

Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de las excretas de ganado, caballo, cerdo y gallinaza para la generación de biogás

Characterization of the physicochemical properties of the excrement of cattle, horses, pigs and chickens for the generation of biogas

Edwin Antonio Reyes Aguilera¹
edwinra11@yahoo.es

Emilio Pérez Castellón²
emiliopc21@hotmail.com

Recibido: 21 de mayo de 2019, **Aceptado:** 29 de junio de 2019

RESUMEN

El presente artículo tuvo como propósito la caracterización fisicoquímica que determina el potencial con el que cuentan los sustratos para ser sometidos a un proceso biológico como la digestión anaerobia. De acuerdo al método de investigación el presente estudio es experimental, se escogió como sustratos orgánicos el estiércol de ganado, caballo, gallinaza y cerdo. Para la caracterización de las propiedades básicas de la materia orgánica se basó en la norma APHA/SM 2540-B que establece técnicas gravimétricas. Los resultados obtenidos muestran según los análisis de varianzas univariados y multivariados que existen diferencias significativas entre los sustratos en estudio y que el sustrato de ganado presentó un vector de medias mayor que el resto de sustratos; sin embargo, todos están dentro de los rangos reportados por otros autores. Se concluye que el sustrato de ganado difiere del resto de sustratos y presentó el mejor vector de medias, los análisis de sólidos totales, sólidos volátiles, masa seca, cenizas, carbono, nitrógeno y la relación carbono/nitrógeno muestran que estuvieron dentro de los rangos óptimos que satisfacen las necesidades de crecimiento y producción de metano de las bacterias anaerobias, la relación Carbono/Nitrógeno en el caso de la excreta de ganado resulto fuera de rango.

Palabras claves: digestión anaerobia; sustratos orgánicos; caracterización fisicoquímica.

ABSTRACT

The purpose of this article was the physicochemical characterization that determines the potential of substrates to experience a biological process such as anaerobic digestion. According to the research method, this study is experimental, cattle manure, horse, chicken and pork were chosen as organic substrates. For the characterization of the basic properties of organic matter was based on the APHA/SM 2540-B standard which establishes gravimetric techniques. The results obtained show according to the analyses of univariate and multivariate variances that there are significant differences between the substrates under study and that the cattle substrate presented a vector of stockings greater than the rest of substrates; however, they are all within the ranges reported by other authors. It is concluded that the cattle substrate differs from the rest of the substrates and presented the best vector of stockings, analyses of total solids, volatile solids, dry mass, ash, carbon, nitrogen and the carbon/nitrogen ratio show that they were within the optimal ranges that meet the growth and production needs of methane from anaerobic bacteria, the Carbon/Nitrogen ratio in the case of cattle excreta resulted out of range.

Keywords: anaerobic digestion; organic substrates; physicochemical characterization.

1 Docente UNAN-Managua, FAREM-Esteli.

2 Docente UNAN-Managua, FAREM-Esteli.

© 2019 - Revista Científica de FAREM-Esteli.



INTRODUCCIÓN

En zonas rurales es común observar la existencia de agricultura y ganadería a pequeña escala, ligada a la producción de desechos orgánicos que, al no ser tratados con responsabilidad, se convierten en un foco contaminante e infeccioso para el medio ambiente y la sociedad rural. En las poblaciones rurales culturalmente se han manejado los desechos como abonos directos y hasta la actualidad son colocados en la tierra de cultivo.

En Nicaragua el manejo de los residuos orgánicos ha sido históricamente deficiente, debido a estar cerca de los poblados lo cual afecta a la población causando graves enfermedades respiratorias, problemas ambientales por la descomposición química de estos al no dársele el tratamiento adecuado.

Con esta investigación se pretende evaluar el potencial energético generado en diferentes sustratos orgánicos y de esta forma puedan implementarse tecnologías como los biodigestores que contribuyan a reducir los despales indiscriminados generados por el alto consumo de leña, así mismo permitirá reducir enfermedades causadas por los desechos y por ende contribuir a la calidad de vida de las personas. Así como también la presente metodología de caracterización y evaluación servirá de base para futuros investigadores en esta línea de investigación que es esencial en el campo de las energías renovables.

