

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE BÓVEDA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUALES DE EXCRETAS DE CERDOS DE LA UNIDAD PORCINA CAMARIOCA

Ing. Berkys Medina Urra¹; DrC. Lourdes Y. González Sáez²,
MSc. José Venancio Sanchez²

1. UEB Flora y Fauna, calle 139, esquina 142, Reparto Reynold García, Matanzas, Cuba.

directora@ffaunamt.co.cu

2. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.

Monografías

Resumen

Se diseña un biodigestor para el tratamiento de las excretas de cerdos que se generan en la Unidad Porcina cercano al poblado de Camarioca, perteneciente a la Empresa Nacional para la Protección de la Flora y la Fauna de Matanzas (ENPPFF). Se realiza la evaluación del sistema de tratamiento actual de los residuales líquidos generados en la etapa de limpieza del centro de reproducción y cría, y se propone un nuevo sistema de bóveda con principio de funcionamiento de flujo pistón. El cuerpo central del biodigestor propuesto está formado por una bóveda con dos casquetes semiesférico. El diseño prevé la salida de la biomasa digerida por medio de la acción de la presión del biogás hacia un tanque de compensación hidráulico con un sistema de evacuación para separar los lodos sobrenadantes del efluente líquido, lo cual garantiza el funcionamiento semicontinuo. Se adiciona un sistema de evacuación para fluctuaciones en la generación de residuales. Se propone un filtro con virutas de hierro como material filtrante, para la purificación del biogás producido. Se determina el análisis costo beneficio para evaluar la factibilidad económica de la propuesta. Se analiza y proponen las alternativas de reuso del producto y los residuos obtenidos en el sistema de tratamiento.

Palabras claves: biodigestores; residuales porcinos; Biodigestor tipo túnel

Cuerpo de la monografía

Reseña de situación actual sobre el impacto en el medio ambiente producto del vertimiento de residuales.

En la actualidad existe una imperiosa necesidad de conservar y proteger los recursos hídricos y evitar su contaminación. La situación es más problemática si se tiene en cuenta que una buena proporción de las aguas superficiales está contaminada por el vertido indiscriminado de residuos generados por la actividad del hombre en centros urbanos e industriales. Hoy en día la contaminación y destrucción del entorno se ha convertido en una tendencia deformada, asociada al desarrollo económico, lo que constituye un problema global. Lo que unido al acelerado crecimiento demográfico hace que la humanidad se esté enfrentando a desafíos como la escasez de alimentos, la sequía, desertificación, pérdida de la fertilidad de los suelos, incremento del efecto invernadero, aumento del diámetro del agujero de la capa de ozono y agotamiento de las reservas naturales económicamente explotables (Pérez- Borroto, 2014).

El estado cubano ha identificado como parte de su Estrategia Ambiental Nacional el deterioro del saneamiento y las condiciones ambientales en los asentamientos humanos y la contaminación de las aguas terrestres y marinas entre los principales problemas ambientales del país, determinados en gran medida por el manejo deficiente de los desechos generados

por la población, y las actividades productivas y de servicios. De esta forma se ha asumido una política emergente para controlar y detener las actividades que signifiquen deterioro del medio ambiente, además de destinar recursos para la mitigación de los impactos negativos ya creado (Domech, 2008).

De ahí la necesidad de realizar acciones encaminadas a la disminución progresiva de la carga contaminante que se vierte a las aguas dulces superficiales y subterráneas. Por lo que es necesario emprender acciones encaminadas al uso ambientalmente seguro de todas aquellas sustancias que constituyen contaminantes para las aguas y que potencialmente pueden ser transformadas en otras inocuas para este medio y generar, además, algún uso socialmente útil en beneficio de las comunidades locales. La recolección, conducción, tratamiento y adecuada disposición final de los residuales líquidos generados en los asentamientos humanos, las industrias e instalaciones agropecuarias, así como en las actividades agrícolas y ganaderas, con la menor afectación posible al medio ambiente y menores consumos energéticos, son de las acciones que se realizan en Cuba, encaminadas a proteger el entorno y la salud humana (Pérez- Borroto, 2014).

El empleo de tecnologías dirigidas al uso racional de los recursos y la protección del medio ambiente, están encaminadas a la reutilización de los residuales y desechos en general, para la obtención de una fuente segura, eficiente y económica de energía (Aguilar, 2013). En Cuba la digestión anaerobia constituye una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos generados en las instalaciones agropecuarias, a partir del aprovechamiento de las excretas porcinas y vacunas, generadas por la cría a pequeña y mediana escala. Con esta alternativa se produce biogás y bioabonos, los cuales permiten restaurar los nutrientes y restablecer la vida del suelo, disminuir la carga contaminante y generar energía renovable. (Campos, 2011; Sánchez y González, 2011; Pérez- Borroto, 2014). El reto del futuro se basa en varias premisas que deben ser tomadas en cuenta para justificar el aprovechamiento integral de todas las fuentes primarias disponibles actualmente y que no están siendo correctamente aprovechadas (Martínez, 2015).

Entre los principales problemas que se presentan en las comunidades rurales de la provincia de Matanzas se encuentran la escasez de combustible de uso doméstico para la cocción de alimentos, la inexistencia de infraestructuras para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, el incremento de la carga contaminante de origen animal que se vierte al medio, fundamentalmente a las aguas superficiales y subterráneas, y los relacionados con la deforestación y la pérdida de fertilidad de los suelos (Sánchez y González, 2011). De lo anteriormente expuesto se deduce que es una responsabilidad ciudadana la realización de acciones encaminadas a transformar todas aquellas sustancias contaminantes en otras menos agresivas y compatibles con el medio ambiente (Sánchez, 2003).

En Cuba, dadas las características de su base productiva, la aplicación de tecnologías para la producción de biogás ha estado dirigida fundamentalmente a residuales de ingenios azucareros y fábricas de derivados de la caña de azúcar, de plantas procesadoras de café y de instalaciones pecuarias. La producción porcina moderna, de carácter intensivo y



concentrado territorialmente, genera cantidades importantes de estiércoles y purines que deben ser gestionado adecuadamente debido a que no pueden ser utilizados de forma directa como fertilizantes en las zonas donde se generan (Sánchez y González, 2011). En este sentido el Decreto 9/08 del Ministerio de la Agricultura referido a los “Procedimientos para evaluar la Bioseguridad en las Unidades Porcinas”, establece que:

- Exista adecuado tratamiento de residuales orgánicos con un sistema que garantice la protección del medio ambiente.
- Exista un adecuado sistema de conducción de los residuales sólidos y líquidos hasta el sistema de tratamiento de residuales.
- Exista correcta disposición de todos los residuos y desperdicios orgánicos, restos de cama, frascos vacíos y otras posibles fuentes de agentes biológicos.
- Exista control de la documentación y tiene las Actas de evaluaciones con cumplimiento de los señalamientos y planes de medidas.

