

Universidad “José Martí Pérez”
Sancti Spíritus



Departamento de Ingeniería Industrial

**Trabajo de Diploma
Ingeniería en Procesos Agroindustriales**

Título: Propuesta de un biodigestor para la producción de biogás en la UBPC Ciego Caballo del municipio de Jatibonico.

Autor: Yoel Luis González Morgado.

Tutor: Lic. Ángel Dunis Vargas Cañizares.

Curso 2012-2013
“Año 55 de la Revolución”

Pensamiento

El hombre del campo debía ser un hombre sabio, pero debía ser un hombre sensible; para estar a tono con la naturaleza”.

José Martí Pérez

Agradecimientos

- A nuestro Comandante Fidel y La Revolución por darme la posibilidad de estudiar.
- A mis profesores por su paciencia, dedicación y esfuerzo porque llegara este momento.
- A mis compañeros de estudio que en todo momento me apoyaron.
- A mi tutor.
- En especial a mi esposa por su comprensión y apoyo.
- A mi hijo
- A todo el que de una forma u otra contribuyó a la realización de este trabajo.
- A todo aquel que me alentó en llegar al ansiado fin.

Dedicatoria

- A mi hijo, por el compromiso con el futuro de que sea cada día mejor.
- A mi esposa por su paciencia, comprensión y apoyo.

Resumen

En este trabajo se pretende hacer uso del potencial biodegradable de origen animal real en la UBPC Ciego Caballo perteneciente a la UEB Atención al Productor Uruguay del municipio Jatibonico como fuente alternativa de energía renovable, evitando con ello la contaminación que provocan estos desechos al medio ambiente. Esta investigación está originada para el aprovechamiento de las potencialidades que nos brindan estos desechos orgánicos, considerándolos como un recurso que nos permita proponer una planta para la generación de biogás, teniendo en cuenta el potencial y la necesidad de consumo energético para la cocción de alimentos, mejorando con ello la calidad de vida de los trabajadores. Inicialmente se realizó un diagnóstico utilizando distintas técnicas y métodos para focalizar los principales problemas que afectan la actividad agropecuaria, se realizó la propuesta de una planta de biogás utilizando la tecnología MININT, la cual resultó ser la más adecuada por su capacidad para asimilar sustratos con alto contenido de sólidos en suspensión y su alto porcentaje de eficiencia de remoción. Esta tecnología ha sido propagada en el país con resultados satisfactorios para la digestión anaerobia de residuales industriales y pecuario.

Summary

Through all this work we expect to make use of the biodegradable potential of the real animal origin, in the UBPC Ciego Caballo belong to UEB Attention to Uruguay Producers of Jatibonico municipality town counsel as alternative source of renew energy, avoiding the contamination who provokes the rubbishes to the environment. This investigation it's originated to use of the potentialities those organic rubbishes bring to use, taking them into account as a resort that permit us to propose a plant to the generation of biogas. Taking into account the potential and the necessity of the energetic consumption to the cooking aliments, improving with this, the workers life. First of all we make a diagnosis using different technical and methods to focus the principal problems which affect the agropecuaria activity. It was made a proposal of the biogas plant using the MININT technology, this was the most adequate by its capacity to assimilate substracts with high content of solids in suspension and it high percentage of efficiency of remotion. This technology has been spread in our country with satisfactory results for the anaerobic digestion of industrial and pecuarial residuals.

Índice.

Introducción	1
Capítulo I: Fundamentos Teóricos para la producción de biogás.	
1.1 Generalidades	5
1.1.1 Situación ambiental mundial.	6
1.1.2 Situación ambiental cubana.....	8
1.2 El papel de los sistemas energéticos en la problemática ambiental.....	12
1.3 Fuentes alternativas de energía	16
1.4 El desarrollo y las experiencias internacionales de la tecnología del biogás.-	18
1.4.1 Las experiencias cubanas en el uso de biogás, como fuente de energía renovable.....	19
1.4.2 Experiencias en Sancti-Spíritus de producción de biogás_	21
1.5 Digestión anaerobia de los residuos orgánicos con obtención de biogás y otros subproductos.....	25
1.6 Tipos de sustratos.....	28
1.7 Tecnologías de digestión empleadas para la producción de biogás.....	31
1.8 Aspectos para la selección de digestores.	37
Capítulo II. Metodología de diseño para la construcción de una planta de biogás en La UBPC Ciego Caballo de Jatibonico.	
2.1 Caracterización de la UBPC Ciego Caballo.....	42
2.2 Determinación del potencial biodegradable.	43
2.3 Diagrama del proceso de la planta.	44
2.4 Análisis para seleccionar la tecnología a utilizar.....	44
2.5 Ecuaciones fundamentales para el diseño del digestor.....	45
2.6 Cálculo de la red de consumidores.....	46
2.7 Purificación del gas.....	47
2.7 Aspectos considerados en el efecto ambiental.....	47
2.7.1 Afectaciones que se provocan con los residuos de origen animal al medio ambiente en la UBPC Ciego Caballo.	47
Capítulo III: Análisis de los Resultados.	
3.1 Cálculo de los potenciales.....	49
3.2 Diseño del digestor según tecnología MININT.	49
3.3 Cálculo de la red de consumidores.....	53

3.4 Análisis económico.....	55
3.5 Análisis del efecto ambiental de esta propuesta.....	56
Conclusiones.....	57
Recomendaciones.....	58
Bibliografía.....	59
Anexos.....	63

Introducción

Como es conocido en los últimos años, las fuentes alternativas de energía han ido adquiriendo una importancia cada vez mayor, nuestro país no se encuentra ajeno a esta problemática, acentuada por el férreo bloqueo al que nos encontramos sometidos, por lo que se han diversificado las soluciones con el propósito de su sustitución, aunque no en su totalidad, pero sí, básicamente por razones energéticas y ambientales, como una forma de alternativa de ahorro, específicamente en la rama de generación eléctrica debido a la débil infraestructura generadora, la obsolescencia tecnológica y por ende insuficiente en su funcionamiento, también es una tendencia mundial. El déficit de energía que sufre el mundo actual y en particular en Cuba, tiene una situación cada vez menos favorable. Las fuentes tradicionales de energía (combustibles fósiles, electricidad, etc.) no parecen ser solución sino a muy largo plazo. Si trasladamos este déficit a las zonas rurales, el problema se agrava aún más, ya que la carencia de la energía obligará a los campesinos a satisfacer esta necesidad, utilizando a gran escala la leña y desperdicios agrícolas (estiércol y residuos de cosecha). La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2000) plantea, que una respuesta a estos problemas por parte de los gobiernos de los países de la región ha sido asumir un mayor protagonismo frente al régimen de derecho regional ambiental, haciéndose parte de las convenciones y acuerdos mundiales que forman hoy la compleja agenda ambiental global. En resumen, la formulación de estrategias de políticas públicas para el desarrollo sostenible se ha vuelto un imperativo para los países de América Latina y el Caribe, tanto para aumentar su competitividad productiva como para garantizar la equidad y la calidad de vida de sus pueblos. Se anuncia los factores esenciales para alcanzar el desarrollo sostenible: adecuado manejo de los recursos naturales, su explotación racional con tecnologías que garanticen la protección del medio ambiente, promoción en los proyectos que apliquen tecnologías más limpias, sanas y seguras, que contribuyan al desarrollo de soluciones alternativas de energía, que disminuyan las emisiones de gases con efecto invernadero, así como estudios ambientales y sociales (Ordenamiento Territorial y del Medio Ambiente), Planes de Manejo o Gestión Ambiental, para la toma continua de decisiones y puesta en marcha

de la mismas. En el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba se plantea en el lineamiento 229 Potenciar el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía: se utilizará el biogás, la energía eólica, hidráulica y otras; propiciando aquellas que tengan mayor efecto económico a corto plazo. Implementar las acciones para elevar la lucha contra la contaminación y el aprovechamiento necesario de los residuales es un reto que debemos enfrentar todos. Los estudios existentes sobre la actividad agropecuaria en los Planes de Ordenamiento Territorial (PPOT, 2002) reflejan la problemática de contaminación por los centros porcinos, se han propuesto y acciones para ejecución del tratamiento de residuales con sistemas convencionales (tanque de maduración y lagunas estabilización). En los estudios recientes se plantea la realización de biomasa residual como fuente de energía alternativa, siendo la limitante la principal: escasez de materiales de construcción, falta de conciencia energética y ambiental, para materializar la propuesta.

El biogás se ha convertido en una fuente ideal de energía para las naciones con poblaciones rurales numerosas sin medios económicos y prácticos para disponer de energía convencional.