La digestión anaerobia posibilita la degradación de la fracción orgánica biodegradable presente en los residuos sólidos urbanos, transformándola en biogás, con alto contenido en metano y susceptible, por tanto, de aprovechamiento energético y en un residuo final estabilizado, con una alta tasa de destrucción de microorganismos patógenos, que reúne las condiciones para poder ser utilizado como mejorador del suelo. Por ello, la digestión anaerobia presenta un balance energético positivo posibilitando tanto la prevención de la contaminación como la recuperación sostenible de la energía (De Baere, 2000).

Entre los recursos energéticos renovables, se cuenta con una fuente de energía explotada durante las

penurias económicas y energéticas producidas durante y después de la última guerra mundial. Se trata del gas del estiércol, gas de los pantanos o gas de granja, producido por fermentación del estiércol de animales, de la paja y de residuos agrícolas en general. Por su origen biológico se lo conoce mundialmente como biogás, que es una mezcla de gases conteniendo metano (50 a 70%), anhídrido carbónico (30 a 45%), hidrógeno (1 a 3%), oxígeno (0,5 a 1%), gases diversos (1 a 5%) y vestigios de anhídrido sulfuroso (Lockett, 1997).

El proceso de fermentación anaeróbica que produce el biogás, produce también una mezcla residual que es un rico fertilizante orgánico de mayor calidad y contenido de nitrógeno que el estiércol fresco y que puede ser utilizado para formar un compost con residuos vegetales o ser distribuido sobre los campos como fertilizante de considerable valor. El biogás y el abono residual de la operación, se han convertido en una fuente ideal de energía para las naciones con poblaciones rurales numerosas sin medios económicos y prácticos para disponer de energía convencional. Es así como ha tomado un gran impulso sobre todo en Asia, en países como China y la India, donde ya hay cerca de 500.000 plantas del tipo familiar instaladas y funcionando a pleno (Nitsch & Rettich, 1993).

Las mayores aplicaciones del biogás se han dado en China, India y Europa. China es de los países pioneros en el uso del biogás. Este país perteneciente al continente asiático desarrolló un programa que inició en los años setenta con un resultado de más de 7 millones de digestores, aunque sufrió de varias fallas (Boyle, 2004).

El desarrollo de la tecnología para el aprovechamiento del biogás en el mundo está ligado parcialmente con los países que más contribución tienen en cuanto a emisiones de metano). Dicha tecnología tiene el potencial de contribuir a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (Han, 2008).

La producción de biogás en pequeña escala puede ayudar a resolver la escasez de energía en algunos países en desarrollo y del tercer mundo proveyendo una alternativa al uso de la madera y otros combustibles

de biomasa. Este es un punto importante en áreas donde la deforestación es un problema. La producción de 10 m³ de biogás en un biodigestor, puede ahorrar 2000 kg de madera como combustible, la cual es equivalente a reforestar 0.26-4 ha (Mae-wan, 2008).

Los desechos generados por el sector primario comprenden los residuos agrícolas, ganaderos y forestales; los desechos generados por el sector secundario incluyen los residuos industriales (agroalimentarios, textiles, curtiembres, residuos del papel, etc.) y finalmente se encuentran los residuos producidos por el sector terciario de servicios dentro de los que se tienen dos grandes afluentes como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y las aguas residuales domésticas (Klinger, Alexander, & Marchaim, 1991).

Sierra & Rojas (2010) definen estiércol como las deyecciones sólidas de los animales, mientras que los purines son una mezcla de orina, estiércol y agua de lavado. García (2000) menciona que la composición química del estiércol cualquiera sea la especie depende de las proporciones de los distintos ingredientes de la dieta y su contenido respectivo de nutrimentos; de algunos aditivos como las enzimas, del procesamiento del alimento y la cantidad de alimento consumido; así como de la biodisponibilidad de aminoácidos y de minerales.