La Empresa Nacional para la Protección de la Flora y la Fauna (ENPFF) dentro del Ministerio de la Agricultura, es responsable de administrar 81 Áreas Protegidas, y dentro de estas o cercanas desarrolla distintos programas, dando respuesta a la demanda alimentaria de su estructura, a lo largo de todo el país.

Su tarea principal es conservar regiones, ecosistemas, especies animales y vegetales, que por sus valores propios constituyen el patrimonio natural que el pueblo atesora para las generaciones futuras, con una administración general de las áreas encargadas a su cuidado y una manejada explotación de especies de utilidad, dando énfasis especial al desarrollo del fondo genético equino y otras especies para dar complemento a la alimentación de los trabajadores, al turismo y otros servicios que presta la entidad. Ello contribuye al desarrollo medioambiental de las áreas rurales con una estrategia sostenible y con reconocimiento Nacional e Internacional.

Breve descripción de la problemática de la Unidad Porcina Camarioca.

Es por ello y enfocándonos en el centro de mayor impacto, la Unidad de Reproducción Porcina, que se encuentra ubicada cercana al Poblado de Camarioca, con tres asentamientos poblacionales cercanos, aproximadamente a 10 km de Varadero, principal polo turístico de la provincia, al poblado de Cantel, Boca de Camarioca y otros bateyes aledaños en el Municipio de Cárdenas, zona donde existe un elevado potencial de contaminación de las aguas subterráneas, producto a la superficialidad del manto freático y las diferentes fuentes contaminantes: desarrollo petrolífero, la industria pesquera, y otras.

Esta Unidad de Reproducción cuenta con una masa promedio de 1000 cabezas, donde 250 cbz son reproductoras y el resto a las diferentes categorías, dentro del rebaño.



El objeto fundamental de esta unidad es lograr producir carne de cerdo para la comercialización en el turismo y el mercado, además insumir para la actividad gastronómica que realiza la UEB Flora y Fauna en el resto de las unidades donde se presta servicios al turismo nacional e Internacional, fundamentalmente en las Áreas Protegidas.

Cuenta en estos momentos con un sistema de tratamiento de Residuales que data de los años 80, consistente en una batería de lagunas de oxidación, que no reúnen los requerimientos técnicos, y la reparación necesaria es capital de un elevado costo, además ocupa un área extensa, necesaria para otros usos agropecuarios en la unidad. Existe también instalado y en funcionamiento un Biodigestor del tipo cúpula fija de 42 metros cúbicos, en buen estado de funcionamiento, donde se utiliza la producción de biogás para la cocción de los alimentos de los trabajadores y para el calentamiento de agua utilizada en la losa sanitaria, donde se realiza el sacrificio de los animales para la venta. Aun así, la carga residual generada del proceso productivo es elevada y supera aproximadamente en cuatro veces la capacidad del biodigestor instalado, y los residuales se vierten a esa laguna sin condiciones para el tratamiento, por lo que es necesario resolver esta problemática ambiental.

Análisis de causas que originan el problema ambiental.

Para llegar a la respuesta de causas con incidencias en el problema en cuestión, se tuvieron en cuenta diferentes factores, selección de expertos por la aplicación del método de Kendall para la valoración de la competencia de los expertos.

La selección y valoración de la competencia del grupo de expertos se realizó con el objetivo de realizar el trabajo en grupo para aplicar las diferentes técnicas que permiten dar solución al problema de la investigación.

Determinación del número de especialidades.

Para el logro de las metas propuestas se determinó necesaria la participación en la investigación de varias especialidades, por su vinculación directa con el tema analizado: Licenciados en Biología, Ingeniería en Agronomía e Ingenieros Químicos, algunos con categoría científica: 2 Máster en Ciencias y una Doctora en Ciencias.

Definición de la cantidad de expertos.

La definición de la cantidad de expertos en el grupo se realizó de acuerdo con el número de especialidades relacionadas con la investigación y el número de expertos necesarios por cada una de ellas. Su valor se determinó mediante la expresión siguiente: $E_i = E_r \times r$ (Ecuación 1) Donde: E_i – Cantidad de expertos en el grupo

E_r – Cantidad de expertos por rama del saber = 2 para el caso de la Licenciatura en Biología y 2 para Ingeniería Química y solo 1 para Ingeniería Agrónoma.

r – Ramas del saber = 3, $E_i = 2 \times 2 + 1 \times 1 = 5$ expertos.

El grupo se conformará con 5 expertos



Selección de los expertos.

Los expertos se seleccionaron atendiendo a sus especialidades, experiencia acumulada, profundidad de conocimiento sobre el tema a analizar, actualización científico-técnica y su capacidad de análisis y creatividad. Se invitaron a participar en la investigación a los siguientes especialistas:

NOMBRES Y APELLIDOS	CARGO	NIVEL ESC.	ESPECIALIDAD	GRADO CIENT.
1. Berkys Medina Urra	Director UEB	Universitario	Ing. Química	Maestrante MA
2. Verónica Velazco Achong	Esp. Cuadro	Universitario	Ing. Química	MSc.Cont. Amb.
3. Rosa Amelia Santana Menéndez	J Dpto. Cons.	Universitario	Lic. en Biología	
4. Orcelia Fajardo Gómez	J Dpto. Prod.	Universitario	Ing. Agronomía	MSc. Agr.
5. Miriam Yanet Martín González	Director Unidad	Universitario	Lic. Biología	Dra. Pedag.

La realización del diagrama Ishikawa o Diagrama espina se elaboró con la participación de los expertos antes descritos.

