

Potencial Bioquímico de Metano de Desechos Agroindustriales de la Bahía de Jiquilisco

M. D. Rovira, E. Navarro, M. Rodríguez, UCA.

Resumen—El Potencial Bioquímico de Metano de cinco desechos agroindustriales de la bahía de Jiquilisco fue determinado con el objetivo de evaluar su uso en biodigestores domésticos. Los desechos seleccionados fueron estiércol bovino, vísceras de pescado, pulpa y cáscara de mango, falso fruto de marañón y hojas secas de marañón. Para cada uno de ellos se recolectaron muestras frescas, que fueron sometidas a un pretratamiento para caracterizarlas y controlar la concentración a la cual fueron alimentadas a cada prueba BMP. Se adaptó una metodología para realizar la determinación del potencial de metano de los sustratos mediante las pruebas BMP debido a que no existe en la literatura un procedimiento estándar. La configuración del experimento consistió en botellas de vidrio de 160ml como biodigestores a microescala los cuales fueron alimentados con inóculo y sustrato a una concentración de 2g SV/100 ml de mezcla, luego fueron incubados durante 50 días, tiempo en el cual se determinó la producción de metano periódicamente. Al finalizar el periodo de digestión se realizó la medición de pH, humedad y sólidos volátiles al efluente de cada sustrato con el fin de determinar la eficiencia de la digestión o la presencia de algún tipo de inhibición. En las pruebas realizadas, el sustrato que presentó mayor potencial fue el estiércol bovino, las vísceras de pescado presentaron alta dispersión con una DER de 46.60% debido a su alta heterogeneidad ya que en ellas se incluyen todos los órganos de los peces de diferentes especies, el falso fruto de marañón presentó valores de producción significativos sin presencia de inhibición, en cambio en la digestión del mango se comprobó inhibición cuando se utiliza sustrato a una concentración de 2 g SV/100 ml de mezcla. Las hojas de marañón presentaron alta producción para ser un sustrato con alto contenido de lignina. El promedio de la producción de metano acumulado luego del periodo de incubación, reportado a condiciones estándar, fue 134.86, 5.53, 133.26 y 110.87 —para el estiércol, mango —, marañón 2— y hojas respectivamente.

Índice de términos—Bahía de Jiquilisco, digestión anaerobia, estiércol bovino, falso fruto de marañón, hojas de marañón, mango, potencial bioquímico de metano, vísceras de pescado.

INTRODUCCIÓN

La zona de la bahía de Jiquilisco es un área natural protegida de gran importancia para El Salvador debido a su gran extensión de bosque de manglar y a los múltiples servicios ecológicos que ofrece. Sin embargo existe presión sobre sus recursos, por ejemplo la extracción de leña del

bosque que es utilizada por sus habitantes como un recurso para obtener energía [1]. El uso de leña causa un impacto en el medio ambiente al generar deforestación y a la vez un problema de salud en la población ya que las emanaciones de gases de su combustión ineficiente pueden generar problemas respiratorios en la población expuesta por largos periodos.

Por otro lado la zona presenta una gran actividad agroindustrial centrado en la crianza de ganado, cultivo de mango, marañón, coco y alta actividad pesquera artesanal [1] que genera desechos, los cuales podrían ser utilizados como fuente de energía renovable que suministre a las personas la energía que necesitan sin deteriorar el ecosistema. Para transformar estos desechos en energía existen varios procesos pero uno interesante para el tipo de residuo generado en la zona es la biodigestión anaerobia que genera un gas rico en metano y CO₂ (biogás) que al ser quemado puede suministrar la energía suficiente para la cocción de alimentos que es el principal uso para el cual se utiliza la leña.

La biodigestión anaerobia es un proceso biológico que consiste en la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno por la acción coordinada de bacterias específicas, produciendo biogás como producto principal, y como producto secundario un efluente rico en nutrientes [2].

Este tipo de proceso biológico presenta ventajas respecto a otros procesos en cuanto a la generación de energía, ya que se generan cantidades significativas de biogás, su instalación es fácil y los costos de arranque y operación son bajos [2]. El proceso de biodigestión anaerobia se lleva a cabo en tres fases principales (Hidrólisis/Acidogénesis, Acetogénesis y Metanogénesis) en cada una de estas intervienen grupos de bacterias específicos para degradar la materia orgánica [2].

El Potencial Bioquímico de Metano (BMP por sus siglas en inglés) se refiere a la máxima cantidad de gas metano que puede generar un sustrato específico al ser degradado a condiciones anaerobias. Sirve para identificar los sustratos orgánicos que presenten los mejores rendimientos de producción de metano, las condiciones a las que deben ser alimentados y si alguno de ellos inhibe el proceso.