En el sector ganadero la problemática asociada con el manejo efectivo de los residuos generados implica el desarrollo de un tratamiento bioquímico eficiente para permitir el aprovechamiento de los nutrientes que se encuentran presentes en estos residuos (Fan, Chen, Mehta, & Chen, 1985).

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.

Uno de los principales factores que afectan el metabolismo de las bacterias es la presencia y relación de nutrientes en el sustrato (Mata et al., 2000), por lo cual, es importante tener conocimiento de la cantidad y relación de nutrientes de los sustratos, para ello fue necesario realizar una caracterización de los mismos. La caracterización fisicoquímica determina el potencial con el que cuentan los sustratos para ser sometidos a un proceso biológico como la digestión anaerobia.

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

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 sólido total incluye componentes digeribles o "sólidos volátiles" y residuos no digeribles o "sólidos fijos".

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. El intervalo óptimo de la relación C/N para procesos de transformación biológica está comprendido entre 20 y 35. Conocida esta relación se puede determinar la aptitud del residuo sólido para la digestión anaerobia o el compostaje, teniendo en cuenta que la posibilidad que se generan altos niveles de amoníaco hacen que el residuo no sea adecuado para los procesos anaerobios (Gallert, Bauer, & Winter, 1998).

MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo al método de investigación el presente estudio es experimental (Pedroza, 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 retro-prospectivo, por el período y secuencia del estudio es transversal.

El estudio de este proceso investigativo se realizó en el período 2016 a 2018 y se llevó a cabo en el laboratorio de energías renovables de la Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM – Estelí), aquí se evaluaron los diferentes sustratos orgánicos y se instalaron las unidades de análisis experimental.

El universo de este estudio fueron todos los sustratos orgánicos estudiados y contó con diez repeticiones para la caracterización de los sustratos y cuatro tratamientos (Excretas de cerdo, ganado, caballo, gallinaza), los que se obtuvieron en fincas, porquerizas y avícolas cercanas a la ciudad de Estelí, 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 KERN con una precisión de 0,001 g, en la que se pesaron los sustratos orgánicos que posteriormente se introdujeron en una estufa de la marca Hot Air Sterilizer a 105°C durante 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 de la marca HUMBOLDT a una temperatura de 550°C durante 4 horas. Una vez 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 a partir de los porcentajes de materia orgánica. El porcentaje de carbono orgánico (CO) se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$CO(\%) = \frac{MO}{1,8}$$

ec. 1 Dónde: 1.8= factor de conversión

A partir de los datos recolectados, se diseñó la base de datos correspondientes, utilizando el software estadístico InfoStat, versión 2018e para Windows. Una vez que se realizó el control de calidad de los datos registrados, se realizaron los análisis estadísticos pertinentes.

Así mismo, se realizaron los análisis inferenciales específicos o prueba de hipótesis, tal como: (a) el Análisis de Varianza Univariado (ANOVA de Fisher) y el test de Fisher (prueba de LSD). Asimismo, se realizaron para las variables pertinentes, las Técnicas de Análisis Multivariados, tales como: el Análisis de Componente Principal (ACP), el Análisis de Varianza Multivariado (MANOVA, Lambda de Wilk).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La digestión anaerobia es un proceso biológico de fermentación complejo, el cual se caracteriza por una transformación de los residuos orgánicos mediante la degradación por bacterias que no requieren del uso de oxígeno y finalmente con su reacción producen gases, de los cuales predomina el metano (Osorio, et al., 2007). El análisis elemental del estiércol sirve para tener una noción sobre las características generales de los sustratos a tratar durante la digestión anaerobia (Jarauta, 2005).

Con los datos obtenidos en el proceso de recolección de la información se realizaron los Análisis de la Varianza (ANOVA), mediante el cual se probaron las hipótesis referidas a los parámetros de posición (esperanza) de dos o más distribuciones. La hipótesis que se somete a prueba generalmente se establece con respecto a las medias de las poblaciones en estudio o de cada uno de los tratamientos evaluados en un experimento.

