

Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago

Biogas production from biodegradable wastes at Tecnológico de Costa Rica, Main Campus in Cartago

Marianela Ávila-Hernández¹, Rooel Campos-Rodríguez²,
Laura Brenes-Peralta³, María Fernanda Jiménez-Morales⁴

Fecha de recepción: 3 de agosto de 2017
Fecha de aprobación: 21 de noviembre de 2017

Ávila-Hernández, M; Campos-Rodríguez, R; Brenes-Peralta, L; Jiménez-Morales, M. Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago. *Tecnología en Marcha*. Vol. 31-2. Abril-Junio 2018. Pág 159-170.

DOI: 10.18845/tm.v31i2.3633



- 1 Estudiante Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: nelita.2504@gmail.com
- 2 Doctor en Ciencias Naturales para el Desarrollo Tecnológico de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: rocampos@tec.ac.cr.
- 3 Máster en Gerencia y Gestión Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: labrenes@tec.ac.cr
- 4 Máster en Sistemas Modernos de Manufactura. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: maria.jimenez@tec.ac.cr

Palabras clave

Biodigestor; Digestión Anaerobia; Residuos Sólidos Biodegradables; Biogás.

Resumen

En el Campo de Prácticas Docentes e Investigación Agropecuaria de la Escuela de Agronegocios en el Tecnológico de Costa Rica, se instalaron cuatro biodigestores a escala. Se alimentaron con residuos sólidos biodegradables generados en el restaurante institucional, y otras mezclas, para evaluar la producción de biogás. El primer biodigestor contuvo solamente 8,1 kg de residuos; otro 8,1 kg de residuos con 5 mL Índigo® (un acelerador de la degradación de la materia orgánica); el tercer biodigestor 1,5 kg de granza de arroz más 4,05 kg de residuos y por último, se hizo una mezcla con 0,4 kg de pasto trasvala (*Digitaria decumbens*) con 4,05 kilogramos de residuos. Luego, se realizaron mediciones de temperatura al menos cuatro días a la semana con un termómetro infrarrojo modelo 62 Max +, marca Fluke y se monitoreó la producción de burbujas durante 37 días de retención; ya que estas son un indicador de la generación de gas.

El promedio de residuos sólidos biodegradables generado en el restaurante institucional fue de 229,16 kg por día. Al final del periodo de evaluación, se determinó que la temperatura de los cuatro biodigestores se mantuvo en el rango mesofílico de 20 °C a 40 °C. Además, la relación C/N de los residuos analizados fue de 11,26, que se considerada baja. También, el porcentaje de materia orgánica fue superior al 50 % y el pH fue cercano al ideal con un valor de seis. El biodigestor que generó mejores resultados fue la mezcla con Índigo®.

Keywords

Biodigestor; Anaerobic Digestion; Biodegradable solid waste; Biogas.

Abstract

The Project began with the establishment of four experimental biodigestors at the Agricultural Research and Practice Centre (Campo de Prácticas Docentes e Investigación Agropecuaria) from the Agribusiness School at Tecnológico de Costa Rica.

Biodegradable solid waste from the institutional restaurant was supplied to evaluate biogas production. One of the biodigestors received only wastes, 8,1kg in total. The other one contained 8,1 kg of waste and 5 mL of Índigo® (an organic waste degradation booster), the third one contained 1,5 kg of rice husk and 4,05 kg of waste. The last one had a mixture of 0,4 kg “trasvala” grass (*Digitaria decumbens*) and 4,05 kg of waste. The temperature was measured at last four days per week with an infrared Fluke thermometer, model 62 Max +, and bubble production was monitored for a 37 day retention period, since this is a biogas production indicator.

The institutional restaurant reported an average of 229.16kg of solid biodegradable wastes. By the end of the evaluation period, it was determined that the temperature in the four biodigestors was maintained in a mesophilic range from 20°C to 40°C. The C/N ratio of the analyzed residues was considered low, reported at 11,26. The organic material was higher than 50% and pH was reported to have a value of six. The biodigestor that had the better results was the one that included Índigo®.