Existen muchos métodos para determinar el BMP de desechos orgánicos tal como los implementados en investigaciones realizadas por Hansen, 2004 [3]; Angelidaki,

2009 [4]; Mohapp, 2011 [5]; Esposito et al., 2012 [5]; Paepatung et al., 2009 [6] y la norma ASTM E2170-01 [8] En la mayoría, la metodología aplicada consiste en la toma de una muestra pequeña del desecho, la cual es introducida en un reactor junto con el inoculo proveniente de un biodigestor anaerobio a una concentración específica.[3].

El inoculo se refiere al lodo que contiene las bacterias anaerobias encargadas de llevar a cabo la digestión, este debe ser recolectado de una planta o de un biodigestor anaerobio funcionando a condiciones óptimas y a la temperatura a las cual se va a llevar a cabo la prueba BMP. Al momento de la recolección de los lodos debe medirse su pH y temperatura y mientras no son utilizados deben ser alimentados con una solución de fosfato de potasio anhidro, hidrógeno fosfato de sodio dodecahidratado, cloruro de amonio, cloruro de calcio dihidratado o cloruro de magnesio hexahidratado [8].

Al momento de utilizar los lodos, estos deben dejar de ser alimentados por lo menos 5 días antes de su uso con el objetivo de que el alimento que contenga el lodo sea degradado y no afecte la producción neta de biogás de cada sustrato [8].

La muestra es incubada durante un tiempo determinado con el objetivo de medir la generación de gas y posteriormente determinar la composición del mismo [3]. Una vez determinada la máxima cantidad de metano acumulado producido por el desecho, esta se reporta a condiciones estándar de temperatura y presión y es expresado en unidades de Sml CH₄/g SV alimentado [3]. Las diferencias fundamentales entre estos métodos radican en el volumen del reactor utilizado, el pre-tratamiento que recibe la muestra, la concentración del sustrato incubado, la temperatura de incubación y el periodo de digestión [3].

En la presente investigación se hizo una adaptación de las metodologías empleadas por Hansen et al., 2004 [3]; Angelidaky, 2009 [4] y la norma ASTM E2170-01 [8] y se

evaluó la máxima cantidad de metano acumulado o potencial de producción de metano de siguientes sustratos: estiércol bovino, vísceras de pescado, falso fruto de marañón, hojas de marañón y mango. Todos ellos desechos de gran abundancia en las actividades agroindustriales de la zona de la bahía de Jiquilisco.

MATERIALES Y MÉTODOS

A. *Materiales y equipo*

Para determinar el potencial bioquímico de metano de los cinco sustratos seleccionado se utilizaron los siguientes materiales y equipos de laboratorio.

- Botellas de vidrio de 160 ml con tapón septum fueron utilizados como reactores.
- Una incubadora a 35 °C para la incubación.
- Inóculo de una planta mesofílica
- Una jeringa de vidrio de 50 ml para la recolección de muestras de gas producido
- Una jeringa de vidrio de 100 ml para la recolección de muestras de gas producido
- Botellas de vidrio de 100 ml con tapón septum para colocar la solución de hidróxido de sodio.
- Solución de hidróxido de sodio a concentración de 134 g/l para absorber el CO₂ producido
- Mezcla de gases compuesta por 30% CO₂ y 70% N₂.

B. *Pre-tratamiento de la muestra.*

Se realizó la caracterización de cada uno de los sustratos determinando su humedad y contenido de sólidos volátiles utilizando el método estándar APHA2540 [9] con el objetivo de identificar la proporción de los mismos que están sujetos a pasar a la fase gaseosa generando biogás y determinar la masa de los mismos que serán alimentados a los reactores [10].

Para la alimentación en los reactores cada sustrato fue secado a una temperatura de 60 °C durante 8 horas, luego fueron triturados en un molino de martillo hasta un tamaño de

partícula de 2 mm [11]. Este último parámetro es importante ya que la estandarización del tamaño de partículas aumenta la reproducibilidad de las pruebas [4].

C. *Inóculo*

Para las pruebas realizadas se recolectó lodo anaerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales de una industria local. Al momento de la recolección se midió su pH y temperatura, luego fueron almacenados a 35 °C en una incubadora, debido a que no fueron utilizados inmediatamente durante el tiempo que estuvieron almacenados, se alimentaron cada dos días con 60 ml de sustituto de fórmula de leche materna hasta 5 días antes de su uso. Se utilizó el sustituto de fórmula de leche materna debido a que contiene los nutrientes necesarios para la supervivencia de las bacterias.

D. *Preparación de las pruebas BMP*

La prueba BMP fue llevada a cabo utilizando triplicados de reactores batch para cada sustrato para asegurar la reproducibilidad de los resultados [3]. En cada botella de 160 ml se introdujeron 80 ml de inóculo previamente mezclado para su homogenización como se muestra en la Figura 1, posteriormente se depositó una cantidad de sustrato deshidratado y tamizado, se aforó la botella con agua destilada hasta 100 ml, obteniendo una concentración final de 2 g de SV/100 ml de mezcla. Se utilizó esta concentración debido a que es poco susceptible a sufrir procesos de acidificación [3].