Antes de realizar el ANOVA, se realizó el Diagnóstico de la Normalidad, Homogeneidad e Independencia de residuos. Para tal efecto se obtuvieron previamente las variables RDUO de las variables y PRED. A partir de los residuos y sus transformaciones se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de los residuos.

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes sustratos), sobre la variable respuesta % masa seca.

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14787.40	3	4929.13	33.38	<0.0001
Tratamientos	14787.40	3	4929.13	33.38	<0.0001
Error	11222.80	76	147.67		
Total	26010.20	79			

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

Existe un efecto significativo del tratamiento (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta % masa seca, lo cual se evidencia con un $p = 0,0001$, que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \dots = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta % masa seca.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba LSD Fisher (*Diferencia Mínima Significativa*), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de ganado, caballo, cerdo y gallinaza, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de masa seca, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 56.90 para el sustrato de la gallinaza y un valor mínimo de 19.00 para el sustrato de ganado, por lo tanto se recomienda el sustrato de ganado en primer lugar y luego los sustratos de caballo y cerdo.

Tabla 2. Test: LSD Fisher Alfa=005 DMS=7.65353 Error: 147.6684 gl: 76

Tratamientos	Medias	n	E.E
Ganado	19.00	20	2.72 A
Caballo	33.30	20	2.72 B

Cerdo	39.40	20	2.72	B
Gallinaza	56.90	20	2.72	C

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

Los sólidos totales o masa seca se refieren a los residuos del material que permanecen en el recipiente después de la evaporación de la muestra secada en el horno a una temperatura definida: 103-105°C. Es un proceso muy empleado para tratar la fracción orgánica de los residuos urbanos, residuos animales y residuos agrícolas. En el análisis químico proximal realizado a los residuos estudiados, se obtuvo que éstos estuvieron compuestos en su mayor parte de humedad y una pequeña parte correspondió a los sólidos totales. El porcentaje de materia seca o solidos totales con 20 observaciones para el sustrato de caballo fue de 33.3%, 19% para el sustrato ganado, 56.9 para el sustrato de gallinaza y 39.4 para el sustrato de cerdo, coincidiendo con los rangos reportados por (Varnero et al., 1990).

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes sustratos), sobre la variable respuesta % Cenizas.

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13205.91	3	4401.97	62.55	<0.0001
Tratamientos	13205.91	3	4401.97	62.55	<0.0001
Error	5348.61	76	70.38		
Total	18554.52	79			

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

Existe un efecto significativo del tratamiento (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta % cenizas, lo cual se evidencia con un $p = 0,0001$, que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \dots = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es

significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta % Cenizas.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba LSD Fisher (*Diferencia Mínima Significativa*), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de ganado, caballo, cerdo y gallinaza, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Cenizas, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 59.85 para el sustrato de la gallinaza y un valor mínimo de 24.78 para el sustrato de ganado.

Tabla 4. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=5.28362 Error: 70.3764 gl: 76

Tratamientos	Medias	n	E.E
Caballo	24.78	20	1.88 A
Cerdo	34.31	20	1.88 B
Ganado	41.63	20	1.88 C
Gallinaza	59.85	20	1.88 D

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

Las cenizas, son compuestos minerales residuales que no son volatilizados. Los resultados en esta investigación para 20 observaciones demostraron que el sustrato de gallinaza se obtuvo el mayor vector de medias de los sustratos analizados y no se asemejan a lo reportado por otros autores en este caso, todos estos valores están por encima de lo reportado por (Varnero et al., 1990).

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes sustratos), sobre la variable respuesta % Solidos volátiles.