En la provincia de Sancti Spíritus, (CITMA, 2004-2006) se trazaron los objetivos estratégicos para alcanzar los impactos en la protección y rehabilitación del medio ambiente, con un enfoque de gestión ecosistémico, dirigido a alcanzar las metas del desarrollo sostenible y la mejora constante de la calidad de vida de la población con logros de reducción del 4% en el trienio de la carga contaminante orgánica, un 0,8% de crecimiento de superficie boscosa, entre otras. Para el logro de estos objetivos, las soluciones viables en los ecosistemas agropecuarios, pueden contribuir en un por ciento significativo con el aprovechamiento máximo de residuales pecuarios mediante digestores anaerobios evitando los vertimientos y a su vez proteger el área boscosa, sustituyendo el uso de leña para cocinar por el biogás, mejorar los suelos con bioabono y efluente líquido producidos y aumentar rendimientos de cultivos con un impacto positivo para el desarrollo de la agricultura sustentable.

En el planeamiento de las zonas agropecuarias, cuyo objetivo es el conocimiento de la naturaleza de los problemas, la formulación de las posibles soluciones alternativas y la evaluación de la bondad relativa de estas soluciones, se identifican varias etapas, obedeciendo a múltiples circunstancias

tanto internas como externas, al propio proceso. Para llevar a cabo el mismo en la fase de diagnóstico se determina la problemática principal de las áreas de estudio, en este caso de las zonas agropecuarias en el municipio de Jatibonico, específicamente en la UBPC de " Ciego Caballo " que se caracteriza por su producción cañera, de cultivos varios, forestal, frutales y ganadería; la que cuenta con una masa vacuna de 358 animales, de ellos se le aplica el sistema de estabulación a 16 toros de ceba, 102 vacas y 49 terneros, este grupo de animales genera volúmenes considerables de residuales (excreta de vacunos) a los que no se les aplica ningún sistema de tratamiento, estos residuales son vertidos a cielo abierto, contaminando las aguas, los suelos y emitiendo volúmenes considerables de CH₄ a la admosfera. Por lo que esta UBPC es un escenario propicio para el estudio del biogás como alternativa energética. Esta energía pudiera ser utilizada para la cocción de los alimentos en la unidad y tres viviendas que se encuentran en los alrededores, sustituyendo el consumo de leña que actualmente se utiliza como combustible, se contribuiría a la disminución de los costos por este concepto, la preservación del medio ambiente, el uso del efluente líquido para el fertiriego de plantaciones forestales y la utilización del residual sólido como bioabonos ricos N₂, P₄, y K, capaces de sustituir a los agroquímicos causantes del deterioro de los suelos. En la UBPC Ciego Caballo del municipio de Jatibonico no existe un análisis del potencial biodegradable actual a partir de las excretas generadas por el ganado vacuno, teniendo en cuenta los volúmenes de desechos que se generan diariamente y no se utilizan ni se les aplica tratamiento, contaminando las aguas , los suelos y la atmósfera. Todo lo antes expuesto constituye la **Situación Problemática de la Investigación.**

Por lo que se define como **Problema Científico:**

No existe un análisis del potencial biodegradable existente en la UBPC Ciego Caballo del municipio de Jatibonico, lo que limita la propuesta de un biodigestor para la producción de biogás.

Objeto de estudio:

Potencial biodegradable

Campo de acción:

Diseño de biodigestor para la producción de biogás.

Objetivo General

Proponer un biodigestor para la producción de biogás en la UBPC Ciego Caballo del municipio de Jatibonico.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica referente el tema de investigación.
- Determinar el potencial biodegradable existente y la demanda energética de la UBPC Ciego Caballo para seleccionar la tecnología de digestión adecuada.
- Proponer un biodigestor para la producción de biogás según la tecnología seleccionada.
- Realizar una valoración económica y ambiental de la propuesta.

Hipótesis de la investigación.

“...Si se realiza un análisis del potencial biodegradable existente en la UBPC Ciego Caballo del municipio de Jatibonico, entonces se lograría proponer un biodigestor para la producción de biogás...”

Variables:

Independiente: El análisis del potencial biodegradable existente en la UBPC Ciego Caballo.

Dependiente: proponer un biodigestor para la producción de biogás.

Métodos y técnicas

Del nivel empírico:

- Observación
- Entrevista

Del nivel teórico

- Análisis de documentos
- Análisis y síntesis
- Inducción y deducción

Del nivel matemático

- Análisis porcentual

Capítulo I Fundamentos teóricos sobre la tecnología del biogás

1.1 Generalidades:

La tecnología de transformación de materiales orgánicos a biogás ha existido desde hace centenares de años. Las primeras personas que descubrieron el tipo de gas inflamable generado de pudrimiento de los materiales orgánicos son Van Helmont (1630) y Shirley (1667); el que descubrió el gas de los pantanos es Volta (1766) a través de los estudios y observaciones, dio el resultado de que la cantidad de gas generados de los pantanos depende estrictamente en la cantidad de plantas podridas en el fondo. Hasta el 1804-1810, Dalton, Henry y Davy han encontrado la fórmula química de Metano y demostraron que la naturaleza de gas de pantanos en el experimento de Volta es idéntica al gas en las minas de carbón.

En 1859, el primer equipo de biogás fue construido en Bombay, India para tratamiento de estiércol humano, el gas producido fue utilizado para iluminar.

Hasta el final de los años 1920, los estudios químicos sobre la descomposición de anaerobia son reforzados. Buswell empezó a investigar el papel de los elementos químicos en el proceso de fermentación de anaerobia, evolución de proceso de generación de biogás desde residuos de las granjas y aplicación de este proceso en la escala industrial.

Hoy en día, el proceso de descomposición anaerobia de los materiales orgánicos ha desarrollado como un sistema multifuncional con:

- Tratamiento de residuos orgánicos y agua residual con gran cantidad de contenido orgánico y amplia concentración.
- Producción y aprovechamiento como combustible.
- Mejorar la condición higiénica.
- Producción de fertilizante de alta calidad.

Las investigaciones han cambiado de estudios básicos de proceso de descomposición de los materiales orgánicos semejantes con el contenido de elemento orgánico sólido de 5% a 10% a la fermentación de los materiales más complejos con necesidad de los estanques de descomposición modernos y más efectivos.

1.1.1 Situación ambiental mundial.

La Cumbre de Desarrollo Sostenible (Johannesburgo, 2002) evidenció, una vez más, la necesidad de privilegiar la conservación de la naturaleza y la protección ambiental, como una prioridad mundial, que permita avanzar en el mejoramiento de la calidad de vida. En esta perspectiva, uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (compromisos de los 189 Estados Miembros de la Naciones Unidas hasta el 2015) es “garantizar la sostenibilidad ambiental”.

Según Castellano (2002), en la actualidad, existe una gran cantidad de herramientas disponibles que tienen el propósito de contribuir a mejorar el funcionamiento ambiental. Por ejemplo, el Manual de eco-herramientas diseñado en 1997 por un colectivo dirigido por Nils de Caluwe, con el objetivo de posibilitar el trabajo con las herramientas más representativas mundialmente para el análisis, evaluación y control de productos, de procesos o de estrategias de diseño, es una importante guía computarizada, donde tienen una alta significación las metodológicas: “Diseño para el ambiente” y “Evaluación de ciclo de vida de los productos.” Debe destacarse que la evaluación de impacto ambiental es un procedimiento básico en estas dos reconocidas metodologías.

Diversas organizaciones del sistema de las Naciones Unidas brindan asistencia a los países para utilizar la evaluación de impacto ambiental (EIA), pues muchos la están incorporando a sus marcos regulatorios. Recientemente, (PNUMA) reorientó su enfoque al respecto y ahora se proporciona (EIA) de segunda generación, que pasan de ser un instrumento práctico y eficaz por el desarrollo sostenible, sin embargo, esta autora considera que el estudio de las posibilidades de utilización de residuos pecuarios constituye un punto de partida importante en la minimización de los impactos ambientales a nivel local.

Las organizaciones ILPES y CEPAL (2000), afirman que las instituciones reguladoras en materia ambiental de los países del Caribe enfrentan el reto creciente de diseñar mecanismos e instrumentos eficientes de gestión ambiental en el nivel nacional y local. Cada vez gana más aceptación la opción de utilizar instrumentos económicos de gestión ambiental basados en incentivos de mercado para complementar los esquemas de regulación directa presentes en los países. Este planteamiento es válido también para el caso cubano, pero el impacto social de la utilización de soluciones ambientales debe jugar un rol importante.

Tanto EIA como auditorías ambientales se han convertido en los instrumentos más extendidos de la política ambiental en los países desarrollados, los que se usan de manera creciente en los países en vía de desarrollo.

