

---

## Determinación de la cantidad y composición de biogás a partir de rastrojo de la piña (*Ananas comosus*) por medio de un sistema continuo a escala laboratorio

Ing. Adriana Arce; Ing. Carolina Hernández Ing; Rodolfo Amador

### Resumen

Este informe da a conocer los resultados obtenidos del ensayo continuo de evaluación del sustrato de piña para la generación de biogás realizado durante los meses de mayo a setiembre del año 2014. El objetivo principal del ensayo era la determinación de la capacidad de generación de biogás obtenido del residuo agrícola orgánico (RAO) generado a partir de la producción industrial de la piña. Los resultados obtenidos muestran una producción promedio de biogás de 25,7 litros de metano por cada kilogramo de rastrojo de piña fresco (171,3 mL CH<sub>4</sub>/gr SV), es decir, se estima una generación de 25,7 m<sup>3</sup> de biogás por cada tonelada de rastrojo fresco con una concentración de metano de 52%.

Para este segundo ensayo se estandarizó la metodología, fue desarrollado por personal capacitado para realizar las pruebas, el equipo de caracterización del biogás tiene mayor precisión, entre otros.

**Palabras claves:** Biogás, piña, rastrojo, *Ananas comosus*, Potencial de Hidrógeno (pH).

---

### I. Introducción

En Costa Rica hay más de 42 000 ha sembradas con el cultivo de la piña (fuente: MAG). La producción en Costa Rica ha aumentado en un 42% en los últimos cuatro años, siendo este aumento debido al incremento productivo por hectárea y al aumento del terreno cultivado. Según el informe de valoración actualizada de residuos agrícolas orgánicos realizada por Oscar Coto en el año 2013<sup>[1]</sup>, la generación de rastrojo anual supera los 8 millones de toneladas anuales, lo que equivale a 22 MW de potencia disponible con esta materia orgánica.

Sin duda, el residuo orgánico agrícola que se genera en campo debido a la producción de piña tiene un impacto

ambiental importante, se pueden mencionar la mosca, contaminación de mantos acuíferos por la utilización de agroquímicos y la pérdida de materia orgánica en el suelo. El Programa de Biogás del departamento de Desarrollo Eléctrico del Instituto Costarricense de Electricidad es la primera institución en desarrollar una investigación continua de este sustrato, debido al potencial energético que este contiene y a los co-beneficios en mejoras ambientales, incremento productivo y proyección social.

## II. Objetivos

### Objetivo general

Evaluar el potencial del rastrojo de piña para la producción de biogás como fuente de energía renovable para abastecer de energía a las plantas empacadoras del producto.

### Objetivos específicos

- ✓ Cuantificar la tasa de producción de biogás obtenido a partir del rastrojo de piña como sustrato a través de un medio anaeróbico.
- ✓ Caracterizar la calidad del biogás generado a partir del rastrojo.
- ✓ Caracterizar el efluente proveniente del biodigestor para utilizarlo como insumo en la producción industrializada de piña.

## III. Antecedentes

Debido a la importancia de plantear una solución al problema ambiental que genera la producción de piña, el ICE evalúa el potencial de energía que esta biomasa tiene como fuente para generar biogás. En el 2013 se lleva a cabo el primer ensayo a escala de laboratorio utilizando el rastrojo de la piña, sin embargo durante el desarrollo de este ensayo se contaron con imprevistos, fallos en la metodología establecida para el ensayo, además de problemas en los

equipos de medición. Es por esto que se decide realizar nuevamente el análisis de la materia orgánica. Adicionalmente se realizó un análisis BATCH o discontinuo con el fin de evaluar de forma rápida y sencilla el sustrato. El resultado del ensayo discontinuo demostró que el potencial de generación de biogás utilizando rastrojo fue de 25 m<sup>3</sup> por tonelada. Es importante destacar que este ensayo mantuvo temperaturas promedio entre 24 y 25° C ya que no contaba con control de temperatura. Sin embargo es un método utilizado para corroborar los datos obtenidos en un ensayo continuo. En el actual ensayo continuo la generación de biogás generada con el rastrojo de piña fue similar a la obtenida en el ensayo batch realizado en el 2014 y en el continuo del año 2013.

## IV. Materiales y Métodos

El ensayo se desarrolló con el equipo de laboratorio donado por la Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica y el medidor de gases donado por el Programa 4E, de la cooperación Alemana GIZ.

El equipo consta de tres reactores o cámaras de biodigestión herméticamente cerradas, bolsas de almacenamiento de

biogás, cuantificador de gas marca Ritter y caracterizador de biogás Sewerin Multitec (ver fotografías en anexos). Adicionalmente se utilizan equipos de laboratorio como medidor de pH, agitadores magnéticos y análisis varios de laboratorio cuyos resultados se muestran en este documento.