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	13169.10	3	4389.70	62.44	<0.0001
Tratamientos	13169.10	3	4389.70	62.44	<0.0001
Error	5343.05	76	70.30		
Total	18512.16	79			

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

Existe un efecto significativo del tratamiento (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta % masa seca, lo cual se evidencia con un $p = 0,0001$, que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \dots = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta % Sólidos volátiles.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba LSD Fisher (*Diferencia Mínima Significativa*), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de ganado, caballo, cerdo y gallinaza, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % Sólidos volátiles, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 75.16 para el sustrato de la Caballo y un valor mínimo de 40.16 para el sustrato de gallinaza.

Tabla 6. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=5.28088 Error: 70.3033 gl: 76

Tratamientos	Medias	n	E.E	
Gallinaza	40.16	20	1.87	A
Ganado	58.37	20	1.87	B
Cerdo	65.69	20	1.87	C
Caballo	75.16	20	1.87	D

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

Los sólidos volátiles, es la fracción de la materia orgánica capaz de volatilizarse (transformarse en biogás). Los valores de sólidos volátiles encontrados en la presente investigación según perfil de medias presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellos, el sustrato de caballo presento el valor más alto con 75.16%, seguido del sustrato de cerdo con 65.69, el sustrato de ganado con 58.37% y el que menos sólidos volátiles presento fue el sustrato de

gallinaza con 40.16%, estos valores coinciden con lo reportado por (Toruño et al., 2016).

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes sustratos), sobre la variable respuesta % masa húmeda.

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14787.40	3	4929.13	33.26	<0.0001
Tratamientos	14787.40	3	4929.13	33.26	<0.0001
Error	11262.80	76	148.19		
Total	26050.20	79			

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

Existe un efecto significativo del tratamiento (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta % masa húmeda, lo cual se evidencia con un $p = 0,0001$, que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \dots = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta %Masa húmeda.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba LSD Fisher (*Diferencia Mínima Significativa*), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de ganado, caballo, cerdo y gallinaza, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de masa húmeda, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 81.00 para el sustrato de Ganado y un valor mínimo de 43.10 para el sustrato de gallinaza. Por lo tanto se recomienda usar el sustrato de ganado por contener mayor humedad, también se recomienda el sustrato de cerdo y caballo, estos no tienen diferencias estadísticas significativas.

Tabla 8. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=7.66716

Error: 148.1947 gl: 76

Tratamientos	Medias	n	E.E
Gallinaza	43.10	20 2.72	A
Cerdo	60.60	20 2.72	B
Caballo	66.70	20 2.72	B
Ganado	81.00	20 2.72	C

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

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes sustratos), sobre la variable respuesta % Carbono.

Tabla 9. Análisis de la Varianza para la variable % Carbono

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4001.43	3	1333.81	61.67	<0.0001
Tratamientos	4001.43	3	1333.81	61.67	<0.0001
Error	1643.61	76	21.63		
Total	5645.05	79			

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

Existe un efecto significativo del tratamiento (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta % Carbono, lo cual se evidencia con un $p = 0,0001$, que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \dots = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta % Carbono.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de ganado, caballo, cerdo y gallinaza, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Carbono, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de

41.80 para el sustrato de Caballo y un valor mínimo de 22.46 para el sustrato de gallinaza.

Tabla 10. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.92894

Error: 21.6265 gl: 76

Tratamientos	Medias	n	E.E
Gallinaza	22.46	20	1.04 A
Ganado	32.40	20	1.04 B
Cerdo	36.40	20	1.04 C
Caballo	41.80	20	1.04 D

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

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes sustratos), sobre la variable respuesta % Nitrógeno.

Tabla 11. Análisis de la Varianza para la variable % Nitrógeno

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7.02	3	2.34	16.28	<0.0001
Tratamientos	7.02	3	2.34	16.28	<0.0001
Error	10.92	76	70.14		
Total	10.92	79			

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

Existe un efecto significativo del tratamiento (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta % Nitrógeno, lo cual se evidencia con un $p = 0,0001$, que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \dots = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta % Nitrógeno.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de ganado,

caballo, cerdo y gallinaza, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Nitrógeno, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 1.27 para el sustrato de Cerdo y un valor mínimo de 0.55 para el sustrato de Ganado.