Introducción

Los residuos sólidos orgánicos se pueden transformar, por medio de la acción de microorganismos, en una mezcla de gases llamada biogás. Esta mezcla de diferentes gases se produce por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, principalmente formada por metano (CH_4). Asimismo, es un combustible ecológico, puesto que, al quemarse, produce monóxido de carbono y agua. Este primero sale a la atmósfera, donde es captado por plantas para producir carbohidratos mediante la fotosíntesis [1].

Asimismo, la digestión anaeróbica puede desarrollarse en sistemas denominados biodigestores, los cuales se definen como una cámara hermética en que se dispone la materia orgánica en condiciones anóxicas, para que se pueda llevar a cabo la fermentación. Esta última consiste en la descomposición bioquímica de la biomasa [2].

En el proceso de biodigestión las reacciones bioquímicas son llevadas a cabo por distintas familias de microorganismos y se da en cuatro etapas. La primera etapa es la hidrólisis [3]. En esta etapa las bacterias formadoras de ácidos, hidrolizan las moléculas complejas del material orgánico para producir ácidos grasos y alcohol. En el segundo periodo las bacterias acetogénicas generan acetato e hidrógeno. El tercer grupo de bacterias, denominado homoacetogénicas son las encargadas de convertir un amplio espectro de compuestos orgánicos en ácido acético. En la última etapa, las bacterias metanogénicas, tienen la capacidad de digerir el ácido acético y transformarlo en metano y dióxido de carbono, la base principal del biogás.

El buen funcionamiento de los biodigestores puede verse afectado por la temperatura, el pH, el tiempo de permanencia o retención y el tipo de inóculo que se utilice. Estas variables influirán en el rendimiento de la generación de biogás. El rango de temperatura más utilizado es el mesofílico que va de 20 °C a 35 °C [4]. Además, el pH debe mantenerse lo más neutro posible, ya que la mayor cantidad de microorganismos se desarrollan mejor bajo estas condiciones [2]. En cuanto al tiempo de retención, este factor está relacionado con la temperatura ambiente promedio del lugar. Cuando es alta se puede aplicar un tiempo de permanencia corto en el biodigestor y viceversa [5].

Metodología

Generación y composición química de los residuos biodegradables

El estudio de generación se llevó a cabo mediante el pesaje diario de los residuos sólidos biodegradables generados en la soda institucional del Tecnológico de Costa Rica (TEC), durante cinco días.

Para la determinación de la composición química de estos residuos, se tomó una muestra compuesta y se envió al Laboratorio del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y, posteriormente, se procedió al análisis de la información.

Construcción e instalación de los biodigestores

Los cuatro biodigestores se instalaron en el campo de prácticas de la Escuela de Agronegocios del TEC, en la provincia de Cartago, a una altura de 1 395 msnm, donde imperó una temperatura ambiental promedio de 20,4 °C [6].

Se construyeron biodigestores, en tanques de una capacidad de 132 L, aproximadamente, con tapa y cincha o cinturón. Además, se hizo una perforación en el centro de cada tapa para colocar una tubería en PVC con una tee en 1/2". Ahí se instaló un manómetro de escala 0 – 100

PSI y una llave de paso, en la cual se ligó la manguera que llega a la botella con agua. Por último, para sellar la tapa y evitar la fuga de biogás se agregó silicón transparente.

Carga del biodigestor y evaluación del curso de la reacción

Los biodigestores se cargaron con los residuos sólidos biodegradables del restaurante institucional del TEC. Se construyeron cuatro biodigestores, uno para cada tratamiento. Para el tratamiento que solamente tuvo residuos se agregaron 8,1 kg. En el segundo digestor se colocaron 8,1 kg de los residuos con cinco mL de Índigo® (un acelerador de la degradación de la materia orgánica), se mezcló bien y se tapó. A la mezcla que se realizó con 400 gramos de pasto se le agregó 4,05 kg de residuos y se homogenizó bien antes de sellar el tanque. Y, por último, a la mezcla que contuvo granza de arroz, se le agregó 4,05 kg de residuos de con 1,5 kg de granza y, se mezcló para homogenizar los productos. Los pesajes se llevaron a cabo con una romana marca Ohaus serie Aviator™ 2000.

