



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i1>

Ciencias Naturales
Artículo de Investigación

Manejo de excretas a través de biodigestor como medida de prevención de la contaminación de cauces naturales

Management of excreta through a biodigester as a measure to prevent contamination of natural channels

Manejo das excretas através de um biodigestor como medida para evitar a contaminação dos canais naturais

Adriana Catalina Guzmán Guaraca ^I
catalina.guzman@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0473-2041>

Erika Carmén Criollo Quizhpi ^{II}
eryswt@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-8313-1999>

Ana María Castillo Reinoso ^{III}
ana.castillo@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-5433-7819>

Paúl Marcelo Tacle Humanante ^{IV}
ptacle@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7850-6146>

Correspondencia: catalina.guzman@esPOCH.edu.ec

***Recibido:** 31 de marzo de 2023 ***Aceptado:** 13 de abril de 2023 * **Publicado:** 04 de mayo de 2023

- I. Maestría en manejo integral de cuencas hidrográficas con orientación en manejo sustentable de los recursos naturales en cuencas de montaña, Especialista en teledetección y sistemas de información geográfica aplicados al manejo de recursos naturales y agricultura, Ingeniera en Biotecnología Ambiental, Docente Investigador de la Facultad de Recursos Naturales “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” (ESPOCH), Ecuador.
- II. Master Universitario en Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, Investigadora Independiente, Ecuador.
- III. Master Universitario en Ingeniería Ambiental, Ingeniera en Biotecnología Ambiental, Docente Investigador de la Facultad de Informática y Electrónica “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” (ESPOCH), Ecuador.
- IV. Ingeniero, PhD en Ciencias, Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Centro Experimental del Riego, Grupo de Investigación y Transferencia de Tecnología en Recursos Hídricos (GITRH), Riobamba, Ecuador.

Resumen

La presente investigación trata del Diseño e Implementación de un Biodigestor Piloto para la producción de biogás en una de las viviendas de la Comunidad Santa Lucía de Tembo perteneciente a la Parroquia San Isidro de Patúlu del Cantón Guano. Nuestro estudio investigativo-experimental consistió en: revisar exhaustivamente varios trabajos realizados en condiciones ambientales similares, seleccionar aleatoriamente siete cabezas de ganado vacuno cuyas excretas fueron utilizadas para determinar la carga diaria y caracterizaciones físico-químicas, recopilar datos meteorológicos que permiten calcular el tiempo de retención. Con todos estos parámetros se diseñó un biodigestor tubular, que fue colocado en una zanja de aislamiento térmico ubicada a 8,3 y 1,2m de distancia entre la vivienda y el establo respectivamente. Durante los 46 días de monitoreo se controló temperatura, presión, pH, en el proceso de producción de biogás, incluyendo pruebas de olor y color de la llama. Bajo las siguientes condiciones: carga diaria 58,3Kg/día, temperatura media anual 13,5°C, tiempo de retención 39 días, dilución agua: estiércol 1:1; se diseñó un biodigestor cuyas dimensiones son: longitud 4,7m, diámetro 1,27m, Volumen total 6,03 m³. El aislamiento térmico permitió incrementar la temperatura interna 3-5°C días fríos y 15-20°C días soleados. Concluyendo que este tipo de tecnologías resultan una oportunidad para las zonas rurales y de zonas altas de la sierra ecuatoriana, por sus beneficios y bajo costo, la producción diaria de biogás en días cálidos es de 1,5m³ que proporcionan 1.68 horas de llama encendida, consiguiendo hervir una olla con 40 litros de agua en 48 minutos. Recomendamos al usuario hacer uso constante del biogás producido para ayudar a difundir este tipo de tecnologías energéticas amigables con el medio ambiente, que contribuirían a disminuir la contaminación de efluentes por descarga de materia orgánica.

Palabras Claves: Anaerobia; Biodigestor; Biogás; Biol; Descontaminación.

Abstract

The present investigation deals with the Design and Implementation of a Pilot Biodigester for the production of biogas in one of the houses of the Santa Lucía de Tembo Community belonging to the San Isidro de Patúlu Parish of the Guano Canton. Our investigative-experimental study consisted of: exhaustively reviewing several works carried out in similar environmental conditions, randomly selecting seven heads of cattle whose excreta were used to determine the daily load and physical-chemical characterizations, collecting meteorological data that allows calculating the retention time .

