

Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda.

2. Descripción

2.1 Fundamentos técnicos

Los biodigestores han sido utilizados por la humanidad desde el año 1.900 en la India, son sistemas anaeróbicos cuya materia prima se denomina biomasa. El término biomasa se refiere entonces a cualquier tipo de materia orgánica que tiene su origen en un proceso biológico, siendo ejemplo de esta biomasa la madera, los desechos agrícolas y el estiércol; la biomasa puede convertirse en energía a través de dos procesos, el bioquímico, en el cual se ubica la tecnología del biogás, y el termoquímico [Posso 2002]. La biomasa se clasifica de acuerdo con las siguientes categorías [Posso 2002]: natural, que corresponde a la que se produce espontáneamente en la naturaleza, como bosques, matorrales, hierbazales, entre otros; residual, obtenida de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, como los estiércoles que son usados como materia prima para la producción del biogás; y de plantaciones energéticas, que corresponde a cultivos energéticos, es decir plantaciones que están dedicadas a la producción de un combustible, como la caña de azúcar, el maíz, especies de palma, entre otros [FAO 2008].

[Olaya 2009]: Una forma inmediata de aprovechar el recurso biomásico, es a partir de la fermentación anaeróbica, proceso denominado digestión anaeróbica, en el cual se convierte la compleja materia orgánica en metano (CH_4) y otros gases, y cuya reducción depende de la cantidad y del tipo de materia adicionada al sistema, así como las condiciones psicométricas del aire en el interior del sistema; se ha podido establecer que usando materia altamente biodegradable se obtiene 0.5 m³ de gas por Kg de masa, con un 70% de Metano [Guzmán 2008].

Las bacterias fermentan el material orgánico en ausencia de aire (es decir, fermentación anaeróbica) y producen biogás; este material de fermentación está constituido por sustancias sólidas orgánicas, inorgánicas y agua (el cual incrementa la fluidez del material de fermentación, característica importante para el funcionamiento de una planta de biogás), y su componente inorgánico no sufre modificación alguna durante el proceso de fermentación [Guevara 1996]. El biogás que generalmente se produce, es un gas incoloro, inflamable, y contiene 60% de metano y 40% de dióxido de carbono, con aportes menores de Nitrógeno, Hidrógeno, y gas sulfhídrico; su poder calorífico es de 4400 Kcal/m³ [Guzmán 2008].

El proceso de fermentación está compuesto por tres fases principales [Guevara 1996; Ramón et al. 2006]: una primera fase, de hidrólisis, donde las bacterias fermentativas o acidogénicas hidrolizan los polímeros y las convierten a través de la fermentación en ácidos orgánicos solubles; una segunda fase, de acidificación, donde las bacterias acetogénicas causan una metabolización de los complicados ácidos orgánicos en acetatos (CH_3COOH), dihidrógenos (H_2) y carbodióxidos (CO_2); y una tercera fase, de metanización, donde las proteínas, hidratos de carbono y grasa, los aminoácidos, alcoholes y ácidos grasos que se

formaron en las fases anteriores, se convierten en metano, bióxido de carbono y amoníaco. En la última fase el material de fermentación se vuelve más líquido.

Diversos factores influyen en el funcionamiento del biodigestor, los cuales son descritos a continuación [Guevara 1996; Hilbert 2003]:

- Temperatura y tiempo de retención: el rango de temperatura y el periodo de retención dentro del biodigestor, clasifican la fermentación de la siguiente manera [Alcayaga et al. 1999]:

- o Fermentación psicrófila, para un rango de temperatura entre 10 y 20°C y más de 100 días de retención.

- o Fermentación mesófila, para un rango de temperatura entre 20 y 35°C y aproximadamente 30 a 40 días de retención.

- o Fermentación termófila, para un rango de temperatura entre 50 y 60°C y más de 8 días de retención. Este tipo de fermentación no es apropiada para plantas sencillas.

