



Estudio de la cinética química para la obtención de biogás a partir de desechos orgánicos (residuos de frutas no cítricas y estiércol vacuno) para la validación del diseño y operatividad de un biodigestor didáctico anaerobio.

Study of the chemical kinetics for obtaining biogas from organic wastes (non-citrus fruit residues and cattle manure) for the validation of the design and operation of an anaerobic didactic biodigester.

Ing. Stefanie Michelle Bonilla Bermeo, Msc¹ ; Adrián Alexander Chica Mero² & Jamilet Viviana Vaca Chonillo³

Recibido: 21/07/2019 – Revisado: 02/09/2019 -- Aceptado: 17/12/2019

Resumen

En este proyecto se realiza el montaje de tres biodigestores (uno con agitación 43,10 L y dos sin ella 3 L), las materias primas son los residuos de frutas no cítricas (banana y papaya), inóculo y estiércol vacuno previamente homogenizadas y en diferentes porcentajes de concentración (relación estiércol-fruta es 80:20). Durante la fase experimental se efectuaron mediciones periódicas de las variables de control tales como pH, demanda química de oxígeno, temperatura y contenido de sólidos en los reactores. La velocidad de degradación se formula como la generación de biogás en diversas condiciones siendo la hidrólisis la etapa limitante del proceso, se obtiene un efluente rico en nitrógeno y biogás con mayor porcentaje en metano. El tiempo de residencia hidráulica es de 24 días, con base a los resultados de las mediciones experimentales y ajustes por el método integral por tanteo, se obtiene que la mezcla óptima para el proceso es la mezcla II, siendo una reacción de orden $n=1$ y la constante cinética es $k=0,0781 d^{-1}$. El objetivo del proyecto abarca el estudio de la velocidad de degradación de residuos de frutas no cítricas y estiércol vacuno con respecto a una serie de parámetros mencionados anteriormente.

Palabras claves: Biodigestor, degradación, biogás, cinética de reacciones, demanda química de oxígeno.

Abstract

This project is the assembly of three biodigesters (one with Agitation 43,10 L and two without it 3 L), the raw materials are the residues of non-citrus fruits (banana and papaya), inoculum and bovine manure previously homogenized and in different percentages of Concentration (manure-fruit ratio is 80:20). During the experimental phase, periodic measurements of control variables such as pH, chemical oxygen demand, temperature and solids content were carried out in the reactors. The rate of degradation is formulated as the generation of biogas in various conditions being hydrolysis the limiting stage of the process, we obtain an effluent rich in nitrogen and biogas with higher percentage in methane. The hydraulic residence time is of 24 days, based on the results of the experimental measurements and adjustments by the integral method by probing, it is obtained that the optimal mixture for the process is the mixture II, being a reaction of order $n=1$ and the kinetic constant is $k=0,0781 d^{-1}$. The objective of the thesis project includes the study of the rate of degradation of non-citrus fruit residues and bovine manure with respect to a series of parameters mentioned above.

Key words: Biodigester, degradation, biogas, reaction kinetics, chemical oxygen demand.

1. Introducción

El aumento de la población y el crecimiento económico de los estándares de vida aceleran la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) en los países en desarrollo [1],

considerando la contaminación ambiental originada por la incorrecta gestión de estos residuos puede provocar diversos problemas ambientales y de salud. Generalmente estos residuos son enviados al vertedero, incinerados para

¹ Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, stefanie.bonillab@ug.edu.ec

² Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, adrian.chicam@ug.edu.ec

³ Investigador independiente; chinajamilet@hotmail.com



producir energía, compostaje de residuos orgánicos y recuperados (reciclaje), existe otra solución para minimizar el impacto de los residuos sólidos urbanos para tratar la fracción orgánica de estos mediante la digestión anaerobia. Considerando que el 50-60% de los RSU es biomasa, caracterizada por poseer un alto porcentaje de materia biodegradable y agua [2].