Las principales causas por las que se origina el efecto son:

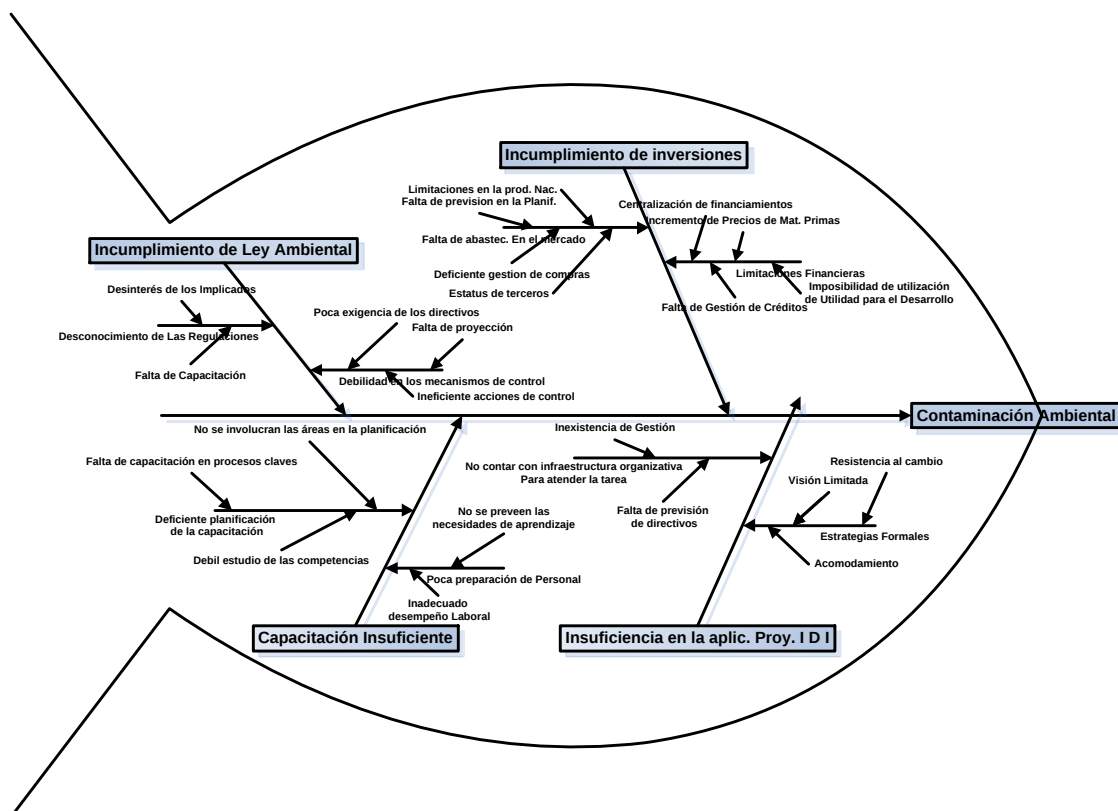
1. Incumplimiento inversiones.
2. Incumplimiento de Ley Ambiental.
3. Capacitación insuficiente.
4. Insuficiencia en la aplic. Proy. I D i.
- 5.

Resultando de este análisis las cuatro causas fundamentales antes descritas y veinte y tres barreras o sub causas.

Como se muestra en la siguiente figura:



Diagrama Ishikawa



Determinación de causas con mayor incidencia. Análisis de barreras para enfrentar el cambio.

Para el análisis de las causas y subcausas derivadas del diagrama Ishikawa el grupo de expertos utilizó una técnica que cuantifica la incidencia de las causas y subcausas en el problema de investigación, auxiliándonos del software Minitab, aplicando para ello la guía de innovación proporcionada por la Escuela Superior de Cuadros del Estado y el Gobierno.

Como resultado tenemos, que las causas con mayor incidencia sobre el efecto son las siguientes:

- el incumplimiento de mantenimientos e inversiones
- insuficiencia en la aplicación de proyectos de I+D+i, resultado de la aplicación del método de expertos.

Debemos trabajar para resolver todas las causas, pero para este periodo solo nos enmarcaremos en la causa fundamental: **el incumplimiento de inversiones.**



Desarrollo del proyecto, para dar solución a la problemática identificada.

La causa fundamental y la inmediata a resolver es la del incumplimiento en la planificación de inversiones de interés ambiental y así proyectar un sistema de tratamiento de residuales que sea capaz de mitigar la contaminación que trae consigo el vertimiento de residuales al medio ambiente.

Para ello se realizaron una serie de acciones encaminadas a resolver esta problemática apegándonos al Decreto 327 del Consejo de Ministros. Donde se exponen claramente todos los pasos a seguir para lograr que las inversiones cumplan con las exigencias de nuestro país, como preservar, ahorrar y utilizar con la mayor rentabilidad y eficiencia los recursos energéticos puestos a disposición de la actividad, garantizar en los programas, proyectos y planes de desarrollo y en todas las fases del proceso inversionista, los requerimientos de la tecnología y la protección del medio ambiente, la utilización de las fuentes renovables de energía, el ahorro y la eficiencia como solución energética principal; ampliar el análisis de post inversión que permita comprobar en qué medida se cumplen los beneficios previstos y aprobados en el estudio de factibilidad y a la vez retroalimentar futuros proyectos; elaborar el cronograma directivo de la inversión para garantizar en el plazo, con el alcance y calidad requeridos, así como en el marco de los valores aprobados, el estudio de factibilidad técnico-económica de la inversión a la instancia que corresponda en los diferentes momentos evaluativos, y responder por la concepción de la inversión, por la calidad y precisión de los cálculos y estimaciones contenidas en dichos documentos; para ello, hace participar a los sujetos del proceso inversionista; garantizar la sostenibilidad del proyecto objeto de inversión, previendo desde la preparación hasta el sistema de gestión de mantenimiento a aplicar, el que queda aprobado desde la fase de pre inversión y se implementa con la puesta en marcha; elaborar y entregar al explotador la información y documentación técnicas, consistentes en el Manual de Uso y Explotación de los Sistemas y el Manual de Mantenimiento. Asimismo, entregar un por ciento de recursos materiales para el mantenimiento que permita asegurar e iniciar la explotación correcta de la inversión; en fin todos los pasos a seguir para lograr que las inversiones cumplan con las exigencias de nuestro país, buscando la calidad, la durabilidad, y el tiempo de ejecución requerido para ello.

Las aguas residuales son las que ven alterada su composición inicial en dependencia de los distintos usos que el hombre le da a este recurso. La diferencia entre aguas servidas y aguas residuales radica en que las primeras solo provienen del uso doméstico y las segundas corresponden a la mezcla de aguas domésticas e industriales (Metcalf& Eddy, 2003; Marsilli, 2005).

Hace unos años, se vertían directamente a los cauces de los ríos, las cuales mediante un proceso de auto depuración eran capaces de re establecer la calidad de ellas. En la



actualidad al aumentar la población y las nuevas tecnologías utilizadas en la industria, los cauces no son capaces de eliminar la contaminación mediante procesos naturales, por lo que el hombre debe recurrir a las técnicas de depuración artificial (Alós, 1997). Para ello deben ser clasificadas y caracterizadas de manera que reciban cada una de ellas el tratamiento de depuración más adecuado de acuerdo a su composición.

