


Subdirección de Aprovechamiento - UAESP  
Componente de Investigación.  
Valoración energética de residuos y  
Fuentes No Convencionales de Energía  
(FNCE)

# Líneas de Investigación

C.I. 001 de 2015 UAESP - JBB

Elaborado por: Andrés Herrera Aguilar

---

<p>Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos – UAESP Subdirección de Aprovechamiento Convenio Interadministrativo 001 de 2015 UAESP – JBB</p>	<p>Línea de investigación Componente de residuos orgánicos F.N.C.E.</p>	 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. SECRETARÍA DEL HÁBITAT Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos</p>
<p><b>Antecedentes</b></p>	<p>La Subdirección de Aprovechamiento, comprometida con la responsabilidad del distrito para generar conciencia y cultura respecto al manejo integral de residuos sólidos en la ciudad, trabaja de manera sistemática en la investigación y desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de residuos sólidos. Se pretende que de manera escalonada se modifiquen los procesos de enterramiento de residuos y dar el máximo de aprovechamiento al potencial energético que los residuos pueden llegar a ofrecer.</p> <p>Por otra parte, las políticas energéticas implementadas en Colombia consolidaron una estructura de producción y consumo dependiente de un recurso cada vez más escaso y en riesgo como es el agua; otros no renovables como el petróleo, el gas natural y carbón.</p> <p>Hoy en el país, nuestra matriz energética tiene un porcentaje de generación hidráulica cercano a 80%, mientras el porcentaje de generación térmica es cercano a 20%. Esta relación varía dependiendo las condiciones climáticas. Según cifras del IDEAM, hasta el 2040 se esperaría una reducción del promedio anual de lluvias, lo que precisaría pensar en la diversificación de la matriz energética, ojalá si, enfocadas a fuentes no convencionales de energía.</p> <p>La Ley 1715 del 13 de mayo de 2014 “<i>Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional</i>” abre un escenario de posibilidades de cara a los retos sociales, ambientales y económicos que trae consigo el sistema eléctrico nacional.</p> <p><b>Fuentes No Convencionales de Energía – Energía proveniente de los residuos.</b> Caracterizaciones de la composición de residuos sólidos en el Distrito estiman que un 60% son de origen orgánico, una fracción bastante significativa de cara a la valoración energética (<i>tanto térmica como eléctrica</i>) que estos residuos contienen, que pueden convertirse en materia prima para la generación de biogás. Para su obtención existen múltiples tecnologías y procedimientos (<i>gasificación, termólisis, biodigestión, fermentación en seco, etc.</i>) Definir cuáles son las más idóneas, beneficiosas en relación costo beneficio y de factible aplicación a la situación local, es tarea de las diferentes entidades que tienen la administración de los residuos en la ciudad.</p>	
<p><b>Objeto</b></p>	<p>Aunar esfuerzos técnicos, administrativos, financieros e investigativos para el desarrollo de procesos de aprovechamiento de biomasa, de tecnologías sustentables de aprovechamiento energético y renaturalización encaminados al desarrollo de la cultura del desarrollo sustentable en la ciudad de Bogotá D.C., y de la política de Basura Cero</p>	
<p><b>Actividades</b></p>	<p><b><u>Línea 1 Transferencia de conocimiento:</u></b> Análisis técnico de la biomasa para el uso del gasificador Análisis químico de diferentes tipologías de biomasa.</p> <p><b><u>Línea 2 Infraestructura:</u></b> Instalación de un sistema de biodigestión tipo “<i>fermentación en seco</i>”. Acompañamiento en proceso de instalación y montaje del prototipo de iluminación sostenible.</p> <p><b><u>Línea 3 Renaturalización:</u></b> Acompañamiento técnico en procesos de diseño de jardines agroecológicos, diseño de mobiliario urbano, diseño de muros y pantallas verdes. Implementación de sistema de manejo de residuos orgánicos (Compostera). Sesiones de capacitación. Montaje y equipamiento de un aula taller.</p>	

Montaje y equipamiento de un centro de investigación y desarrollo I+D.

**Línea 4 SIGAU:**

Entrega de información correspondiente al arbolado urbano adulto presente en las zonas solicitadas por la UAESP que se encuentra en el Sistema de Información y Gestión del Arbolado Urbano.

**Línea 5 Escalamiento de la tecnología del biodigestor al predio Buenos Aires:**

Documento que contenga la viabilidad técnica, financiera y operativa

**Línea 1 Transferencia de conocimiento:**

La evaluación del potencial energético se realizó con la intención de identificar los potenciales de la Madera Residual Urbana (MRU) y compararlas con la información de la biomasa procedente del corte y poda de césped que se genera en el Jardín Botánico de Bogotá. Para tal fin se empleó el sistema de generación de energía eléctrica Power Pallet® PP20, propiedad del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. A continuación, se detalla los materiales y métodos empleados.