El desgaste relevante de las circunstancias ambientales, durante las últimas décadas ha dirigido a las industrias a tener conciencia para implementar mecanismos que procuran satisfacer las necesidades en el consumo agrícola y ambiental de una manera estabilizada y eficaz procurando un ambiente sostenible para generaciones futuras [3].

La energía obtenida por los combustibles fósiles (la combustión del metano es la más limpia mejora la calidad de agua y aire) y biotecnología han sido de gran importancia en el impacto ambiental [4]

Actualmente, se visualiza el resurgimiento de las energías renovables convencionales: eólica, hidráulica, solar y biomasa. De acuerdo con los tratamientos de residuos sólidos que se emplean, no contribuyen con la reducción parcial de los sólidos generados en las actividades antrópicas, entre las energías alternas tenemos la generación de biogás, ya que se obtienen de la degradación anaerobia de los desechos orgánicos [5].

Los biodigestores son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales, permitiendo la obtención de energía limpia y de bajo costo mediante una fuente renovable, siendo una opción mejorada para el tratamiento de desechos orgánicos, permitiendo disminuir la presencia de contaminantes, mejorar la capacidad fertilizante del material (compost "bioabono"), eliminar los malos olores y generar biogás (combustible alterno) [6]. Además, el aprovechamiento del biogás impulsa la reducción de emisiones de gases de efecto de invernadero como metano (CH_4), cuyo potencial de calentamiento global es 23 veces mayor que el del dióxido de carbono (CO_2) [7]. Existen diversos métodos para la obtención de metano, de manera natural o artificial, mediante el uso de biodigestores como los desarrollados en China y la India, los cuales, en su mayoría son artesanales [8].

Ciertos países como Alemania y Francia aprovechan el biogás como combustible para motores, en Costa Rica y otros países en desarrollo, el uso del biogás es limitado empleado en forma directa para la combustión con fines de cocción e iluminación o de manera indirecta para alimentar motores de combustión interna que genera electricidad [9].

En Latinoamérica países como Bolivia, Honduras, Perú y Ecuador poseen proyectos para el desarrollo de tecnologías en el proceso de digestión anaerobia. En Ecuador hasta el 2013 se instalaron 23 biodigestores familiares en zonas rurales, para obtener biogás para la cocción de alimentos y bioabono en las provincias del Guayas, Esmeraldas, Imbabura y Cotopaxi [10].

La digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), se utiliza comúnmente y con éxito en los países industrializados, con soluciones de alta tecnología (sofisticadas y costosas) [11]. La mayoría de los diseños de digestión anaerobia con sistemas de bajo coste se han realizado en los países medios y bajos recursos destinados para el tratamiento de excretas de animales. El reporte de este tipo de diseños es muy amplio pero la información de la viabilidad técnica y operativa del tratamiento de residuos sólidos orgánicos es limitada [5].

El proceso de digestión anaerobia se efectúa dentro de un biodigestor, se producen reacciones bioquímicas y biológicas por la activación de los microorganismos en ausencia de oxígeno, dando inicio a tres fases respectivamente diferenciadas: hidrolítica, acidogénesis y metanogénesis, en cada fase se aprecian bacterias y sustancias responsables de degradación del sustrato [12]. Los parámetros de control nos permiten tener una mejor eficiencia del biogás, es de estricto control la temperatura (directamente proporcional a la producción de biogás), el pH, la agitación (crecimiento microbiano) y el tiempo de retención hidráulico. Se estima que el porcentaje de sólidos totales sea del 8 al 10% (vía húmeda) o superiores al 15% (vía seca). Para seleccionar los compuestos para la co-digestión, se considera la relación C/N evitando la presencia de inhibidores en el proceso [13].

El biogás es un 20% más ligero que el aire y tiene una temperatura de ignición en el rango de 650°C. Es un gas incoloro que quema con una llama azul clara similar a la del GLP. Su valor calorífico es de 20 MJ/m³ y se quema con el 60% de eficiencia en una cocina convencional de



biogás, puede tener diferentes usos o aplicaciones. Aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada [14]. El gas metano (componente del gas natural), tiene un lugar dominante en la matriz energética mundial, debido a sus propiedades intrínsecas que le proporcionan ser una energía óptima. En la combustión se genera pequeñas cantidades de emisión de gases contaminantes (Gases de Efecto de Invernadero “GEI”), siendo un excelente candidato para sustituir la gasolina en motores de combustión interna [15].