- Relación C/N: Los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por carbono (C) y también contienen nitrógeno (N), entonces se establece la relación entre ellos (C/N), la cual influye sobre la producción de gas [Alcayaga et al. 1999]. Una relación de 20:1 hasta 30:1 es aceptable [Alcayaga et al. 1999], aunque el valor ideal es de 16 [Corace et al. 2006]; mezclas de materiales de fermentación con alto contenido de nitrógeno (como por ejemplo, el estiércol de gallina) con material de fermentación con alto contenido de carbono (como el tamo de arroz) generan una elevada producción de gas [Alcayaga et al. 1999].

[Olaya 2009]: Para conseguir un buen rendimiento de gas en forma constante durante la fermentación, se deben combinar proporciones adecuadas de materiales con bajo y alto rendimientos y diferentes velocidades de generación; la relación C/N de la combinación puede ser calculada como [Guevara 1996]:

$$K = (\sum C_i X_i) / (\sum N_i X_i)$$

Donde, K es la relación C/N de la combinación de materias escogidas para la carga, N es el porcentaje de nitrógeno de la materia i, C es el porcentaje de Carbono de la materia i, y X es el peso de la materia i.

Tabla 3.8. Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural.

Materiales	% C	% N	C/N
Residuos animales			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosas	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Asemín	44	0.06	730:1

Fuente: Varnero y Arellano, 1991.

- Niveles de amoníaco: Este parámetro es importante cuando se utilizan determinados materiales que contienen un alto porcentaje, como es el caso de los estiércoles de aves [Álvarez et al., sf]. Se recomienda que los niveles dentro de los digestores se mantengan por debajo de los 2000 mg/l, para lo cual se aumentan las diluciones de entrada del material [Álvarez et al., sf].

- pH: Está en función de la concentración de CO₂ en el gas, de la concentración de ácidos volátiles y de la propia alcalinidad de la materia prima [GTZ-CVCOEKOTOP 1987]. Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios en el pH, oscilando entre 6 y 8 (es deseable un valor entre 7 y 7.2) [GTZ-CVCOEKOTOP 1987]. El pH del lodo de fermentación indica si el proceso de fermentación transcurre sin problemas, y su medición indica el comportamiento de la carga de fermentación dentro del digestor, para la producción de biogás [GTZ-CVCOEKOTOP 1987].

- Contenido de agua de la mezcla: Las bacterias y otros microorganismos no pueden funcionar efectivamente cuando el contenido de agua de la mezcla es demasiado bajo, y la cantidad de biogás producido será pequeña [Álvarez et al., sf].

Cuando la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción del biogás es limitada [Álvarez et al., sf]. El uso primordialmente de excreta humana y orines, estiércol, y desechos de agricultura, como alimento para el digestor, deberá conllevar a una razón de biomasa a agua entre 1:1 y 1:2; y por cada 100 Kg de heces y orina, se requerirán entre 100 y 200 litros de agua [Álvarez et al., sf]. Cuando el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere más agua, en una razón de 1:3 o 1: 4 [Álvarez et al., sf]. La actividad de mezclar, debe realizarse en forma adecuada y uniforme en el tanque del digestor para promover una digestión efectiva, especialmente si se utiliza biomasa cruda con alto contenido leñoso [Álvarez et al., sf].

2.2 Descripción de la invención

Nuestro sistema está inspirado en el conocimiento ancestral de nuestros antepasados y comunidades campesinas en la implementación de fosos sépticos para el manejo de desechos y el tratamiento de condiciones insalubres. Por lo tanto, nos planteamos desarrollar un sistema que cumpla con la eficacia técnica – financiera de un biodigestor tipo Taiwán, con las características para el correcto manejo de los desechos de un foso séptico. Dentro del proceso de investigación y desarrollo, finalmente llegamos a nuestro Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda. Este sistema nos permite la utilización de la totalidad de los residuos sanitarios en los proyectos constructivos e inmuebles mencionados, así como, la implementación en el sistema de trituradores de residuos orgánicos, que nos permiten enriquecer la mezcla que alimenta la biomasa, al aprovechar esta materia orgánica, se vuelve más eficiente el proceso de generación del biogás y la calidad del biofertilizante resultante (lodos y líquidos). El material principal elegido para el equipo biodigestor es la membrana en PVC, por las características específicas del material, flexibilidad, resistencia, su costo en la implementación, larga vida útil y posibilidad final de reciclaje de la materia prima.