Tabla 12. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.23875
Error: 0.1437 gl: 76

Tratamientos	Medias	n	E.E
Gallinaza	0.55	20	0.08 A
Ganado	1.20	20	0.08 B
Cerdo	1.22	20	0.08 C
Caballo	1.27	20	0.08 D

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

Prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás al ser sometida a fermentación anaeróbica. La calidad y la cantidad del biogás producido dependerán de la composición y la naturaleza del residuo utilizado. Los niveles de nutrientes deben de estar por encima de la concentración óptima para las metanobacterias, ya que ellas se inhiben severamente por falta de nutrientes. El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Los resultados de nitrógeno derivados de los sustratos orgánicos en esta investigación fueron: Gallinaza 1.22, Ganado 0.55, Cerdo 1.27, Caballo 1.20, todos estos valores dentro de los rangos establecidos por (Varnero et al., 1990); de igual forma se identificaron los valores de carbono de los sustratos orgánicos en estudio obteniendo los resultados: Gallinaza 22.46%, Ganado 32.40%, Cerdo 36.40%, Caballo 41,80%, igualmente dentro de los rangos establecidos por (Varnero et al., 1990).

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes sustratos), sobre la variable respuesta Relación Carbono/ Nitrógeno.

Tabla 13. Análisis de la Varianza para la variable Relación Carbono/ Nitrógeno

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	18814.40	3	6271.47	85.69	<0.0001
Tratamientos	18814.40	3	6271.47	85.69	< 0.0001
Error	5562.40	76	73.19		
Total	24376.80	79			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de los diferentes sustratos sobre la Relación Carbono/ Nitrógeno demostró lo siguiente:

Existe un efecto significativo del tratamiento (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta Relación Carbono/Nitrógeno, lo cual se evidencia con un $p = 0,0001$, que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \dots = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (diferentes sustratos de ganado, cerdo, gallinaza y caballo), sobre la variable respuesta Relación Carbono/ Nitrógeno.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de ganado, caballo, cerdo y gallinaza, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente Relación Carbono/Nitrógeno, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 62.30 para el sustrato de Ganado y un valor mínimo de 22.70 para el sustrato de Gallinaza.

Tabla 14. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=5.38818
Error: 73.1895 gl: 76

Tratamientos	Medias	n	E.E
Gallinaza	22.70	20	1.91 A
Cerdo	28.90	20	1.91 B
Caballo	31.30	20	1.91 B
Ganado	62.30	20	1.91 C

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

La relación C/N permite conocer la capacidad mineralizadora del residuo sólido en procesos de recuperación y aprovechamiento de la materia orgánica. Los valores encontrados en esta investigación con 20 observaciones para el sustrato de caballo fue de 31:1, 62:1 para el sustrato ganado, 22:1 para el sustrato de gallinaza y 29:1 para el sustrato de cerdo, todos estos valores están dentro del rango reportado por los autores Gallert, Bauer, & Winter, (1998) definiendo

el intervalo óptimo de la relación C/N para procesos de transformación biológica está comprendido entre 20 y 35; solamente se encuentra fuera de rango el valor de la relación C/N de sustrato de ganado debido probablemente a su composición según las especies de las que procedan, la edad del animal, su eficiencia digestiva la forma en que se conserven y la alimentación que se les proporciona (Salazar, Salazar, Trejo, López, & Serrano, 2010).