El presente trabajo tiene por objetivo validar el diseño y operatividad del biodigestor por medio de un estudio cinético para obtener biogás a partir de desechos orgánicos (residuos de frutas no cítricas y estiércol vacuno), al aplicar valores reales obtenidos con la demanda química de oxígeno semanalmente, se podrá realizar una gráfica DQO Vs tiempo, que permitirá determinar la constante de la velocidad y posteriormente conocer el orden de la reacción.

2. Materiales y métodos

La fase experimental se orientará al diseño y operatividad de un biodigestor didáctico anaerobio para obtener la cinética química de la digestión anaerobia a partir de desechos orgánicos (residuos de frutas no cítricas y estiércol vacuno).

2.1. Métodos estadísticos.

Se empleó métodos estadísticos descriptivos para:

- Tabular los valores seleccionados.
- Examinar los resultados conseguidos.
- Mostrar resultados en forma de tablas.

2.2. Métodos analíticos.

Se utilizarán para la valorización y recopilación de cada uno de los datos obtenidos dentro de la fase de experimentación.

Los métodos analíticos que se emplean son:

- Contenido de sólidos totales.
- Análisis de la demanda química de oxígeno (DQO).
- Contenido de sólidos volátiles.
- Sólidos disueltos.

2.3. Materiales.

En las siguientes tablas se describen, los materiales que se emplearon tanto como en la construcción del biodigestor y en el estudio de la cinética química de la digestión anaerobia:

Tabla 1. Materiales empleados en la construcción del biodigestor

Materiales empleados en la construcción del biodigestor		
Cant	N° Pieza	Descripción
1	Abrazadera pequeña	Acero inoxidable
3	Adaptadores de tanque de ½ in	Dos bridas PP con cauchos
1	Banda de lavadora	Caucho
1	Buñet	Caucho
2	Caucho	Caucho
1	Codo de 90°	PP
1	Llave de paso ½ in	Acero inoxidable
1	Llave de paso de ½ in	Acero inoxidable
1	Lona	1.50x50 cm
1	Manómetro ½ 0-30 psi	Aluminio, latón
4	Mariposas	Acero inoxidable
1	Motor de 1 hp	Acero inoxidable
4	Paletas	Nylon
12	Pernos	Acero inoxidable
2	Poleas diámetro de 5-10 cm	Acero inoxidable
2	Rulimanes 808	Acero inoxidable
1	Tanque de 58 L	PVC
1	Tapón de ½ in	Caucho
4	Teflón	PP
1	Termómetro bimetálico de 0-100C°	Acero inoxidable
1	Tubo transparente ¼ in	1 m LDPE
1	Válvula de globo 1 in	PVC

Fuente: (Chica, Adrián & Vaca, Jamilet, 2018)

Tabla 2. Materiales empleados para el estudio de la cinética química

Materiales empleados para el estudio de la cinética química		
Cant	N° Pieza	Descripción
2	Agitadores	Vidrio
4	Botellas plásticas de 0,5-1 L	PET
1	Caja de fosforo	Madera
1	Caja Petri	Vidrio
6	Capsulas de porcelana de 20 ml	Porcelana
1	Cocina de 1 hornilla	Vidrio
3	Equipos para sueros	Plástico
2	Espátulas	Acero
4	Jeringas de diferentes medidas	Plástico
1	Olla	Aluminio
1	Papel aluminio	Aluminio
1	Papel filtro	Papel
1	Pera	Goma
1	Piceta	Plástico
4	Pilas de reloj	Acero
2	Pinzas	Metálicas
6	Pipetas	Vidrio
6	Probetas de diferentes medidas	Vidrio
1	Silicona liquido	Silicón
6	Vasos precipitados	Vidrio

Fuente: (Chica, Adrián & Vaca, Jamilet, 2018)

3. Resultados

En el presente capítulo se analiza los datos recolectados del diseño experimental, de cada uno de los biodigestores anaerobios discontinuos de mezcla completa con y sin agitación, con distintas concentraciones para cada mezcla bajo las mismas condiciones ambientales, determinando por medio del análisis la mezcla con mayor porcentaje de remoción (conversión) así como la constante y velocidad de reacción, detectando la causa de la variación de resultados entre cada una de las mezclas.