With all these parameters, a tubular biodigester was designed, which was placed in a thermal insulation trench located 8.3 and 1.2m away between the house and the stable, respectively. During the 46 days of monitoring, temperature, pressure, and pH were controlled in the biogas production process, including odor and flame color tests. Under the following conditions: daily load 58.3Kg/day, mean annual temperature 13.5°C, retention time 39 days, water dilution: manure 1:1; a biodigester was designed whose dimensions are: length 4.7m, diameter 1.27m, total volume 6.03 m³. The thermal insulation allowed to increase the internal temperature 3-5°C on cold days and 15-20°C on sunny days. Concluding that this type of technology is an opportunity for rural areas and highlands of the Ecuadorian highlands, due to its benefits and low cost, the daily production of biogas on warm days is 1.5m³, which provides 1.68 hours of burning flame. , managing to boil a pot with 40 liters of water in 48 minutes. We recommend the user to make constant use of the biogas produced to help disseminate this type of environmentally friendly energy technologies, which would contribute to reducing effluent contamination due to the discharge of organic matter.

Keywords: Anaerobic; biodigester; biogas; Biol; Decontamination.

Resumo

A presente investigação trata do Projeto e Implementação de um Biodigestor Piloto para a produção de biogás em uma das casas da Comunidade Santa Lucía de Tembo pertencente à Paróquia San Isidro de Patúlu do Cantão Guano. Nosso estudo investigativo-experimental consistiu em: revisar exaustivamente vários trabalhos realizados em condições ambientais semelhantes, selecionando aleatoriamente sete cabeças de gado cujas excretas foram utilizadas para determinar a carga diária e caracterizações físico-químicas, coletando dados meteorológicos que permitem calcular o tempo de retenção. Com todos esses parâmetros, foi projetado um biodigestor tubular, que foi colocado em uma vala de isolamento térmico localizada a 8,3 e 1,2m de distância entre a casa e o estábulo, respectivamente. Durante os 46 dias de monitoramento, temperatura, pressão e pH foram controlados no processo de produção do biogás, incluindo testes de odor e cor da chama. Nas seguintes condições: carga diária 58,3Kg/dia, temperatura média anual 13,5°C, tempo de retenção 39 dias, diluição da água: estrume 1:1; foi projetado um biodigestor cujas dimensões são: comprimento 4,7m, diâmetro 1,27m, volume total 6,03 m³. O isolamento térmico permitiu aumentar a temperatura interna 3-5°C em dias frios e 15-20°C em dias ensolarados. Concluindo que este tipo de tecnologia é uma

oportunidade para áreas rurais e planaltos do altiplano equatoriano, devido aos seus benefícios e baixo custo, a produção diária de biogás em dias quentes é de 1,5m³, o que proporciona 1,68 horas de chama acesa, conseguindo ferver uma panela com 40 litros de água em 48 minutos. Recomendamos ao utilizador a utilização constante do biogás produzido para ajudar a difundir este tipo de tecnologias energéticas amigas do ambiente, o que contribuiria para reduzir a contaminação dos efluentes devido à descarga de matéria orgânica.

Palavras-chave: Anaeróbico; biodigestor; biogás; biol; descontaminação.

Introducción

De acuerdo con la FAO (2016), la producción agropecuaria tiene profundos efectos en el ambiente, al ser una de las principales causas de la degradación del agua, suelo y aire. En el caso del agua la contaminación se produce por la descarga de nitratos, fosfatos, plaguicidas y materia orgánica procedente de agroquímicos y excretas. En el suelo el principal problema se debe a la compactación y monocultivo. En el aire se considera que el 60 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero como metano y óxido nitroso proceden de actividades relacionadas a la ganadería.

En Ecuador la ganadería se ha incrementado desde 1980 con la introducción de razas asiáticas y europeas, esto ha provocado que la actividad cada vez sea intensiva, de igual forma los residuos al generarse en mayor cantidad tienen impacto en el suelo mediante la toxicidad, compactación y saturación con minerales; en el agua ya sea superficial y subterránea mediante filtración, esorrentía o derrames que provocan la eutrofización, reducción de la infiltración con la consecuente disminución de los niveles freáticos y desecamiento de llanuras inundadas (Silva et al., 2016).

A nivel mundial los pequeños y medianos productores agropecuarios están en situación de vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático debido a fluctuaciones en los costos de combustible e insumos agroquímicos. Esto lo pone en desigualdad de competencia de mercado frente a la productividad intensiva y de corto plazo (Herrero, 2019).

En este sentido el presente trabajo propone el manejo de las excretas procedentes de ganado vacuno a través de la implementación de un biodigestor tubular para la producción de biogás en una de las viviendas de la Comunidad Santa Lucía de Tembo perteneciente a la Parroquia San Isidro de Patúlu del Cantón Guano. Considerando que este tipo de reactores anaeróbicos presentan múltiples ventajas

Manejo de excretas a través de biodigestor como medida de prevención de la contaminación de cauces naturales

como bajo costo, fácil manejo, por lo tanto, produce energía a bajo costo y abono rico en nutrientes listos para ser asimilados por el suelo (Hidalgo et al., 2019).

Metodología

La tabla 1 hace referencia al tipo y nivel de investigación del presente proyecto.