Con dichos equipos se busca simular una planta a escala real de biodigestión, descartando al máximo las posibles variables con el fin de evaluar el potencial de generación de biogás y las dificultades que un sistema como estos presentarían. Debido a lo antes descrito, se diseña el ensayo con una alimentación continua de los reactores a una temperatura estable entre 34 y 35°C simulando una digestión anaeróbica mesofílica con un sistema de agitación.

El ensayo inicia con la inoculación de los reactores. Para esto se utilizaron 7 litros de inóculo por reactor, el efluente utilizado se obtuvo de un biodigestor estable ubicado en las nubes de Coronado, con un pH inicial de 7,2. El tiempo de retención se definió en 27 días por lo que el reactor se alimentaba con 260 ml o su equivalente en sólidos diariamente. Con el fin de evaluar el rastrojo de piña en dos estados, sólido y

líquido, se utilizaron dos reactores para analizar el rastrojo picado con una humedad del 81% y el tercer reactor se utilizó para analizar el líquido obtenido al presionar el rastrojo con una demanda química de oxígeno (DQO) de 72 000 mg/L. Durante los primeros 10 días de ensayo los reactores se alimentaron con 65 ml de sustrato de piña, reactor 1 con fase líquida y reactores 2 y 3 con el sustrato sólido, los restantes 195 ml eran efluente de biodigestor. Una vez que el reactor se estabilizaba se iba agregando menos efluente y aumentando la carga de sustrato de piña hasta alcanzar el 100% de la alimentación con rastrojo. La alimentación utilizando sólo rastrojo de piña se realizó a lo largo de 87 días más. Durante los días feriados o fines de semana se realizaba una doble alimentación con el fin de no perder el proceso de biodigestión. Para mantener la temperatura de los recipientes cercana a los 35°C, la estructura de acero inoxidable se llena con agua de tal forma que se alcance tener un “baño maría” a través de la colocación de un termostato sumergido. El sistema experimental con sus componentes se muestra en la figura 1. Para evitar que el baño maría se evapore en el transcurso del tiempo, se

construye un sistema con boya que permita la entrada de agua de reposición cuando el sistema lo requiera. Adicionalmente el laboratorio cuenta con un sistema de agitación el cual permite que la materia orgánica esté homogénea y siempre en contacto con las bacterias. Los agitadores se programaron para que agitaran 15 minutos y descansaran 45 minutos durante todo el ensayo. Las mediciones de biogás se realizaron los días que se alimentaban los reactores. Las mediciones consistían en cuantificar la cantidad de biogás generado y determinar los diferentes porcentajes de concentración de gases que conforman el biogás (metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y monóxido de carbono ( $\text{CO}$ )) respectivamente, utilizando los equipos Ritter y Sewerin.

Con respecto al análisis del efluente obtenido de la biodigestión, se realizaron análisis de la composición del líquido para utilizarlo como fertilizante foliar en las plantaciones de piña. Los resultados se analizaron más adelante.

## V. Resultados y Discusión

### Resultados experimentales

Cómo ya se mencionó se utilizó inóculo de un biodigestor estable con el fin de activar el sistema de biodigestión de una forma eficiente. Posteriormente se alimentaron de forma diaria los reactores de acuerdo al sustrato, dos reactores con sustrato sólido (rastrojo triturado) y un reactor con sustrato líquido.

El ensayo tuvo una duración de 138 días, los cuales se deben dividir en dos etapas. La primera etapa se desarrolló en 52 días, durante este periodo se alimentó el biodigestor con una mezcla de inóculo con sustrato fresco de piña. La cantidad de inóculo fue disminuyendo conforme el reactor se estabilizaba, en el día 53 se inició la segunda etapa donde sólo se alimentó el biodigestor con sustrato fresco de piña. La segunda etapa tuvo una duración de 86 días.

Los análisis realizados al efluente fueron acidez (pH) y FOSTAC, estos se realizaba cada vez que se alimentaban los reactores. En general el pH del efluente se mantuvo entre 7,5 y 7,2, mientras que el FOSTAC <sup>[2]</sup> se mantuvo en 0,15. En cuanto al sustrato, la acidez promedio fue de 4,4. Se comprueba que el medio líquido de los tres biodigestores tiene una capacidad buffer adecuada por lo cual el

[2] Referencia bibliográfica.

pH del reactor no se ve afectado por la acides del sustrato. En el caso del gas se realizaron mediciones para contabilizar el volumen de biogás generado y las diferentes concentraciones de metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), y oxígeno ( $\text{O}_2$ ) presente en la mezcla de gases, durante el desarrollo del ensayo se realizaron 60 mediciones de biogás.