3.1. Diseño de los experimentos y operatividad de los biodigestores.

Cada reactor operó por 24 días controlando parámetros de muestreo como son la temperatura, el pH, y la agitación por motor en el biodigestor de mayor capacidad; al finalizar el periodo de operación de los biodigestores anaerobios se receptaron datos finales como muestra la Tabla 3, se observó el mejor porcentaje de remoción de DQO es el de la segunda preparación, sin importar que tenga la misma concentración de sustrato orgánico que el primero, su eficiencia es mejor debido al pre-tamizado de la materia orgánica y el uso único de agua del propio inóculo, a pesar de no ser un tanque agitador. En cambio, se observó un descenso brusco del pH en la mezcla I en el quinto día a diferencia del descenso progresivo de la mezcla II y III, debido a una mínima fuga en la tapa del biodigestor anaerobio con agitación discontinua, lo que provocó la caída repentina del pH, que luego de ser corregida se observó un pH constante hasta el día 17 que desciende progresivamente como las demás mezclas, como se observa en la Figura 1.

Tabla 3. Caracterización de valores iniciales y finales de cada biodigestor

Propiedad	Unidad	Mezcla I	Mezcla II	Mezcla III
		33%	33%	31%
pH inicial	-	8	8	8
pH final	-	6,50	6,40	6,40
DQO inicial	mg/L	150000	110000	86000
DQO final	mg/L	60800	13002	11970
Remoción DQO	%	59,50	88,18	86,01

Fuente: (Chica, Adrián & Vaca, Jamilet, 2018)

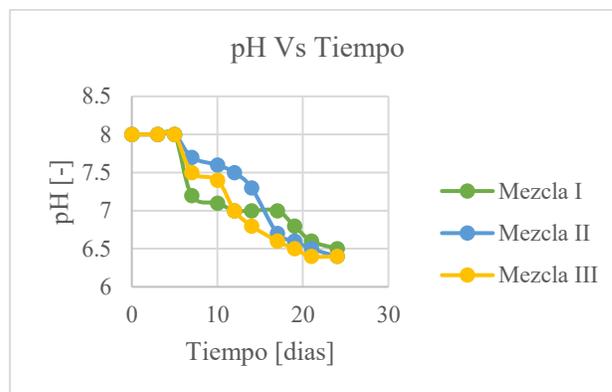


Fig. 1. pH Vs tiempo

Fuente: (Chica, Adrián & Vaca, Jamilet, 2018)

Al controlarse la temperatura constante diariamente, sin contar fines de semana en cada uno de los biodigestores no generó variaciones en los datos de muestreo, gracias al clima caluroso de la ciudad de Guayaquil; sin embargo, se observa en la Figura 2 la producción de gas en el tiempo de operación, como éste aumenta cada 2 o 3 días, evidenciada por su extracción gracias al sistema de desplazamiento volumétrico manual, en donde la mezcla III en relación a las dos primeras a partir del día 10 disminuyó el volumen de producción de gas metano, debido a la carga orgánica inicial del sustrato frutal no cítrico; mientras que la mezcla II presenta el mayor volumen acumulado de las tres mezclas.