Tabla N° 1

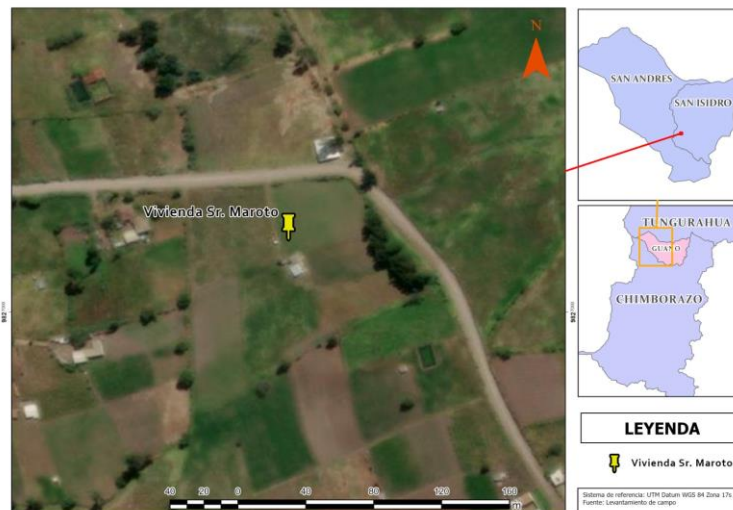
Tipo y nivel de investigación

Según su objetivo	su aplicada	La implementación de un biodigestor tubular, constituye una estrategia para el manejo de excretas de ganado vacuno y disminuir la contaminación al recurso agua y suelo.
Según sus fuentes	Mixta	Se utilizarán fuentes primarias y secundarias
Según su carácter	Cuantitativa	Se analizarán datos cuantitativos
Según manipulación De variables	Cuasi-experimental	Existe un control parcial sobre las variables que intervienen en la generación de biogás.

Área de estudio

La vivienda en la que se realizó la implementación del biodigestor tubular se encuentra a una altitud de 3219msnm, en la comunidad rural de Santa Lucía de Tembo, al norte de la parroquia San Isidro de Patulú en el cantón Guano, Provincia de Chimborazo. La familia propietaria de la vivienda, posee un predio de 20 hectáreas, la cual cuenta con un sistema de riego mixto por aspersión y por surcos, la actividad económica sustento de la familia es ganadería y agricultura.

Figura N° 1
Área de estudio



Las vías de acceso a la comunidad son de tercer orden asfaltada y lastrada (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San Isidro de Patulú, 2015).

Biodigestor

Para el presente proyecto se diseñó e implementó un biodigestor tubular para el manejo de excretas de ganado vacuno. Este tipo de tecnología fue seleccionada por los múltiples beneficios que presenta como ser: bajo costo de implementación, fácil manejo, bajo impacto ambiental, obtención de biogás y abono fácilmente asimilable para el suelo (Hidalgo Osorio et al., 2019; Hidalgo et al., 2018).

El proceso biológico, base del biodigestor es la digestión anaerobia en el cual bacterias anaerobias en ausencia de oxígeno molecular realizan la descomposición de la materia orgánica (MO) de forma continua o intermitente durante periodos de tiempo específicos (tiempo de retención celular) que dependen de la temperatura ambiente (Obileke et al., 2020). La ecuación 1 desarrollada por Boyle (1977), muestra la conversión biológica de la MO y los productos resultantes como ser: materia orgánica no degradada o resistente (MOR o biol), en poca cantidad amoníaco (NH_3), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y en un 99% biogás que tiene una composición de 50-70% de metano (CH_4) y de 30 – 50% de dióxido de carbono (CO_2), se lo puede utilizar para producir calor, electricidad o ambos (Metcalf and Eddy, 1995; Milbrandt, 2013; Weinrich et al., 2018).

Ecuación 1 MO



Dimensionamiento

Temperatura ambiente y tiempo de retención celular (T_R).

La temperatura ambiente es directamente proporcional a la velocidad metabólica de la bacteria s anaerobias y consecuente producción de biogás. Para determinar la temperatura debido a la falta de datos climatológicos en el área, recurrió a la Estación Meteorológica de la ESPOCH.

Una vez conocida la temperatura, se estableció el tiempo de retención celular o periodo de permanencia del sustrato en el biodigestor para una digestión anaerobia completa, este valor se obtuvo de la tabla Tiempo de retención vs temperatura de operación generada por Cáceres y Gutierrez (1985).

Carga de mezcla diaria

Una vez medida la cantidad de estiércol promedio diaria que se produce en la granja a implementarse el biodigestor, se debe considerar realizar una dilución en una relación biomasa: agua entre 1:1 y 1:2 por cada 100kg, para de esta forma asegurar que los microorganismos tengan la cantidad suficiente de agua, ya que si el contenido de agua en la mezcla es demasiado bajo, la cantidad de biogás producido será pequeña, y si por el contrario es demasiado diluida, se puede digerir poca materia orgánica y la producción del biogás es limitada(Martí-Herrero, 2008).