Todos los biodigestores quedaron con un 80 % de espacio libre con el propósito de que funcionaran como cámara de gases. El biogás generado se trasladó por medio de la manguera a la botella con agua.

Se determinó un monitoreo de, al menos, cuatro veces por semana, donde se observó la cantidad de burbujas generada en la botella instalada con agua. También, se realizaron las mediciones de temperatura con un termómetro infrarrojo, modelo 62 Max +, marca Fluke Las mediciones se llevaron a cabo durante 37 días.

Selección de la mezcla

La metodología usada para la selección de la mezcla con mejor rendimiento se hizo mediante lo observado en el campo durante la experimentación. También se tomó en cuenta aspectos técnicos, económicos y ambientales.

Resultados y discusión

Generación de residuos biodegradables

El promedio de residuos biodegradables fue de 229,16 kg por día. Este podría variar dependiendo del menú que se establezca. Por ejemplo, los días que se preparan vegetales con cáscaras, habrá mayor cantidad de residuos no comestibles. Además, se debe contemplar el producto de rechazo detectado antes de ingresar en el proceso.

El cuadro 1 resume los lugares destinados para la medición con su respectivo valor en kg, durante los cinco días de muestreo.

Los residuos de preparación no comestible son los que se generan en mayor cantidad, debido a que los productos que se utilizan, en su mayoría, necesitan pelarlos antes de su cocción.

Ahora bien, en cuanto a los que potencialmente eran comestibles, y definidos como pérdida y desperdicio de alimento, se estima que se está dando una generación de un 13% de este tipo de residuos, mismos que están siendo analizados y reducidos a partir de detección de causas, buenas prácticas e inserción de tecnología. Los porcentajes de pérdidas de las tres áreas principales que se miden en un comedor o restaurante fueron las siguientes: el 2% de residuos sólidos biodegradables totales generados, surgieron de descartes en bodegas, el 26% a partir de residuos de preparación comestibles, el 43% a residuos de preparación no comestibles (como cáscaras, semillas y otras porciones no comestibles), y un 29% provino de los desperdicios dejados en platos. [7]. En comparación con datos teóricos compartidos en el marco de la iniciativa global SAVE FOOD, la generación de este tipo de residuos en

la institución es menor que a otros estudios, y la composición sobre todo por áreas difiere observando mejores manejos en inventarios que resulta en una pérdida mínima en bodegas y cámaras de frío para el caso institucional. Esta información permite realizar una comparación con lo obtenido en el estudio de generación, donde se observó un comportamiento similar a lo descrito anteriormente.

Cuadro 1. Kg de residuos biodegradables generados en el comedor institucional del TEC.

Lugar de medición	Kg de residuos generados				
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Residuos de bodega-cámaras de frío	17,85	0,00	0,00	0,00	10,53
Residuos de preparación comestible	211,23	19,05	26,33	40,20	0,00
Residuos de preparación no comestible	70,03	131,83	154,04	31,65	100,98
Residuos de platos	54,42	87,87	63,90	76,70	49,20
Total Kg	353,54	238,75	244,27	148,55	160,71

La figura 1 muestra el comportamiento respecto a la generación durante cada día muestreado.