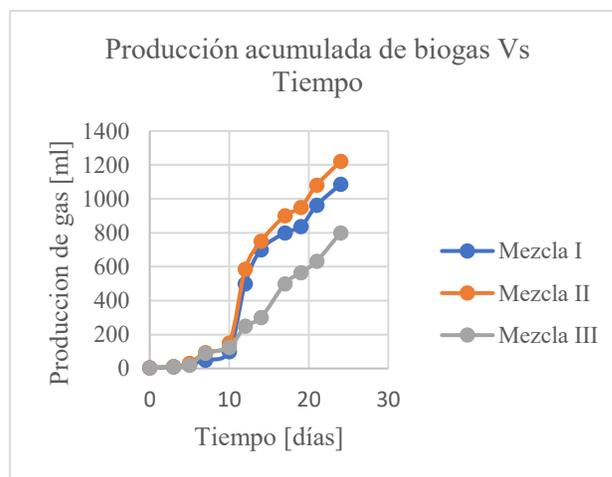


Fig. 2. Producción acumulada de biogás Vs tiempo

Fuente: (Chica, Adrián & Vaca, Jamilet, 2018)

3.2. Caracterización de biogás de las mezclas reactivas

La Tabla 4 muestra como las mezclas reactivas poseen un porcentaje de metano mayor al 70%, gracias al inóculo y carga orgánica preparada al inicio; la caracterización correspondiente se realizó gracias a la extracción de volumen de biogás (100 mL de biogás por cada mezcla), el mismo que al ser burbujado en hidróxido de sodio al 4% nos da un porcentaje de metano puro, y la diferencia del 100% del volumen burbujado, es el porcentaje de dióxido de carbono absorbido por la solución de hidróxido de sodio, siendo la mezcla II la mejor entre todas y reflejándose en la producción acumulada de biogás en la Figura 2.

Tabla 41. Composición del biogás producido en los biodigestores anaerobios

Mezcla reactiva	Porcentaje de metano (%CH ₄)	Porcentaje de dióxido de carbono (%CO ₂)
Mezcla I	75	25
Mezcla II	82	18
Mezcla III	70	30

Fuente: (Chica, Adrián & Vaca, Jamilet, 2018)

Posteriormente a determinar la composición del gas obtenido, se realizó la prueba de combustión del metano (análisis cuantitativo de quemado); consistió en quemar el metano con ayuda de una llama piloto (vela), formando una llama de color azul (propicia del CH₄), a continuación, se visualizan el gas obtenido de las tres mezclas:



Fig. 3. Porcentaje de las CH₄ obtenido de la mezcla I (0), mezcla II (1) y mezcla III (2)

Fuente: (Chica, Adrián & Vaca, Jamilet, 2018)



Fig. 4. Análisis cuantitativo de quemado de las mezclas
Fuente: (Chica, Adrián & Vaca, Jamilet, 2018)

3.4. Indagación de la mezcla óptima en los biodigestores discontinuos sin alimentación

La preparación de las mezclas iniciales de los biodigestores discontinuos sin alimentación (con y sin agitación) contribuye con la determinación de la mezcla óptima para el proceso de la digestión anaerobia, se basaron en el ajuste de dos parámetros (variación del porcentaje de los residuos de frutas no cítricas – parámetros de control como temperatura y agitación).

El volumen de operación de los biodigestores varía; en el biodigestor con agitación se diseñó para un volumen de operación de 43,10 L y los restantes para 3 L, funcionaron en un lapso de 24 días, donde se analizó el volumen acumulado de biogás producido, la elección de la mezcla óptima se basó en la cantidad de biogás producido considerando su composición (porcentaje mayor de CH₄).