Tabla 15. Análisis de la Varianza (Wilks)

F.V.	Estadístico	F	gl(num)	gl(den)	p
Sustratos (Tratamientos)	0.02	25.57	21	202	<0.0001

Tabla 16. Prueba Hotelling Alfa=0.05

Sustratos (Trat)	Masa Húmeda	Masa seca	%Cenizas	%Sol	Volátiles	CN	Relación C/N	n
Sustrato Ganado	81.00	19.00	41.63	58.37	32.40	0.55	62.30	20 A
Sustrato Gallinaza	43.10	56.90	59.85	40.16	22.46	1.22	22.70	20 B
Sustrato Cerdo	60.60	39.40	34.31	65.69	36.40	1.27	28.90	20 C
Sustrato Caballo	66.70	33.30	24.78	75.16	41.80	1.20	31.30	20 D

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

El análisis de varianza multivariado fue realizado con el fin de estimar las diferencias entre las medias de los tratamientos, mediante la comparación conjunta de las variables dependientes observadas, Masa Húmeda, Masa Seca, % de Cenizas, % Sólidos volátiles, Carbono, Nitrógeno y la Relación C/N. Según la prueba realizada de Hotelling con Alfa=0.05, existen diferencias significativas entre los sustratos y las

variables dependientes evaluadas. En general, se observa que el sustrato de ganado presentó un vector de medias mayor que el resto de sustratos, por lo que se diferenció significativamente del resto de sustratos y por lo tanto el sustrato de ganado presenta las mejores propiedades fisicoquímicas de los sustratos en estudio.

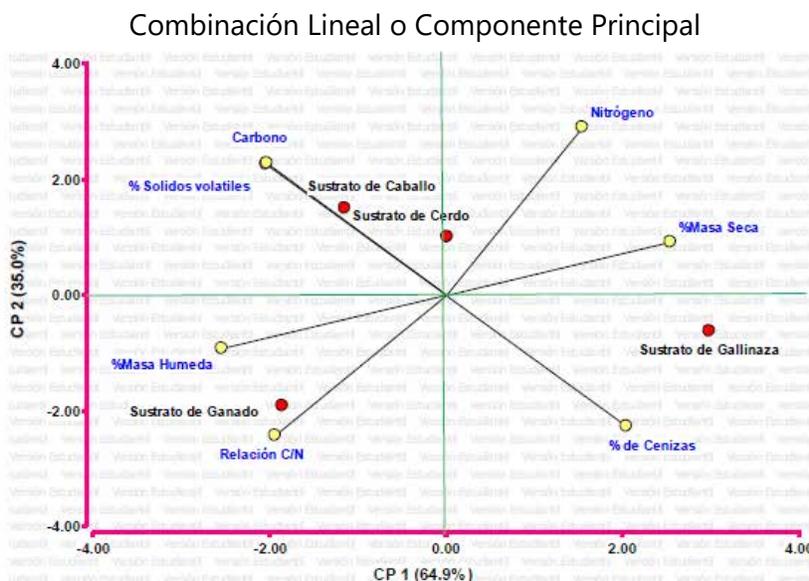


Figura 1. Resultados del análisis de componente principal

En la figura 1, se presentan los resultados del ACP, a través del gráfico bi-plot, los Sustratos (tratamientos) y las variables dependientes son representados en este gráfico, Masa Húmeda, Masa Seca, % de Cenizas, % Sólidos volátiles, Carbono, Nitrógeno y la Relación C/N. En la figura X, puede verse la dispersión de las observaciones en un plano compuesto por un eje denominado, componente principal 1 (CP1) y la componente principal 2 (CP2). Los Componentes Principales 1 y 2, explican el 99.9% de la variabilidad total de los datos, por lo tanto, existe alto grado de representatividad de estos datos en relación a la asociatividad de las variables dependientes.

Tal como se observa en la figura 1, según la proximidad el sustrato de caballo está más asociado al carbono y % de sólidos volátiles. Entre nitrógeno y % de masa seca hay un ángulo menor a 90 grados lo que significa una fuerte correlación entre ellos, existe una leve correlación entre % de masa seca y % de cenizas, leve correlación entre % de masa húmeda y relación C/N, leve correlación entre % de masa seca y % masa de sólidos volátiles, así mismo se observa una correlación inversa entre % masa seca y % de masa húmeda, es decir cuando una de estas variables aumenta la otra disminuye y viceversa.