Fig. 1 Introducción de 80 ml de lodos anaerobios en la botella de 160 ml.

Para el caso de los sustratos falso fruto de marañón y mango además de las pruebas a una concentración de 2 g SV/ 100 ml de muestra, se colocaron para cada uno pruebas a 1 g SV/ 100 ml y a 0.5 g SV/ 100 ml ya que en un estudio preliminar se observó una posible inhibición.

Una vez alimentados los reactores, se burbujearon con la mezcla de gases compuesta por 70 % N₂ y 30% CO₂, para desplazar todo el oxígeno fuera de la botella y garantizar un ambiente anaerobio, posteriormente fueron tapadas con el tapón de hule y colocadas dentro de la incubadora a una temperatura de 35 las botellas dentro de la incubadora se pueden observar en la Figura 2 [3].



Fig. 2 Botellas dentro de la incubadora a una temperatura de 35 °C

Una hora después de haber sido colocadas, se pinchó el tapón de cada una para evitar cualquier exceso de presión y garantizar que la presión al interior de las botellas fuera la atmosférica [8]. Luego las botellas se incubaron durante 50 días [3].

Junto a las pruebas realizadas con los desechos se trabajó con un blanco de laboratorio en triplicado que contenía únicamente inóculo, este se puede observar después de los 50 días de digestión anaerobia en la Figura 3. Una vez obtenida la máxima cantidad de metano producida por las soluciones de sustrato e inóculo, se restó la cantidad de metano producida

por los blancos de laboratorio para obtener únicamente la producción del sustrato [4].



Fig. 3 Control de calidad del inóculo denominado blanco después de 50 días de digestión.

También se colocaron otras tres botellas con un control de calidad del inóculo, en este caso se utilizó celulosa proveniente de algodón comercial [11].

E. Cuantificación del metano producido.

Para cuantificar la cantidad de metano producido por cada sustrato, se pincharon con la aguja de una de las jeringas de vidrio graduadas, las botellas para extraer y contabilizar la producción de biogás, posteriormente este gas fue inyectado en una botella de 100 ml que contenía 50 ml de una solución de NaOH a 134 g/l de concentración, se agitó durante 5 minutos con el objetivo de absorber el CO₂ contenido en el biogás. Las botellas fueron pinchadas nuevamente obteniéndose el volumen de metano, la composición del mismo fue determinada como la división entre el volumen final extraído de la botella de 100 ml y el volumen inicial inyectado.

Durante los primeros días se realizó la recolección de datos diariamente, luego cada dos días y acercándose el final del periodo de digestión, dependiendo de la producción, se recolectaron datos con un mayor periodo de tiempo entre medición. Cada vez que se realizaron las mediciones se registraron datos de la temperatura y presión a la cual fue

realizada la medición con el objetivo de reportar los resultados a condiciones estándar [3].

Los resultados fueron corregidos restando la producción generada únicamente por el inóculo de la producción registrada anteriormente para obtener el metano acumulado producido por el sustrato.

F. Análisis después de la digestión.

Después de los 50 días de digestión, se realizó un análisis del efluente o remanente de cada botella el cual consistió en la determinación del contenido de humedad, sólidos volátiles y la medición del pH. La determinación de sólidos volátiles permitió conocer el porcentaje de sólidos volátiles iniciales que fue degradado por las bacterias, es decir, el porcentaje que fue convertido a biogás. La medición de pH es de mucha importancia ya que determina la acidez o basicidad del medio. Para la digestión anaerobia, la acidez es un indicador de fallo en el proceso, por esta razón los efluentes de los sustratos que presentaron pH inferior a 6 fueron sometidos a un proceso de destilación para determinar la cantidad de ácidos grasos volátiles, expresados como mg de ácido acético por litro, en la muestra.

G. Presentación de los resultados.

Los resultados se expresan como mililitros de metano acumulado corregidos a condiciones estándar por unidad de sólidos volátiles alimentados (——). Se muestran gráficos de los triplicados de series de datos de cada sustrato, cada serie de dato se nombra como CBMP 1, CBMP2 y CBMP3, es decir el Potencial de Biometano Corregido (CBMP, por sus siglas en inglés).

Para evaluar la precisión de los resultados obtenidos, se calculó la desviación estándar relativa de cada serie de triplicados. Este parámetro fue considerado como medición de la calidad de los resultados. Para que un dato sea tomado en cuenta la desviación estándar relativa debe ser menor a 20% [7].

Se presentan las gráficas de metano acumulado corregido a condiciones estándar de los triplicados de cada sustrato y control de calidad del inóculo. Los resultados de producción acumulada del inóculo se presentan como el promedio de sus triplicados. Además se presenta la caracterización del efluente de cada sustrato.