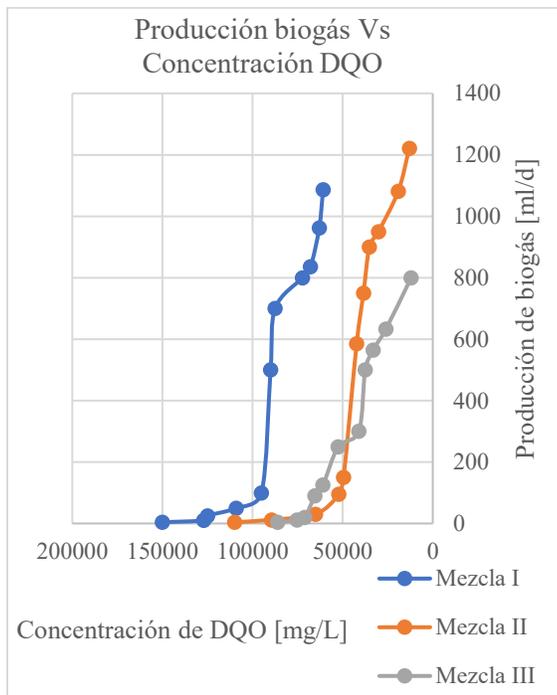


Fig. 5. Producción de biogás Vs concentración de DQO
Fuente: (Chica, Adrián & Vaca, Jamilet, 2018)

Al comparar la producción de biogás Vs disminución de la concentración de DQO como se visualiza en la Figura 5, la mezcla óptima se determina por los diferentes porcentajes de remoción de DQO en el mismo lapso teniendo el mayor porcentaje de concentración de sustrato orgánico con mejor homogenización con tamaño de partículas de 0,02 mm.

3.5. Ajuste a la ecuación de Monod.

Ajustando los datos recolectados a la ecuación de Monod según la ecuación 30 podemos obtener la ecuación linealizada matemáticamente para obtener la constante de Monod y la constante de crecimiento celular, como se presenta a continuación:

$$\frac{1}{C_A} = \frac{k_c}{K_s} t - \frac{1}{K_s} \quad (1)$$

Donde:

C_A : Concentración de DQO $\left[\frac{mg}{L}\right]$

k_c : Constante de crecimiento celular $[d^{-1}]$

K_s : Constante de Monod o saturación del sustrato $[mg/L]$

t : Tiempo $[d]$

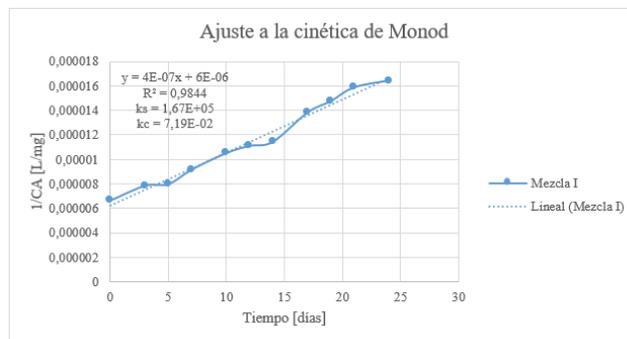


Fig. 6. Ajuste a la cinética de Monod para mezcla I
Fuente: (Chica, Adrián & Vaca, Jamilet, 2018)

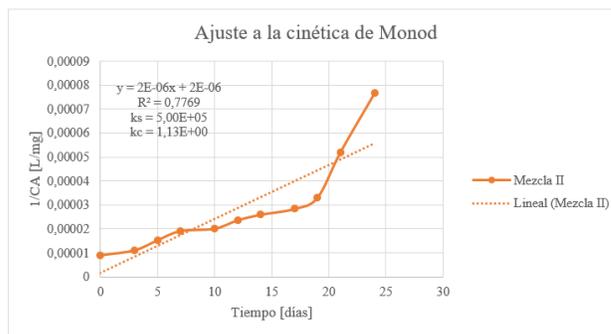


Fig. 7. Ajuste a la cinética de Monod para mezcla II
Fuente: (Chica, Adrián & Vaca, Jamilet, 2018)

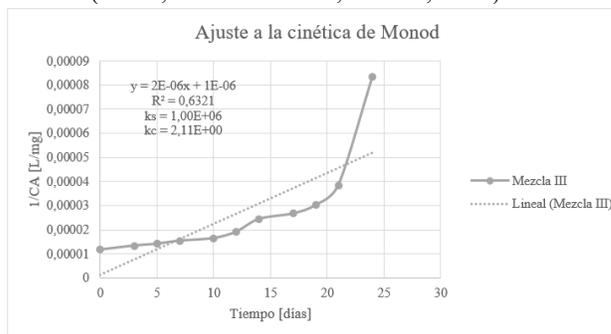


Fig. 8. Ajuste a la cinética de Monod para mezcla III
Fuente: (Chica, Adrián & Vaca, Jamilet, 2018)