Líneas de  
contemplan  
trabajo de  
investigación



**Preparación y homogenización de la MRU**

Se inició con el retiro de todas las puntillas, tornillos y plásticos, para realizar la reducción y la homogenización de la biomasa de acuerdo a las especificaciones del sistema de gasificación Power Pallet® PP20





#### Registro fotográfico

- Madera residual urbana – Carretas – Programa de Sustitución de VTA
- Madera residual urbana – Guacales y Maderas Aglomeradas (Medium Density Fibreboard)
- Madera residual urbana – Residuos generados en la ciudad
- Briquetas de madera para pruebas
- Tamizaje

Tamaño de partícula entre  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{8}$ ".

Se información entregada por la Ingeniera Lili Vega (Profesional del convenio interadministrativo) encargada del proceso se realizó:

#### Caracterización fisicoquímica

Pruebas de acuerdo a estándares internacionales:

- Método estándar para el análisis de contenido de Humedad: Norma ASTM E871
- Método de prueba estándar para la determinación del contenido de cenizas: Norma ASTM D 3174
- Método para medir el pH de astillas de madera, basado en la norma T-435 om-02

#### Pruebas de generación de energía

Una vez preparadas las dos muestras de MRU, se procedió a realizar las pruebas de generación de energía eléctrica mediante gasificación en el sistema Power Pallet® PP20, de acuerdo con el Protocolo de Operación.

#### Evaluación del potencial energético de la MRU

La evaluación del potencial energético de la MRU, se realizó mediante la comparación de la línea base del sistema empleando residuos de poda. Esta línea base consta de un porcentaje de aprovechamiento de la biomasa.

Los resultados obtenidos se encuentran en fase de análisis por parte del equipo técnico del convenio interadministrativo 001 de 2015 UAESP - JBB

\*El convenio entregó Protocolo de Operación y viabilidad del Gasificador.

\*El equipo técnico del convenio UAESP – JBB trabaja en una publicación científica “Evaluación de potencial energético”

#### Línea 2 Infraestructura:

##### **Instalación de un sistema de Biodigestión “fermentación en seco” F.S.**

El proceso de F.S. consiste en una degradación anaeróbica de materia orgánica con un alto contenido de materia seca (MS), obteniendo rendimientos de metano (CH<sub>4</sub>) alrededor de 100 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia orgánica degradada que no se requiere conversión en un sustrato líquido bombeable. El

proceso de F.S se da en un solo paso, es decir las diferentes reacciones de descomposición (hidrolisis, formación de ácidos y de CH<sub>4</sub>) tiene lugar en un solo fermentador, esta tecnología permite la fermentación de residuos orgánicos con hasta 50%de contenido de MS, los cuales son inoculados con el sustrato que ya ha sido fermentado, para luego ser introducidos en un tanque que se fermentan en condiciones herméticas. Entretanto se presenta un proceso de inoculación con la materia bacteriana se produce por medio de recirculación del líquido de percolación, que se pulveriza sobre la materia orgánica del digestor.