A. Resultados de blancos de laboratorio

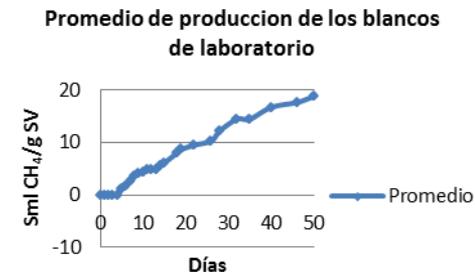


Fig. 4. Gráfico del promedio de producción de metano del blanco

En la Figura 4 se presenta la gráfica del promedio de los resultados de producción acumulada de los blancos de laboratorio. Puede observarse que la máxima producción promedio alcanzada fue 18.77 ———.

El porcentaje de desviación estándar relativa para esta serie de triplicados fue de 1.14%, lo cual indica alta precisión de los resultados. Fue este promedio el restado a los datos de producción acumulada de metano de cada serie de datos de los sustratos.

B. Resultados del estiércol bovino

En la Figura 5 se observa que los datos producidos por las pruebas CBMP 2 y CBMP 3 son casi idénticos, mientras que los datos de la prueba CBMP 1 son menores alejándose por un pequeño margen de las anteriores, ninguna de las tres series alcanzó el estado estable. La producción máxima de metano acumulado fue 143.57 — y la desviación estándar entre las series de triplicados fue de 10.13%, lo que indica que los datos recolectados son de buena calidad.

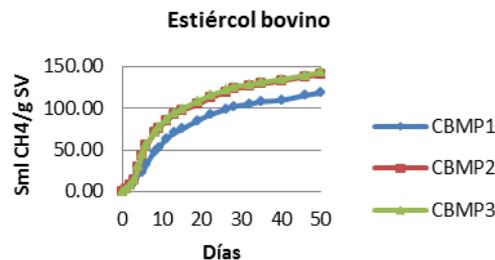


Fig. 5 Gráfico de la producción acumulada de metano de los triplicados de la prueba BMP para el estiércol bovino.

C. Resultados de las vísceras de pescado

En la Figura 6 se observa una alta dispersión entre las tres series de datos, ninguna de estas logró alcanzar el estado estable. La máxima cantidad de metano generado fue de 106.32 —.El porcentaje de desviación estándar fue de 46.60% por lo cual no se puede tomar un promedio de estos datos. La alta dispersión puede haberse ocasionado debido a la alta heterogeneidad de las muestras y al problema de secado y tamizado presentado por las mismas. Todos los sustratos excepto las vísceras de pescado fueron deshidratados y triturados con facilidad. Al deshidratar las vísceras de pescado a 60 se obtuvo una pasta que al ser triturada quedó pegada en el molino. Además, se sospecha la presencia de grasas provenientes de hígados, que no permitieron la completa remoción de humedad.

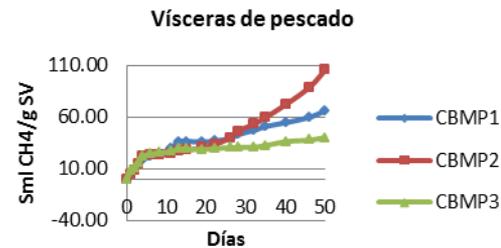


Fig. 6 Gráfico con los triplicados de la prueba BMP para las vísceras de pescado.

D. Resultados de hojas secas de marañón

Este sustrato fue analizado por duplicados. La Figura 7 muestra que durante los primeros 20 días del ensayo las pruebas produjeron cantidades similares de metano, retrasándose la prueba CBMP1 luego de este periodo. Ninguna de las series de datos alcanzó el estado estable. La máxima cantidad de metano generado fue de 115.09 — y la desviación estándar relativa fue 6.74% indicando poca variabilidad entre ambas pruebas.

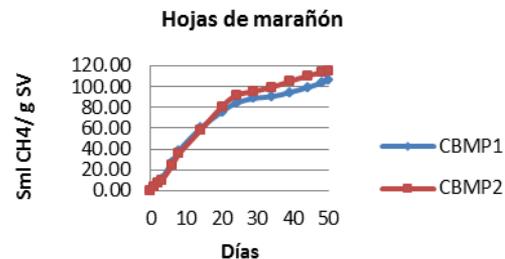


Fig. 7 Gráfico con los triplicados de la prueba BMP para las hojas secas de marañón.

E. Resultados del falso fruto de marañón

Para el caso del falso fruto de Marañón se realizaron pruebas a concentraciones de 0.5, 1 y 2 — debido a que en ensayos preliminares se observó la presencia de algún tipo de inhibición.