Volumen total del biodigestor

Para las ecuaciones de diseño se basó en Herrero (2019) y Yanoy et al. (2022). El volumen total del biodigestor nos dará el dimensionamiento del tanque de digestión o cámara de fermentación anaeróbica (biodigestor), dado que se forma es cilíndrica.

El dimensionamiento de obtiene de calcular las ecuaciones 2, 3, 4, 5 y 6.

Ecuación 2

$$C_d = S(\text{kg}) + H_2O(\text{kg})$$

C_d : carga diaria.

S : cantidad de sustrato en kg.

H₂O: cantidad de agua en kg.

Ecuación 3

$$V_{td} = V_l + V_g$$

V_{td}: volumen total del biodigestor.

V_l: volumen líquido.

V_g: volumen del biogás producido.

Ecuación 4

$$V_l = C_d * T_R$$

V_l: volumen líquido.

C_d: carga diaria en kg.

T_R: tiempo de retención en días.

Para determinar el valor de biogás producido, se debe considerar que el del volumen total del biodigestor el 75% corresponde a la fase líquida a degradar y el 25% restante servirá como campana o gasómetro ocupado por el metano.

Ecuación 5

$$V_g = 25\% * V_l$$

V_g: volumen que ocupa la fase gaseosa.

V_l: volumen líquido.

Considerando que el biodigestor tubular, está constituido por plástico tipo tubo con ancho definido de fábrica y se aplica la ecuación del volumen de un cilindro para determinar la longitud del mismo:

Ecuación 6

$$L = (4 * V_{td}) / (\pi * D^2)$$

L: longitud del biodigestor.

V_{td}: volumen total del biodigestor

D: diámetro

Debido a que la producción de biogás es un proceso constante, conviene almacenarlo en un reservorio del mismo material que el biodigestor. Para esto se considera que la relación entre el volumen del digestor y el reservorio debe ser de 5:1:

Ecuación 7

$$V_{Rv} = V_{td} / 5$$

V_{Rv} : volumen del reservorio de biogás.

V_{td} : volumen total del biodigestor

Zanja para colocación del biodigestor

Primero se debe identificar el lugar apropiado para la implementación del biodigestor, de preferencia debe estar cerca de la fuente de sustrato y el lugar en el que se realice el aprovechamiento del biogás, además, de ser un espacio que permita el aislamiento de las bajas temperaturas en el ambiente. Las dimensiones dependen principalmente del ancho del plástico tubular a utilizar (Herrero, 2019).

Sistema de tuberías

Para la entrada y salida del sustrato se utiliza tuberías PVC de 4plg o 6plg, dependiendo del tamaño del digestor. Para la conducción del biogás se recomienda el uso de tubería de polietileno que presenta resistencia al desgaste, bajo peso, toxicidad y económico pudiendo utilizarse tubería de 1plg o de 1/2plg dependiendo la producción de biogás. Para evitar fisuras en el biodigestor se debe tener mucho cuidado con el control de la presión generada interna por la producción constante de biogás. Una alternativa es colocar un mecanismo de escape ubicado en la tubería de salida del biogás, elaborado a partir de una botella de plástico, parcialmente llena de agua, la longitud de tubería que va sumergida depende de la presión requerida dentro del biodigestor, siempre se debe controlar el nivel de agua, ya que de ingresar aire por la tubería de desfogue podría afectar el proceso de digestión anaerobia (Herrero, 2019).

Para que el biogás pueda ser utilizado y disminuir la corrosividad en la tubería es necesario eliminar o disminuir la concentración de H_2S , para ello existen varios métodos descritos en Martínez Solís (2018).

Volumen de metano producido (V_{CH_4})

La producción de metano a lo largo del tiempo de retención celular, puede ser calculado a partir de ecuaciones desarrolladas por Chen (1983).

Ecuación 8

$$K_0 = 0,6 + 0,0006 * e^{(0,1185 * SV)}$$

K_0 : refiere a la descomposición de los sólidos volátiles (SV) en el tiempo, además es una cantidad adimensional, se cuantifica mediante caracterización en laboratorio.

Ecuación 9

$$U_0 = 0,013 * T - 0,129 \text{ (m}^3\text{/día)}$$

U_0 : crecimiento de la producción de metano con el cambio de temperatura por día (m³/día).

Ecuación 10

$$V_{CH_4} = P_{CH_4} * SV * (1 - (K_0/U_0 * TR - 1 + K_0)) \text{ (m}^3\text{ CH}_4\text{/día)}$$

TR: tiempo de retención celular en días.

T: temperatura en °C.