### Producción de biogás<sup>1</sup>

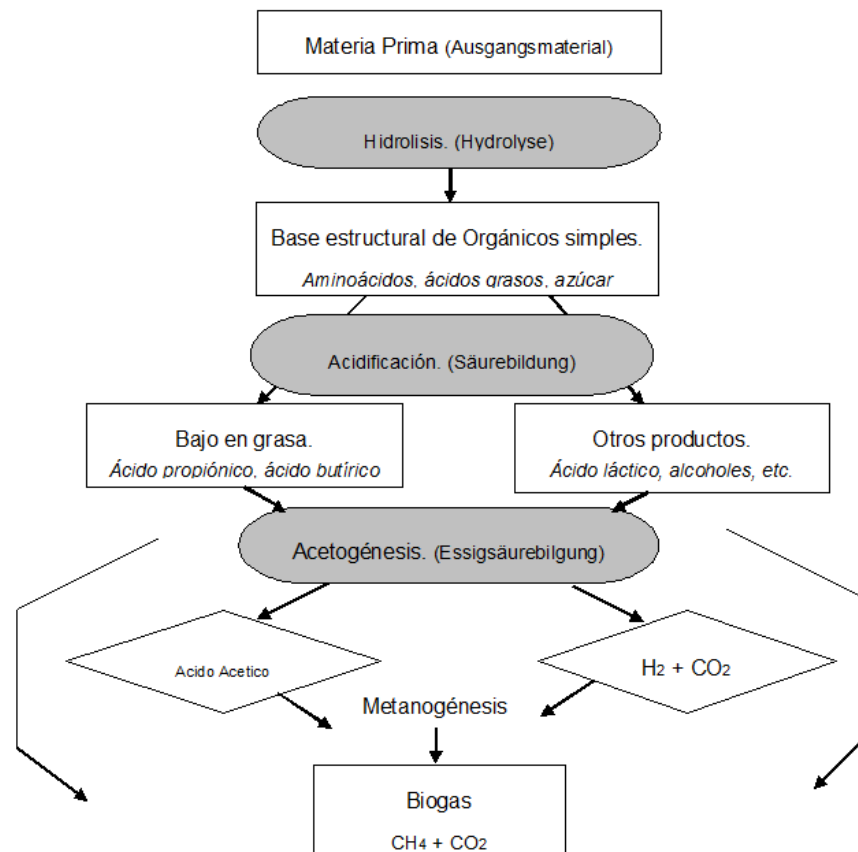
La hidrólisis de los compuestos complejos se descomponen, el material de origen (*por ejemplo, los hidratos de carbono, proteínas, grasas*) en compuestos orgánicos simples (*por ejemplo, aminoácidos, azúcares, ácidos grasos*). Las bacterias implicadas liberan enzimas que descomponen el material en la ruta bioquímica.

Los intermediarios son luego cultivados en la fase de acidificación de los llamados por bacterias formadoras de ácido a seguir a los ácidos grasos de cadena corta (acético, propiónico y ácido butírico) y dióxido de carbono desmantelado. En adición, se formó, sino también pequeñas cantidades de ácido láctico y alcoholes.

Estos productos se implementan en la acetogénesis (La formación de ácido acético) por las bacterias de los precursores de biogás que con un alto contenido de hidrógeno es perjudicial para la bacteria, la formación de ácido acético para formar una estrecha convivencia de bacterias.

En la producción de metano, el último paso de la formación de biogás, se forma de los productos de la acetogénesis del metano.

Figura 1. Esquema de degradación anaeróbica



<sup>1</sup> Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe [Hrsg]: Handreichung Biogasgewinnung und – Nutzung; Gülzow; 2006. [cited 2017 Feb 8] 232 p. Available from: [http://www.big-east.eu/downloads/FNR\\_HR\\_Biogas.pdf](http://www.big-east.eu/downloads/FNR_HR_Biogas.pdf)

Como se menciona anteriormente el proceso que ocurre con la FS es que no requiere mezclar, bombear o agitar la materia orgánica dentro del digestor, ni añadir materia adicional. El exceso de líquido de percolación se recoge en un sistema de drenaje, almacenando temporalmente en el tanque de percolación para luego volver a rociar sobre la biomasa.



La fermentación se produce a temperaturas mesófitas de  $34\text{ C}^{\circ}$  -  $39\text{ C}^{\circ}$ , que se regula a través del sistema de calefacción en pisos y paredes del sistema, aprovechando así toda superficie de contacto entre el sustrato de fermentación y el digestor.

Los digestores utilizados en la F.S son cámaras herméticas comúnmente de hormigón, oblongas y en forma de garajes que pueden ser llenas y vacías con pequeños cargadores, tienen compuertas de acero con sistemas herméticos que deben evitar el escape de gas. Detalles como el sello de seguridad de la puerta del digestor son aspectos importantes por temas de efectividad y seguridad del proceso. Generalmente los diseños de este tipo de digestores deben funcionar bajo ligera sobrepresión, que evite cualquier forma potencial de explosión de gas- aire. Comúnmente los diseños de los digestores secos no tienen partes móviles.



Una de las ventajas de la tecnología FS es que la mezcla constante de la biomasa es innecesaria y el sustrato de fermentación rara vez requiere tratamiento previo, es una tecnología más simple y robusta que el de las plantas convencionales de fragmentación húmeda, por lo cual el desgaste es mínimo, así como los costes de mantenimiento y gastos de personal. El consumo de energía de la planta también es mínimo, por lo que es factible tratar una biomasa con alto contenido de materia seca con una tolerancia a presencia de cuerpos extraños, por ejemplo, maderas.