1) Concentración 0.5 —————:

En la Figura 8 se observa una alta producción durante los primeros 5 días llegando hasta un valor aproximado de 40 ———, luego de este periodo la producción fue menor logrando obtenerse un máximo en 56.53 ———.

La desviación estándar relativa fue de 3.18% indicando poca dispersión entre las series de datos. Se descarta la presencia de algún tipo de inhibición debido a la alta producción obtenida a esta concentración.

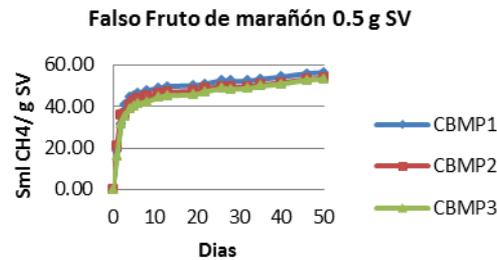


Fig. 8 Gráfico de falso fruto de marañón a 0.5 g SV/100 ml mezcla

2) Concentración 1 —————:

En la Figura 9 se observa que las series de datos CBMP 2 y CBMP3 presentan poca dispersión entre sí y que su producción acumulada al haber transcurrido 5 días de digestión fue elevada incrementándose hasta los 65———, mientras que la serie CBMP1 presenta menores valores de producción. Luego de este periodo la producción disminuyó considerablemente logrando alcanzar un máximo en 82.41———.

La menor producción presentada por la prueba CBMP 1 pudo haberse ocasionado por fugas de gas a través del Septum durante el proceso. La tendencia de las series de datos es ascendente estabilizándose alrededor de los 50 días. Se descarta la presencia de algún tipo de inhibición a esta concentración por la tendencia de las series y elevada producción. La DER fue 17.44 % por lo que los datos se consideran confiables.

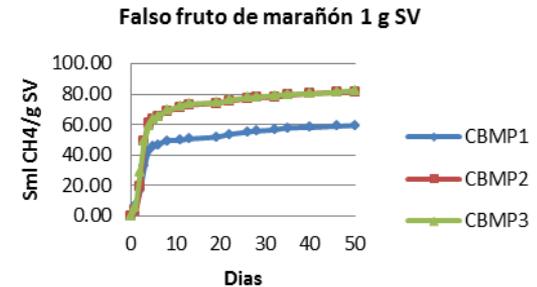


Fig. 9 Gráfico con los triplicados de la prueba BMP para el falso fruto de marañón a 1 g SV.

3) Concentración 2 —————:

La Figura 10 muestra las series de datos de las pruebas CBMP2 y CBMP 3, no se muestra la prueba CBMP1 debido a que el reactor explotó por la alta producción en las primeras 48 horas de digestión. Se observan una curvas ascendente con alta producción de gas sin alcanzar el estado estable con una DER de 0.49%, lo que indica la alta reproducibilidad del ensayo.

La máxima producción reportada fue 133———. Ambas series de datos presentan dos fases de producción, una abundante desde el día cero hasta el 19 logrando llegar a los 112 —— y una más lenta hasta llegar al valor máximo al finalizar el ensayo. Se descarta la presencia de algún tipo de inhibición por la alta producción y tendencia de las curvas.

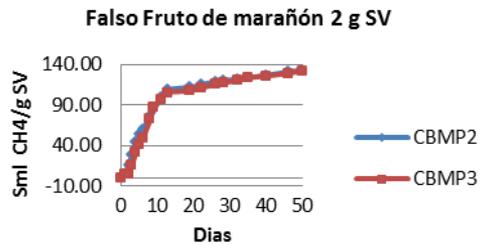


Fig. 10 Gráfico con los triplicados de la prueba BMP para el Falso fruto de marañón a 2 g SV.

F. Resultados del mango

La prueba de mango al igual que el falso fruto de marañón, se llevó a cabo a diferentes concentraciones para evaluar la presencia de algún tipo de inhibición.

1) Concentración 0.5 —————:

En la Figura 11 se observa que las series de datos CBMP1 y CBMP3 presentan poca dispersión entre sí y que su producción acumulada al haber transcurrido 5 días de digestión fue elevada incrementándose hasta los 42 ———, mientras que la serie CBMP2 presenta menores valores de producción. Luego de este periodo la producción disminuyó considerablemente alcanzando un valor máximo en 50.04 ———.

La tendencia de las series de datos es ascendente estabilizándose alrededor de los 22 días de digestión lo que indica el agotamiento del sustrato. La desviación estándar relativa fue de 10.77 % indicando que el promedio puede ser tomado en cuenta. Se descarta la presencia de algún tipo de inhibición por la tendencia de las series y la elevada producción obtenida.