Caracterización fisicoquímica del sustrato

Previo y posterior al proceso de digestión anaerobia, se caracterizó el sustrato, los parámetros a analizar fueron: DBO, DQO, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos volátiles (SV), cenizas, pH, humedad, NPK. Para ello los métodos estándar para el análisis de aguas potables y residuales. Realizadas en el laboratorio de aguas de la facultad de Ciencias y laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

Resultados

En la granja pereciente al señor Alfonso Maroto se instaló un biodigestor tubular, que permite el manejo de 58, 3kg de excretas por día que generan 7 cabezas de ganado vacuno, de acuerdo con Hidalgo Osorio et al.(2018) este tipo de sustrato genera entre 0,18-0,4m³ de biogás por kg.

Debido a la amplitud térmica del área de estudio por encontrarse a una altitud de 3219msnm, presenta una temperatura ambiente promedio anual de 13,5°C con heladas frecuentes, que al determinar el tiempo de concentración celular es equivalente a 39 días (Figura1).

Manejo de excretas a través de biodigestor como medida de prevención de la contaminación de cauces naturales

La tabla N° 2 resume, todos los resultados obtenidos para el dimensionamiento e implementación del biodigestor, en la figura 2 se observa el biodigestor que fue instalado de acuerdo a los resultados obtenidos.

Tabla N° 2
Resultados de los cálculos de diseño del biodigestor

Parámetro	Resultado
Temperatura media ambiente	13,5°C
Tiempo de retención celular (TR)	39 días
Cantidad de sustrato (S)	58,3kg/día
Cantidad de agua en kg (H ₂ O)	58,3kg de agua; dilución 1:1 (Lara y Chimborazo, 2011)
Volumen líquido (V _l)	4,52 m ³
Volumen del biogás producido (V _g)	1,51m ³
Volumen total del biodigestor (V _{td})	6,03m ³
Diámetro del Biodigestor (D)	1,25m
Longitud del biodigestor (L)	4,7m
Volumen del reservorio de biogás (V _{Rv})	1,20m ³
Zanja para colocación del biodigestor	
Ancho del plástico	1,25m
a	0,4m
b	0,6m
p	0,7m

Figura N° 2

Biodigestor Instalado en el área de estudio



La zanja para el biodigestor comprende una excavación a 8,5m de distancia de la cocina de la familia beneficiaria y a 1,2m del establo de descanso. Para evitar bajas considerables de temperatura que afecten al proceso de digestión anaerobia se excavo una zanja con pajonal en la base y cubierta de plástico invernadero.

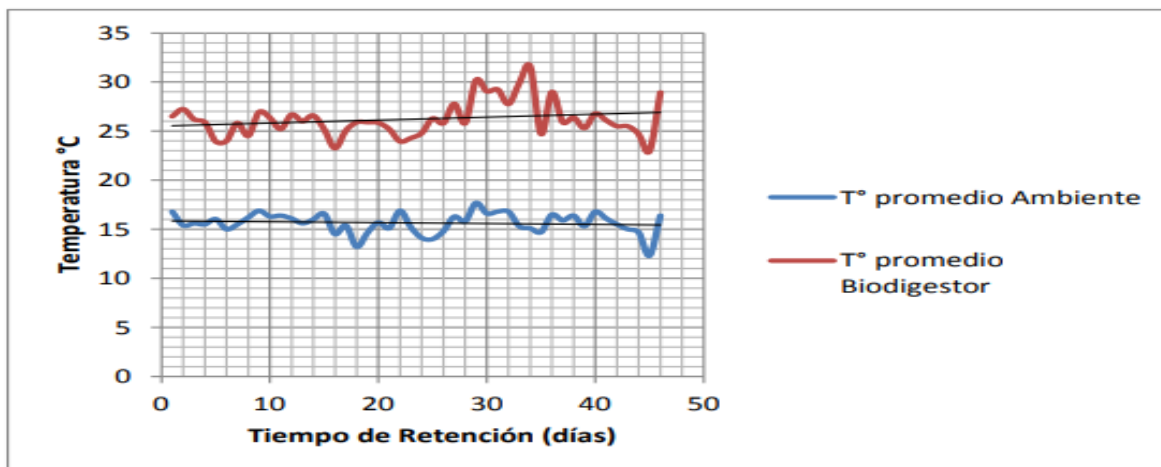
Dentro de la tubería de conducción del biogás, se colocó un filtro compuesto principalmente por limaduras de hierro previamente tratadas con solución HCl al 5% por 10 minutos y posteriormente con solución NaOH al 5%, de esta forma las virutas de hierro se transforman en óxido férrico (Fe_2O_3), compuesto que reacciona rápidamente con el H_2S .

Para asegurar el proceso de digestión anaerobia Hidalgo Osorio et al. (2019), indican que es importante cuidar el metabolismo de las bacterias, para lo cual se debió controlar en todo momento parámetros como temperatura y pH.