La Cooperación Andina de Fomento atendiendo a un interés y responsabilidad con el medio ambiente y la diversidad cultural y social de nuestros países, ha definido su política para la gestión ambiental y social para sus operaciones, enunciando, entre otras:

- Promover proyectos que apliquen tecnologías limpias, sanas y seguras, y que contribuyan al desarrollo de soluciones alternativas de energía, menos contaminantes, que contribuyan a disminuir las emisiones de gases con efecto invernadero y la coeficiencia empresarial. Es valido destacar que para los países con el clima tropical la utilización de biomasa residual como fuente de energía alternativa a nivel local y territorial es de suma importancia, teniendo en cuenta los beneficios ecológicos, económicos y sociales que representa.

Se conoce que casi 3 000 millones de personas en el mundo emplean todavía leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar, lo que provoca, junto a otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 y 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas (Lugones, citado por Sánchez, 2003).

La destrucción de las áreas boscosas es una de las causas de la manifestación de los diferentes procesos de degradación de los suelos, lo que trae consigo el detrimento de los rendimientos agrícolas con la consiguiente disminución en la producción de alimentos.

Con el empleo de tecnologías que contribuyan a la disminución de la dependencia de los pobladores rurales de los bosques como única fuente para la obtención de combustible doméstico (carbón vegetal y leña), se mitigan los procesos erosivos del suelo vinculados a la deforestación por la tala de los árboles.

Otro aspecto de gran importancia es la necesidad de gestionar los residuos para encaminar la disminución progresiva de la carga contaminante que se vierte a las aguas dulces superficiales y subterráneas. Como el volumen de agua dulce no se puede aumentar, cada vez más personas dependen de ese suministro fijo y cada vez es mayor el volumen de agua dulce contaminado. El consumo mundial de agua dulce se multiplicó por seis entre 1900 y 1995, de manera que aumentó a

una tasa mayor que el doble del crecimiento de la población, a razón de 100 millones de m³ por año desde 1940. (López, 2002, citado por Sánchez). Por este motivo 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.

En el proceso de planeamiento y gestión ambiental para cada territorio, región, zona o sector se debe tener en cuenta los problemas ocasionados por vertimientos de residuales orgánicos persistentes, sus impactos en la calidad de vida de la población y de los ecosistemas, que incrementan la vulnerabilidad del país, para buscar soluciones viables con un enfoque integrador a nivel local con repercusión global.

En resumen, la conservación y protección del medio ambiente es una prioridad mundial, por lo que el estudio de los recursos disponibles a nivel local es un elemento importante a incluir en los mecanismos de gestión que deben basarse para el caso cubano en lo económico y lo social.

1.1.2 Situación ambiental Cubana.

En los últimos años se han desarrollado las actividades para mejorar la situación ambiental en Cuba y aumentar la conciencia pública en cuanto asuntos ambientales y las respuestas a problemas socio ambientales a nivel local que se relacionan con problemas ambientales globales y se dieron pasos concretos para avanzar en la construcción del desarrollo sostenible (ENA, 2005). A consideración de la autora, a estos pasos se puede sumar la promoción y ejecución de los proyectos de tratamiento ecológico de residuos orgánicos, que aportan beneficios significativos.

En Cuba (ENA, 2005) garantizar la sostenibilidad ambiental es prioritario, por los siguientes motivos:

- Altos valores de endemismo y riqueza de la diversidad biológica y elevada vulnerabilidad, dada su condición insular.
- Modelo productivo con una dependencia de los recursos naturales renovables y no renovables.

- Problemas ambientales que tienen impactos en la calidad de vida de la población y de los ecosistemas, y que incrementa la vulnerabilidad del país, por lo que la política ambiental nacional para un desarrollo sostenible se fortalece.
- Alta vulnerabilidad a la incidencia de fenómenos naturales adversos como los ciclones y huracanes que requieren de una preparación previa muy alta y sistemas de alerta tempranos, confiables y precisos.

La sostenibilidad no es un estado fijo (Pérez, 2003), sino un proceso permanente de cambio, que genera nuevos retos y conflictos, obligará a reconsiderar nuevas opciones, y requerirá de forma permanente contar con la información necesaria para conocer si el territorio evoluciona en el sentido deseado. Ejemplo de ello, es los resultados de la evaluación y mejora continua de las soluciones ejecutadas y los beneficios socio ambientales de la gestión ambiental realizada a nivel local. Como expresión de la alta importancia que el país brinda a la conservación de sus recursos de biodiversidad, se ha desarrollado un Sistema Nacional de Áreas Protegidas, que en el sistema propuesto para Cuba cuenta con 258 áreas. En cuanto a la biodiversidad y la vida silvestre, los impactos más importantes están relacionados con la elevación del nivel del mar, debido a la fragilidad de los ecosistemas costeros. Según los cálculos realizados, 14% del área boscosa podría ser afectada, incluyendo gran parte de la vida animal y vegetal a ella asociados (Estrategia Nacional de Cuba, 2005).

Más del 60% del territorio nacional es cárstico, casi el 80% de las fuentes de agua dulce para el abasto público provienen de acuíferos subterráneos, todo lo anterior implica un alto riesgo para el manejo y disposición final de residuales en el país, en lo particular, para la atención a productos orgánicos persistentes, los químicos tóxicos y residuales peligrosos, (PNUD, 2005). El tratamiento de residuos orgánicos a ciclo cerrado con la tecnología de digestión anaerobia podría atenuar o minimizar los vertimientos a las aguas subterráneas y superficiales.

Suelos:

Un elevado por ciento del fondo de suelos del país está afectado por factores del carácter natural o antrópico acumulados en el transcurso de los años, con una marcada preponderancia de los segundos. Aunque en los últimos años se han intensificado procesos naturales como las sequías y la incidencia de ciclones y

huracanes con las consiguientes inundaciones, que están incidiendo en su deterioro. El 76,8% de los suelos de Cuba, con categoría de poco a muy poco productivos, se encuentran perjudicados por condiciones que impiden reflejar más de 70% del potencial productivo de las especies cultivables,(Estrategia Nacional de Cuba, 2005). Una vía para mejorar la calidad y productividad de los suelos es la utilización de bioabono producido a través de digestión anaerobia de residuos orgánicos a nivel local.

Bosques:

La deforestación ha ido en retroceso en Cuba, siendo uno de los pocos países, donde se obtienen resultados positivos en este sentido. El área total del país cubierta por bosques es de 2 832 miles de ha., lo que representa el 21,6% del territorio nacional. Sin embargo, a esta tendencia positiva, el manejo sostenible de los bosques, tanto naturales como artificiales con fines energéticos, sigue siendo una problemática, especialmente en algunos territorios, dada la situación de insuficiencia en el abastecimiento de combustibles domésticos. Persisten asimismo, problemas con la calidad en la mayoría de los bosques naturales como consecuencia del inadecuado manejo y explotación. En este sentido la búsqueda de alternativas de otros combustibles, puede frenar procesos de deforestación, que se producen en algunos territorios.

Agua:

El mayor usuario del agua en Cuba es la agricultura con fines de riego. La distribución de los usuarios es como sigue: 63% al riego, 25% a la población, 9% a la industria y el 3% restante, a otros usos. En el último quinquenio han comenzado a surgir dificultades en cuanto a las cantidades disponibles de agua por las insuficientes precipitaciones. Elementos tan diversos como la deforestación, la salinización, y en general, una gerencia inadecuada del recurso agua hacen que cada día su disponibilidad sea menor. Los altos consumos de agua en procesos agrícolas e industriales y el abastecimiento a las grandes ciudades, conducen a su escasez progresiva. Esta situación puede mejorarse con la utilización de los efluentes de digestores anaerobios para riego y otros usos después del tratamiento complementario, porque los mismos aún después de digeridos en el biodigestor, presentan concentraciones de sustancias orgánicas por encima de los límites establecidos para ser incorporados a las aguas superficiales, en la actualidad se estudian y desarrollan tecnologías

integrales para el reciclaje de los efluentes anaerobios en la alimentación animal, cultivo de plantas acuáticas y terrestres (Rovirosa, 1995; Pérez; 2000, citado por Sánchez), trayendo consigo ahorro de agua potable, siendo la responsabilidad ciudadana de la realización de acciones encaminadas a transformar todas aquellas sustancias contaminantes en otras menos agresivas y compatibles con el medio ambiente.

Principales problemas ambientales.

La Estrategia Ambiental Nacional (EAN, 1997), localiza los principales problemas ambientales del país, considerando como criterios, la afectación significativa que los mismos producen sobre:

- La salud y calidad de vida de la población.
- Actividades económicas priorizadas.
- Extensiones considerables del territorio nacional.
- Ecosistemas de alta fragilidad e importancia económica y social.

