

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Química

**Informe final de la actividad de Fortalecimiento:**

*Transformación de una autoclave obsoleta en un biorreactor piloto para la investigación de la degradación microbiana de un sustrato orgánico y la obtención de energía renovable*

M.Sc. Teresa Salazar Rojas  
Master María Porras Acosta

Junio 2014

## Tabla de contenido

1	Título .....	1
2	Autores y direcciones .....	1
3	Resumen .....	1
4	Palabras clave .....	2
5	Introducción .....	2
6	Metodología .....	7
7	Resultados .....	8
8	Discusión .....	11
9	Conclusiones .....	12
10	Recomendaciones .....	13
11	Agradecimientos (opcional) .....	13
12	Referencias .....	13
13	Apéndices .....	14

## 1 Título

Transformación de una autoclave obsoleta en un biorreactor piloto para la investigación de la degradación microbiana de un sustrato orgánico y la obtención de energía renovable.

## 2 Autores y direcciones

M.Sc. Teresa Salazar Rojas. Master en Gestión Ambiental, profesora e investigadora de la Escuela de Química (Carrera de Ing. Ambiental), Instituto Tecnológico de Costa Rica. Tel. 25502741. Correo electrónico: [tsalazar@itcr.ac.cr](mailto:tsalazar@itcr.ac.cr). Coordinadora.

Master. María Porras Acosta. Ingeniera en Biotecnología, profesora e investigadora de la Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica Tel. 2550-2737. Correo electrónico: [mporras@itcr.ac.cr](mailto:mporras@itcr.ac.cr)

## 3 Resumen

Problemas de salud en la población, fuertes impactos ambientales tanto a las aguas como a la atmósfera y al suelo e impactos económicos negativos en términos de devaluación de suelos son algunos de los problemas que se relacionan con el crecimiento exponencial de la generación de residuos sólidos tanto en Costa Rica como en el resto del mundo en las últimas década. La finalidad de este proyecto fue transformar una autoclave obsoleta en un biorreactor piloto y aplicar esta tecnología limpia a un sustrato de interés, determinado la calidad de los productos generados. Con la construcción de este biorreactor se contaría institucionalmente con un equipo adecuado para realizar estudios de las calidades, y condiciones de los productos obtenidos en un biorreactor, lo que permitiría impulsar proyectos a mayor escala en manejo de residuos sólidos y biocombustibles en diferentes sectores. Para la transformación de la autoclave en biorreactor se aprovecharon componentes ya existentes en su sistema, instalaron otros accesorios fundamentales para el funcionamiento de este equipo y se realizaron pruebas de ajuste. También se realizaron análisis de composición tanto del sustrato como del digestato generado en el tratamiento. Como resultado se obtuvo un biorreactor funcional, con los componentes necesarios para realizar una digestión anaerobia controlada. También se desarrolló un manual de uso del equipo. La composición del digestato mostró su potencial como fertilizante, con concentraciones altas en fosforo, potasio y nitrógeno. Dentro de las principales conclusiones se tiene que se logró aprovechar una autoclave de desecho y extenderle su vida útil como biorreactor, que el costo de inversión en la transformación de este equipo es menor que el requerido para la compra de un equipo similar y el digestato obtenido después de la digestión es rico en macronutrientes como fósforo, potasio y nitrógeno.

#### **4 Palabras clave**

biorreactor, digestato, fertilizante, macronutrientes.

#### **5 Introducción**

La generación de residuos sólidos ha ido creciendo exponencialmente no solo en Costa Rica sino en el resto del mundo en las últimas décadas. Problemas de salud a la población, fuertes impactos ambientales tanto a las aguas como a la atmósfera y al suelo, impactos económicos negativos en términos de devaluación de suelos o disminución de turismo son algunos de los problemas que se relacionan con esta realidad.

La Ley General de Salud (LGS) y el Código Municipal (CM) establecen que los desechos sólidos en Costa Rica: "deberán ser separados, recolectados, acumulados, utilizados cuando proceda" (artículos 278 de LGS y 75 de CM); además, " las empresas agrícolas, industriales y comerciales, deberán disponer de un sistema de separación y recolección ... aprobado por el Ministerio cuando por la naturaleza o cantidad de éstos no fuere sanitariamente aceptable el uso del sistema público o cuando éste no existiere en la localidad" (artículos 278 de LGS y 75 de CM), y, asimismo, cuando se ofrece el servicio de recolección "toda persona queda en la obligación de utilizar dicho servicio público y de contribuir económicamente a su financiamiento" (artículo 280 de LGS). Con estas disposiciones se pretendía garantizar el respeto de la principal ley natural de la ecología. Pues la materia no se crea ni se destruye solo se transforma.