La composición de las aguas residuales es muy variable en función de los factores que lo afectan su concentración (cantidad) y su composición química (calidad). En general, las aguas residuales contienen aproximadamente un 99,9% de agua y el resto está constituido por materia sólida. Los residuos sólidos están conformados por materia mineral y materia orgánica. La materia mineral proviene de los subproductos desechados durante la vida cotidiana y de la calidad de las aguas de abastecimiento (Rojas, 2002).

De forma general, las aguas residuales presentan una serie de contaminantes los que son importante eliminar (Acosta, 2008): arenas, grasas y aceites, residuos con requerimiento de oxígeno, nitrógeno y fósforo, agentes patógenos.

La materia orgánica proveniente de la actividad humana y animal, está compuesta por materia carbonácea, proteínas y grasas. (Zaror, 2000; Rojas, 2002).

De otra parte, las aguas residuales, estén o no diluidas con aguas de lluvia, contienen elementos contaminantes que pueden estar disueltos o suspendidos, y que al ser descargados al curso receptor pueden causar impacto ambiental y poner en riesgo la salud del hombre.

Para dar solución a esta innovación se propone la construcción de un sistema de tratamiento biológico, utilizando el principio de la **digestión anaeróbica o fermentación**. Estos sistemas son ampliamente utilizados en el mundo, más adelante se explicará sobre las características, tipos y funcionamiento de los mismos, algunos diseños más utilizados y la innovación propia de este trabajo consistente en un biodigestor tipo túnel.

Reducir la carga de contaminantes de los vertimientos y convertirlos en inocuos para el medioambiente y la salud humana constituye el principal objetivo general de los diferentes tipos y niveles de tratamientos de aguas residuales.

Selección del sistema de tratamiento a Diseñar.

Los principales elementos que intervienen en la selección de los sistemas de tratamiento son: necesidad del cliente, experiencias previas, requerimientos de la calidad del agua residual tratada por parte de la agencia reguladora, selección y análisis de las operaciones y procesos unitarios, compatibilidad con las facilidades existentes, costo (capital, operación y mantenimiento, evaluación económica), consideraciones ambientales (impacto de la instalación, pérdida de terreno, calidad del agua subterránea, flora y fauna, suelo, panorámico, etc.), impacto operacional (emisión de gases, ruidos, averías), generación, aprovechamiento y disposición de residuos (lodos y efluentes), otras consideraciones (tecnología adecuada, disponibilidad de equipos y repuestos, requerimientos de personal, requerimientos de energía), entre otras (Rojas, 2002).



La autora plantea que la mayoría de las veces se requiere usar los conceptos arriba definidos al máximo de sus posibilidades y hacerse investigaciones y propuestas que permitan el desarrollo de sistemas apropiados, tanto para pequeñas o grandes escalas, que se adecuen a las necesidades y objetivo del tratamiento.

Además considera que para hacer una adecuada selección de los procesos de tratamiento de las aguas residuales es necesario tener en cuenta parámetros como las características del agua residual, la calidad del efluente, el costo y disponibilidad de terrenos, así como otros factores que influyen en el proyecto de instalación y puesta en marcha de dichos sistemas.

Un sistema de degradación anaeróbica consiste en un depósito, llamado comúnmente biodigestor, y una campana almacenadora de gas o domo. En el digestor se introduce el material orgánico a fermentar, y la campana es la encargada de recoger el gas en la medida que se produce. Esta campana generalmente se coloca encima del digestor, aunque en otros casos puede estar separada del digestor y en ese caso se le denomina gasómetro (Hernández, 2005).

El **Biodigestor de túnel** es una versión del tipo tubular, con las bondades de mayor durabilidad, menos roturas, la exposición a daños mecánicos en casi nula, la construcción del fondo en pendiente, bajo el principio de flujo pistón, hace que el movimiento del fluido sea natural y no requiera de agitación manual, para el transporte del fluido, los mantenimientos pueden ser cada 6 meses o un año, y el sistema de registros que se utiliza en el diseño hace fácil la entrada del hombre en la etapa de mantenimiento. (La autora)

Parámetros constructivos de los biodigestores.

El diseño de un biodigestor depende principalmente del volumen del equipo, el cual está influenciado por el caudal diario de residual a tratar, el tiempo de retención y el volumen de biogás a obtener.

El tiempo de retención técnico es el período que debe permanecer el residual en el interior del digestor para disminuir su carga contaminante a no menos del 80% y extraer todo su potencial en producción de biogás. Según Blanco *et al.*, (2012), este parámetro depende de las características de cada zona y de la temperatura, además de las características del reactor empleado y del tipo de sustrato. Bajos valores de temperatura aumentan el tiempo de retención pues disminuye la actividad metabólica de las bacterias (Yaldizet *et al.*, 2012).

La producción específica diaria de gas, depende del tiempo de retención y del tipo de materia orgánica a fermentarse. Para su determinación se pueden emplear fórmulas teóricas basadas en la composición del sustrato en cuanto a proteínas, carbohidratos y grasas; o utilizar balances de masas a partir de la demanda química de oxígeno (Blanco *et al.*, 2012).

El flujo de sustrato diario que se va a fermentar depende a su vez de la fuente de origen. Cuando se utilizan sustratos de origen ganadero, la producción de biogás depende de la especie animal en explotación, del número de ejemplares y el tiempo de estabulación (MINENERGIA, 2011).

Los factores operacionales a valorar en el diseño son (Sánchez *et al.*, 2011): el régimen de alimentación (frecuencia con que se alimenta el biodigestor), el grado de dilución



(proporción entre la cantidad de agua y la materia orgánica con que se alimenta el biodigestor)

Los tratamientos biológicos, se llevan a cabo por bacterias capaces de digerir la materia orgánica presente en los residuales. Las sustancias presentes se utilizan como nutrientes para dichos microorganismos que los convierten en tejidos celulares y diversos gases.

Tratamiento por degradación anaeróbica.

La digestión anaerobia es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica. Es el conjunto de reacciones bioquímicas provocadas por el cultivo de una mezcla de bacterias anaerobias que producen metano y dióxido de carbono, a partir de materia orgánica. Ocurre de forma natural en ríos, lagos, pantanos, sedimentos marinos, en el interior del suelo, en el tracto gastrointestinal de animales superiores, y de forma artificial se produce en biodigestores (Moncayo, 2008; Chao, 2010; Lituma, 2010).