La EAN reconoce que “los principales problemas ambientales se han visto influidos por una falta de conciencia y educación ambiental en un por ciento considerable de la población, que han traído como consecuencia en muchas ocasiones, su agravamiento. La identificación de los principales problemas del país, permite jerarquizar su atención, dirigiendo hacia ellos los principales esfuerzos de la gestión ambiental, dentro del universo de problemas existentes. Sin que su presentación implique un orden de prioridad, los mismos son:

- La degradación de los suelos.
- La deforestación.
- La pérdida de diversidad biológica.
- El deterioro del saneamiento y las condiciones de vida en los asentamientos humanos.
- La contaminación de las aguas terrestres y marinas.

En Cuba existen ejemplos convincentes de vertimientos biodegradables que han destruido bancos de ostiones, bancos de mangles, muertes de peces en ríos y presas, contaminación de agua para el uso social, destrucción de vida marina en

la desembocadura de los ríos contaminados (Zamora, 2002). Introducción de las sanciones por desastres ecológicos provocados por los entes vertedores se está manejando por los organismos rectores del medio ambiente. Una de las vías para atenuar los vertimientos y disminuir problemas ecológicos es el tratamiento de residuos a ciclo cerrado, que permite su aprovechamiento total sin vertimiento final al cuerpo de agua. Los principales actores de la gestión ambiental nacional enfatizan en que la solución de los principales problemas ambientales que afectan el país, debe ser vista con un enfoque eco sistémico e integrador y no como la solución aislada de cada uno de ellos, pues se concatenan en sus consecuencias y efectos sobre el ser humano y su calidad de vida.

El manejo sostenible de los bosques con fines energéticos sigue siendo un elemento importante cuando se revisa la situación ambiental cubana y el uso de alternativas de combustibles pueden disminuir procesos de deforestación en ecosistemas de alta fragilidad e importancia, como en caso que ocupa a este trabajo en el municipio de Jatibonico. Precisamente los ecosistemas de alta fragilidad e importancia económica son considerados por la EAN como un elemento importante al evaluar los principales problemas ambientales.

1.2 El papel de los sistemas energéticos en la problemática ambiental.

Impacto ambiental y otros problemas globales asociados al sistema energético contemporáneo.

Arrastía (2002), refleja que en el mundo actual la interacción humanidad - medio ambiente tiene un carácter global y es de intensidad creciente. El medio ambiente afectado, directa o indirectamente por la acción humana, comprende la totalidad de atmósfera y la hidrosfera, e incluso partes cada vez más profundas de la litosfera, y engloba, por lo tanto, la biosfera en su conjunto.

De todas las formas la actividad humana, quizás la más contaminante y degradante del medio ambiente relativo al manejo de los recursos energéticos, es decir, su extracción, conversión, transporte y consumo.

¿Por qué? Los ecosistemas surgen en la naturaleza con un determinado equilibrio energético. Si se rompe o se altera ese equilibrio, las condiciones de mantenimiento del ecosistema se modifican. Al sobrepasar el límite superior o inferior del balance de energía que permite la existencia del ecosistema (resiliencia), este degenera, corriendo el peligro de desaparecer si el automatismo del sistema (homeostasia) no le permite restaurar las condiciones

de equilibrio. En este sentido los cambios en gestión de tecnologías de tratamiento de residuos pudiera contribuir a un por ciento considerable.

En la actualidad la mayor parte de energía que se emplea en el mundo proviene de los llamados “combustibles fósiles”, que constituyen alrededor del 77%. Del resto, el 5% corresponde a la energía nuclear. Ambas se identifican con el denominado “camino duro” en el empleo de los recursos energéticos. Según Turrini (1999), el uso de la vía energética “dura” se sustenta en un sistema de valores que se justifican a sí mismo, es decir: dominación, competencia, explotación, desarrollo desigual, violencia, etc., todos tendientes a la maximización de la ganancia. Este esquema de consumo energético mundial se sustenta en un paradigma que domina la civilización contemporánea, que considera que el ecosistema(a nivel planetario) es inagotable y tiene una capacidad ilimitada para reciclar de manera natural los desechos de la sociedad, que el crecimiento económico a expensas de la naturaleza no tiene límites y permite expandir infinitamente el consumo humano generando la felicidad. Arrastía, et. al. (2002), plantea, que según cálculos realizados, las reservas mundiales de petróleo ascienden a 2200 GTEP (2200 billones de toneladas equivalentes de petróleo), lo que de acuerdo al consumo mundial de alrededor de 7 GTEP al año, se agotarían en algo más de 300 años. Precisamente en la actualidad se investiga el empleo de la Fuentes Renovables de Energía.

De mantenerse la correspondencia entre el crecimiento de la concentración de CO₂ en la atmósfera y el comportamiento de la temperatura que ha existido en la tierra en los últimos 100 años, provocaría un cambio de la temperatura global en la atmósfera terrestre que tendría, entre otras, las siguientes consecuencias:

- Muerte de bosques.
- Tormentas violentas y sequías.
- Deshielo durante todo el año del Océano Ártico.
- Aumento del nivel del océano mundial.
- Disminución de las tierras emergidas.
- Hundimiento de las ciudades litorales.
- Se secará el cinturón productor de cereales y los campos de trigo de las estepas, que unido al hundimiento de las tierras bajas, produce la pérdida de 1/3 de las tierras agrícolas.

En el año 2001 por el pedido del Gobierno y del Consejo de Defensa de Rusia los científicos del “Centro de Observaciones del Medio Ambiente y Pronóstico de los Procesos Geofísicos” elaboraron un informe que obtuvo una excelente nota de los expertos del Consejo de Defensa. Las nuevas investigaciones de este centro permitieron llegar a la conclusión, que La Tierra es un sistema energosaturada y de alta organización que posee la conciencia y forma holográfica de memoria. En el proceso de evolución en La Tierra fue creada Noosfera - una condición ideal para la vida de la Naturaleza y el Hombre en un delicado bios entre el magma derretido subterráneo y la frialdad del Cosmos. Cualquier invasión tecnológica del hombre provoca la reacción de Noosfera, devolviendo el equilibrio del sistema, pero reaccionando en forma de catástrofe o desastre. Finalizando el informe los científicos hicieron una conclusión muy inesperada para las ciencias académicas: En el siglo XXI a la Tierra se esperan serios estreses y a la Humanidad – cambios de la conciencia, (Kokorin, 2002). Para la mayoría están claras las causas que pueden provocar una catástrofe ecológica global – falta de conciencia ambientalista de la civilización humana contemporánea. Según Estrategia Ambiental Nacional (2005), se destacan en el último quinquenio el incremento de la ocurrencia de fenómenos atmosféricos de elevada intensidad como son los huracanes y ciclones, así como penetraciones del mar en diversas zonas de nuestras regiones costeras, ocasionando desastres naturales de manera frecuente. En esta misma categoría se deben incluir los enormes períodos de sequía que afectan a todo territorio nacional, en particular a la región oriental, creándose situación de elevada gravedad para los habitantes y ecosistemas de esta área del país. Los cambios climáticos, la sequía, procesos erosivos, olas de calor y otros hechos a nivel mundial han confirmado esta conclusión. Una de las alternativas para minimizar estos problemas es la introducción de las prácticas alternativas de manejo de los contaminantes para reducir su efecto y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel local, que contribuyen al calentamiento global.

Consumo de energía y cambio climático.

En el decenio de los ochenta del siglo XX, la evidencia científica acumulado acerca de relación entre las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) procedentes de la actividad humana, básicamente de la quema de combustibles

fósiles, y el riesgo de un cambio del clima mundial, comenzó a suscitar la preocupación internacional (Arrastía et. al.,2002)

El CO₂ es el más importante en el conjunto de los GEI. Esta sustancia representó más de cuatro quintas partes de las emisiones totales de GEI de los países económicamente desarrollados en 1995. A la quema de combustibles fósiles corresponde casi el total de esta cifra. La deforestación es la segunda fuente principal de emisiones de CO₂. (Arrastía et. al. 2002) Esta situación podría mejorarse, a escala global, mediante la implementación de políticas y acciones encaminadas a mejorar la capacidad de los bosques y otros sumideros naturales para absorber el CO₂ de la atmósfera. Esta autora considera que una de las alternativas para la reducción considerable de emisiones de CO₂ por la quema de combustibles fósiles y leña, es la implementación de fuentes de energía renovable y, en especial, energía de biomasa para satisfacer las necesidades energéticas en diferentes sectores. El metano es el segundo GEI en orden de importancia tomando en consideración su contribución al efecto invernadero. Este gas es liberado durante el cultivo de arroz, la cría de ganado, la evacuación y tratamiento de aguas albañales y la descarga de los desechos sólidos urbanos en lugares donde se produzca su descomposición anaerobia. Las emisiones de óxido nitroso resultan de generación de electricidad y de la utilización de abonos para la agricultura. De allí la importancia de recolección y utilización del gas metano durante la digestión anaerobia de residuales con beneficios ambientales, económicos y sociales. En resumen, (Arrastía, 2002) se puede decir que el sistema energético contemporáneo es derrochador, injusto, contaminante, insostenible e incompatible con los ciclos de la naturaleza. A corto plazo este sistema deberá cambiar y una de las vías es el uso de las energías renovables. Energía de biomasa obtenida a través de la digestión anaerobia en una planta de biogás es una de estas vías, que se esta rescatando nuevamente en el país y en el municipio de Jatibonico.