CONCLUSIONES

El análisis elemental de los sustratos de caballo, cerdo, ganado, gallinaza; sirvió para tener una noción de las características fisicoquímicas de las excretas, a tratar durante la digestión anaerobia. El sustrato de ganado difiere del resto de sustratos y presentó el mejor vector de medias, los análisis de sólidos totales, sólidos volátiles, masa seca, cenizas, carbono, nitrógeno y la relación carbono/nitrógeno muestran que estuvieron dentro de los rangos óptimos que satisfacen las necesidades de crecimiento y producción de metano de las bacterias anaerobias, sin embargo, la relación Carbono/Nitrógeno en el caso de la excreta de ganado resultó fuera de rango.

Es imprescindible realizar difusión de la utilización de los desechos orgánicos, donde se evidencie y potencialice que el manejo correcto constituye

un recurso que representa una alternativa para la generación de biogás mediante la digestión anaerobia para uso doméstico.

BIBLIOGRAFÍA

- Boyle, G. (2004). *Renewable Energy*. New York: Oxford University Press.
- De Baere, L. (2000). Anaerobic Digestion of Solid Waste: State of the art. *Water Science Technology*(41), 283-290.
- Fan, L., Chen, L., Mehta, C., & Chen, Y. (1985). Energy and available energy contents of cattle manure and digester sludge. *Agricultural Wastes*(13), 239-249.
- Gallert, C., Bauer, S., & Winter, J. (1998). Effect of ammonia on anaerobic degradation of protein by a mesophilic and thermophilic biowaste population. *Microbiology and Biotechnology*(50), 495-501.
- García, A. (2000). *Calidad alimentaria de la mezcla de cerdo y esquilmos agrícolas deshidratada al sol para bovinos de engorde*. Mexico.
- Guevara, A. (1996). *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales*. Lima.
- Han, J. L. (2008). Small scale fuel wood project in rural China. *Energy Policy*, 36, 2154-2162.
- Jarauta, L. (2005). *Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos. El caso de Perú*. Barcelona, España: Escuela Técnica de Ingeniería Industrial.
- Klinger, I., Alexander, R., & Marchaim, U. (1991). A suggested solution for slaughterhouse wastes: Uses of the residual materials after anaerobic digestion. *Bioresource Technology*(37), 127-134.
- Lockett, W. (1997). *Digestores de gas metano para obtener combustibles*. The new alchemy institute west.
- Mae-wan, H. (2008). *Biogas bonanza for third world development*. Institute of science in society.
- Mata Álvarez, J., Macé, S., & Lladrés, P. (2000). Anaerobic of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*(74), 3-16.
- Nitsch, J., & Rettich, S. (1993). *Biogás, Usos en Baden Wurttemberg*. Stuttgart, Alemania.
- Osorio, J., Ciro, H., & Gonzalez, H. (2007). Evaluación

de un sistema de biodigestión en serie para clima frío. *Rev. Fac. Nal. Agr(2)*, 60.

Pedroza, M. E. (1993). *Fundamentos de Experimentación Agrícola* (Primera ed.). Editora de Arte S.A.

Piura López, J. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Managua: PAVSA.

Salazar, Salazar, E., Trejo, H., Lòpez, J., & Serrano, s. (2010). Efecto residual de estièrcol bovino sobre rendimiento de maiz forrajero y propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*, XX(4).

Sierra, C., & Rojas, C. (2010). *La materia orgànica y su efecto como enmienda y mejorador de la*

productividad de los cultivos. Santiago.

Toruño, L., Lira, E., Casco, D., & Reyes, E. (2016). *Estudio de prouccìon de biogàs por medio del proceso de digestiòn anaerobia no controlada a partir de diversos sustratos organicos*. Investigaciòn Academica. Recuperado el 22 de Abril de 2019, de <http://repositorio.unan.edu.ni/5547/1/17847.pdf>

Valdivia, T. R. (2000). *Uso de Biogàs para la generaciòn de energìa elèctrica mediante un motor gasolinero estacionario modificado*. Lima, Perú.

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