Los cálculos de carga del biodigestor, cálculos de capacidad del sistema hidráulico, así como, el tanque de almacenamiento, serán analizados según el caso, puesto que se tienen que tener en cuenta las cargas de suministro, tipo de materia orgánica, temperatura, utilización de los productos resultantes y en general todas las variables involucradas en el desarrollo y destinación de cada proyecto.

El diseño propio del Biodigestor, requiere de los siguientes pasos [Sogari et al. 2000; Olaya 2006]:

- Posible carga orgánica (biomasa).
- Cantidad de mezcla de agua (Ma).
- Determinación del tiempo de retención (Tr).
- Determinación de las dimensiones del biodigestor.



- Dimensionamiento del tanque de compensación (V_c) y almacenamiento del gas (V_g).

Dentro de las bondades del diseño encontramos la no separación de la red sanitaria, con el fin de, la utilización de la totalidad de desechos. Caja de inspección para facilitar la mezcla de alimentación, así como, medir sus componentes e implementar compuestos o acciones que enriquezcan y hagan más efectivo el proceso de la biomasa. Se trata de utilizar la mejor pendiente posible en el desagüe principal y red de alimentación para cada proyecto, con el fin de no hacer uso de recursos adicionales en la implementación de equipos de bombeo. La ubicación del biodigestor la planteamos en un habitáculo bajo tierra, protegiéndolo de los elementos y evitando la proliferación de malos olores al exterior, adicionalmente se implementará una rejilla de aireación que incluya un sifón en PVC para no dejar pasar malos olores al exterior, como una medida preventiva para evitar acumulación de gases en caso de algún escape.

La instalación del habitáculo se realiza con especificaciones técnicas similares a las de un foso séptico. En el diseño del equipo biodigestor se implementaron válvulas para la tubería de alimentación, salidas de biogás, drenado de lodos y líquido biofertilizante, para asegurar la hermeticidad requerida para el proceso anaeróbico. El material utilizado principal para el biodigestor es membrana en PVC por su alta resistencia, flexibilidad y propiedades.

El Filtro desulfurizador permite la extracción del sulfuro de hidrógeno que es componente natural del biogás. Este H_2S es muy corrosivo y por lo tanto, su eliminación es importante para garantizar una mayor vida útil de los equipos domésticos usados a biogás. Filtro deshidratador permite la extracción del vapor de agua que es componente natural del biogás. Manómetros Para disponer de una fácil y rápida medición del nivel de presión de la línea de distribución de biogás. Esto es muy importante para determinar si el sistema mantiene suficiente presión para poder hacer uso de los artefactos domésticos. [MINENERGIA et al 2011]. Haciendo uso de una bomba de vacío podemos comprimir el biogás filtrado y almacenarlo en el tanque para finalmente ser utilizado en el inmueble o inmuebles como combustible para preparación de alimentos, calefactor, iluminación, generación de energía eléctrica, etc.

2.3 Factibilidad del Sistema (Ejemplo)

El primer paso abordado fue calcular la cantidad estimada de biomasa con la que podíamos contar para alimentar nuestro sistema. Hicimos el cálculo teniendo en cuenta un hogar tipo de nuestro país (estrato 3 Bogotá) compuesto por 4 personas.

Obtuvimos un valor aproximado de 6.827 litros de agua residual para una familia tipo por mes. Como se muestra en el Cuadro 2 [ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ 2012].