Gestión Energética para un futuro sostenible.

Desde la Cumbre de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en 1992 en Río de Janeiro, Brasil, quedó claramente establecida la relación medio ambiente-desarrollo, en el sentido de que la protección del medio ambiente no puede significar la preservación de la pobreza y de un bajo nivel de

desarrollo técnico-económico respecto al promedio del planeta. Al mismo tiempo, la búsqueda de un nivel técnico-económico cada vez más alto no puede significar la destrucción del ecosistema terrestre. Por lo que se reclama la necesidad de adoptar modelos y procesos que se propongan como principal objetivo marchar hacia un futuro sostenible. Como la respuesta al reclamo pueden adoptarse las tecnologías de producciones más limpias en sentido más amplio y en particular la tecnología de biogás.

Una de las formas de desarrollo sostenible y de preservación del Medio Ambiente son llamados “mecanismos de flexibilidad” que incluye el Protocolo de Kyoto, el conocido como Mecanismo de Desarrollo Limpio. Tal mecanismo promueve la transferencia de tecnologías energéticas más limpias y eficientes, así como la implementación gradual de fuentes renovables de energía en los países económicamente menos desarrollados. La transferencia de estas tecnologías puede ser aceptada, pero no con la condición de aumentar las emisiones en estos países, ya que nuestro país con los medios propios está luchando por implementar las fuentes de energía renovable. Una de las alternativas de gestión energética para un futuro sostenible es la explotación de las fuentes principales de energía renovable: energía eólica, hidroenergía, energía solar térmica, energía del mar, energía geotérmica, energía de biomasa o bioenergía. La energía de biomasa representa varias ventajas en el ámbito energético y puede sustituir los combustibles fósiles y a su vez contribuir al cuidado del medio ambiente y mejorar la calidad de vida de los pobladores. Los digestores anaerobios o plantas de biogás, juegan un papel importante en la obtención de los resultados satisfactorios integrales de las necesidades materiales, educacionales, económicas y energéticas incorporando a toda la sociedad en la atención y solución de los problemas ambientales.

1.3 Fuentes alternativas de energía.

Como ya se conoce el uso de las energías renovables no es un hecho novedoso, fueron ellas las primeras utilizadas por el hombre; sin embargo la aparición de los combustibles fósiles las relegó por muchos años al olvido. En la actualidad el panorama ha cambiado, por una parte los problemas medioambientales debidos en un significativo porcentaje a los procesos de conversión energética y en su totalidad a la acción indiscriminada del hombre sobre la biosfera y por otra parte la convulsa situación del mundo del petróleo

(portador energético fundamental en la actualidad) que ha enfrentado tres crisis en menos de 50 años han puesto de nuevo sobre el tapete las olvidadas energías renovables; y aunque es cierto que todavía enfrentan detractores cada día ganan más adeptos y aumenta su cuantía dentro de la satisfacción global de los requerimientos energéticos de la humanidad.

El alto costo de las inversiones iniciales a realizar limita en muchos países en vías de desarrollo el empleo de las energías renovables; Cuba, dentro de estos países, tiene una privilegiada situación social debido a la alta conciencia energética de los cubanos, así como su educación medio ambiental inculcada desde las edades más tempranas, sin embargo no es ajena a las limitaciones económicas, a pesar de ello los cubanos no renuncian al empleo de estas fuentes de energía y mediante diversas vías en las que se incluyen los proyectos internacionales, se promueve el uso de las mismas .

Cuba consume unos 17 millones de toneladas de combustible convencional de los 18 portadores energéticos, a partir de 1990, debido a las limitaciones en la importación de los combustibles, el país ha venido acrecentando la producción y el consumo de la energía procedente de fuentes nacionales. A éstas por convicción se les identifica como fuentes alternativas de energía (FAE) aunque también se le llama indistintamente energías alternativas o energía procedente de fuentes alternativas. Las FAE hasta ahora consideradas en Cuba comprenden a las formas renovables y no renovables.

La energía eólica es ampliamente conocida aplicada por diferentes pueblos desde la antigüedad en el desarrollo de la navegación, para moler granos y para el bombeo del agua. Fue remplazada por los fósiles baratos, pero mostró gran importancia, a partir de la crisis energética de la década del 70. La energía solar posibilita la vida en todas sus formas, y la misma se presenta en diversas manifestaciones, en forma de alimento, en forma de combustible.

El biogás constituye una abundante y barata fuente de energía y de fácil obtención a partir de desechos animales, vegetales e industriales.

Esta energía puede ser utilizada en numerosos procesos que tienen incidencia en la economía, no solo por la generación de energía sino también por la producción de biofertilizantes de alta calidad.

En realidad, en Cuba se han trazado estrategias para disminuir los consumos de combustibles, lo que posibilitó que a partir de la mitad de los años 90 del

siglo XX la economía cubana comenzara un proceso de reanimación anual consumiendo prácticamente la mitad y menos del combustible que se gastaba en los años 80. Sin embargo, hay que decir que los esfuerzos realizados hasta el año 2003 han permitido que en Cuba se genere actualmente cerca del 100 % de la energía eléctrica con recursos nacionales, pero se mantiene una disponibilidad deficiente de generación eléctrica y no se ha producido un elevado impacto en la disminución de combustibles fósiles en este sentido; solo se ha desarrollado el uso de los paneles fotovoltaicos para suministrar energía a algunos inmuebles separados de las líneas eléctricas del servicio público, la instalación de pequeñas plantas productoras de biogás por todo el territorio, mientras que existe instalado un solo parque eólico compuesto por dos aerogeneradores en la isla de Turiguanó, al norte de Ciego de Ávila, por lo que sigue siendo una necesidad el aumento del aprovechamiento de las fuentes renovables de energía en el país.

1.4 El desarrollo y las experiencias internacionales de la tecnología del biogás.

El tratamiento anaerobio de residuales orgánicos (específicamente de excretas de animales) – imita a los procesos que ocurren en la naturaleza donde no existen los desechos o desperdicios, sino materia prima para crear otro tipo de material útil para la vida, (Sosa, 2002). El Biogás fue dado a conocer como combustible hace aproximadamente 300 años (Pellon, 1995), cuando se detectó que el gas producido en los pantanos tenía propiedades inflamables y que provenía de la descomposición de la materia orgánica en un ambiente líquido, pero libre de oxígeno. Los Digestores convencionales (Conil, 2004), que se conocen en el comercio como plantas de biogás, se dividen en dos corrientes principales de diseño: Sistema Hindú y Sistema Chino. Sistema Hindú fue desarrollado en la India en la década de los 50, después de la Segunda Guerra Mundial, basado en las experiencias de franceses y alemanes durante la guerra. Dado que la India es pobre en combustibles convencionales, el gobierno organizó la KVICK (Kaddi Village Industria Comisión) de donde salió el típico digestor Hindú y cuya principal característica es la de operar a presión constante. Dado el éxito del sistema Hindú y su amplia difusión en los años 50 y 60, el gobierno chino hizo un esfuerzo grande de divulgación y adaptación de ésta tecnología a sus propias necesidades. El gran problema de China en ese

momento no era energético, sino sanitario y alimenticio, para resolver estos dos grandes problemas se desarrolló específicamente el digestor tipo Chino. Por los motivos diferentes de los hindúes, los chinos desarrollaron, por economía de construcción, el digestor que opera con presión variable. Otro modelo tipo bolsa fue desarrollado en la Isla Taiwán, pero el gobierno de la antigua Alemania Federal, a través de una dependencia de ayuda externa, fue quien lo promovió, dentro de campañas de cooperación técnica en los países africanos. Se trata de aplicar las mejores características técnicas de los modelos Hindú y Chino. Consiste de una bolsa de polietileno (Sosa, 2002), en forma de salchicha, que se acomoda sobre el terreno. La carga fresca entra por un extremo y la descarga se hace por el opuesto. Digestores de segunda y tercera generación (Conil, 2004), es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaerobia. Combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, lo cual facilita el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad.

