado, 2016).

Tabla 16. Producción de biogás en los rangos de temperatura (Mesofílico y Termofílico).

Temperatura	Producción					
	Cascarilla arroz 1	Cascarilla arroz 2	Cascarilla arroz 3	Cascarilla café 1	Cascarilla café 2	Cascarilla café 3
Mesofílico						
37	60	60	50	20	60	60
37	70	68	50	130	80	100
37	80	76	56	150	170	150
37	80	76	56	150	170	170
Termofílico						
56	88	76	70	88	80	81
56	250	250	250	250	250	250
56	206	190	180	216	216	232

De acuerdo con los resultados, el rendimiento de biogás fue mayor cuando las unidades de análisis experimental estuvieron sometidas a temperatura de rango Termofílico controlado de 56°C debido a que la temperatura es un factor que influye en la generación de biogás, de acuerdo con Asankulova, (2008) cuanto más caliente el ambiente, mayor es la velocidad y el grado de fermentación de la materia orgánica.

La producción de biogás alcanzada en el régimen termofílico fue de tres días, mientras tanto que en el régimen mesofílico fue de cuatro días, esto concuerda con lo manifestado por Aguilera Reyes, (2019) que considera la temperatura de operación del digester, uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica e influye para producir más o menos biogás.

La temperatura de operación de los biodigestores en cualquiera de los rangos (psicrofílico, mesofílico o termofílico) siempre producirá biogás, por lo tanto, la temperatura es un indicador de producir mayor o menor cantidad de biogás tal y como lo señala (Varnero et al., 1990).

Conclusiones

1. El análisis a las propiedades físico-químico a los sustratos orgánicos tales como: cascarilla de café y arroz que formaron parte de las unidades de análisis experimental, estuvieron dentro de los rangos óptimos, que favorecen las necesidades de crecimiento y producción de metano de las bacterias anaerobias. De acuerdo a los resultados estadísticos presentaron similitud en las medias obtenidas, por lo tanto, no existe diferencias significativas entre ambos tratamientos.
2. Las mayores cantidades de biogás producidos se obtuvieron del sustrato orgánico cascarilla de café en los dos rangos de temperatura y seis replicas a las que fueron sometidos los tratamientos durante la fase experimental.
3. Los pH obtenidos en régimen Mesofílico y Termofílico de la cascarilla de café y la cascarilla de arroz estuvieron dentro de los rangos óptimos lo que favoreció no correr el riesgo de que el proceso de fermentación se inhibiera y pudiera detenerse.
4. La temperatura es un factor que influye en la generación de biogás, durante la fase experimental se observó que cuanto mayor es la temperatura, menor es el tiempo que tarda en producir biogás un determinado sustrato, pero se corre el riesgo de desestabilizar el pH tal es el caso de las unidades experimentales sometidas a régimen Termofílico en el cual sus valores estuvieron cerca de quedar fuera del rango óptimo.

Bibliografía

Arias Ortis, R. A., & Meneses Cruz, J. (2016). *Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, Laboratorios de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016*Arias. Managua.

- Carta González, J. A., Calero Pérez, C. S., & Castro Gil, M. A. (2009). *Centrales de energías renovables. Generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN.
- Clark, R. H., & Speece, R. E. (1989). *The pH tolerance of anaerobic digestion. advanced water pollution research*.
- FAO. (2011). *Manual de Biogás*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Lay, J. J., Li, Y. Y., & Noike, T. (s.f.). *Influences of pH and moisture content on the methane production in high solids sludge digestion*.
- Martínez, S., Numpaque, H., & Alvarado, J. (2016). *Efecto de la Temperatura en la Producción de Biogás en un Bioreactor tipo Batch a través de la Descomposición Anaeróbica de Residuos Sólidos Orgánicos*. Colombia: Revista Electrónica De La Facultad De Ingeniería. Recuperado el 15 de Diciembre de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/321229255_Efecto_de_la_Temperatura_en_la_Produccion_de_Biogas_en_un_Bioreactor_tipo_Batch_a_traves_de_la_Descomposicion_Anaerobica_de_Residuos_Solidos_Organicos
- Martínez, S., Numpaque, H., & Alvarado, J. D. (2016). *Efecto de la Temperatura en la Producción de Biogás en un Bioreactor tipo Batch a través de la Descomposición Anaeróbica de Residuos Sólidos Orgánicos*. Colombia: Revista Electrónica De La Facultad De Ingeniería.
- Pedroza Pacheco, M. (1993). *Fundamentos de experimentación agrícola*. arte S.A.
- Pedroza Pacheco, M. E., & Dicoyskiy, L. M. (2011). *Sistema de análisis estadísticos con SPSS*. Obtenido de <http://repiica.iica.int/docs/B3064e/B3064e.pdf>
- Pineda, E. B., Alvarado, E. L., & Canales, F. H. (1994). *metodología de la investigación*. (segunda ed.). Washington, D.C.
- Reyes Aguilera, E. A. (2019). *Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos en la zona rural de Estelí, en el período 2016-2018*. Estelí.
- Romero, G. M. (Agosto de 2017). *Aqua limpia engineering*. Obtenido de Qué es el biogás: <file:///C:/Users/Admin/Downloads/QUE-ES-EL-BIOGAS.pdf>
- Segalás, J., Rosas, M., Davila, C., Chiroque, J., Marcelo, O., Coello, J., & Garrido, N. (2011). *Modulo 3. Evaluación de Recursos Energéticos Renovables*. UNESCO.

Valdivia, T. R. (2000). *USO DE BIOGAS PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA MEDIANTE UN MOTOR GASOLINERO ESTACIONARIO MODIFICADO*. Lima.

Varnero, M., & Arellano, J. (1990). *Aprovechamiento racional de desechos organicos*. Santiago.

Veiga de Cabo, J., De la Fuente Díez, E., & Zimmermann Verdejo, M. (2008). *Modelos de estudios en investigación aplicada: conceptos y criterios para el diseño*. Recuperado el 14 de Agosto de 2019, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2008000100011