La temperatura promedio diaria dentro del invernadero vario entre 20-35°C, mientras que la temperatura ambiente entre 10-20°C, esta diferencia se debió al aislamiento térmico. La figura 3 muestra cómo fue la variación entre las dos temperaturas al largo de los días de retención celular.

Figura 3

Variación de la temperatura



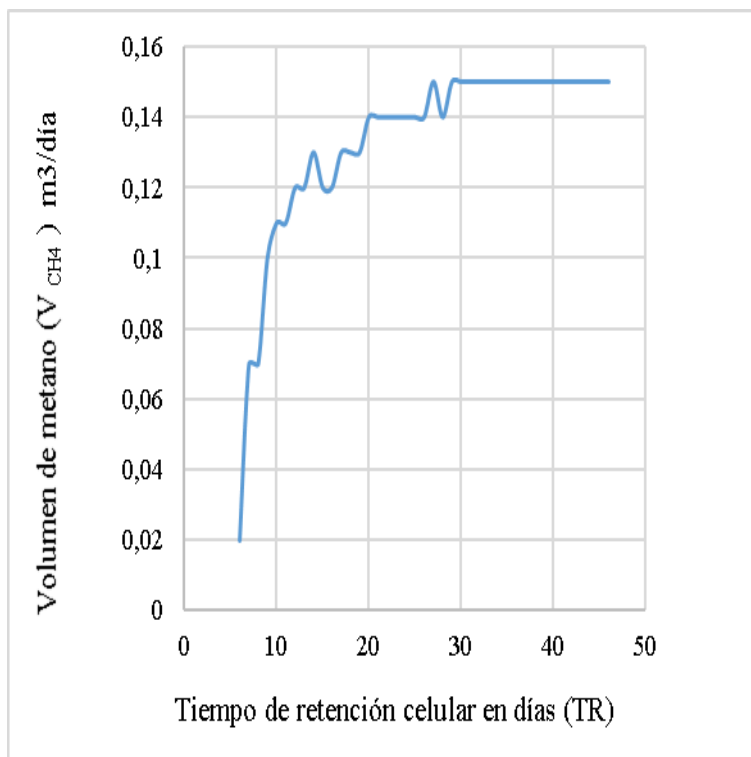
Fuente: Criollo Quizhpi y Guzmán Guaraca (2014).

El pH favorable para la formación de metano debe estar en un rango de 6 – 8, en nuestro caso estuvo entre 6,8 a 7,5. En uno de los días de retención el pH alcanzo un valor de 9, por lo cual se suspendió la carga por día y se pudo estabilizar.

La figura 4, muestra la cantidad de metano en m³/día que se genera durante el tiempo de retención celular. Los cálculos de producción de biogás, se realizaron a partir de la cantidad de sólidos volátiles (SV) 13852mg/kg, obtenidos al caracterizar el sustrato los valores de temperatura. Desde el día 6 empieza la producción de biogás, con incrementos regulares y caídas que coinciden con la disminución de la temperatura. Una vez que el biodigestor alcanzo el volumen máximo de biogás, se hizo pruebas de olor y llama. la producción diaria de biogás en días cálidos es de 1,5m³ que proporcionan 1.68 horas de llama encendida, consiguiendo hervir una olla con 40 litros de agua en 48 minutos.