Cuadro 2
Indicadores ambientales específicos sobre aguas residuales

		Indicador	Estrato	Litros
Alcantarillado	Población	Producción agua residual per. cápita / día	1 Bajo-Bajo	49,68
			2 Bajo	58,83
			3 Medio-Bajo	69,50
			4 Medio	108,40
			5 Medio-Alto	143,66
			6 Alto	221,64
	Hogares	Producción Agua Residual por hogar / día	1 Bajo-Bajo	174,77
			2 Bajo	211,78
			3 Medio-Bajo	227,58
			4 Medio	301,08
			5 Medio-Alto	390,24
			6 Alto	561,36
	Viviendas	Producción agua residual por vivienda / día	1 Bajo-Bajo	200,85
			2 Bajo	238,83
			3 Medio-Bajo	249,01
			4 Medio	302,70
			5 Medio-Alto	384,92
			6 Alto	534,84

Fuente: Base Datos EAAB 2010, Proy. Pobl. DANE-SDP 2010

El total de los residuos para un hogar tipo en el año 2011 fue de 70 kg mensuales aproximados tal como se muestra en el Cuadro 2. El 60% de la basura de los hogares colombianos es orgánico [PORTAFOLIO 2017], por lo tanto podemos incluir 42 kg mensuales. Se estiman 290 litros adicionales de residuos sanitarios mensuales adicionales al agua para la familia tipo, dicho valor va incluido en el agua residual por lo que tiene que ser restado por lo que el valor total del agua es de 6.537 lt.

Cuadro 2
Generación de Residuos de los Hogares
2005-2011

Año	Toneladas año	Población	Ton / año / per cápita	Kl / año / per cápita
2005	7.583.240	42.888.592	0,18	176,81
2006	8.908.555	43.405.956	0,21	205,24
2007	7.582.875	43.926.929	0,17	172,62
2008	9.153.835	44.451.147	0,21	205,93
2009	9.488.175	44.978.832	0,21	210,95
2010	8.980.095	45.509.584	0,20	197,32
2011	9.686.005	46.044.601	0,21	210,36

Fuente: MADS, SUI

Según lo investigado en nuestro fundamento técnico, anteriormente descrito. La mezcla de agua y material orgánico mixto deberá ser en una proporción 4:1, entre otras características relevantes que tienen que ser controladas para el eficiente funcionamiento de nuestro

sistema. Por lo tanto, para nuestro ejemplo, es necesario, para un correcto funcionamiento del mismo adicionar en la caja de inspección de nuestro sistema a la biomasa enriquecida $1,6 \text{ m}^3$ de materia orgánica valor aproximado. Proponemos hacer uso de residuos de jardinería o material de poda triturado. Decidimos no tener en cuenta los residuos orgánicos del hogar por la proporción 4:1 de la mezcla con el fin de enriquecerla.

Las pruebas realizadas al equipo en escala nos arrojaron que para el ejemplo de hogar tipo el sistema puede proveer bajo un marco conservador 250 m^3 de biogás. Las pruebas fueron realizadas bajo un ambiente controlado y muestras recogidas de colectores sanitarios de la zona.

En la actualidad, el servicio de gas natural cubre a más de 7.9 millones de hogares, y mantiene un consumo promedio relativamente estable por hogar que se aproxima a los 17 m^3 mensuales, en las diferentes zonas [MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA 2015]. Por lo tanto, tenemos un remanente de 233 m^3 de biogás.

Con la instalación de un generador eléctrico a gas de 5.6 KVA cuyo consumo promedio es $2.29 \text{ m}^3/\text{h}$ podemos generar energía eléctrica al hogar durante 102 horas aproximadas por mes en un escenario conservador.

2.4 Viabilidad Financiera

Iniciamos calculando el ahorro mensual por la implementación y puesta en marcha del sistema para, luego, analizar el punto de equilibrio y retorno de la inversión.

Según la empresa Gas Natural Fenosa, el valor del m^3 de gas natural para el estrato 3 promedio es 1.600 pesos por lo tanto el valor mensual es 27.200.