El análisis evidencia que los datos de la mezcla I tienen mejor ajuste a la línea de tendencia por su coeficiente de determinación, pero que la mezcla III posee constante de Monod mayores que las tres mezclas, confirmando por elección que la mezcla II es la más aceptada y óptima por



su ajuste promedio a la cinética de Monod según lo observado en las Figuras 6, 7 y 8.

Tabla 5. Valores de las constantes cinéticas de la ecuación de Monod

Constantes	Unidades	Mezcla I	Mezcla II	Mezcla III
K_s	$\left[\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right]$	1,67E+05	5,00E+05	1,00E+06
k_c	$[\text{d}^{-1}]$	7,19E-02	1,13	2,11

Fuente: (Chica, Adrián & Vaca, Jamilet, 2018)

4. Conclusiones

Para obtener valores que contribuyan con el estudio cinético de la digestión anaerobia de residuos de frutas no cítricas y estiércol vacuno, se diseñó un biodigestor didáctico anaerobio de mezcla completa (con agitación), con un volumen de operación de 43,10 L (capacidad total del tanque 58 L) previo al estudio cinético para su respetiva validación en comparación con los biodigestores discontinuos sin agitación, con un volumen de operación de 3 L (capacidad del recipiente 4 L); debido a la complejidad de manipulación del volumen de operación del biodigestor, se replicó la formulación con previo tamizado y variando el porcentaje de concentración de sustrato frutal en los envases modificados y gracias a las pruebas hidrostáticas realizadas, se hermetizan los biodigestores con un margen de error observada en los primeros cinco días donde la mínima fuga de gas produce una demora en la estabilización hidrostática del proceso anaerobio comprobado en los parámetros de control (pH, DQO, etc.) analizados periódicamente.

Los principales parámetros de control que influyen en el crecimiento bacteriano fueron: la temperatura, el pH, la agitación, alcalinidad y relación de C/N, se inicia con una relación estiércol-fruta es 80:20; se consiguió controlar rigurosamente la temperatura y el pH, la agitación se realizó en un intervalo de cuatro horas (previo a la extracción de la muestra). Se logró mantener la temperatura en el rango de 30°C con ayuda del chaleco térmico. El pH descendió de manera progresiva hasta el rango establecido (8-6,40), alcanzando una disminución continua del DQO sin alteraciones o interferencias durante el tiempo de operación.

El estudio cinético de la digestión anaerobia del sustrato orgánico específico está basado en la degradación de DQO

durante la operatividad del biodigestor, al aplicar el método integral los datos recogidos se ajustan a la línea de tendencia reflejada en el R^2 más cercano a uno, resultando una cinética de orden uno bajo las mismas condiciones ambientales para cada uno de los reactores con distinta formulación de operación aplicada para cada mezcla, concluyéndose que la constante cinética está relacionada estrictamente al ajuste lineal del método aplicado y su coeficiente de determinación (el coeficiente cinético y el coeficiente de determinación son inversamente proporcional al orden aplicado en el método integral) dando como resultados valores de la constante cinética 0,039 d^{-1} (mezcla I), 0,0781 d^{-1} (mezcla II) y 0,0696 d^{-1} (mezcla III) con orden uno para cada mezcla, considerando como mezcla óptima la mezcla II. Debido al diseño experimental para un biodigestor anaerobio sin alimentación continua, los valores de concentración de DQO originaron una pendiente negativa con un valor de R^2 que no se aproxima a uno (0,17) al aplicar el método diferencial, concluyéndose que el método diferencial no es aplicable para diseños experimentales discontinuos con un periodo de operatividad y retención hidráulica de 24 días, sin generalización de réplica de experimentación para obtención de valores iniciales de cada experimento (biodigestores con alimentación continua).