Figura N°4

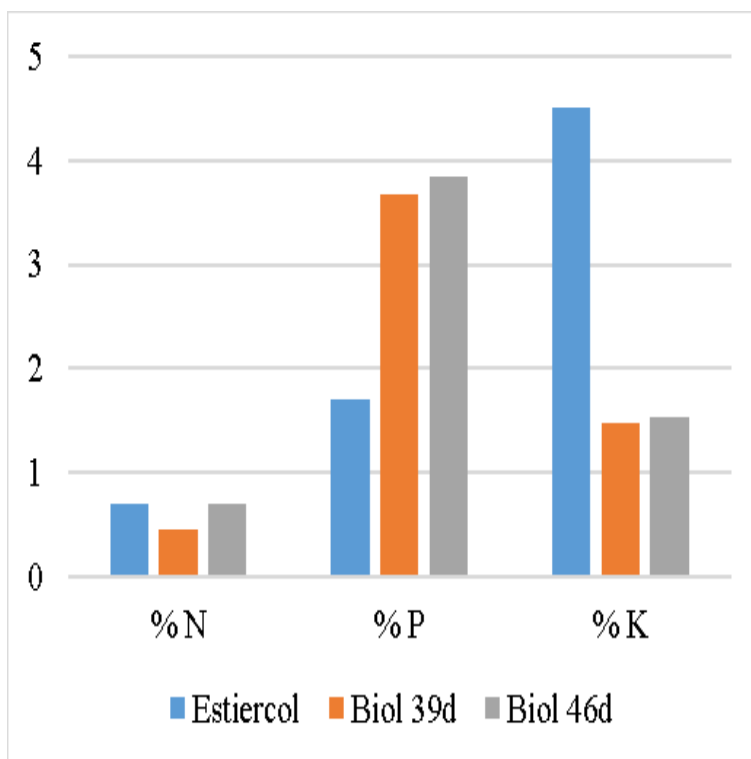
Producción de biogás



De la caracterización fisicoquímica del sustrato (estiércol de ganado vacuno), se destaca la disminución de la concentración de sólidos volátiles en un 96,2% del sustrato antes del proceso de digestión anaerobia y el biol de 46 días de retención.

Para evaluar la calidad del biol y nivel de descomposición se caracterizó la concentración de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), considerados como macronutrientes estructurales y, metabolitos secundarios importantes para las plantas y que por lo general se agrega al cultivo a través de fertilizantes (Pacak et al., 2015). Como se observa en la figura 5 el porcentaje N presenta menor variabilidad, el cambio se observa principalmente en el porcentaje de P y K. El aumento del fósforo se debe a que en el proceso de digestión anaerobia las bacterias liberan el fósforo almacenado en forma de polifosfato y la mayoría del presente en el tejido celular (Martí, Bouzas, Seco, y Ferrer, 2008). Respecto al porcentaje de potasio existe una disminución que se debe a su transformación por reducción biológica, que es asimilado por los microorganismos durante la digestión anaerobia.

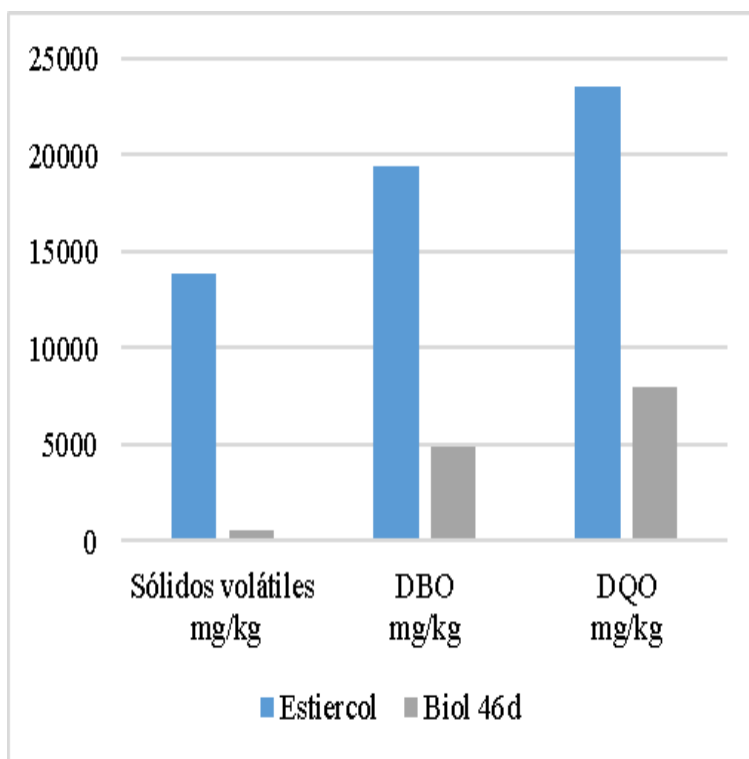
Figura N° 5
Caracterización de NPK



DBO y DQO son indicadores de la cantidad de oxígeno que se requiere para descomponer química o biológicamente la materia orgánica presente en el sustrato y que de ser descargado en efluentes como se realiza en ciertos criaderos de animales, estos parámetros son indicadores del nivel de contaminación del agua, ya que mientras más oxígeno se requiera se incrementa el grado de eutrofización del agua (Neváre et al., 2014). En la figura 6 se observa que el biodigestor constituye una tecnología eficiente y de bajo costo que contribuye a la disminución progresiva de la carga contaminante.

Figura N° 6

Caracterización de SV, DBO y DQO



Conclusiones

- El biodigestor tubular resulta una tecnología que de bajo costo que presenta múltiples beneficios como el generar biogás, obtención de biol con macronutrientes (NPK) asimilables para las plantas.
- La reducción de DBO, DQO y solidos nos indican su eficiencia e impacto en la prevención de contaminación de efluentes por descarga de materia orgánica.

A los 39 días del tiempo de retención celular se produjo una estabilización del biodigestor, validando de esta forma los requerimientos teóricos, y demostrando la posibilidad de producir biogás en comunidades ubicadas a más de 3000 metros de altura siendo viable por su bajo costo y fácil operación.