La materia prima óptima para el tratamiento de digestión anaerobia es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas (Arturo, 2002). La tabla 1 muestra los sustratos más empleados en este proceso y los parámetros de productividad.

Tabla 1. Parámetros de la productividad de biogás diario a partir de diferentes sustratos

Fuente.	Excreta húmeda diaria (kg) por animal.	Volumen de biogás por día (m³).	Proporción excreta/agua	Tiempos de retención (días)
Vaca	10	0,36	1:1	40
Toro	15	0,54	1:1	40
Cerdo (50kg)	2,25	0,101	1:1-3	40
Pollo	0,18	0,008	1:3-8	30
Caballo	10	0,3	1:1-3	40
Carnero	2	0,1	1:1-3	40
Ternero	5	0,2	1:1	40
Humano	0,4	0,025	1:1	60

Fuente: Sánchez *et al.*, 2011; Pérez-Borroto, 2014

Como puede observarse la producción porcina es la que mayor excreta húmeda por animal diaria produce. Esto se debe a que la producción porcina moderna, de carácter intensivo y concentrada territorialmente, genera cantidades importantes de purines y estiércoles que no se pueden utilizar como fertilizantes en las zonas donde se generan y el volumen de purín generado aumenta por la necesidad de utilizar grandes volúmenes de agua para la limpieza (Sánchez *et al.*, 2011)

Para que el proceso de digestión se lleve a cabo en forma eficiente, el tanque de fermentación debe estar herméticamente cerrado (Soria, 2001).

El tiempo de retención o tiempo promedio en que la materia orgánica es degradada por los microorganismos. Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia



orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás.

Parámetros constructivos.

Cámara de digestión, tanque de compensación, registro de carga, conducto de carga.

Como requisito esencial el biodigestor debe ser impermeable y por esta razón se deben tener en cuenta los cálculos que eviten fisuras y por tanto evitar zonas donde las tensiones o sollicitaciones a tracción son de mayor magnitud, originadas por el efecto de las cargas estáticas a que está sometida la estructura, por la ocurrencia de desplazamiento o asentamientos diferenciales de algunas de sus partes o de la cimentación, o como consecuencia de la dilatación o contracción que sufre la estructura por el efecto de cambios de (Soria, 2001).

La elección del sitio donde se ubicara el digestor es de gran importancia dependiendo el éxito o fracaso de la operación del sistema.

Para el cálculo del biodigestor se tuvo como referencia, la producción de excretas generadas diariamente por animal por etapa, (kg/d/animal), Peso del Animal por Etapa de Desarrollo (kg/animal), Tasa Diaria de Excreción por etapa (%), Población Animal (número de animales por Etapa de Desarrollo), Producción Diaria Total de Excretas en la Unidad Productiva (kg/d)

Parámetros	Unidad de Medida	Valor
Cantidad de animales	cbz	1000
Peso promedio del Rebaño	kg	50
Masa de mezcla (excreta/agua)	kg	2774,7
Volumen de la Cámara de Digestión.	m^3	180
Del biodigestor		
• Altura	m	2,7
• Largo	m	30
• Ancho	m	4
• Radio de la bóveda y casquete lateral	m	2



Tanque de compensación		
• Largo	m	30,5
• Ancho	m	4,6
• Volumen	m^3	34,5

La bibliografía plantea que el volumen total del biodigestor (VT) considera los volúmenes de la parte líquida (VL) y de gaseosa (VG). Normalmente se da un espacio del 75% del volumen total a la fase líquida, y del 25% restante a la fase gaseosa y por tanto: $VT = VG + VL$, $VG = VL/3$.

Resultado del Cálculo del Biodigestor propuesto a Construir. Parámetros de Diseño. Esquema Gráfico del Sistema de tratamiento a instalar.

Tanque de compensación. Equipo que sirve para compensar las presiones que se generan en la cámara de digestión y se conecta a esta por el principio de vasos comunicantes.

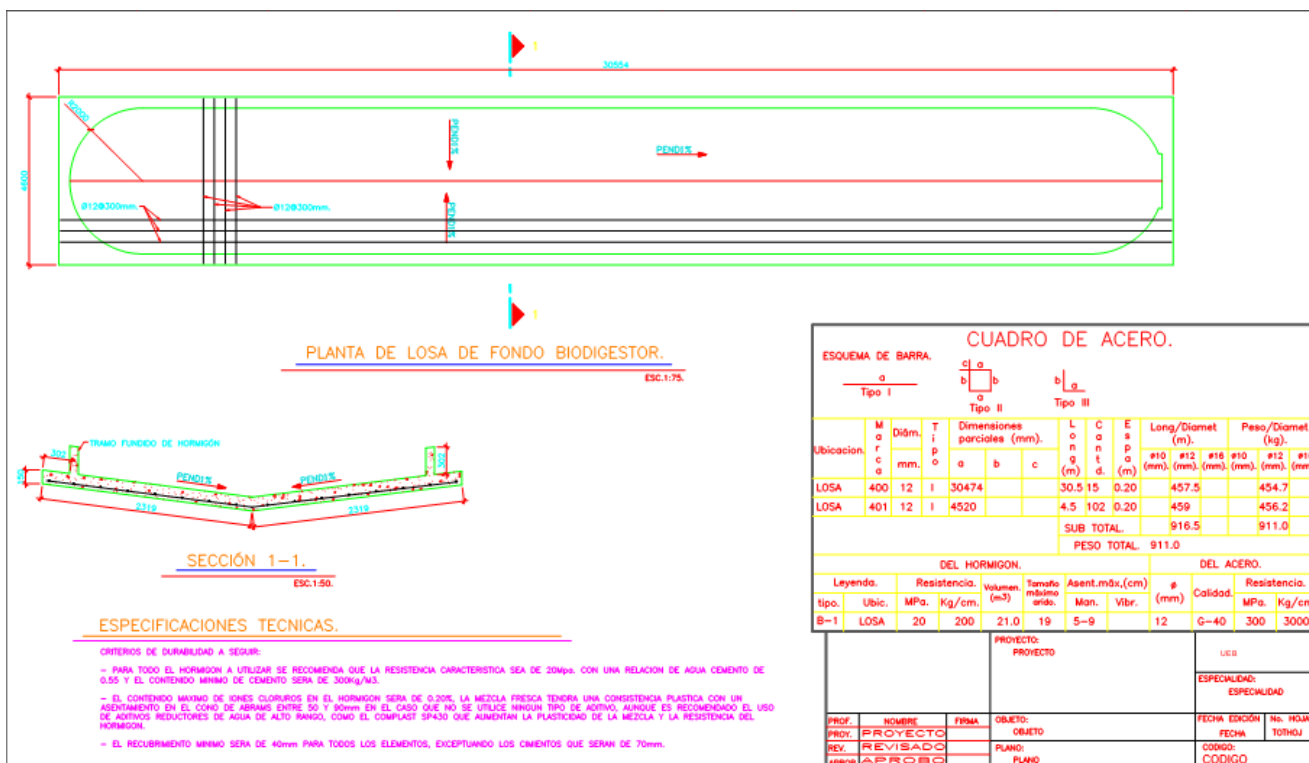
Solo se tuvo en cuenta en la primera etapa los equipos antes descritos, se deja para la segunda etapa el diseño del filtro para la desulfuración del gas metano y un lecho de secado para el procesamiento de los lodos residuales.