### Especificaciones técnicas

El proyecto piloto de biodigestión de fragmentación en seco, dirigido a investigación científica, consta de un motor de combustión interna, con la capacidad de generar 5 kW<sub>eléctricos</sub> mediante el aprovechamiento de mezclas entre residuos orgánicos y residuos de césped y poda que se generan en el mantenimiento de las colecciones vivas del Jardín Botánico. El proyecto piloto de investigación en biodigestión, cuenta con un bioreactor donde se lleva a cabo la fermentación en seco por los microorganismos, tanque de almacenamiento de gas, sistema de combustión y sistemas de control (sistema de control eléctrico, sistema de almacenamiento del gas, sistema de combustión y sistemas de control (sistema de control eléctrico, sistema de control de gas generado y sistema para el monitoreo de variables del proceso fermentativo), el proyecto piloto de investigación será ubicado en la zona de aprovechamiento de residuos vegetales del jardín Botánico José Celestino Mutis.



Biodigestor tipo Fermentación en seco en operación – Tablero eléctrico



Motor de combustión interna para la generación de energía eléctrica. (5kw/e nominal)

A la fecha el biodigestor ha sido cargado con aproximadamente 45 toneladas de residuos orgánicos (rumen, residuos orgánicos de plazas de mercado y corte y poda de césped).

#### Información general de las especificaciones generales del sustrato<sup>2</sup>

Sustrato	Materia Seca (TS) (%)	Materia Seca Orgánica (oTS) (% TS)	N	NH <sub>4</sub> (Amonio)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Producción de Biogás		Contenido de CH <sub>4</sub> (Metano) (%)
			(% TS)			m <sup>3</sup> /t FM	m <sup>3</sup> /t (oTS)	
Residuos orgánicos Urbanos	40 - 75	50 - 70	0,5 - 2,7	0,05 - 0,2	0,2 - 0,8	80 - 120	150 - 600	58 - 65
Restos de comida y alimentos vencidos.	9 - 37	80 - 98	0,6 - 5	0,01 - 1,1	0,3 - 1,5	50 - 480	200 - 500	45 - 61
Residuos de plazas de mercado	15 - 20	80 - 90	3 - 5	n.a	0,8	45 - 110	400 - 600	60 - 65
Residuos de trampas de grasas	2 - 70	75 - 93	0,1 - 3,6	0,02 - 1,5	0,1 - 0,6	11 - 450	aprox. 700	60 - 72

#### Propiedades de los Residuos de Mataderos y puntos de ventas para cárnicos

Sustrato	Materia Seca (TS) (%)	Materia Seca Orgánica (oTS) (% TS)	N	NH <sub>4</sub> (Amonio)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Producción de Biogás		Contenido de CH <sub>4</sub> (Metano) (%)
			(% TS)			m <sup>3</sup> /t FM	m <sup>3</sup> /t (oTS)	
Vísceras de cerdo	12 - 15	75 - 86	2,5 - 2,7	n.a	1,05	20 - 60	250 - 450	60 - 70
Vísceras	11 - 19	80 - 90	1,3 - 2,2	0,4 - 0,7	1,1 - 1,6	20 - 60	200 - 400	58 - 62
Lodos	5 - 24	80 - 95	3,2 - 8,9	0,01 - 0,06	0,9 - 3	35 - 280	900 - 1200	60 - 72

<sup>2</sup> Andrés Herrera Aguilar. Konzept für die energetische Nutzung von Organischen Abfällen in der öffentliche Markplätze in Bogotá D.C.". Múnich; 2009 [cited 2017 Feb 8] 41 p.



Tabla 1. Volúmenes proceso de cargue

PROCESO DE CARGUE EN VOLÚMEN		PROCESO DE CARGUE EN PESO	
Cargue del bioreactor # 1	Volumen	Cargue del bioreactor # 1	PESO
Cantidad de material de residuos de plaza - fuente de carbono	2 m <sup>3</sup>	Cantidad de material de residuos de plaza - fuente de carbono	2 Ton
Cantidad de material de estiércol (inóculo para obtener bacterias metanogénicas)	14 m <sup>3</sup>	Cantidad de material de estiércol (inóculo para obtener bacterias metanogénicas)	11 Ton
Cantidad de césped fuente de nitrógeno	6m <sup>3</sup>	Cantidad de césped fuente de nitrógeno	3,6 Ton
Cargue del bioreactor # 2	Volumen	Cargue del bioreactor # 2	Volumen
Cantidad de material de residuos de plaza - fuente de carbono	1 m <sup>3</sup>	Cantidad de material de residuos de plaza - fuente de carbono	1 Ton
Cantidad de material de estiércol (inóculo para obtener bacterias metanogénicas)	14 m <sup>3</sup>	Cantidad de material de estiércol (inóculo para obtener bacterias metanogénicas)	11 Ton
Cantidad de césped fuente de nitrógeno	7m <sup>3</sup>	Cantidad de césped fuente de nitrógeno	4,2 Ton
Cargue del bioreactor # 3	Volumen	Cargue del bioreactor # 3	Volumen
Cantidad de material de residuos de plaza - fuente de carbono	1 m <sup>3</sup>	Cantidad de material de residuos de plaza - fuente de carbono	1 Ton
Cantidad de material de estiércol (inóculo para obtener bacterias metanogénicas)	14 m <sup>3</sup>	Cantidad de material de estiércol (inóculo para obtener bacterias metanogénicas)	11 Ton
Cantidad de césped fuente de nitrógeno	7m <sup>3</sup>	Cantidad de césped fuente de nitrógeno	4,2 Ton