En Europa existen alrededor de 564 instalaciones productoras de gas biológico que representan unos 269 000 m³ de digestores. De estas 171 000 m³ corresponden a instalaciones industriales. El resto, 95 000 m³ corresponden a instalaciones agrícolas (Zamora, 2003). En la fase inicial el desarrollo de las instalaciones de biogás fue en la zona rural. Hoy el tratamiento de desechos municipales mediante instalaciones productoras de energía y abonos llevan el peso fundamental en el desarrollo de esta tecnología donde se trabaja fuertemente por lograr cada día una eficiencia óptima de procesos con tiempo de retención extremadamente bajos (3 a 10 horas). En Dinamarca las experiencias demuestran que el tratamiento de estiércoles y otros residuos orgánicos en plantas de biogás es una alternativa beneficiosa, ya que reduce los efectos negativos de los sectores agrícola, industrial y energético sobre el medio ambiente (Nielsen, 2001). Esto es válido para la situación cubana, sumando los beneficios económicos y sociales a nivel local y regional.

1.4.1 Las experiencias cubanas en el uso de biogás, como fuente de energía renovable.

La difícil situación económica por la que ha atravesado el país en los últimos años, ha incidido en cierta medida sobre la explotación irracional de los recursos naturales para satisfacer las necesidades energéticas y ha limitado emprender

acciones necesarias para su protección. Sin embargo, en tanto la capacidad para aprender y extraer experiencias de las dificultades, es también consustancial al proceso cubano, la idea de la sostenibilidad lejos de debilitarse se ha reforzado, por cuanto se ha adquirido mayor conciencia y nuevas habilidades para emplear de modo racional los recursos naturales y fuentes de energía renovable. El potencial que representan hoy las energías renovables tiene una relevancia creciente de cara a la búsqueda de una concepción energética que conduzca hacia un desarrollo pleno y armónico con el medio ambiente (Arrastía et al., 2002). Para Cuba, alcanzar su autosuficiencia energética es una cuestión estratégica, pues esta será una garantía en el mantenimiento de la soberanía y la independencia nacional.

La fuente renovable de energía proveniente de la biomasa puede emplearse para la iluminación, calentamiento de agua, bombeo, cocción de alimentos, entre otras. La energía de la biomasa está considerada como una de las fuentes de energía renovable en el futuro para la producción de biocombustibles que sustituyan a los fósiles y para la producción de energía eléctrica y calor (Sáez, 2002). En los países tropicales la energía de biomasa puede desempeñar un papel fundamental. La política de la utilización de fuentes de energía renovables (Berriz, 2001) se viene empleando desde las décadas de los setenta y desde los años ochenta se ejecutaron varias Plantas de Biogás en diferentes provincias (Guardado, 1995), destacándose la Provincia Villa Clara con la creación del Grupo de Biogás en el año 1993, con la función de crear una cultura a todos los niveles sobre el uso y los beneficios de la tecnología del Biogás.

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 (Valdés, 1990; Fonte y Martínez, 1996; Pérez y Mazorra, 1996; y Fonte, 1997, citado por Sánchez), de plantas procesadoras de café y de instalaciones pecuarias (Sánchez, 2003).

Guardado (2004),refleja, que en Cuba, al principio de la década del ochenta, llegaron a construirse más de 4 000 digestores de pequeña escala que en breve tiempo dejaron de utilizarse, entre otras cosas, por sus características de explotación y diseño. En la actualidad funcionan más de 500 unidades de las cuales la mayoría son de nueva construcción y obedecen a un diseño más

racional y noble en su explotación. El objetivo fundamental es suministrar la energía necesaria para la cocción de alimentos e iluminación a viviendas, vaquerías, comedores, etc. El proceso de desactivación se ha producido por no existir atención adecuada a estas instalaciones desde la base hasta la dirección en el territorio (Zamora, 2003). Las plantas de biogás se han comportado como un problema más para el ministerio de la agricultura. Sin embargo, esta autora considera, que para la población rural fue y lo es una solución ventajosa para satisfacer las necesidades energéticas principalmente, confirmada por la existencia de numerosas instalaciones en explotación tanto de los años 70, como mas recientes y constante demanda de los pobladores y empresas para ejecución de nuevas plantas. Además, el enfoque integrador de esta tecnología es importante para disminuir los problemas ambientales, energéticos y mejorar la calidad de vida en un ecosistema dado.

Según Frente de Energías Renovables (2003), el potencial de biogás en Cuba en las condiciones actuales está en el orden de 152 mil toneladas de combustible convencional por año, proveniente de unas 78 toneladas de vertimientos biodegradables que constituyen hoy en día, en su conjunto, una de las principales fuentes de contaminación del país. Por esta razón se deriva la importancia de soluciones más efectivas y viables para el tratamiento de estos contaminantes mediante la digestión anaerobia en las plantas de biogás.

El censo de digestores construidos, realizado por este autor, en el municipio de Jatibonico en el año 2007 ha demostrado que la experiencia en el diseño, construcción y explotación de plantas de biogás es muy limitada por falta de divulgación y desconocimiento de los beneficios que puede aportar la tecnología de digestión anaerobia de residuos orgánicos. Se encontraba en funcionamiento al cierre del año 2007 dos módulos, uno estatal con volumen de digestión de 60 m³ y uno particular de 4 m³.

1.4.2 Experiencias en Sancti-Spíritus de producción de biogás.

La provincia de Sancti Spíritus cuenta con una población de 462 320 habitantes y 6 457.5 km², la misma dispone de una potencia de residuos orgánicos generados diariamente posibilidades de ser utilizados en la producción de Energía a través del uso de la tecnología del biogás.

Según un artículo publicado en la revista futuros por Contreras, 2006 el desarrollo histórico del biogás en la provincia Sancti Spíritus ha pasado por

diferentes etapas. En 1980 se inicia un proceso de desarrollo en la implementación del biogás, provocado fundamentalmente por la llamada crisis de los combustibles después de la mitad de los años 70, esto hizo que se construyeran una cantidad importante de biodigestores fundamentalmente en vaquerías con un uso exclusivo para el alumbrado, los cuales fueron abandonados en su mayoría.

A partir de 1990 se produce un nuevo incremento, causado por la crisis energética del país que tuvo lugar en los años del período especial, ante esta situación varios productores o personas individuales montaron sus propias plantas con el fin de obtener un combustible estable, barato y limpio para cocinar, como es el caso de Pedro Espineira, con una instalación de 13 años de funcionamiento interrumpido y una vaquería situada en el Sur del Jíbaro, municipio La Sierpe, instalada en el año 1995.

En la tercera etapa, que comienza a inicios del 2000 hasta la fecha, se han construido 16 plantas. Este incremento ocurre por una mayor conciencia ambiental de los actores al ver la necesidad de tratar los residuales generados y obtener, además, una energía alternativa: el biogás y un excelente biofertilizante orgánico.

En la actualidad existen 18 plantas de biogás en la provincia, la mayoría de nueva construcción en lo que comprende los años del 2004 al 2006. El total de plantas existentes, 7 utilizan residuos porcinos como sustratos, 9 vacuno, una utiliza cachaza y una perteneciente al Ministerio del Interior, la cual está concebido para tratar los residuales de una planta empacadora; sin embargo existen 400 convenios porcinos distribuidos en toda la provincia, que vierten indiscriminadamente sus desechos al medio sin previo tratamiento, lo cual contribuye a la contaminación de las aguas (Campos, 2001), tanto superficiales como subterráneas así como a la contaminación del suelo, resultado de una aplicación excesiva de nutrientes, llevando a un desequilibrio y a la acumulación de determinados elementos, incluyendo algunos metales pesados; y a la contaminación atmosférica por la producción de olores y emisiones gaseosas de NH_3 , SH_2 , NO_2 , compuestos orgánicos volátiles, etc. (Contreras, 2006)

Numerosos son los factores que incidieron en el fracaso de estas plantas en la provincia y de forma general en el fracaso de las tecnologías de producción de

biogás en el país, los cuales pudieron ser recopilados a partir de las entrevistas realizadas y del análisis y discusión de las diferentes ponencias presentadas en el X Taller Nacional de Biogás, realizado en el año 2006 en la provincia de Sancti Spíritus, encontrándose dentro de los fundamentales los siguientes:

- ❖ Importación fotográfica de tecnologías para producir biogás desde el exterior o sea no se hace una adaptación de la tecnología existente a las condiciones de nuestro país.
- ❖ Perspectiva metodológica conceptual errónea en el proceso de identificación y diseño de las plantas. Los conceptos energéticos prevalecieron por encima de las posibilidades de tratar un residual y de la posibilidad de obtener un biofertilizante.
- ❖ No se realizó un análisis en sistema de las plantas por los usuarios y promotores, no se tuvieron en cuenta las ventajas del tratamiento del residual y el alto valor agregado del fertilizante.
- ❖ Deficiencias en los diseños de las plantas, sobre todo desde el punto de vista geográfico.
- ❖ Elevado empirismos en el diseño, construcción y operación de las plantas de biogás, lo que se traduce en una deficiente capacitación y motivación de los actores involucrados al desarrollo de esta tecnología.
- ❖ Falta de infraestructura para desarrollar la tecnología en el país, no existe una empresa encargada de producir la tecnología completa o sus elementos, al mismo tiempo no se encontraban organizados e integrados los principales actores que intervienen en el proceso de desarrollo de la tecnología.
- ❖ Los cambios ocurridos en el espectro de necesidades de la población y los empresarios producen un decrecimiento del interés en la operación de las plantas, ya que se vieron las plantas de biogás para cubrir necesidades energéticas fundamentalmente.
- ❖ Existencia de resultados científicos bien estructurados y logrados que no se generalizan adecuadamente, de igual forma existen ejemplos de buenas prácticas en el uso de la tecnología del biogás que no son generalizadas adecuadamente.

Similares deficiencias aparecen recogidas por Barreto 2002, estas pueden agruparse en cuatro problemas fundamentales:

1. Técnicos: dados por problemas de operación y mantenimiento, de localización, así como de diseño y construcción
2. Institucionales: Falta de promoción de la tecnología del biogás, insuficiente coordinación institucional para el desarrollo de proyectos de biogás, ausencia de programas nacionales para el desarrollo del empleo del biogás, así como escaso entrenamiento a trabajadores para el extensionismo en tecnologías de biogás.
3. Problemas socioeconómicos: dados por la alta inversión inicial, resistencia al cambio en el uso tradicional de las excretas de animales.
4. Problemas financieros: como es la incertidumbre de su beneficio, ausencia de políticas de crédito blandos e insuficiente presupuesto para investigaciones y proyectos de demostración.

Estudios recientes realizados en la provincia de Sancti Spíritus (López, 2006), se han basado en la estimación teórica de los potenciales de biomasa a partir de recursos agrícolas, pecuarios e industriales, utilizando como base la información de los anuarios estadísticos del año anterior y referido principalmente al sector estatal aunque como se reconoce el principal aporte estaría en los excrementos porcinos y vacuno.

El estimado 69200115 m³ anuales de biogás, distribuidos de la forma que se representa en la tabla 1.2, de acuerdo al tipo de recurso.

Tabla # 1 Estimación teórica de los m³ anuales de biogás por recursos

Recurso	m³/año	%
PECUARIO	17 880 402	25%
AGRÍCOLA	39 709 305	58%
INDUSTRIAL	11 610 408	16%
Total	69 200 115	99%

Fuente: López González, 2006.

Ahora, realmente cuánto es la producción de biogás en la provincia, qué tipo de sustratos se usan, por qué no son utilizadas otras fuentes orgánicas biodegradables existentes en la provincia, son aspectos que deben ser revisados.

Sin embargo, los valores obtenidos en estos trabajos no tienen en cuenta la disponibilidad real de los recursos a partir de su posible recolección y su concentración en determinadas localidades. También se realizó un estudio (Cordoví 2007), donde se estimó el potencial real de residuos disponibles en el

sector cooperativo y campesino que es bien representativo en la producción de residuos que pueden ser utilizados para producir biogás a gran escala.

En la provincia existen otros sectores que también son representativos en la producción de residuos y no existe un procedimiento que permita determinar los principales potenciales de residuos orgánicos disponibles en Sancti Spíritus y que pueden ser utilizados para producir biogás con fines energéticos, es por eso que se debe realizar esta investigación.

1.5 Digestión anaerobia de los residuos orgánicos con obtención de biogás y otros subproductos.

Tratamiento anaerobio de residuos orgánicos.

Según Montalvo (2000), el gas que se obtiene como producto final de la degradación anaerobia de la materia orgánica presente en las aguas residuales se denomina comúnmente biogás. Este es rico en metano (CH_4), mayor que 50% y dióxido de carbono (CO_2), menor que 50% y contiene además pequeñas cantidades y trazas de N_2 , H_2 , H_2S , vapor de agua, NH_3 y otros compuestos.

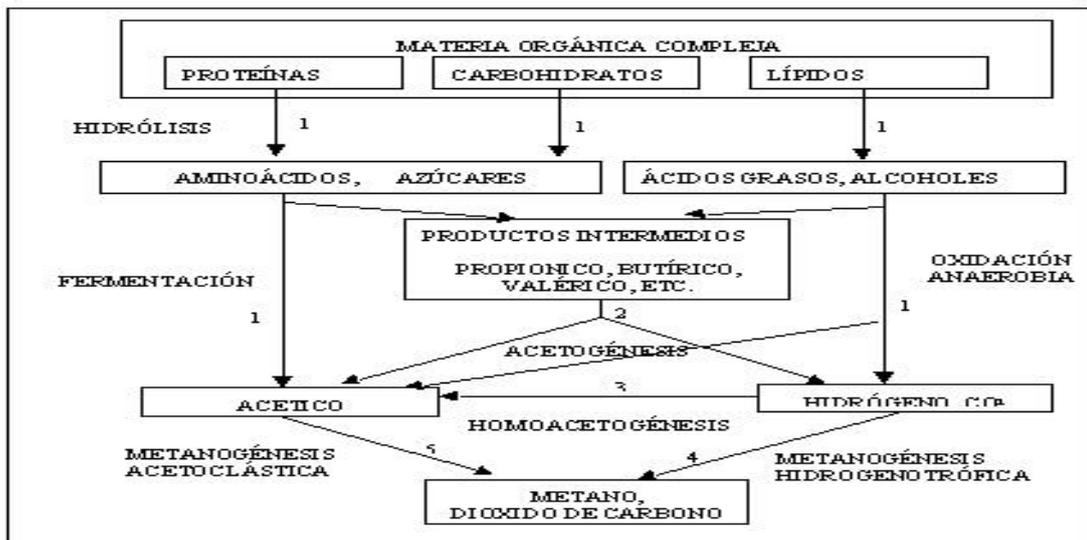
Ventajas de los tratamientos anaerobios.

- Bajos costos de operación.
- Obtención de biogás combustible.
- Eliminación de microorganismos patógenos.
- Obtención de biofertilizante de buena calidad.

Aspectos biológicos.

Son muy necesarios conocerlos pues éstos son la esencia fundamental del proceso (los microorganismos son los ejecutantes principales de éste). Aunque en la práctica ingenieril se acostumbra a considerar tres etapas para residuos sólidos o lodos (hidrólisis, ácido génesis, metano génesis) y dos para residuos líquidos (ácido génesis y metano génesis), el enfoque más novedoso lo constituye el de las cuatro etapas o niveles tróficos (hidrólisis, ácido génesis, acetogénesis y metano génesis).

Figura # 2. Esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos.



Fuente: (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991).

Los números indican la población bacteriana responsable del proceso: 1: bacterias fermentativas; 2: bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: bacterias metano génicas hidrogeno tróficas; 5: bacterias metano génicas acetoclásticas.

Obtención del biogás y sus aplicaciones.

El Biogás es un combustible que tiene un valor calórico de 4 700 a 5 500 Kcal/m³ y puede ser utilizado para la cocción de alimentos, para la iluminación de las naves y viviendas; puede ser quemado en calderas de procesos industriales, así como para la alimentación de motores de combustión interna en el transporte, bombeo o generación de electricidad. (Guardado, 1999).

Indicadores que pueden servir de referencia de la cantidad de biogás que se puede obtener en función del tiempo de las materias primas más utilizadas en Cuba a temperatura promedio ambiental (24 – 25⁰C) están en la tabla siguiente:

Tabla # 2 Materias primas más utilizadas en Cuba para obtención de biogás.

Materia orgánica	Unidad de medida	Cantidad	Equivalente en biogás m ³	Dilución excreta-agua	Tiempo de retención en días
Excreta porcina	Kg.	1	0,031	1 : 3-10	16
Excreta vacuna	Kg.	1	0,035	1 : 1-3	14
Excreta de pollos	Kg.	1	0,045	1 : 3	20
Excreta de carnero	Kg.	1	0,04	1 : 3	30
Cachaza	Kg.	1	0,09	1 : 3	25
Excreta humana	Kg.	1	0,05	1 : 1-3	16

Fuente: J. A. Guardado. Recopilación y elaboración propia.