Esquema del diseño del Biodigestor de túnel propuesto. (Fuente de elaboración propia, sistema ACad 2013)

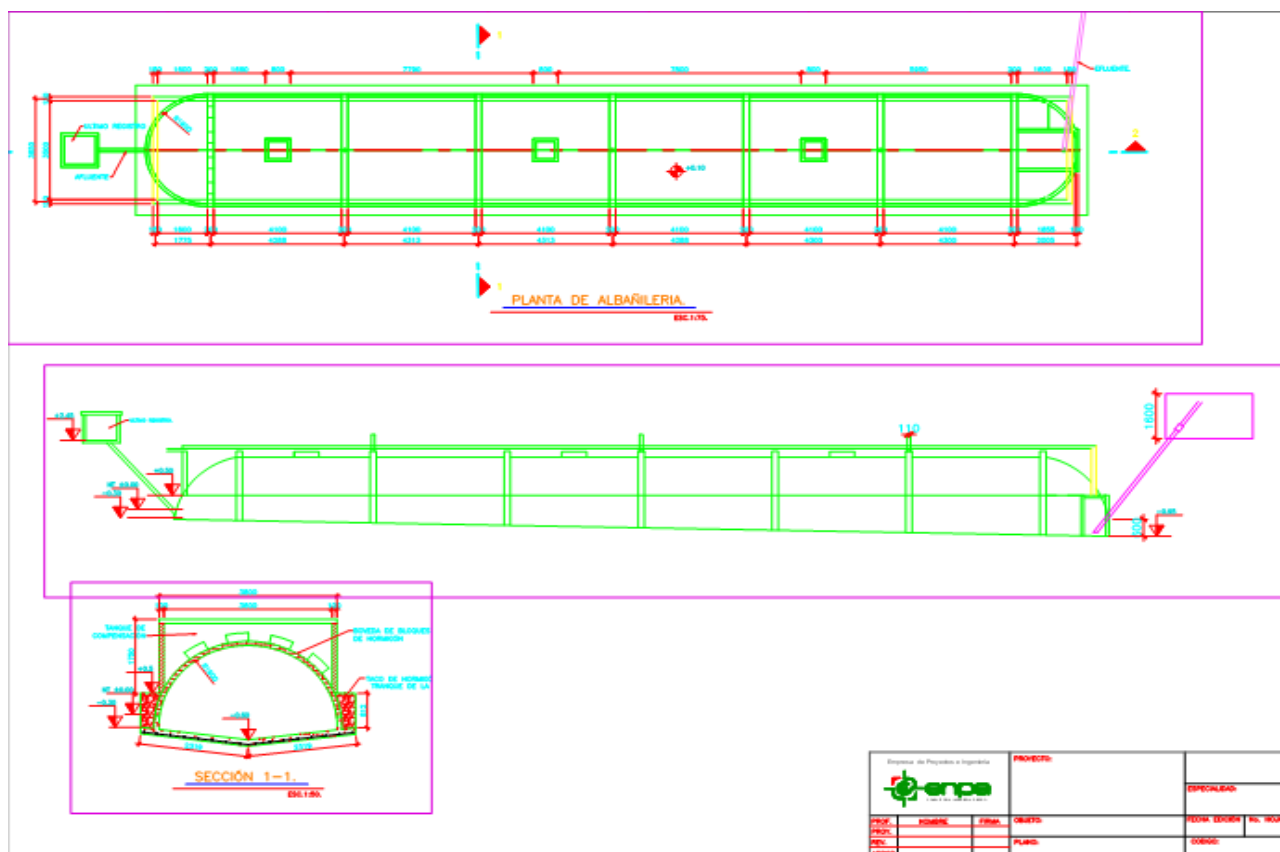
Esquema Zona de carga. Este es el tratamiento primario antes de entrar el residual al Biodigestor.



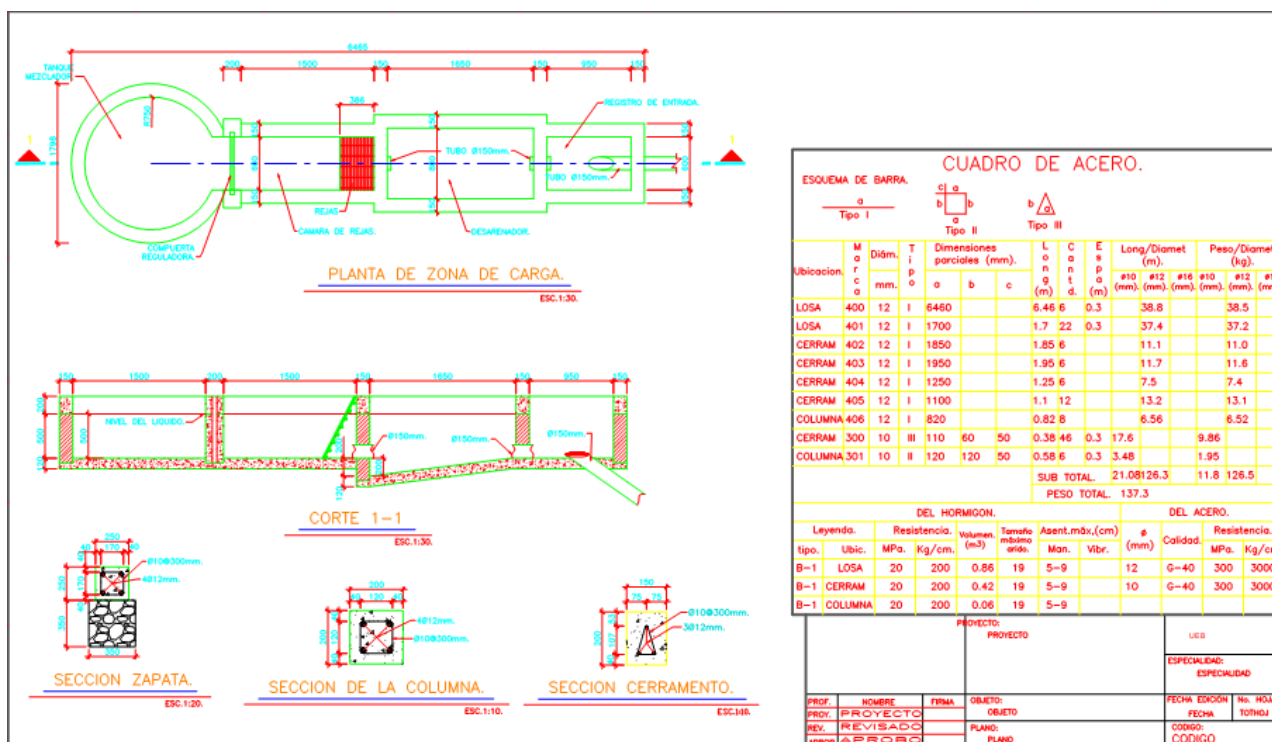
Esquema Losa de fondo del Biodigestor.