Sin embargo, la normativa mencionada anteriormente no se cumple en totalidad y se ha hecho necesaria la creación de nueva legislación que respalde y ponga en práctica un mejor manejo de los desechos sólidos, en este caso Ley para la Gestión Integral de Residuos (N° 8839). El tema de los desechos sólidos en nuestro país es de suma importancia, y así lo argumenta el objetivo de la ley 8839, Art. 2: “ a) *Garantizar el derecho de toda persona a gozar de un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger la salud pública. d) Fomentar el desarrollo de mercados de subproductos, materiales valorizables y productos reciclados, reciclables y biodegradables, entre otros, bajo los criterios previstos en esta Ley y su Reglamento, en forma tal que se generen nuevas fuentes de empleo y emprendimientos, se aumente la competitividad y se aprovechen los recursos para incrementar el valor agregado a la producción nacional. f) Promover la separación en la fuente y la clasificación de los residuos, tanto por parte del sector privado y los hogares, como de las instituciones del sector público. h) Evitar que el inadecuado manejo de los*

residuos impacte la salud humana y los ecosistemas, contamine el agua, el suelo y el aire, y contribuya al cambio climático. j) Promover el desarrollo y la utilización de las innovaciones y transferencias tecnológicas para la gestión integral de residuos, de acuerdo con los lineamientos de esta Ley y los *reglamentos que de ella se deriven, los convenios internacionales y cualquier otra legislación ambiental vigente.* n) *Involucrar a los ciudadanos para que asuman su responsabilidad y los costos asociados a una adecuada gestión de los residuos que generan.*”

En gran medida los residuos generados son material orgánico el cual puede ser tratado y biodegradado. Una alternativa de manejo de este tipo de desecho es el uso de biorreactores. En el TEC no existe una línea de estudio permanente en esta área, no se cuenta con el equipo adecuado para realizar investigación de los diferentes sustratos (desechos) donde podría ser utilizada esta tecnología, transformando material orgánico producido por diferentes industrias, municipalidades o sectores agrícolas en biogás, bioetanol o compostaje, según sea el caso. No obstante, existe el interés y la necesidad de país en desarrollar este tipo de opciones que vayan de la mano con la sostenibilidad. El TEC también ha manifestado su interés a través de su política general donde se compromete a: “Se planificarán y ejecutarán los procesos académicos, de investigación y extensión, de prestación de servicios y de acción social de tal forma que se minimice y prevenga el impacto negativo sobre la salud y el ambiente” (Aprobado por el Asamblea Institucional Representativa (AIR)). Y más recientemente se puso en marcha el proyecto de lograr la carbono neutralidad de la Institución mediante la implementación de acciones de reducción y compensación de los gases de efecto de invernadero (GEI) que son generados por las actividades propias del TEC. Es así como el Centro de Investigación CEQIATEC, está contribuyendo al cumplimiento de las políticas generales de la institución mediante el recurso humano y económico aportado a este proyecto.

La creación de un biorreactor estaría solucionando en gran medida la necesidad institucional de contar con equipo adecuado para realizar estudios de las calidades y condiciones de los productos obtenidos en un biorreactor, lo que permitirá impulsar proyectos a una mayor escala en diferentes sectores. Es importante mencionar que el biorreactor se construyó con material de desecho (autoclave obsoleta), lo cual minimizó los costos y maximizó el uso de los recursos institucionales.

Un Biorreactor es un equipo donde se realiza el proceso de cultivo (también comúnmente denominado “fermentador”), sea en estado sólido o líquido. Su diseño debe de ser tal que asegure homogeneidad entre los componentes del sistema y condiciones óptimas para el crecimiento microbiano y de la obtención del producto deseado. (Ruiz, H *et al.* (2007)

El diseño y construcción de los elementos necesarios para el monitoreo de las variables del biorreactor, requiere conocimientos de las necesidades del mismo y su operación específica, como de los circuitos electrónicos involucrados en los dispositivos de medición. (Rodríguez, A. 2003). Ya que la medición de las variables es elemental para controlar y proveer un ambiente adecuado en un proceso de fermentación o digestión.