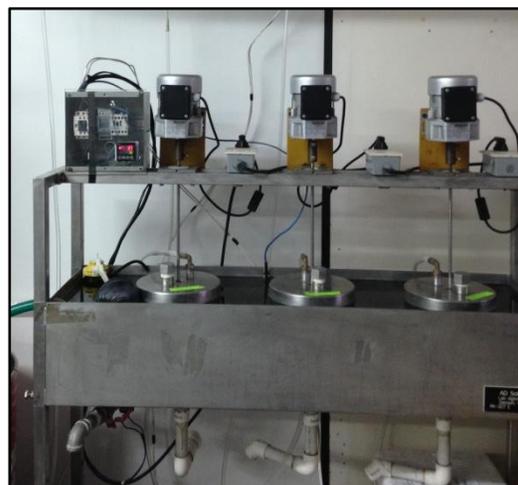
Con dichos resultados se determinó una taza de generación de biogás de  $16 \text{ m}^3$  por cada metro cúbico de líquido o “jugo” obtenido del rastrojo de la piña. En el caso del sustrato sólido se determinó una generación de  $25,7 \text{ m}^3$  de biogás por cada tonelada de hoja.

La tipificación de los gases que conforman el biogás se describe en el

**Cuadro 1.** Composición de biogás producido en los ensayos con residuos orgánicos de piña como sustrato.

Sustrato	Caracterización del Biogás				
	Metano	Dióxido de Carbono	Oxígeno	Sulfuro de hidrógeno	Monóxido de carbono
	[%]	[%]	[%]	[ppm]	[ppm]
Jugo de rastrojo	52,8	26,7	1,4	87,6	211
Rastrojo triturado “A”	53,3	28,4	1,4	141,8	235,4
Rastrojo triturado “B”	52,2	28,7	1,5	117,5	238,4

cuadro 1. Sin embargo se debe destacar que la concentración de metano en el biogás durante todo el ensayo no superó el 56%, siendo el promedio 52% (Ver cuadro 1). La concentración de oxígeno alcanzó un promedio de 1,4% mientras que el sulfuro de hidrógeno no superó las 220 partes por millón.