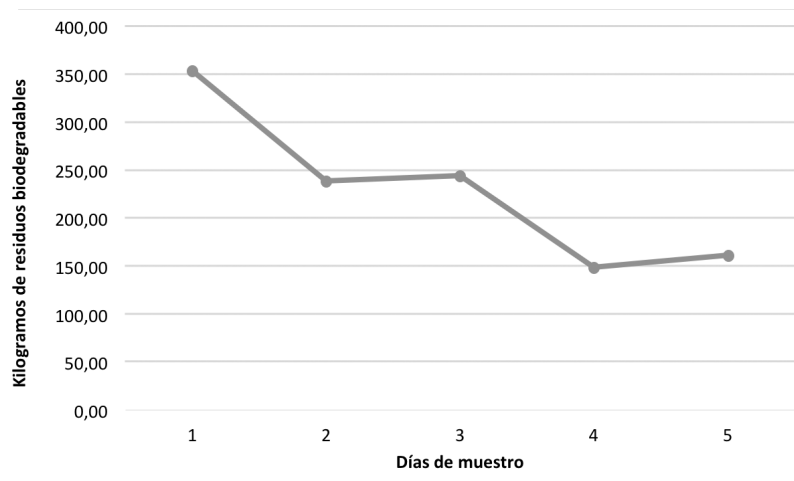


Figura 1. Kg de residuos sólidos biodegradables generados por cada día de muestreo.

Se debe considerar que los residuos orgánicos descartados, si no reciben un tratamiento dentro del TEC tienen costos asociados, tanto económicos como ambientales. Esos se dividen en fijos y variables. Los costos fijos, principalmente incluyen: amortización, reposición, limpieza y mantenimiento de los contenedores, amortización de los vehículos recolectores, gastos de personal administrativo, alquiler y uso de instalaciones. Los costos variables más destacados son los gastos en combustible, mantenimiento de los vehículos y gastos de personal de recogida [8]. Además, del gasto que implica la disposición final en un relleno sanitario o vertedero el cual ronda los US\$20/t; junto con el transporte que, generalmente, triplica los costos del vertido [9].

Composición química de los residuos

El cuadro 2, resume la composición química de los residuos.

Cuadro 2. Composición química de residuos sólidos biodegradables del comedor institucional del TEC.

Prueba	N	P	K	Ca	Mg
Resultado (%)	3,13	0,48	0,91	0,42	0,11
Prueba	Cu	Zn	Mn	Fe	
Resultado (mg/kg)	7	58	61	873	
Prueba	pH	Acidez	Ca	Mg	K
Resultado (cmol(+)/L)	6,0	0,50	2,50	3,80	36,67
Prueba	P	Zn	Mn	Cu	Fe
Resultado (mg/L)	621	19,3	17	5	96
Prueba	M:O	C	N	C/N	
Resultado (%)	60,75	35,24	3,13	11,26	

Como se aprecia en el cuadro 2, los residuos analizados tienen presencia de trazas de nutrientes básicos como nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, cobre y cinc.

No se reporta la presencia de metales pesados u otros componentes que puedan poner en peligro la producción de biogás o la formación de compuestos que afecten la vida de las personas. Los inhibidores y sus concentraciones son determinantes para obtener buenos resultados en el crecimiento bacteriano; por esto se deben conocer antes de iniciar con el proceso de digestión anaerobia. Estos se exponen en el cuadro 3.

Cuadro 3. Inhibidores más comunes identificados y su concentración.

Inhibidor	Concentración inhibidora (ppm)
SO ₄	5 000
NaCl	40 000
Nitrato	0,05
Cu	100
Cr	200
Ni	200-500
CN	25
Detergente	20-40
Na	3 500-5 500
K	2 500-4 500
Ca	2 500-4 500

El pH se reportó en seis, lo que se considera adecuado para el proceso de digestión anaerobia que busca obtener la producción de biogás; ya que está muy cercano a lo ideal. Los valores de pH bajos reducen la actividad de los microorganismos metanogénicos, lo que provoca la acumulación de ácido acético e hidrógeno. Asimismo, al aumentar la presión parcial por hidrógeno, las bacterias que degradan el ácido propiónico serán severamente inhibidas. Esto puede causar un exceso de acumulación de ácidos grasos volátiles. Si no se corrige la situación el proceso fallará. Por el contrario, al aumentar el pH, se favorece la formación de amoníaco que en concentraciones elevadas es un inhibidor del crecimiento microbiano. Por ello, la recomendación es que el proceso de digestión anaeróbica se mantenga en el rango neutro (pH de siete) [11].