Referencias

1. Cáceres, J., y Gutierrez, J. (1985). Aumento de la producción de biogás del Digestor de la F.I.Z. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
2. Chen, Y. R. (1983). Kinetic analysis of anaerobic digestion of pig manure and its design implications. *Agricultural Wastes*, 8(2), 65–81. [https://doi.org/10.1016/0141-4607\(83\)90105-1](https://doi.org/10.1016/0141-4607(83)90105-1)
3. Criollo Quizhpi, E. C., y Guzmán Guaraca, A. C. (2014). Elaboración de un biodigestor piloto tubular para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno, en una vivienda de la comunidad de Tembo (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3398/1/236T0092.pdf>
4. FAO. (2016). División de Producción y Sanidad Animal. Retrieved from <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/Environment.html>
5. Gerardo, B., Nevárez, C., Frank, I., y Flor, I. (2014). Comportamiento de DBO 5 , DQO, NH 4 + y NO 3-, mediante el diseño de un Humedal Artificial Subsuperficial para depurar aguas residuales de origen doméstico Behavior of DBO 5 , DQO, NH 4 + , and NO 3-, through the design of a Subsurface Artificial Wetland . No, 13(3), 82–89.
6. Gobierno Autónomo Descentralizado de san Isidro de Patulú. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Rural San Isidro de Patulú GAD PARROQUIAL. Página 1 - PDF Free Download. Retrieved from <https://docplayer.es/52242512-Plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-parroquia-rural-san-isidro-de-patulu-gad-parroquial-pagina-1.html>
7. Herrero, M. (2019). Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación (Redbiolac, Ed.). Ecuador.
8. Hidalgo Osorio, W. A., Vásquez Carrera, P. J., Espinosa Cunuhay, K. A., y Morales Tamayo, Y. (2019). Desechos orgánicos que generan gas a través de un biodigestor diseño experimental en la parroquia Guasaganda de la ciudad de la Maná. *Ciencia Digital*, 3(2.6), 190–205. <https://doi.org/10.33262/CIENCIADIGITAL.V3I2.6.558>
9. Hidalgo Osorio, W. A., Vásquez Carrera, P. J., Jácome Segovia, D. F., Chanatasig Toapanta, H. M., y Rodríguez Pazmiño, N. R. (2018). Evaluación del potencial energético

- de la biomasa, para el aprovechamiento de la generación de gas metano (CH₄). *Ciencia Digital*, 2(2), 466–483. <https://doi.org/10.33262/CIENCIADIGITAL.V2I2.114>
10. Lara, S., y Chimborazo, M. (2011). Diseño de un biorreactor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación Tunshi-ESPOCH. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
 11. Martí-Herrero, J. (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. In *GTZ-Energía* (Vol. 53). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1048.6242>
 12. Marti, N., Bouzas, A., Seco, A., y Ferrer, J. (2008). Struvite precipitation assessment in anaerobic digestion processes. *Chemical Engineering Journal*, 141(1–3), 67–74. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2007.10.023>
 13. Martínez Solís, R. I. (2018). Simulación de la desulfuración de biogás por adsorción en un medio nanoparticulado de alta porosidad (CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S.C.). Retrieved from <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1929/1/MCTA18.pdf>
 14. Metcalf and Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización.*
 15. Milbrandt, A. (2013). Biogas Potential in the United States . National Renewable Energy Laboratory, 1–4. Retrieved from <https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60178.pdf>
 16. Obileke, K., Nwokolo, N., Makaka, G., Mukumba, P., y Onyeaka, H. (2020). Anaerobic digestion: Technology for biogas production as a source of renewable energy—A review. *Energy y Environment*, 32(2), 191–225. <https://doi.org/10.1177/0958305x20923117>
 17. Pacak, A. M., Goldbach, H., Xu, F., Margis, R., Kulcheski, F. R., Côrrea, R., ... De Lima, J. C. (2015). NPK macronutrients and microRNA homeostasis. *Frontiers in Plant Science* , 1–5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00451>
 18. Silva Rodríguez, C. A., Cevallos Moran, R. A., Sarabia Jarrin, M. S., y Boza Valle, J. A. (2016). Impacto en el medio ambiente de las actividades agropecuarias en el cantón El Empalme, Ecuador. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11763/CARIBE-2016-08-ganaderia>

19. Weinrich, S., Schäfer, F., Bochmann, G., y Liebetrau, J. (2018). Value of batch tests for biogas potential analysis Method comparison and challenges of substrate and efficiency evaluation of biogas plants. In IEA Bioenergy (Vol. 10).
20. Yanoy, I., Mesa, M., Moreno, V., Ii, M., Mogollón, A., y Ii, R. (2022). Dimensioning and Energy Potential of Biodigesters Installed in Productive Systems in the Department of Cundinamarca, Colombia. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 31(4). Retrieved from <https://rcta.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1654/3253>

©2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).