Esquema de la Planta, elevación y corte del Biodigestor.



Esquema Zona de carga.



Descripción de los productos del tratamiento de los residuales y uso.

Los **beneficios ambientales** de las plantas de biogás están principalmente en la obtención de subproductos con valor agregado, además de la reducción significativa de los costos debido a la disposición de residuos orgánicos. Además que contribuye a la protección de las aguas subterráneas, reduciendo el riesgo de lixiviación y elimina el problema de emisión de olores molestos (MINERENERGIA, 2011).

Los productos de la biodigestión anaerobia (Biogás, bioabono) son muy importantes y útiles para generar beneficios económicos (Cotrina, 2013).

El metano es un gas de efecto invernadero más nocivo que el dióxido de carbono. El sulfuro de hidrógeno es un componente muy tóxico, que deteriora los equipos, y contamina el biogás, agregándole un olor desagradable (Montes, 2008; Cotrina, 2013). Es posible que, como subproducto, se obtenga sulfuro de hidrógeno $H_2S_{(g)}$, el cual es tóxico y corrosivo, y hace que se genere menos metano, disminuyendo la capacidad calorífica del biogás y encarece el proceso por la necesidad de depurarlo. Es necesario eliminarlo si su concentración es mayor de 2 %. Esta eliminación se realiza por absorción con hidrato férrico $Fe(OH)_3$, el que puede ser regenerado por exposición al aire.

Como subproducto después de la generación de biogás, se obtiene materia orgánica estabilizada rica en elementos minerales. En función a la carga usada y el proceso seguido,



esta materia orgánica, también conocida como bioabono puede presentarse de dos formas: líquida y sólida.

El **efluente líquido** que se obtiene en el biodigestor, es muchas veces adecuado para el riego de los cultivos y pastizales, ya que posee un poder fertilizante en los cultivos. Dependiendo de los requerimientos, puede convertirse en el principal producto del biodigestor. No obstante, vale la pena precisar que debido a las diversas composiciones que puede tener, y dependiendo el tipo de material orgánico que se degrade, es recomendable una debida caracterización de los componentes del efluente a través de pruebas de laboratorio antes de utilizarlo en los campos, especialmente si se trata de cultivos para consumo humano (Cotrina, 2013).

Este efluente, dependiendo de su composición química puede utilizarse como fuente de nutrientes y/o riego en cultivos hidropónicos, en huertas de hortalizas y para favorecer el crecimiento de plancton de algún medio acuático.

Por su parte, **los lodos de digestión anaeróbica** (sólido), es el material sólido pastoso, con un elevado contenido de agua, fracciones de materia orgánica estabilizada, nutrientes y sales solubles; con valores de pH cercanos a la neutralidad y enriquecido en inóculos microbianos metanogénicos. Se aconseja, cada seis o doce meses, descargarlos totalmente del biodigestor continuo, para un adecuado mantenimiento. Entre los usos más comunes de los lodos de digestión se tiene: acondicionamiento de suelos, biofertilizante, cubierta vegetal en rellenos sanitarios, recuperación de suelos o sitios degradados (MINENERGIA, 2011).

En el caso de la solución propuesta los residuales resultantes del tratamiento propuestos son los siguientes:

- El efluente líquido será utilizado para fertirriego en módulo agrícola anexo a la unidad.
- Los lodos sedimentables en el biodigestor productos de la limpieza del mismo, se trasladaran a un lecho de secado para su posterior envasado y traslado a centros de producción para ser utilizados como bioabonos en pastizales, y producciones agrícolas diversas.
- El biogás puede ser utilizado para la cocción de los alimentos, calentamiento de agua para sacrificios y limpieza de la unidad, generación de electricidad, compresión en envases adecuados para distribución a otros mercados, en corte de metales y otros.

Valoración económica de la propuesta.



Matriz de indicadores de eficiencia y eficacia del proyecto de innovación respecto al costo-beneficio.

La evaluación del proyecto de innovación desde el punto de vista de la eficacia y eficiencia, que se estima un impacto positivo sobre el entorno en la zona, además de los beneficios asociados de la utilización de los efluentes resultantes de la innovación propuesta, la reducción de gastos por estos conceptos presupone en solo 2,7 años se recupera la inversión, se diseñó para una vida útil del equipo aproximadamente de 20 años.

Los gastos de operación y mantenimientos son mínimos y los beneficios son elevados, incluyendo el impacto ambiental que es el principal beneficio aunque su determinación económica se ejecute en etapas posteriores a estos resultados.

Elementos y fundamentos citados frecuentemente en los “Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución”, fundamentan el beneficio para la organización y la innovación seleccionada se ubica en el modelo estratégico para el desarrollo de UEB Flora y Fauna.