Los bioreactores deben de ser optimizados para obtener la máxima concentración de productos de la fermentación: como son biomasa microbiana y/o metabolitos en un tiempo mínimo y a menor costo de producción. (Ruiz, H *et al.* (2007). Por ello los biorreactores más utilizados a nivel industrial están provistos de mecanismo de agitación, dispersión y aireación así como de sistemas para el control de temperatura y pH para lograr una mayor manipulación de las variables que influyen en el proceso.

Por medio de un biorreactor se pueden realizar pruebas de diferentes sustratos y estimar la calidad del producto obtenido permitiendo hacer recomendaciones para escalar o no el tratamiento de estos desechos por medio de digestiones anaeróbicas. Ya que los biorreactores son sistema naturales que aprovechan residuos orgánicos, procedentes de actividades agropecuarias, industriales, entre otras, para producir biogás, biocombustible, mediante el proceso de digestión anaerobia. (Rodríguez, A. 2003).

El proceso de digestión anaeróbica se caracteriza por una serie de transformaciones bioquímicas provocadas por diferentes consorcios de bacterias a materiales orgánicos tales como sustratos de celulosa, hemicelulosa y lignina que debe ser degradado por enzimas extracelulares. La tasa de hidrólisis depende del pH, temperatura, composición y concentración del compuesto. (Fantozzi, F y Buratti C. 2009)

Generalmente los biorreactores de bajo costo no necesitan un monitoreo sofisticado ya que no requieren de mecanismos de mezcla interna, ni sistemas de calefacción. Están hechos de materiales locales, por lo general con bolsas de plástico para el tanque principal y tubos de PVC que transportan el biogás. Esta tecnología funciona, con adaptación adecuada, en los climas tropicales, continentales y fríos. Debido a su diseño simple y construcción con materiales fácilmente disponibles, se considera una tecnología apropiada. Sin embargo presentan el inconvenientes para su uso a nivel de pruebas de investigación o industrial, ya que por su material de construcción su vida útil es relativamente corta, además de presentar problemas para su limpieza entre diferentes pruebas experimentales y el monitoreo y control de las diferentes variables operativas. (Marti, J. 2010)

El uso de biorreactores conlleva a una mayor responsabilidad ambiental contribuyendo a mejorar la problemática de los residuos sólidos en el país, y además el uso de energías no renovables aprovechando los residuos y efluentes para producir energía, transformando así un problema grave de contaminación en un recurso útil y limpio denominado energía de la biomasa.

La biomasa tiene múltiples clasificaciones pero la que nos interesa mencionar es la biomasa residual húmeda, que en ausencia de oxígeno es descompuesta por agentes bacteriológicos generándose un gas de alto poder calorífico denominado biogás y otros residuos aprovechables como abono.

La construcción de un biorreactor para pruebas piloto permitirá generar información necesaria (estudios técnicos y práctico) sobre residuos orgánicos procedentes de diferentes sectores, que conlleva a la toma de decisiones en el tema de los residuos sólidos orgánicos. La ventaja de este equipo es que se diseñará a partir de una autoclave obsoleta, la cual cuenta con una estructura de acero inoxidable, siendo este material el óptimo para realizar biodigestiones, considerando diferentes condiciones de pH y temperatura sin sufrir deterioro significativo del material. Además otra ventaja es la inertización de la cámara del biorreactor por métodos simples no contaminantes entre diferentes pruebas de sustratos. Adicionalmente la autoclave dentro de su diseño cuenta con tubería de entrada y salida, y fácil adaptación de controles de temperatura, lo que facilita la transformación a un biorreactor piloto. Por el tamaño de este aparato se podría considerar eventualmente su traslado sin complicaciones.

La utilidad de la transformación de la autoclave obsoleta a biorreactor fue, además de la reutilización de un desecho alargando la vida útil de sus materiales, la puesta en marcha de un biorreactor que debido a los materiales de construcción con que se construyó será versátil para la prueba de diferentes sustratos, microorganismo y productos a obtener. Ya que es bien conocido que los productos a obtener en un proceso microbiano dependerán de:

- Tipo de sustrato
- Tipo de microorganismo
- Condiciones del biorreactor

Por ejemplo se adjunta la siguiente tabla, encontrada en el Manual de Laboratorio del Química Orgánica y Bioquímica (Coy, R. 2012) en donde se ejemplifica la dependencia del tipo de microorganismo al producto obtenido en una fermentación.