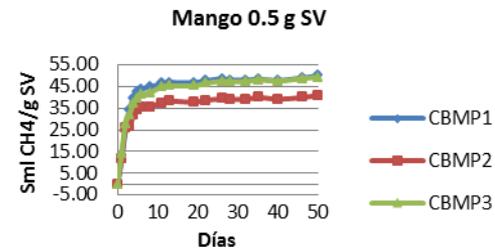


Fig. 11 Gráfico con los triplicados de la prueba BMP para el mango a 0.5 g SV.

2) Concentración 1 —————:

En la Figura 12 se observa que las tres series de datos presentan alta dispersión entre sí, con una DER de 19.49%, y que su producción acumulada al haber transcurrido 5 días de digestión fue elevada. Luego de este periodo la producción disminuyó considerablemente logrando alcanzar un máximo en 114.38 ———.

La menor producción por parte de las pruebas CBMP1 y CBMP3 pudo haberse ocasionado por fugas de gas durante el proceso a través de los tapones. La tendencia de las series de datos es ascendente sin lograr estabilizarse al término de los 50 días, lo que indica la ausencia de algún tipo de inhibición a esta concentración.

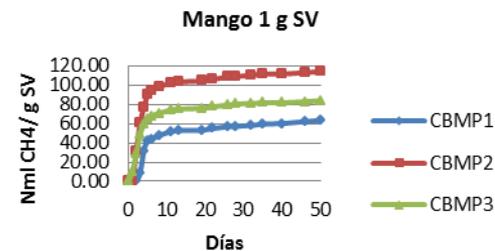


Fig. 12 Gráfico con los triplicados de la prueba BMP para el mango a 1 g SV.

3) Concentración 2 —————:

La Figura 13 muestra las series de datos de las pruebas, puede observarse la poca dispersión entre las pruebas CBMP1 y CBMP 3 y la alta dispersión entre la CBMP2 con las anteriores. Además, durante los primeros 5 días de digestión se obtiene una producción ascendente y luego de este periodo empieza a decaer hasta finalizar los 50 días. El máximo valor reportado fue 20.56 ——— y el mínimo -0.93 ———. Debido a la tendencia de las series de datos presentada, es decir, curvas ascendentes que luego de un periodo de tiempo decrecen, se corrobora la presencia de algún tipo de inhibición a esta concentración. La DER para las series de datos 1 y 3 fue 21.76%, a pesar de ser mayor de 20% fueron tomados en cuenta ya que no está muy alejados.

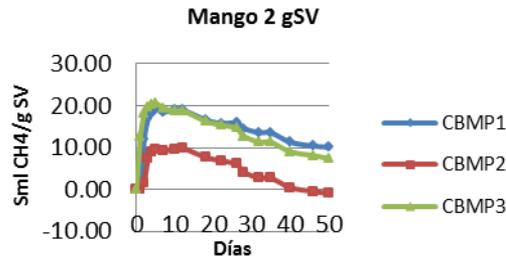


Fig. 13 Gráfico con los triplicados de la prueba BMP para el mango a 2 g SV.

G. Resultados del control de calidad

En la Figura 14 se observa que las series de datos muestran poca dispersión entre sí, con una DER de 3.95%. Las pruebas del control de calidad se realizan para verificar la calidad del inoculo, y puede verificarse que este se encontraba en óptimas condiciones, ya que presenta alta producción de metano con un valor máximo y mínimo de 222.37 ——— y 207.07 ——— respectivamente.

Control de calidad Celulosa

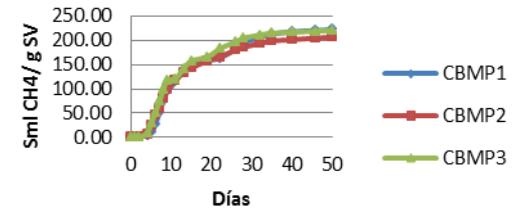


Fig. 14 Gráfico con los triplicados de la prueba BMP para el control de calidad.

H. Promedio de las series de datos de cada sustrato.

Un resumen del promedio de los datos de las series de datos de cada sustrato es presentado en la Tabla I.

TABLA I
PROMEDIOS DE PRODUCCIÓN DE METANO POR SUSTRATO.

| Sustrato | Sml CH ₄ / g SV |
|---------------------------------|----------------------------|
| Estiércol Bovino | 134.86 |
| Visceras de pescado | ----- |
| Hojas de Marañón | 110.87 |
| Falso fruto de marañón 0.5 g SV | 54.54 |
| Falso fruto de marañón 1 g SV | 74.57 |
| Falso fruto de marañón 2 g SV | 133.26 |
| Mango 0.5 g SV | 46.79 |
| Mango 1 g SV | 87.42 |
| Mango 2 g SV | 5.53 |
| Celulosa | 216.95 |
| Blanco | 18.77 |

El sustrato que obtuvo la mayor producción acumulada de metano fue el estiércol bovino seguido del falso fruto de marañón a 2 g SV/100 ml de mezcla. El sustrato mango a 2 g SV/100 ml de mezcla obtuvo la menor producción acumulada debido a la presencia de inhibición.