Costos de la Innovación	
Esquema de costos	MP
Costo total del Proyecto	259.2
Trabajos de diagnóstico de la Organización	10.2
Preparación de la Inversión	8.5
Proyecto y estudio de Factibilidad	12.5
Facilidades Temporales	6.4
Ejecución de Obra	160.0
Salario y Estimulación	28.0
Alojamiento	3.0
Alimentación	2.8
Intereses Bancarios	16.2
Seguros	11.6
Costo de Preparación del Personal	13.5
Consultoría	3.0
Impartición de cursos	2.0
Salario y Estimulación	4.0
Alojamiento	1.2
Material de estudio	0.8
Transportación	2.5
Costos para contingencias e imprevistos	27.3
Costos totales	299.9



Beneficios		
Indicadores	Criterio de variación	Reducción del costo asociado MP
Disminución de gastos de electricidad	60%	28.8
Disminución de gastos de agua	30%	6.4
Disminución del gasto de leña	100%	14.4
Disminución de gasto fertilización	100%	12.0
Disminución del impacto ambiental	80%	
Disminución erosión del suelo	30%	10.5
Disminución del Gasto de transportación	30%	12.0
Total ahorro		84.1
		Incremento de ventas MP
Incremento de ventas producciones por crecimiento de rendimientos	25%	10.2
Incremento del Ingreso venta de Materia orgánica	100%	24.0
Total beneficios		202.4



CONCLUSIONES

La selección del sistema de tratamiento con la utilización de un Biodigestor de tipo túnel, constituye una solución viable que garantiza el tratamiento adecuado de los residuales líquidos generados en la Unidad Porcina de Camarioca y permite el aprovechamiento de sus productos de salida.

La puesta en práctica de este sistema de tratamiento contribuirá favorablemente a minimizar los problemas ambientales que genera esta unidad, con lo que queda validada la hipótesis y se cumple el objetivo declarado para esta investigación.

La realización de la investigación identificó que la efectividad del trabajo sobre los impactos negativos al medio ambiente en la UEB Flora y Fauna Matanzas ha sido insuficiente en el tratamiento de residuales líquidos porcinos.

Las causas fundamentales que provocan la contaminación ambiental en la Unidad Porcino Camarioca son el incumplimiento de mantenimientos e inversiones y la insuficiente aplicación de proyectos de I+D+i.

En la selección del sistema de tratamiento consideró que el volumen de agua residual a tratar es grande y las ventajas, ya mencionadas, de este sistema; sobre todo su factibilidad económica relacionada con los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como que es construible con la tecnología y medios disponibles, aspectos de vital importancia en los momentos actuales.

El sistema de tratamiento seleccionado es factible económicamente puesto que los beneficios anuales son elevados y la vida útil del equipo es de aproximadamente 20 años.

BIBLIOGRAFÍA:

Pérez- Borroto, L. 2014. Diseño de un biodigestor para el tratamiento de excretas de cerdos y gallinas domésticas con fines energéticos. Tesis



Domech, L. 2009. Estudio Evolutivo del funcionamiento del sistema de lagunas del Complejo de la Salud, como complemento para la propuesta de reuso de su efluente en un sistema de riego. Tesis (en opción al Título Académico de Máster en Contaminación Ambiental). Universidad de Matanzas. 87 p

Aguilar, G. 2013. Control de la temperatura y el pH aplicado en biodigestores modulares de estructura flexible con reciclado de lodos a pequeña escala. Tesis (en opción al grado académico de Máster en Ciencia Mecatrónica). Universidad Autónoma de Querétaro. México. 98 p

Campos, C. 2011. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de Biodigestores para el sector cooperativo y campesino. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 20, no. 2, p. 37-41

Martínez, M. 2015. Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. *Nova Scientia*.E-ISSN: 2007-0705. Vol. 7, núm. 15, p. 96-115

Sánchez, J.V; González, A. 2011. Recuperación de los suelos y disminución de la contaminación ambiental a través de los biodigestores en el sector campesino y cooperativo de la provincia de Matanzas. I Taller internacional del movimiento agroecológico y agricultura sostenible.

Metcalf y Eddy, INC. 2003. Ingeniería de las aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. 3ra.ed. Madrid: Mc Graw-Hill. 1485p. ISBN 84-481-1607-0.

Alós, M. 1997. Depuración de aguas residuales. Manual del operador. España: Technipublicaciones, SL. p 180.

Rojas, R. 2002. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Curso Internacional “Gestión integral de tratamiento de aguas residuales”, 25 al 27 de setiembre de 2002. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente. Organización Mundial de la Salud. 19 p

Acosta, A. 2008. Aplicación de Carbón Activado cubano en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales por Lodos Activados “Sol Palmeras”. Tesis (en opción al título de Ingeniero Químico). Universidad de Matanzas. 84 h.



Zaror, C.A. 2000. Introducción a la Ingeniería Ambiental para la Industria de Procesos. Universidad Concepción. Chile. 10 p.

Hernández, C. 2005. Segundo FORUM Nacional de Energía: Biogás. La Habana. 132 p.

Yaldiz, O; Sozer, S; Caglayan, N; Ertekin, C; Kay, D. 2012. *Methane production from Plant wastes and chicken manure at different working conditions of a One-Stage anaerobic digesters. Energy Sources, Part: A, Recovery, utilization and environmental effects.* vol. 33. p 1802-1813

Blanco, D.; Martín, G.; Cepero, L.; Piñón, M.; Suárez, J. 2012. Manual de diseño, montaje y operación de digestores plásticos de bajo costo. Una alternativa para Cuba. Estación experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". 28 p. ISBN 978-959-7138-13-6.

MINENERGIA. 2011. Manual de biogás. *Ed. Proyecto CHI/00/G32* "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables". 112 p. ISBN 978-95-306-892-0

Moncayo Romero, G. 2008. Biodigestores, dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás. Manual práctico de diseño. *Ed. Aqualimpia Berate de Ingenieure.* ISBN: 978-9942-01-719-2. p 676

Arturo, J. 2002. Biodigestores: aportes a las condiciones ambientales y calidad de vida de la población campesina. Tesis (en opción al grado académico de Master en Trabajo Social). Programa de Pequeñas Donaciones del PNUD/FMAM. p 25 y 26.

Soria, M.J. *et al.* 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *TERRA.* 19 (4): 353-362

Cotrina, R; Villanueva, G. 2013. Biodigestores tubulares unifamiliares: Cartilla práctica para instalación, operación y mantenimiento. Lima: Soluciones Prácticas. Primera edición. ISBN 978-612-4134-06-7. 32 p

Montes, E. 2008. Estudio técnico- económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradoras para la obtención



de biogás. Valparaíso. 210p.Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias).
Universidad técnica Federico Santa María, Chile



CD de Monografías 2016
(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X