Tipo de fermentación	Microorganismo	Producto final
Láctica	Streptococcus, Lactobacillus, Bacillus	Ácido láctico
Alcohólica	Saccharomyces (levadura)	Etanol y CO <sub>2</sub>
Propiónica	Anaerobios	Ácido propiónico Ácido acético, CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub>
Fórmica	Enterobacterias	Ácido láctico, ácido fórmico, butanodiol, CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub>
Butírica	Clostridium	Ácido butírico, butanol, acetona, isopropanol y CO <sub>2</sub>
mixta	Escherichia Salmonella	Ácido láctico, ácido succínico, ácido acético, CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub>

Adicionalmente, a la obtención de productos específicos por medio de biorreacciones, se podría considerar también el uso del biorreactor para hacer estudios de saneamiento de aguas residuales por medio de la descomposición anaeróbica de contaminantes, método que en la actualidad está recibiendo considerable atención. (Qais, B. 2009)

**Objetivo General:** Transformar una autoclave obsoleta en un biorreactor a escala piloto para la investigación de la degradación microbiana de un sustrato orgánico y la obtención de energía renovable.

### Objetivos Específicos

1. Diseñar el esbozo de un biorreactor que permita unificar en su diseño una autoclave y los requerimientos operacionales de un biorreactor.
2. Transformar una autoclave obsoleta en un biorreactor.
3. Aplicar el biorreactor a un caso específico de interés actual, y determinar la calidad de los productos generados.

## 6 Metodología

Para el cumplimiento del primer objetivo de realizar el esbozo del diseño del biorreactor a construir, se hizo una revisión bibliográfica sobre los diferentes diseños de biorreactores, considerando la funcionalidad de cada una de las partes, luego de ello se discutió con un asesor técnico las opciones de modificación a la autoclave obsoleta, considerando las funcionalidades existentes y operacionales del aparato.

El cumplimiento del objetivo de transformación incluyó tanto el ajuste de las partes ya existentes en la autoclave como la instalación de las nuevas piezas requeridas, siempre tomando en consideración los posibles ambientes a digerirse dependiendo de los sustratos.

Las pruebas de funcionamiento del biorreactor se realizaron mediante la utilización de agua y de gas comprimido para probar cada una de los controles operacionales instalados. Además se utilizaron aguas jabonosas para la detección de fugas, continuando luego con los ajustes de diseño pertinentes.

El tercer objetivo de aplicación del biorreactor se realizó utilizándolo para la digestión de una muestra compuesta por 50 banano de desecho y 50 de excreta de codorniz.

Al sustrato se le realizó una determinación de pH y se caracterizó evaluándole el contenido de materia seca, materia orgánica seca y contenido de nitrógeno, los ensayos fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22th ed. 2012 APHA-AWWA-WEF y los métodos del ASTM -11 (Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists. 15ª edición).

El pretratamiento que se le realizó al desecho de banano antes de realizar la digestión, consistió en una trituración con un sistema mecánico, hasta dejar el desecho de banano en trozos muy pequeños

El proceso de digestión de la muestra se llevó a cabo mediante microorganismos mesófilos a una temperatura controlada de 30°C y con una agitación diaria programada de 15 min.

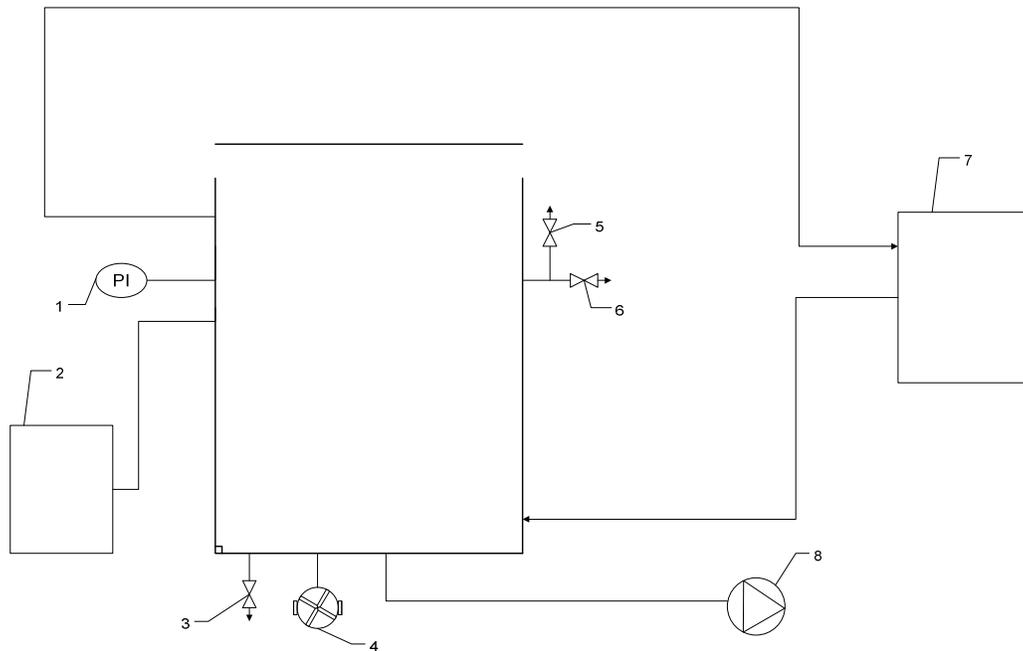
El seguimiento de la eficiencia en la digestión microbiana se realizó mediante el monitoreo de la producción del gas mediante el método manométrico.