Dada la naturaleza de los residuos, el contenido de materia orgánica en la muestra fue alto, con un valor de 60,75 %. Dicha condición era esperable por tratarse de residuos biodegradables.

Igualmente, la relación carbono-nitrógeno (C/N) fue de 11,26, lo que se considera muy baja. Esto indica que hay poca presencia de compuestos con carbono, por lo que se podría haber alterado la generación de gas, ya que los microorganismos involucrados en el proceso lo usan como principal fuente de energía. Por ello, el biodigestor que solamente procesó los residuos sin ninguna mezcla, no aportó biogás durante el tiempo de retención. De ahí que la relación C/N es fundamental para que las bacterias se desarrollen adecuadamente. Lo conveniente para que la formación del biogás se dé, es que esta relación se encuentre en una proporción de entre 20 y 30 partes del primer elemento por cada parte del segundo [12].

La relación C/N en los residuos generados en las cocinas es de 14:1, por lo que, al hacer la comparación con el valor obtenido de la muestra tomada, se concluye que es un resultado esperado. En el caso de las mezclas realizadas, estas favorecieron la formación de biogás al aumentar la relación C/N. En el caso del pasto transvala usado, la relación es de 81:1 y de la granza de arroz 66:1. Es decir, se dio una mejora en las condiciones dentro del biodigestor.

Evaluación de las mezclas

El cuadro 4 presenta los datos de temperatura reportados para cada biodigestor en los días de observación.

Cuadro 4. Temperatura en °C reportada para cada tratamiento durante el experimento.

*RSB	RSB + Índigo	RSB + pasto	RBS + granza de arroz
22,3	22,3	22,3	22,3
24,8	24,4	24,8	24,1
26,6	24,8	28,1	22,7
27,4	27,5	28,1	26,4
26,5	26,2	27,6	27,4
26,1	26,7	28,0	26,7
26,5	30,1	27,4	26,5
29,1	26,7	31,6	28,1
28,3	28,1	29,7	28,4
21,8	24,9	27,5	26,0
26,0	27,0	26,8	26,1

Continúa...

Continuación

*RSB	RSB + Índigo	RSB + pasto	RBS + granza de arroz
22,8	22,5	22,4	22,7
23,1	24,3	22,7	22,5
24,1	25,6	24,3	25,1
26,5	27,3	26,2	25,8
26,8	28,1	27,3	27,2
26,1	28,3	27,5	26,8
23,1	24,7	24,7	25,7
29,6	28,0	29,9	28,6
29,5	28,7	27,6	28,6
28,7	29,2	28,1	28,5
28,2	29,4	28,7	28,8
28,0	30,4	28,4	29,3
26,2	30,1	27,3	26,5
27,2	29,7	28,1	26,4
27,1	29,7	28,2	27,3
27,5	29,6	28,4	28,1
27,2	28,6	27,2	27,5
27,1	27,7	27,3	26,7

*RSB = Residuos Sólidos Biodegradables.

La temperatura mínima de los tratamientos fue de 21,8 °C reportada para el que contuvo únicamente residuos y la máxima fue de 31,6 °C para la mezcla con pasto. En estos dos rangos las bacterias presentes eran mesófilas. En este sentido, se puede entender que la fermentación mesofílica está comprendida por un rango de temperatura de 20 °C a 35 °C y, aproximadamente, de 30 a 40 días de retención [10]. Gráficamente, los cuatro tratamientos tuvieron un comportamiento similar con respecto a las temperaturas registradas en los últimos días de monitoreo, tal y como se puede apreciar en la figura 2.