**Figura 1.** Sistema experimental de biodigestión de flujo continuo.

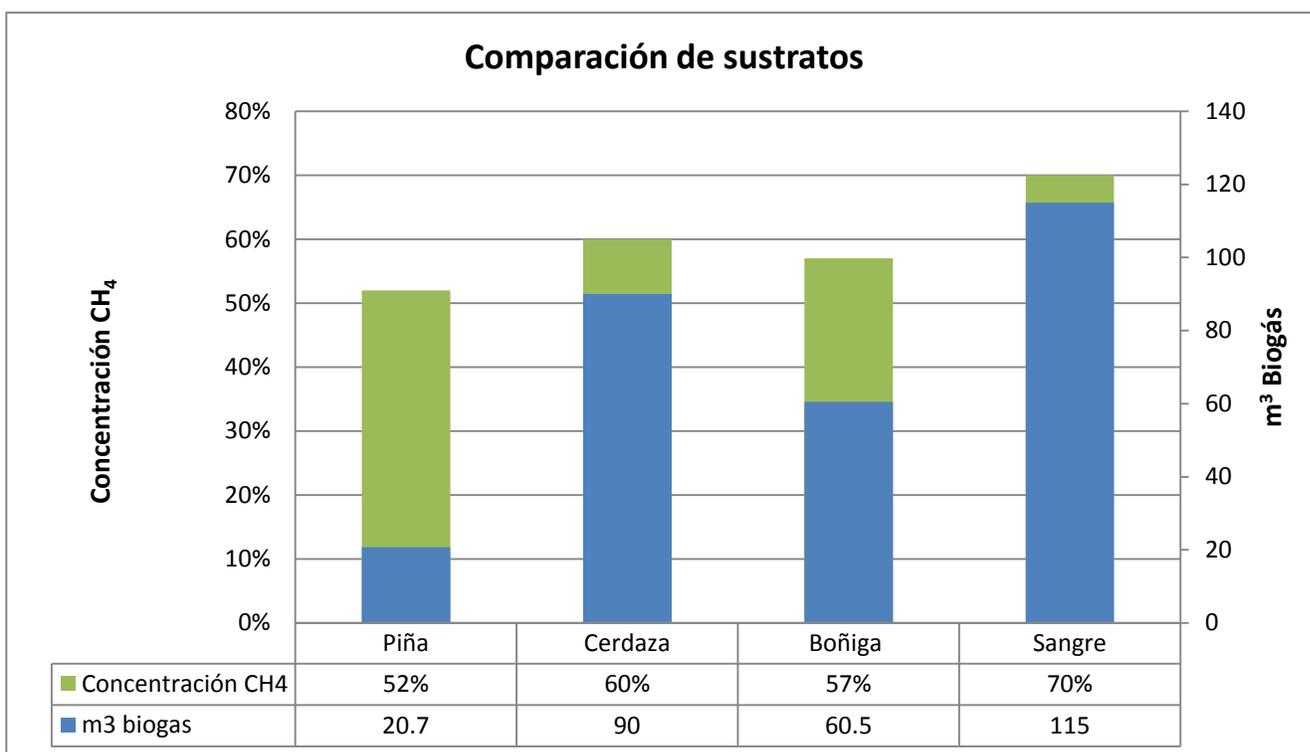
### Discusión de resultados

Para los ensayos de rastrojo de piña sólido se obtiene una generación promedio de 25,7 litros de biogás de los cuales 13,4 litros es gas metano; dando como resultado un promedio de 171,3 mL CH<sub>4</sub>/gr SV.

En el caso de la parte líquida del sustrato de piña, se calcula que para una demanda química de oxígeno de 72 000 mg/L de agua se estarían generando 16 metros cúbicos de biogás por cada metros cúbicos de “jugo de hoja” a tratar dentro de un biodigestor.

Con respecto a la concentración obtenida de los gases, se observa que el valor de

concentración experimental es de 52% de gas metano. Comparando este valor con otros sustratos como la cerdaza o la boñiga es de esperar que se tenga un valor inferior de metano ya que es un sustrato más difícil de digerir, y con menos energía que los otros sustratos mencionados. Sin embargo, al plantear un sistema de biodigestión para una finca productora de piña el potencial de generación no deja de ser atractivo. Por ejemplo en una finca donde en promedio se cosechan 3 hectáreas por semana, a una densidad de siembra de 67 000 plantas por hectárea se tendría en promedio 100 toneladas al día de sustrato, a una tasa



promedio de generación de biogás de 25,7 m<sup>3</sup> podrían generar 1 779 m<sup>3</sup> de biogás a una concentración de 52% de metano.

Con este biogás se podría alimentar un co-generador con una potencia de 200 kW durante 18 horas lo que generaría ahorros hasta de \$200 000 dólares anuales, esto sin contar los costos evitados de los agroquímicos requeridos para deshidratar las plantas y poder realizar las quemas, o en el caso de la cosecha en verde, las 4 pasadas con rastra que se necesitarían para triturar y reincorporar la materia orgánica al suelo.

## VI. Conclusiones

- ✓ Hay diferencia significativa en el potencial de generación de biogás entre las excretas y el rastrojo de piña, sin embargo no es despreciable la cantidad de biogás que puede transformarse en energía.
- ✓ Utilizar el rastrojo como fuente de energía renovable en las empresas exportadoras de piña permitiría que estas tengan una mejor proyección hacia las comunidades vecinas y al mercado meta, logrando diferenciarse entre las empresas que tratan los

residuos orgánicos agrícolas de forma convencional.

- ✓ El procesamiento del rastrojo es complejo en su trituración, se requiere un diseño especial de fábrica que permita la extracción tanto del rastrojo como de la parte radicular de la planta y a la vez cortar la materia orgánica en fracciones con un tamaño inferior a 10 mm x 10 mm.

## VII. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda realizar un proyecto piloto con el fin de demostrar a los empresarios que este sistema es viable.
- ✓ Se recomienda caracterizar el material orgánico obtenido en finca para ajustar los datos obtenidos en este ensayo para cada proyecto.

## VIII. Referencias bibliografía

1. Coto Chinchilla, Oscar. Verificación de la materia orgánica en Costa Rica. 2013.
2. Lossie, Ulrich; Pütz, Petra. Control Orientado de biogas con la ayuda de FOS/TAC. 2008.
3. AD Solutions (2012). **Manual AD Solutions Laboratory Digester Plant.** Elaboración propia.

## IX. Anexo



Fotografía. 1. Reactores de biodigestión.



Fotografía. 2 Bolsas de almacenamiento de biogás



Fotografía. 3 Medidor de concentración de gases.



Fotografía. 4 Gasómetro

## X. Siglas y acrónimos

Demanda Química de Oxígeno	DQO
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>
Grados centígrados	°C
Gramos	gr
Hectárea	ha
Kilogramos	kg
Kilowatt	kw
Litro	L
Ministerio de Agricultura y Ganadería	MAG
Metano	CH <sub>4</sub>
Metros cúbicos	m <sup>3</sup>
Miligramos	mg
Mililitros	ml
Monóxido de carbono	CO
Oxígeno	O <sub>2</sub>
Partes por millón	ppm
Potencial de Hidrógeno	pH
Residuo Agrícola Orgánico	RAO
Sólidos volátiles	SV
Sulfuro de hidrógeno	H <sub>2</sub> S
Toneladas	ton