Adicionalmente se le realizó una evaluación al digestato como posible fuente de nutrientes mediante análisis químicos de contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, de acuerdo el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21<sup>th</sup> ed. 2005.

## 7 Resultados

El primer resultado obtenido fue la transformación de la autoclave obsoleta en biorreactor, los cambios realizados se describen a continuación (Figura 1):

1. Se cambió la orientación del tanque de la autoclave, por la función que esta cumplía esta se encontraba de forma horizontal, se le hicieron los ajustes necesarios para colocar ese tanque de forma vertical.
2. Se le instaló un sistema de calentamiento con Chiller, el cual mantiene el agua a una temperatura dada y la está circulando dentro de la camisa interna del biorreactor.
3. Se instaló un medidor de presión, para controlar los gases generados.
4. Se modificó la dirección de la válvula de seguridad en caso de emergencia que permita la salida de los gases generados, esta se encuentra en la parte superior del biorreactor.
5. En la parte de abajo del tanque, se instaló una llave que permite la salida del material tratado (toma de muestra).
6. En el tanque del biorreactor, en su parte inferior se le adaptó una hélice, controlada por un motor externo que permite la agitación dentro del tanque del biorreactor. La agitación puede ser programada por periodos de tiempo o mantenerla de forma constante.
7. Se instaló un sistema de bombeo en la parte de abajo del equipo, la funcionalidad es permitir la salida del material tratado en el biorreactor. Esta misma bomba se puede utilizar para realizar el llenado del tanque.
8. El biorreactor se sostiene sobre la base de acero inoxidable que soportaba la autoclave, con algunas modificaciones en su orientación.
9. Finalmente se reutilizó el panel que tenía la autoclave en ella se instalaron los controles de agitación, bombeo, temperatura y encendido del biorreactor.



**Figura 1.** Esquema del biorreactor piloto. (1) Manómetro, (2) Panel de control, (3) Válvula de toma de muestra, (4) Sistema de agitación (5) Válvula de seguridad, (6) Válvula de toma de muestra gaseosa, (7) Sistema de calentamiento, (8) Bomba para llenar el tanque.

Para comprobar el buen funcionamiento del biorreactor se le realizaron varias pruebas después de instalados todos los componentes, lo cual permitió corregir algunas fallas dentro del sistema, tales como: fugas a través del soporte de la hélice y la poca capacidad de agitar dentro del biorreactor.

Se le realizaron los cambios pertinentes al sistema, logrando un equipo piloto con la capacidad de trabajar un volumen de 0,15 m<sup>3</sup> y con sistemas que permiten el control de parámetros necesarios para el tratamiento anaerobio de sustratos.

La estructura de funcionamiento del biorreactor cuenta con:

- Sistema de calentamiento con Chiller
- Control de temperatura interna
- Sistema de agitación
- Válvula de seguridad
- Sistema de toma de muestra gaseosa
- Sistema de bomba para llenar y vaciar tanque
- Sistema de toma de muestra

En la aplicación del biorreactor a un caso específico de sustrato r se obtuvieron los siguientes resultados.

Primeramente la evaluación de los dos sustratos por separado, Cuadro 1, muestra las calidades de cada uno de ellos.

**CUADRO 1. COMPOSICION QUIMICA DE EXCRETAD E CODORNIZ Y CASCARA DE BANANO UTILIZADA EN DIFERENTES TRATAMIENTOS DE BIODIGESTION**

<b>PARAMETROS</b>	<b>CASCARA DE BANANO</b>	<b>EXCRETA DE CODORNIZ</b>
Humedad (% m/m)	(37,51 ± 1,93)	(22,42 ± 1,78)
Fósforo (% m/m)	(0,0237±0,001)	(0,082 ± 0,001)
Nitrógeno (% m/m)	(0,0156± 0,0004)	(0,0345 ± 0,0004)
Solidos volátiles (% m/m)	(98 ± 1)	(82 ± 3)

En el Cuadro 2, se muestra la masa tomada de cada uno de los componentes de la mezcla y el volumen de agua utilizado en la biodigestión.