I. Análisis de los Efluentes.

Al finalizar los 50 días de digestión, el efluente de cada sustrato fue analizado para determinar su humedad, contenido de sólidos volátiles y pH, con el objetivo de conocer el porcentaje de degradación de materia orgánica y acidez o basicidad del medio. Las muestras reportadas con pH inferior a 6, fueron sometidas a un proceso de destilación para cuantificar los ácidos grasos volátiles presentes para identificar la presencia de inhibición en el proceso.

Con base en el porcentaje de sólidos volátiles iniciales y finales, se construyó la Tabla II que presenta el porcentaje de degradación de cada sustrato.

TABLA II
PORCENTAJE DE DEGRADACION DE LOS SUSTRATOS
DURANTE LA DIGESTION

| Sustrato | % de degradación |
|---------------------------------|------------------|
| Estiércol Bovino | 36.13 |
| Vísceras de pescado | 10.06 |
| Hojas de Marañón | 29.03 |
| Falso fruto de marañón 0.5 g SV | 49.08 |
| Falso fruto de marañón 1 g SV | 46.24 |
| Falso fruto de marañón 2 g SV | 42.44 |
| Mango 0.5 g SV | 50.25 |
| Mango 1 g SV | 49.27 |
| Mango 2 g SV | 38.99 |

Se observa que el sustrato más degradado fue el Mango a 0.5 g SV y el menos degradado fue el sustrato vísceras de pescado.

La Tabla III presenta el pH promedio del efluente de cada sustrato.

TABLA III
PH PROMEDIO DE LOS EFLUENTES

| Sustrato | pH |
|---------------------------------|------|
| Estiércol Bovino | 7.04 |
| Vísceras de pescado | 6.92 |
| Hojas de Marañón | 7.14 |
| Falso fruto de marañón 0.5 g SV | 7.12 |
| Falso fruto de marañón 1 g SV | 7.12 |
| Falso fruto de marañón 2 g SV | 7.11 |
| Mango 0.5 g SV | 7.09 |
| Mango 1 g SV | 7.11 |
| Mango 2 g SV | 5.05 |

Se observa que únicamente el sustrato Mango a 2 g SV presentó pH menor de 6, indicando acidez de la solución, por lo que se le realizó una destilación para determinar la concentración de AGV reportados como mg de ácido acético por litro siguiendo el método estándar APHA 5560 [9] obteniendo el resultado promedio de 1620.8 mg de ácido acético por litro.

El rango de concentración de ácido acético en el cual puede llevarse a cabo el proceso es de 50-500 mg ácido acético por litro, a este rango no se presenta acidez por exceso de AGV [12]. Dado que el valor obtenido por el Mango a 2 g SV supera este rango, se verifica la presencia de inhibición por acidez en el proceso.

CONCLUSIONES

El sustrato que presenta el mejor resultado en la prueba de producción de metano fue el estiércol bovino (134.86 mg/L), por tanto es el sustrato más viable a utilizar en un biodigestor doméstico, el segundo sustrato más viables es el falso fruto de

marañón a una concentración de 2 g SV/100 ml de mezcla (133.26 —), después lo siguen las hojas secas de marañón (110.87 —), luego el mango a una concentración de 1 g SV/100 ml (87.42 —) de mezcla y por último las vísceras de pescado de las cuales no se calculó su promedio por su alta dispersión.

El resultado obtenido de la degradación de las hojas secas de marañón indica que es un sustrato viable para el proceso a pesar de que en la literatura se menciona que las bacterias anaerobias no son capaces de digerir la lignina presente en ellas [13].

Se observa que el falso fruto de marañón no presenta inhibición por acidez.

El mango a 2 — presentó inhibición por exceso de materia orgánica lo que produjo una producción excesiva de ácidos grasos volátiles disminuyendo el pH dentro del reactor.

Las vísceras de pescado presentan un comportamiento muy disperso debido a la alta heterogeneidad de la muestra, además es un sustrato de difícil digestión, las bacterias lograron degradar únicamente un 10% de los sólidos volátiles alimentados.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen la contribución de la Unión Europea en el desarrollo del proyecto “Potencial de la biomasa como fuente de energía en la zona de la bahía de Jiquilisco” ya que una parte de esta investigación dio cumplimiento a uno de los objetivos de este proyecto. Y al departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales de la Universidad Centroamericana UCA por llevar a cabo esta clase de proyecto.