A diciembre de 2017 la tarifa en Bogotá del servicio de alcantarillado (estas tarifas varían en todo el país, de acuerdo a la empresa prestadora, solo son para el ejemplo) para el estrato 3 son: cargo fijo 5.900 pesos y 2.200 pesos por m^3 . El consumo promedio de una familia en Bogotá es de 10,76 metros cúbicos de agua [EL TIEMPO 2012], por lo tanto, el valor del servicio mensual sería de 29.572 pesos por mes.

Para el caso supondremos que en el hogar las horas activas de mayor uso de energía eléctrica son de lunes a domingo de 6 AM a 10 PM, 480 horas mensuales. Según Codensa el valor promedio de la factura para un hogar estrato 3 es de 55.000 pesos mes. Por lo tanto nuestro ahorro será de 11.700 pesos aproximado. Este valor podrá ser mayor, haciendo uso del sistema en las horas de mayor consumo.

El lodo biofertilizante debe ser secado para poderse comercializar, el kilo de este tipo de fertilizante tiene un valor promedio al por mayor en el mercado de 1.000 pesos por kilo. Para el ejemplo expuesto, estimamos bajo una producción conservadora 800 kg mes, por lo tanto, 800.000 pesos de ingresos mensuales por este concepto.

El biofertilizante en estado líquido después de un proceso de filtrado puede ser comercializado, el litro de este tipo de fertilizante tiene un valor promedio al por mayor en el mercado de 2.000 pesos por litro. Para el ejemplo expuesto, estimamos bajo una producción conservadora 2000 lt mes, por lo tanto, 4.000.000 pesos de ingresos mensuales

por este concepto. Los tipos de biofertilizante pueden ser utilizados directamente en un proceso productivo, generando una mayor utilidad a la comercialización de los mismos.

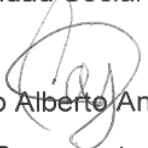
Hemos estimado un costo promedio de implementación del sistema para el caso estudiado, correspondiente a obra civil, dotación, instalación y puesta en marcha de equipos, sin tener en cuenta licencias y permisos para su ejecución, de 60 millones de pesos. Este valor puede bajar implementando un modelo de economía de escala.

Por lo tanto, en 12 meses aproximados se recupera el valor de la inversión, generando un retorno mensual del 8,11% a partir de ese momento.

No hemos tenido en cuenta el valor de la conexión de un proyecto constructivo a la red madre de alcantarillado el cual tiene un Valor promedio de 3.800.000 por metro lineal más un 6% de interventoría. También existe un valor de Cargas urbanas que está atado a la inversión urbanística y de infraestructura de cada sector, estos valores varían según el operador de alcantarillado. Estos rubros en algunos casos hacen inviables algunos proyectos, así se cuente con una disponibilidad de servicios para la zona.

2.5 Beneficios de nuestro Sistema

- No separación de redes de aguas residuales.
- Baja los costos de diseño y construcción de la red sanitaria.
- Disminución en tarifas de recolección y alcantarillado. Reducción de residuos en rellenos sanitarios.
- Minimización de costos de derechos de alcantarillado y desarrollo constructivo del mismo.
- Ingresos provenientes de la generación de energía (gas y/o eléctrica), comercialización y utilización de lodos y liquido biofertilizante.
- Tratamiento y utilización de los residuos directamente en la fuente, evitando contaminación en campos, alimentos y fuentes hídricas. [PORTAFOLIO 2017]: En las ciudades, el 97% tiene conexión al agua potable y el 93% cuenta con canalización. La preocupación es que gran cantidad de las aguas residuales llegan sin ser tratadas a los ríos y zonas costeras.
- Costo auto sustentable en la implementación del sistema bien sea por apoyo estatal o un esquema de concesión del sistema e inversión directa del propietario.
- Viabiliza en gran medida proyectos constructivos en predios de zonas alejadas que cuentan con disponibilidad normativa de servicios, pero que ante la ausencia de infraestructura no es posible su desarrollo.
- La implementación de nuestro proyecto es aplicable a proyectos constructivos de vivienda en general, proyectos hoteleros, primordialmente, quienes depositan desechos tratados directamente al mar.
- Alineado con la Responsabilidad Social de cada ser humano.