Fuente: Convenio Interadministrativo 001 de 2015. UAESP – JBB. 2016.

Se inicia trabajo de consolidación de la información de aprovechamiento térmico y eléctrico obtenido (m<sup>3</sup> de biogás generado, kilovatios generados), análisis y pruebas del material extraído de los bioreactores para compostaje, entrega de las pruebas físico – químicas de la biomasa utilizada en el proceso.

#### Proceso de instalación y montaje del prototipo de iluminación sostenible en La Alquería:

Con el propósito de seleccionar las mejores alternativas de iluminación LED alimentados con energía solar mediante Sistemas Fotovoltaicos y energía convencional de la red, para la iluminación del Centro La Alquería se desarrolló la línea de proyecto.

El proyecto entrega:

1. Diseño, montaje y puesta en operación de un **Sistema Solar Fotovoltaico** que alimente una Iluminación LED de la Alquería.  
Capacidad de generación nominal de 12 kW/hora  
Autonomía de pilas. 2 días
2. Adecuación, suministro e instalación de un **Sistema de Iluminación LED**
3. Diseño, montaje, adecuación de la infraestructura existente y puesta en operación de un **Sistema Termosolar**, (capacidad de 180 litros) que caliente agua sanitaria para dos duchas existentes.
4. Suministro, montaje y puesta en operación de tres **postes de alumbrado público con luminarias LED y alimentados con Sistema Solar Fotovoltaico**.
5. Diseño, montaje y puesta en marcha de un **Sistema de Iluminación con Luminarias LED del área operativa** del centro de innovación tecnológica de la Alquería.
6. Mejoras de la red eléctrica del área operativa del centro La Alquería. **(220V)**

Una vez culminado en su totalidad los procesos de Iluminación y SFV se iniciará el reporte de:

- Cantidad de energía emitida por los paneles solares (SFV)
- Estimación de la energía dejada de consumir a la red eléctrica
- Registro de la lectura de consumos de contador
- Estimación de litros de agua caliente utilizados (Sistema Termo Solar)
- Estimación aproximada de emisiones evitadas de Toneladas de CO<sub>2eq</sub>



#### Registro fotográfico

- 12 paneles solares
- Sistema Solar Fotovoltaico instalado en La Alquilería
- Rack de baterías de soporte
- Totalizador del SFV
- Sistema termosolar (calentamiento de agua)
- Parklet acuático (aprovechamiento de aguas lluvia)

**Línea 3 Renaturalización:**

Montaje y equipamiento de un centro de investigación y desarrollo I+D: con los equipos ofimáticos necesarios

**Línea 4 SIGAU:**

El SIGAU es el Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano de Bogotá D.C. Es el sistema único que contiene toda la información de los árboles localizados en el espacio público de la ciudad, dentro del perímetro urbano. El sistema permite al usuario conocer las características y localización de todos y cada uno de los árboles, así como realizar consultas individuales y obtener indicadores de la base de datos. Para lo cual el convenio hace entrega de 8 Tablet tipo Android 4.0 con el objeto de instalar el software que permita acceder al sistema de información.

**Línea 5. Escalamiento de la tecnología del biodigestor al predio Buenos Aires**

De acuerdo a los procesos del sistema de Biodigestión "*Fermentación en seco*", se analizó la viabilidad de un escalamiento al predio Buenos Aires. Teniendo en cuenta los antecedentes del terreno y luego de un análisis interdisciplinario de pre factibilidad el predio no es idóneo para este tipo de plantas. El convenio entrega un documento con información técnica sin especificar el lugar con una capacidad nominal de generación de 100 KW/e.

Elaborado por:  
Andrés Herrera Aguilar - Contratista de la Subdirección de Aprovechamiento  
Contrato 049 de 2017

Supervisor del Convenio:  
Sergio Andrés Rodríguez Acevedo.  
Subdirector de Aprovechamiento