- [1] UNESCO/MARN, “Reserva de Biosfera Xiriualtique-Jiquilisco bahía de las estrellas” El Salvador ,2007.
- [2] Carnerio T.F. [2005] Digestión Anaeróbica Termofílica Seca de Residuos Sólidos Urbanos. Trabajo de Graduación presentado para optar al grado de Doctor en la Universidad de Cadíz, Cadíz, España.
- [3]Hansen T.L., J. E. Schmidt, I. Angelidaky, E. Marca, J. E. Jansen, H. Mosbaek y H. Christensen [2004] *Waste Management*, Method for Determination of Methane Potential of Solid Organic Waste.**24**,393-400.
- [4] Angelidaky I., M. Alves, D. Bolsonella, L. Borsacconi, J.L. Campos, A. J. Guwy, S. Kalyuzhnyi, P. Jenicek y J.B. Van Lier[2009] *Water Science and Technology*, Defining the Biomethane Potential (BMP) of solid organic waste and energy crops: a proposed protocol for batch assays.**59**, 929.
- [5] Mohapp, Nikky [2011] Biochemical Methane Potential of Municipal Solid Waste and Biosolids.
- [6] Esposito, G., L. Frunzo, F. Liotta, A. Panico y F. Pirozzi. [2012] *The Open Environmental Engineering Journal*. Bio methane potential test To Measure the Biogas Production from The Digestion and Co Digestion of Complex Organic Substrates, **5**, 2.
- [7] Paepantung N., A. Nopharatana y W. Songkasiri [2009] *Asian Journal on Energy and Environment*.Bio Methane Potential of Biological Solid Material and Agricultural Wastes.**10**. 22.
- [8] American Society for Testing and Materials (ASTM), Standard Test Method for determining Anaerobic Biodegradation Potential of Organics Chemical Under Methanogenic Conditions. E-2170. 2001.
- [9] A.D. Eaton, L.S Clesceri, A.E. Greenberg. Standar Methods Examination of Water and Waste Water [APHA].1995.
- [10] Martí J. [2008] Guía de Diseño y Manual de instalación de Biogestores Familiares. GTZ PROAGRO, Bolivia.
- [11] Gunaseelan V. N. [2004] *Biomass and Bioenergy*, Biochemical Methane Potencial of fruits and vegetable solid waste feedstocks, **26**, 389-399.
- [12] E. Montes “Estudio Técnico Económico de la digestión Conjunta de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos y Lodos de Depuradora para la Obtención de Biogás” Trabajo de Graduación para la obtención del grado de Doctor, Universidad Politécnica de Madrid.
- [13] Ortega N.M., “PhophorusPrecipitation in AnaerobicDigestionProcess” Florida, Estados Unidos de America, 2006.

BIOGRAFÍAS

Alejandra Navarro. Nació en San Salvador, El Salvador, el 24 de abril de 1990. Participó en el programa Jóvenes Talento de la Universidad Nacional de El Salvador en los años 2002-2007. Realizó sus estudios de educación media en el Instituto

Nacional General Francisco Morazán obteniendo el título de Bachiller General en el año 2006, sus estudios de educación superior fueron realizados en la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” obteniendo el título de Ingeniera Química en el año 2012.

Participó en la ejecución del proyecto “Potencial de la Biomasa como Fuente de Energía en la zona de la bahía de Jiquilisco” realizado por el departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales de la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” y financiado por la Unión Europea. Sus campos de interés de especialización incluyen la energía renovable, medio ambiente y polímeros.

Mario Rodríguez. Nació el 20 de Septiembre de e1988 en San Salvador, El Salvador. Realizó sus estudios de educación media en el colegio Externado San José obteniendo el título de Bachiller General en el año 2006. Sus estudios de educación superior fueron realizados en la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” UCA obteniendo el título de Ingeniero Químico en el año 2012.

Participó en el proyecto “Potencial de la biomasa como fuente de energía en la zona de la bahía de Jiquilisco” del cual se derivó su trabajo de graduación. Su campo de interés es el área medio ambiental, tanto en las emisiones atmosféricas de fuentes fijas, como el tratamiento de aguas residuales industriales.

María Dolores Rovira. Nació el 1 de Noviembre de 1977, Realizó sus Estudios de Educación media en el Liceo Francés de San Salvador “Antoine et Consuelo Saint-Exúpery” obteniendo su título en el año 2001. Sus Estudios de Educación Superior fueron realizados en la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” UCA obteniendo el título de Ingeniera Química en el año 2002. Luego realizo sus estudios de Maestría en Tecnología Química en el Instituto

Químico de Sarriá (IQS) de la Universidad RamonLull finalizando en el año 2004.

En el año 2010 obtuvo su título doctoral de la Universidad Ramón Lull con la tesis de investigación “La mejora del cultivo del camarón marino (penaeus Vannamei) en la bahía de Jiquilisco, El Salvador”. Actualmente desempeña el cargo de Coordinadora de la carrera Ingeniería Química de la Universidad “José Simeón Cañas” UCA. Así como también es catedrática del Departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales de dicha Universidad.