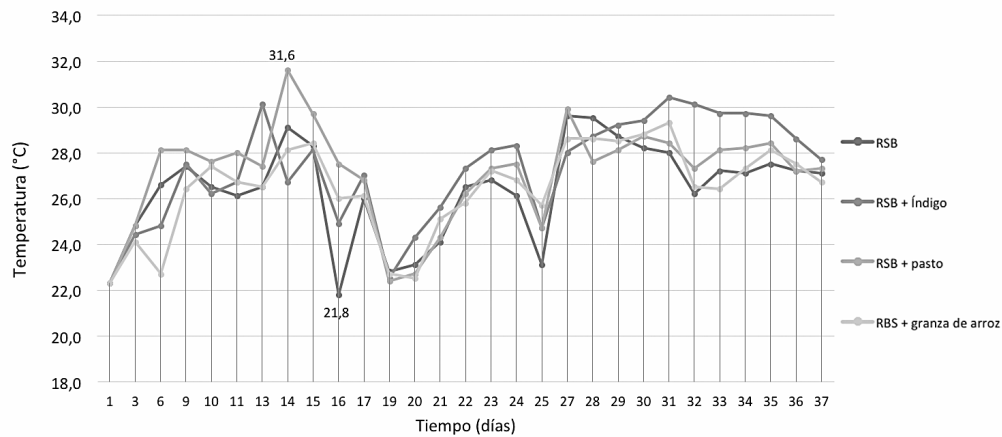


Figura 2. Temperatura (°C) vs tiempo (día monitoreados) para los tratamiento en experimentación.

De acuerdo con las observaciones realizadas durante la experimentación, el tratamiento que procesó solamente residuos orgánicos no generó burbujas, lo que refleja la falta de generación de biogás.

Por otro lado, el biodigestor con acelerador de degradación de materia orgánica comenzó a producir biogás al noveno día después de haber iniciado el experimento; e incrementó la cantidad de burbujas visibles hasta llegar al día 24, donde dejaron de ser constantes. Por lo que se puede suponer que su tiempo de retención estaba llegando al máximo.

Asimismo, al usarse Índigo®, el cual es un líquido concentrado, compuesto por 1,18 % de ingrediente activo (enzimas) y 98,82 % de caldo de cultivo, las bacterias presentes en la digestión anaerobia se desarrollaron de mejor manera y en mayor cantidad. Por lo que se obtuvo, como resultado la formación del biogás. Una vez terminada la experimentación, se procedió a desarmar los biodigestores. En este punto, se observó que el lodo más fermentado fue el tratado con el Índigo®, además de que se identificó por un olor ácido característico.

El biodigestor con 50 % de residuos más los 400 g de pasto, inició la producción de gas el día 14, y se mantuvo con una intensidad media de burbujeo. Después del día 32 la presencia de burbujas disminuyó considerablemente.

Por último, en los residuos que tuvieron una mezcla con granza de arroz, se observó el inicio de las burbujas en el día 19 y se mantuvo de manera intermitente hasta el día 31, ya que a partir de ese día prácticamente no se observaron más.

Selección de la mezcla con mejor rendimiento

La escogencia de la mezcla que dio mejores resultados, desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, se hizo mediante una observación cualitativa, sustentada con el comportamiento observado durante toda la experimentación.

En el cuadro 5 se muestran los aspectos técnicos, económicos y ambientales evaluados para dicha escogencia.

También, es necesario contemplar la trazabilidad de los residuos sólidos biodegradables, desde el punto de origen, que en este caso es el restaurante institucional, hasta su disposición final en el relleno sanitario Los Pinos. Esto si se toma en cuenta que, al seguir la corriente tradicional de la generación y disposición de los residuos sólidos sin valorizar, estos deberían terminar en el mejor de los casos, en un relleno sanitario.