Camilo Alberto Andrade Suárez

Representante legal

Sistema Biodigestor Subterráneo de carga continua, de alimentación mixta, aguas sanitarias y desechos orgánicos, provenientes de Complejos habitacionales, hoteleros, recreativos, institucionales y comerciales, haciendas, condominios, conjuntos e inmuebles destinados a vivienda.

Bibliografía

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ; (2012). Boletín No. 40 Sobre el consumo y la producción de agua potable y residual en el uso residencial urbano de Bogotá D.C, Bogotá D.C

ALCAYAGA, S.; GLARÍA, J.; GUERRERO, L.; (1999). Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandida. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Marzo.

ÁLVAREZ, J.M.; CANETA, L.; MOYANO, C.; (sf). Biomasa y biogás. Trabajo de Curso (Máquinas Térmicas II). Universidad Nacional del Nordeste. 15p.

CORACE, J.J.; AEBERHARD, M.R.; MARTINA, P.A.; VENTÍN, A.M.; GARCÍA S., E.; (2006). Comparación del tiempo de reacción en el proceso de biodigestión según el tamaño de las partículas de aserrín utilizado como materia orgánica. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2006, Universidad Nacional del Nordeste, Resumen T-034, 4p.

DANE; (2012). Cálculo piloto de la cuenta de flujos físicos del agua: Sectores industria manufacturera y hogares, Bogotá, Colombia.

DANE; (2015). Cuenta de residuos 2005 – 2013 provisional, Oferta y utilización de residuos sólidos Industria Manufacturera y Hogares (piloto), Bogotá, Colombia.

EL TIEMPO; (2012). Cuatro años para salvar el agua de Bogotá. Colombia.

EL TIEMPO; (2017). Siete de cada 10 municipios en Colombia no tratan sus aguas residuales. Colombia.

FAO; (2008). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Roma, 2008, 162p.

GTZ-CVC-OEKOTOP; (1987). Difusión de la tecnología del biogás en Colombia. Documentación del Proyecto. Cali.

GUEVARA V., A.; (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Documento

GUZMÁN S., J.C.; (2008). Apuntes sobre consumo energético de biomasa. Diplomado en Energía SNAP, Proyecto No. 003/2008, PROLEÑA Soluciones Energéticas Eficientes, La Paz, Bolivia, febrero, 19p.

HILBERT, J.A.; (2003). Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires, 57p.

MINENERGIA CHILE; PNUD; FAO; GEF; (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2015). Balance de Gas Natural en Colombia 2016-2025. Colombia.

OLAYA, Y.; (2006). Diseño de un biodigestor de cúpula fija. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.

OLAYA, Y.; GONZÁLEZ, L; (2009). Fundamentos Para el Diseño de Biodigestores. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.

PORTAFOLIO (2017). Las oportunidades en el aprovechamiento de residuos sólidos. Informe especial revista Doing Business, Medellín.

POSSO, F.; (2002). Energía y ambiente: Pasado, presente y futuro. Parte Dos: Sistema energético basado en energías alternativas. Geoenseñanza, Vol. 7, (1-2), pp54-73.

RAMÓN, J.A.; ROMERO, L.F.; SIMANCA, J.L.; (2006). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo. Revista Ambiental: Aire, Agua y Suelo. Vol. 1, 15-23.

SOGARI, N.; REUSS, M.; BUSO, A.; (2000). Diseño de un biodigestor para obtener metano utilizando excremento de vacas y cerdos en una escuela agrotécnica. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, Argentina, 4p.

VARNERO, M.T.; ARELLANO, J.; (1991). Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Ministerio de Agricultura (FIA). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Informe Técnico. Santiago, Chile, 98p..



Camilo Alberto Andrade Suárez

Representante legal

Quality Colombia Limitada

NIT. 900.139.177-8