**CUADRO 2. MASA Y VOLUMEN DE LOS COMPONENTES DE UNA MEZCLA DE GALLINAZA DE CODORNIZ Y BANANO DE DESECHO**

Tratamiento	Peso del sustrato (kg)		Volumen de agua (mL)
	Gallinaza de codorniz	Banano de desecho	
GC + DB (1:1)	2,75	2,75	16,5

En el Cuadro 3 se puede observar la presión generada por el biogás durante el tratamiento de la mezcla de gallinaza de codorniz y el banano de desecho.

**Cuadro 3. PRESIÓN DEL BIOGAS OBTENIDO DEL TRATAMIENTO DE GALLINAZA DE CODORNIZ Y EL BANANO DE DESECHO (1:1)**

Periodo (días)	Presión (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	0,0
2	0,0
3	0,0
4	0,3
5	0,4
6	0,6
7	0,6
8	0,6
9	0,6
10	0,55

En el Cuadro 4 se muestra la composición del digestato obtenido después de realizar la digestión anaerobia por un período de 10 días.

**CUADRO 4. COMPOSICION DE DIGESTATO OBTENIDO EN EL TRATMIENTO DE GALLINAZA DE CODORNIZ Y BANANO DE DESECHO**

PARAMETROS	CONCENTRACION (mg/L)
Nitrógeno total	(3700 ± 100)
Fosfatos	(1800 ± 40)
Potasio	(1033 ± 20)

## 8 Discusión

La transformación de la autoclave a biorreactor absorbió el mayor periodo de tiempo, ya que la instalación de los componentes fue un poco lento ya que tuvo que realizar ajustes al armar este equipo. Sin embargo se logró satisfactoriamente la transformación del aparato.

Terminado la transformación se generó un manual de usuario que permite entender más fácilmente el funcionamiento del biorreactor y los cuidados del mismo. Este se detalla en el Apéndice 1.

Como otra parte de la actividad de fortalecimiento se utilizó una mezcla de sustratos para probar la funcionalidad del biorreactor y determinar la producción de biogás y la calidad del digestato generado. A continuación se desarrolla este segundo objetivo.

En el Cuadro 1, se muestra la composición química de los sustratos utilizados en la digestión anaerobia, en el caso de la excreta de codorniz presenta valores mayores de nitrógeno, fósforo que el desecho de banano. Es por ello que se decidió utilizar la excreta de codorniz en la codigestión, para mejorar la relación existente de carbono/nitrógeno (C/N) del residuo de banano ya que tiene una gran importancia para el proceso de digestión.

Como se muestra en el cuadro 2 tomando una relación de 1:1 de ambos residuos orgánicos, se realizó esta mezcla considerando algunas ventajas que tiene este tratamiento, entre ellas la complementariedad de la composición de los residuos como anteriormente se mencionó, considerándose indispensable estas mezclas cuando se tiene desechos orgánicos con baja concentración de materia orgánica y baja relación de carbono /nitrógeno, pero presentan una mayor concentración de micro y macronutrientes, esenciales para el crecimiento de los microorganismos en el proceso, como también para mantener la capacidad tampón (alcalinidad) fundamental para evitar procesos de acidificación.

Lo recomendado para digestiones de estos sustratos es la vía humedad, es decir porcentajes de sólidos inferiores al 15%, por ello se adicionó a la digestión un 75% de agua, además de la humedad incorporada por los propios sustratos.

Al desecho de banano se le realizó un pretratamiento, este consistió en triturarlo, con el objetivo de que los microorganismos metanogénicos aprovecharan mejor los nutrientes disponibles.

Otro factor determinante al realizar la codigestión, es la humedad presente en desecho de banano, Cuadro 1, que comparado con la excreta de codorniz, es mayor, favoreciendo las condiciones del tratamiento. Ya que aunque el agua contenida en los residuos orgánicos no genera biogás como tal, y se podría considerar como un volumen desaprovechado en el digestor, sin embargo la importancia del agua radica en el proceso de digestión, para que se desarrollen adecuadamente los microorganismos metanogénicos. Lográndose un balance entre la productividad del biogás generado y la humedad más los sólidos requerida para la digestión.