Una vez generado el residuo, la primera etapa en la que hay costos asociados es la recolección. En la actualidad, el TEC mantiene un contrato para dicha labor con una empresa privada. Si el tratamiento de los residuos biodegradables del comedor se llevara a cabo dentro de la institución, los costos evitados serían los relacionados con la mano de obra de recolección, el mantenimiento de los contenedores y de los camiones recolectores (repuestos, cambio de aceite y llantas). Para esto se considera el consumo de combustible por el traslado de los residuos hasta el relleno sanitario Los Pinos, ubicado en Navarro, Paraíso de Cartago, a unos 5 kilómetros del TEC. Asimismo, se contemplan las emisiones al medio ambiente por uso de combustibles fósiles.

La siguiente etapa es la disposición final. Al llegar al relleno cada camión debe pasar por una báscula para la verificación de su tonelaje, con esta información se procede al cobro respectivo de acuerdo al peso de los residuos. En este apartado se toma en cuenta la mano de obra de los empleados del relleno, mantenimiento y combustible de la maquinaria encargada de la construcción de celdas y compactación de los residuos. También, se contemplan los costos para la utilización de geomembranas especializadas y drenajes para llevar los lixiviados a la

planta de tratamiento. Una vez allí, se dan procesos físicos, químicos y biológicos para poder descartar los residuos en un cuerpo receptor.

Los residuos que ingresan al relleno son una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, que durante el proceso de descomposición, inciden en la generación de metano; el cual se quema en algunos casos. De acuerdo al Instituto Meteorológico Nacional el factor de emisión es de dos g de CH₄ por cada kg de residuo sólido y un potencial de calentamiento global de metano de 21 [6]. Tomando en cuenta que la generación promedio de residuos biodegradables del restaurante institucional de 229,16 kg por día, las emisiones que se reducirían en la institución son de 44,7 t de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) por año.

Cuadro 5. Evaluación técnica, económica y ambiental de cada tratamiento.

Tratamiento	Aspectos		
	Técnico	Económico	Ambiental
RSB	No hubo producción de biogás.	No se recupera la inversión por el faltante de la generación de biogás.	No hay generación de energía renovable.
RSB + Índigo®	Producción de biogás a partir del día 9 hasta, prácticamente, el día 30. Uso de un producto concentrado, lo que permite dosificar en pocas cantidades.	Espacio reducido para su almacenamiento. No es necesaria mano de obra calificada para su aplicación, lo que incide en los costos de producción.	Alternativa constante de producción de biogás durante el experimento, por lo que se permite mantener la fuente de energía de manera permanente.
RSB + pasto	Generación de gas después de la segunda semana de experimentación de manera intermitente.	Necesario contar con instalaciones para el almacenaje de las pacas de pasto, incrementando de manera considerable los costos de inversión e infraestructura y de operación por el aprovisionamiento del pasto. No es necesaria la mano de obra calificada.	Se debe incrementar la producción de biogás para considerarlo como una fuente estable.
RSB + granza de arroz	Se generó gas de manera intermitente durante toda la experimentación. Asimismo, se inició después de la segunda semana de haber cargado el biodigestor.	Es necesario tener instalaciones para almacenar los sacos con granza de arroz, incrementando los costos de inversión con la dificultad de su recuperación por la generación intermitente del producto esperado. No es necesaria mano de obra calificada.	Es necesario aumentar la generación del gas para considerarlo como una fuente estable de energía.

En cuanto a los productos usados para realizar las mezclas, el cuadro 6 detalla el costo económico necesario para el tratamiento de los 8,1 kg de residuos que representan el 20 % de la capacidad del biodigestor. Este parámetro también permitió escoger la mezcla de acuerdo con los costos que implican su uso.

Cuadro 6. Costos económicos de las mezclas usadas en los biodigestores.

Masa de RSB a tratar	Producto mezcla	Costo en colones	Costo en dólares
8,1 kg	Índigo®	70,3	0,1
	Pasto	144,0	0,3
	Granza de arroz	600,0	1,1
Tipo de cambio del Banco Central de Costa Rica el 1 noviembre del 2016 es: \$ 1= 547,4			

Conclusiones

Al realizar el estudio de generación en el comedor institucional del TEC, se determina que el promedio de residuos sólidos biodegradables es 229,16 kg por día. El análisis del laboratorio respecto a la evaluación química de los residuos reporta que la relación de C/N es baja y es la esperada para este tipo de residuos, que es aproximadamente 14:1. Además, el porcentaje de materia orgánica es superior al 50 %, siendo otro valor esperado en la investigación.