La velocidad de degradación presente en el biodigestor anaerobio con y sin agitación se analizó en relación al periodo de operatividad, donde se observó una mejor velocidad de reacción para la mezcla II por su gran velocidad de remoción de la concentración de DQO durante los primeros cinco días, y luego esta disminuye progresivamente similar a las demás mezclas, concluyéndose que la velocidad de reacción depende de la concentración de materia orgánica de estiércol vacuno y residuos frutales no cítricos sin material inorgánico (piedras, tierra, etc.) reflejada en análisis de DQO, y estabilización inmediata del sustrato orgánico dentro de un biodigestor hermético con un estricto control de los parámetros (temperatura, pH, DQO, etc.) para evitar fugas mínimas (el ingreso continuo de oxígeno retrasa la fase de estabilización de la materia orgánica para la producción de biogás).



Referencias.

- [1] D. Almeida Streitwieser, D. A. Regalado y M. J. Ampudia, «Estudio de la co-digestión anaeróbica de desechos orgánicos agroindustriales,» vol. 2, n° 2, 2010.
- [2] S. Nogués, D. García y A. Rezeau, *Energía de la biomasa*, vol. I, C. d. t. d. - S. e. renovables, Ed., Zaragoza: Presas Universitarias de Zaragoza, 2010, p. 552.
- [3] F. D. Morla, O. Giayetto, G. A. Cerioni y E. M. Fernandez, «Crecimiento Y partición de biomasa de dos cultivares de maní (*Arachis hypogaea* L.) en distintas fechas de siembra en Río Cuarto, Córdoba (Argentina),» *European Scientific Journal*, vol. 12, n° 30, p. 19, 15 Octubre 2016.
- [4] M. Henze, G. A. Ekama y D. Brdjanovic, *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales, Principios, Modelación y Diseño*, M. Henze, G. A. Ekama y D. Brdjanovic, Edits., London: IWA Publishing, 2017, p. 592.
- [5] R. Río, C. Álvarez, E. Ayemerich, E. Bedmar y M. Carballa, *De Residuo a Recurso. El Camino hacia la Sostenibilidad*, vol. II, J. Moreno, R. Moral, J. Pascual y M. Bernal, Edits., Barcelona: Mundi-Prensa, 2014, p. 322.
- [6] O. Vega y M. Bolaños, *Uso y acceso a las energías renovables en territorio rurales*, O. Vega, Ed., San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2015, p. 50.
- [7] M. Caballero, S. Lozano y B. r. Ortega, «Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático,» *Revista Digital Universitaria*, vol. 8, n° 10, p. 11, 10 Octubre 2016.
- [8] P. Acevedo, «Biodigestores de doble propósito-producción e investigación para granja porcícola residuos,» *Revista ION*, vol. 19, n° 1, p. 60, 28 Agosto 2006.
- [9] J. Rico, «El biogás sigue frenado y el biometano disparado,» *Energías Renovables*, p. 6, 26 Marzo 2018.
- [10] J. Martí, «Desarrollo de la Investigación de biodigestores en Ecuador,» Quito, 2015.
- [11] E. Rozano y J. Dapena, *Tratamiento biológico de las aguas residuales*, vol. 1, J. Bravo, Ed., Barcelona: Ediciones Díaz de Santos, S.A., 2002.
- [12] A. Romero, «Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles,» *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 104, n° 2, p. 15, 2010.
- [13] L. Magaña, E. Torres y C. Sandoval, «Producción de Biogás a Nivel Laboratorio Utilizando Estiércol de Cabras,» *Acta Universitaria*, vol. 16, n° 2, p. 12, 2 agosto 2010.
- [14] M. Ampudia, *Investigación de la condiciones óptimas y de la cinética del proceso de biodigestión anaerobia de desechos orgánicos agroindustriales y estiércol vacuno*, Quito: Universidad San Francisco de Quito, 2011, p. 92.
- [15] J. Giraldo y L. Carmona, «El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo,» *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, p. 17, 2005.