El cuadro 3 muestra la producción de gas durante el tratamiento realizado en un período de 10 días, se determinó la generación del biogás a partir del 3 día y aumento hasta el sexto, no se logró continuar con el experimento porque se dañó el empaque de la tapa del biorreactor, sin embargo se aprecia que la mayor producción de biogás se genera a partir del sexto día. La literatura consultada

indica que en los procesos de digestión, los sistemas tienen su mayor producción de biogás a partir del 4 día de realizado el tratamiento. Todo residuo orgánico puede generar un máximo de producción de biogás, existiendo diferencias notables según su composición y grado de biodegradabilidad. Precisamente en este ensayo se pretendió reproducir el potencial de producción de biogás de la codigestión de cascara de banano y excreta de codorniz utilizando un sistema discontinuo a escala piloto en donde la mezcla de residuos se degradara, bajo condiciones controladas de temperatura y agitación.

El cuadro 4 muestra la calidad del digestato generado durante el tratamiento anaerobio, las concentraciones de potasio, nitrógeno y fósforo aunque no son altas comparadas con la concentración de los fertilizantes comerciales, este posee la ventaja de ser un fertilizante orgánico. De esta manera se obtuvo biogás como fuente limpia de energía, y por otro lado un subproducto de la digestión (digestato) con características de fertilizante orgánico. Esto a nivel industrial lograría un tratamiento integral de los residuos, evitando contaminación de suelos y aguas.

Adicional se participó con un stand en el VI congreso de Investigación organizado por la Vicerrectoría de Investigación del ITCR, en el mismo se presentó un poster, se realizó una presentación y se entregaron brochures a los asistentes al evento.

De esta actividad de fortalecimiento se generó un artículo científico en la revista Tecnología en Marcha, el cual se estará publicando en una edición especial del VI encuentro de investigación.

## **9 Conclusiones**

- Es factible el diseño y unificación de un prototipo de biorreactor piloto, considerando las condiciones operacionales requeridas para una digestión anaerobia a partir de una autoclave.
- Fue posible transformar la autoclave obsoleta en un biorreactor piloto con los componentes necesarios para controlar el tratamiento de diferentes sustratos orgánicos. Dando un costo de transformación menor al costo de invertir en la compra de un equipo similar.
- La creación de este biorreactor estaría solucionando en gran medida la necesidad institucional de contar con equipo adecuado para realizar estudios de las calidades, y condiciones de los productos obtenidos en un biorreactor a nivel piloto, lo que permitiría impulsar proyectos a mayor escala en diferentes sectores.
- El digestato obtenido después de la digestión anaerobia demostró ser rico en macronutrientes como fósforo, potasio y nitrógeno.
- Utilizando una mezcla de excreta de codorniz y desecho de banano en proporciones de 50% cada componente, se obtuvo producción de biogás a pequeña escala piloto

## 10 Recomendaciones

Sería más conveniente contar con el asesoramiento de un Ingeniero Electromecánico además de un técnico en electromecánica para la transformación, además de la cooperación de estudiantes asistente, lo anterior no fue posible porque no se tenía presupuesto de la Vicerrectoría que cubriera dichos rubro.

## 11 Agradecimientos (opcional)

Se agradece a los Centros de Investigación de la Escuela de Química: CIPA y CEQIATEC, por la colaboración brindada en recurso humano, financiero e instrumental durante el desarrollo de la actividad de fortalecimiento.

Se extiende el agradecimiento al PhD. Jaime Quesada K, Coordinador de CEQIATEC, por su ayuda y colaboración en la elaboración de la propuesta y el desarrollo de la misma.

También agradecemos al Sr. Freddy V, asistente del CIPA por su constante colaboración durante la realización de las pruebas de laboratorio y ajuste al biorreactor.

## 12 Referencias

- (1) ASTM -11(2011). Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists. 15ª edición.
- (2) Marti, J. (2010). Biodigestores de bajo costo para producir biogás y fertilizante natural a partir de residuos orgánicos. International Center of Numerical Methods in Engineering (CIMNE), España. Consultado: 16/08/2012. Obtenido desde: <http://www.ideassonline.org/public/pdf/BiodigestoresBibliografiaDocumentDef.pdf>
- (3) Parajuli, P. (2011). Biogas Measurement Techniques and the Associates Errors. University of Jyvaskyla, Finland.
- (4) Rodríguez, A; Cabrera, A; Valencia J. (2003). Diseño y construcción de los instrumentos de medición para un biorreactor prototipo. Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica. Vol 24. #1. México. Consultado 14/08/2012. Obtenido desde: <http://www.medigraphic.com/pdfs/inge/ib-2003/ib031h.pdf>
- (5) Ruiz, H et al. (2007). Diseño de biorreactores para fermentación en medio sólido. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 6(1) 33-40.
- (6) APHA-AWWA-WEF, (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22th ed.