La mezcla que dio mejor resultados durante la experimentación fue la hecha con el Índigo®. Se inició la generación del biogás en el día nueve y mantuvo durante todo el tiempo de retención en el biodigestor. Asimismo, considerando los costos evitados por su uso, genera un efecto positivo en costos de almacenamiento y acarreo, ya que es un producto concentrado que se dosifica en pequeñas cantidades.

Además, la temperatura durante el proceso de digestión anaeróbica se mantuvo en el rango mesofílico, el cual va de los 20 °C a los 40 °C para los cuatro tratamientos. La experimentación tuvo un valor mínimo de 21,8 °C reportado en el biodigestor que contuvo, únicamente, residuos. La máxima temperatura se dio en la mezcla con pasto la cual fue de 31,6 °C.

En conclusión, tratando localmente los residuos biodegradables mediante la digestión anaerobia, se puede ampliar la vida útil de los rellenos sanitarios, reducir la contaminación por lixiviados infiltrados en mantos acuíferos y cuerpos receptores, disminuir las emisiones de CO₂e, y aprovechar el producto (biogás) como fuente de energía renovable.

Referencias

- [1] C. Severiche y R. Acevedo, "Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación," *Revista de la Facultad de Ingeniería*. n° 28. p. 6,2014.
- [2] R. Guillen, "Caracterización de los parámetros de operación de los biodigestores a escala del Instituto Tecnológico de Costa Rica," Informe para optar al título de Ingeniería en Biotecnología con grado académico de Bachillerato Universitario. Escuela de Biotecnología. Tecnológico de Costa Rica, 2010.
- [3] R. Guillen y O. Rivas, "Producción de metano a partir de desechos orgánicos generados en el Tecnológico de Costa Rica," *Tecnología en Marcha*, vol. 25, n° 2, pp. 73-79, 2012.

- [4] L. Navarro, "Diseño y construcción de un biodigestor anaeróbico para el aprovechamiento energético de la biomasa y uso experimental para la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña," Proyecto para la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Facultad de Ingenierías. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, 2015.
- [5] G. López, "Biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. Alternativa energética y fuente de trabajo," Universidad Distrital Francisco José de Caldas. *Tecnura*. vol.7, n° 13, pp.39, 2003.
- [6] Instituto Meteorológico Nacional (IMN), "Factores de emisión *GEI*," Sexta Edición, 2016. [En Línea] Disponible en <http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/factoresemision-gei-2016.pdf>. [Accedido: 12-oct-2016]
- [7] L. Brenes, M. Jiménez, M. Gamboa y D. Fallas. "Disminución de pérdidas y desperdicio de alimentos. Documento para mediciones piloto en comedores institucionales o restaurantes. Escuela de Agronegocios,". Tecnológico de Costa Rica, 2016.
- [8] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), "Gestión de biorresiduos de competencia municipal. Guía para la implementación de la recogida separada y tratamiento de la fracción orgánica," Gobierno de España, 2013.
- [9] R. Campos y S. Soto. "Estudio de generación y composición de residuos sólidos en el cantón de Guácimo, Costa Rica," *Tecnología en Marcha*, vol. 27, n° 3, pp. 122-135, 2014.
- [10] Y. Olaya, y L. Gonzalez. "Fundamentos para el diseño de biodigestores," Facultad de Ingeniería y Administración. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, 2009.
- [11] M. Varnero, "Manual de Biogás. Ministerio de Energía," Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Global, 2011.
- [12] O. Rivas, M. Faith y R. Guillén, "Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad," *Tecnología en Marcha*, vol. 23, n° 1, pp. 39-46, 2010.