## 13 Apéndices

### Apéndice 1: Funcionalidad de cada uno de los componentes del biorreactor:

#### 1. Sistema de calentamiento:

El sistema de calentamiento es mediante un chiller (Figura 1), el cual se encarga de mantener el agua a la temperatura establecida según sea programado en el panel del Chiller, este sistema envía el agua a una pared externa, permitiendo la circulación de esta dentro de la camisa del biorreactor.



**Figura 2.** Chiller, modelo RTE-111

#### 2. Control de temperatura interna:

El sistema instalado en el biorreactor para el control de la temperatura interna se realiza a través de una sonda de acero inoxidable y su lectura se da por medio de un controlador en el panel. (Figura 3).



**Figura 3.** Controlador de temperatura en el biorreactor

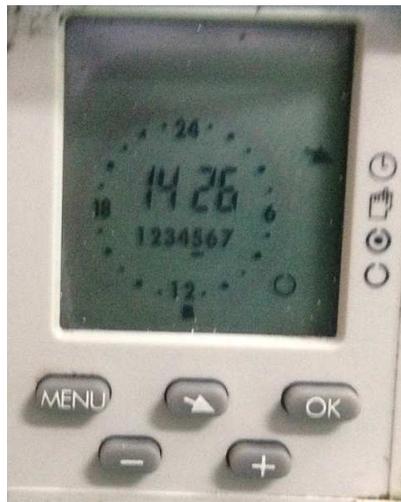
### **3. Sistema de agitación:**

El sistema de agitación electromecánico consta de un buching y un motor de agitación, el primero permite el soporte o amortiguaciones (internamente) de las vibraciones generadas por el sistema de agitación. El motor utilizado para la agitación es de corriente directa, el cual fue adaptado considerando las características de espacio disponible y agitación. El sistema de agitación permite forzar el fluido dentro del tanque con la ayuda de una hélice, es decir por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior del tanque del biorreactor. (Figura 4)



**Figura 4.** Sistema de agitación

El sistema de agitación es controlado mediante un dispositivo (figura 5).



**Figura 5.** Panel de control de agitación

#### **4. Sistema de control de la presión interna:**

El equipo cuenta con un manómetro para la medición de la presión interna del cilindro, este es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local. La presión suele medirse en atmósferas (atm); en el sistema internacional de unidades (SI), la presión se expresa en newtons por metro cuadrado; un newton por metro cuadrado es un pascal (Pa). La atmósfera se define como 101.325 Pa, y equivale a 760 mm de mercurio en un barómetro convencional. (Figura 6).



**Figura 6.** Manómetro

### 5. Válvula de seguridad:

Esta válvula permite el “alivio” de presión en la cámara del biorreactor, esto en caso de que la presión interna de este sistema supere el límite establecido. (Figura 7)



**Figura 7.** Válvula de seguridad

### 6. Sistema de toma de muestra gaseosa:

Este sistema permite tomar muestras gaseosas durante el tratamiento de un sustrato. La muestra se toma girando la llave de salida y colocando al final de la manguera un dispositivo, que permitirá la recolección de la muestra o un sistema mecánico, que determine la cantidad de gas generado en determinado período. (Figura 8)



**Figura 8.** Toma de muestra gaseosa.

### **7. Sistema de bomba para llenar y vaciar el tanque:**

La función principal de una bomba de vacío es extraer moléculas de gas de un volumen sellado, para crear un vacío parcial.

El biorreactor tiene instalada una bomba al vacío, para el llenado y el vaciado de la mezcla digerida durante el tratamiento, instalada en la parte inferior del tanque. Esta bomba cuenta con una capacidad de 0,15 m<sup>3</sup>. (Figura 9).



**Figura 9.** Bomba de vacío

### **8. Sistema de toma de muestra**

En la parte inferior del tanque del biorreactor, está instalado un sistema que permite la toma de muestra del sustrato. La importancia de este sistema es que asegura una “muestra verdaderamente representativa” cada vez que sea necesario tomarlo, sin interrupción del proceso. (Figura 10)



**Figura 10.** Llave de toma de muestra