Un criterio práctico que puede servir como indicador de la calidad del biogás como gas combustible es observar que arde con llama de color azul claro, no tóxica, virtualmente sin olor ni humo, que es prácticamente invisible a la luz del sol.

La presencia de H₂S en el biogás tiene ventajas y desventajas: Su olor fuerte constituye un aviso de que hay fugas en el sistema, sin embargo al combinarse con el agua forma ácidos que corroen las partes metálicas de la instalación. De aquí una de las ventajas que se le atribuye al digestor de cúpula fija que no posee partes metálicas.

La Materia Orgánica como Abono

En los últimos años, se ha dedicado a una atención preferente a la implantación de sistemas de depuración que permiten evacuar los efluentes al medio natural con una calidad adecuada y con el menor costo posible. En consecuencia, paralelamente a la selección de un buen sistema de depuración, es imprescindible efectuar un estudio minucioso para fijar el sistema de eliminación de residuos de forma no contaminante y económica o recuperarlos de una forma racional. Ello representa para nuestro país una consideración de primer orden, dado el esfuerzo que se está haciendo y que debe incrementarse en el futuro, en materia de depuración (Montalvo, 2000).

Para intentar remediar el déficit de materia orgánica de los suelos, evitando los peligros que anteriormente se han reseñado, se hace imprescindible encontrar fuentes alternativas de materia orgánica que puedan sustituir los tradicionales estiércoles de origen animal y vegetal, cuya producción está en constante recesión.

Así mismo, teniendo en cuenta la problemática existente en la agricultura de nuestros días en relación con el drástico descenso de materia orgánica de los suelos, principalmente en las regiones áridas y semiáridas, es por lo que resulta cada vez más acuciante utilizar compuestos alternativos a los estiércoles tradicionales, cuya producción está en continua recesión debido a la creciente mecanización agrícola.

Por ello los países más desarrollados utilizan en agricultura un alto porcentaje de su producción de lodos y en este sentido podemos reseñar que Alemania dedica el 45%, Inglaterra el 44%, Holanda el 54%, Francia el 28% e Italia el 32%.

Estados Unidos dedica en su agricultura el 42% de los lodos producidos (Montalvo, 2000). También es válido para el municipio de Jatibonico y, en especial, para las zonas agrarias, que actualmente presentan degradación de los suelos y déficit de materia orgánica.

1.6 Tipos de sustratos.

La biomasa de acuerdo a su contenido de humedad puede utilizarse en diferentes procesos para su conversión en energía. En este sentido se recomiendan los procesos bioquímicos (digestión aeróbica o anaeróbica) cuando la humedad es superior al 60 %. Sin embargo existen experiencias con el uso de otros sustratos con un contenido de humedad inferior, los cuales pueden utilizarse con algún tipo de pretratamiento que aumente su biodegradabilidad.

a) **Recursos forestales:** Incluyen ambas categorías de biomasa para energía, es decir, residuos y plantaciones energéticas. En la explotación de los bosques naturales realizada con la finalidad de obtener madera para aserrado o elaboración de pulpa de papel, se producen residuos de las siguientes características: - Especies no aptas para aserrado o pulpa que se destinan a la producción de leña, - Residuos de cosecha, raleo, etc., bajo la forma de ramas, despuntes, tocones, etc.- Residuos de aserradero bajo la forma de cortezas, costaneros, aserrín, viruta, etc. En los casos en que la explotación forestal está destinada específicamente a la producción de energéticos, se eligen especies que, aunque no tengan características deseables en los otros usos, presentan un rápido crecimiento.

b) **Recursos agrícolas:** La agricultura genera cantidades considerables de desechos (rastros) se estima que, en cuanto a desechos de campo, el porcentaje es más del 60%, y en desechos de proceso, entre 20% y 40%. Aunque es necesario reciclar un porcentaje de la biomasa para proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos, una cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía. Ejemplos de este tipo de residuos son: paja de cereales, zuros de maíz, restos de cultivos industriales como el arroz, el café y la caña de azúcar, residuos de cosechas: maloja de caña de azúcar, malezas, paja, rastrojo de maíz y otros cultivos, desechos de tabaco y semillas, desperdicios del procesamiento de hortalizas y frutas. En Cuba no existen experiencias en la utilización de estas fuentes de

carbono para producir biogás con fines energéticos. En este sentido el Dr. Bernd Linke del Instituto de Ingeniería agrícola de Bornin en Alemania hace referencia en el 2004 a estudios de laboratorio para la optimización de la producción de biogás a partir de forrajes, silage de maíz, silage de remolacha, heno triturado y restos de la producción de papas, utilizando en la mayoría de los casos excreta animal como aporte de carbono adicional y de microorganismos para la fermentación resultando un incremento en la producción de biogás por encima a la fermentación de los sustratos por separado.

c) **Recurso acuático:** Tanto en el ámbito fluvial y lacustre (camalotes) como en el marítimo (fitoplancton), se han realizado experiencias en este sentido: luego de la recolección se procede a la fermentación anaeróbica de estos vegetales para la producción de biogás. Existen también estudios para el aprovechamiento energético a partir de ciertos tipos de biomasa tales como algas verdes, especies de látex ricas en caucho o en resinas, etc. Sin embargo, su importancia cuantitativa es muy baja por lo que no supera en la actualidad su condición de proyecto investigativo.

d) **Recurso pecuario:** Están representados por la deyecciones de los animales, desechos de establos (estiércol, orina, paja de camas), camas de gallinas ponedoras (Savran, 2005). La conveniencia de la utilización energética de los recursos pecuarios, se ve restringida a aquellos casos en los cuales los animales se crían en zonas limitadas (cría intensiva) debido a las dificultades de recolección que se presentan en extensiones grandes. Las deyecciones animales son la mejor materia prima para la producción de biogás a través de la fermentación anaeróbica. Aunque estos residuos representan también un fertilizante natural del suelo, la utilización energética de los mismos no afecta el equilibrio ecológico, dado que el efluente que se obtiene como producto de la digestión conserva los nutrientes inalterados, permitiendo su reintegro al suelo y eliminando, en cambio, los elementos potencialmente contaminantes.

e) **Recurso industrial:** La industria alimenticia genera una gran cantidad de residuos y subproductos, que pueden ser usados como fuentes de energía, los provenientes de todo tipo de carnes (avícola, vacuna, porcina); vegetales y cítricos (cáscaras, pulpa) cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria. También se encuentran los efluentes

líquidos de industrias como los ingenios (aguas residuales, vinaza), (Florencio, 1997), (Obaya, 2004), (Pérez, 1985) frigoríficos, industrias lácteas (suero, desperdicios de matadero) (sangre, vísceras, intestinos) , desperdicios de la industria de la pesca, etc. Estos residuos son sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser utilizados para producir biogás mediante su digestión.

f) **Recurso urbano:** Los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo: residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. Mediante un proceso de pretratamiento, es separada la parte orgánica de la parte no biodegradable y luego es aprovechada tanto en procesos de digestión como de codigestión (López, L. 2006). La mayoría de los países centroamericanos carecen de adecuados sistemas para su procesamiento, lo cual genera grandes problemas de contaminación de suelos y cuencas; sobre todo por la inadecuada disposición de la basura y por sistemas de recolección y tratamiento con costos elevados de operación. Estos compuestos tienen un considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía “limpia”, pues aproximadamente el 80% de toda la basura orgánica urbana puede ser convertida en energía.

Residuales de vacunos y de porcinos, de la producción de azúcar, alcohol, despulpadoras de café y de vertederos sanitarios, que constituyen hoy en día, en su conjunto, una vía de contaminación ambiental. Son 78 millones de m³ de vertimientos biodegradables, concentrados en las fábricas de azúcar, destilerías de alcohol y despulpadoras de café. (Indicadores Socioeconómicos 2003).

Sin embargo actualmente la producción de biogás es limitada y no se aprovechan todos los recursos, existiendo otras fuentes no estudiadas como son los desechos orgánicos urbanos, o los provenientes de la producción agropecuaria, forestal, cañero – azucarera e industrial, los cuales son un potencial apreciable para la obtención de energía a gran escala y por tanto una perspectiva para la mejora de las condiciones energética del país, donde se ha trabajado fundamentalmente en el diseño de biodigestores de pequeña escala como los tipo chino y de tipo hindú utilizando excreta proveniente de animales estabulados como vacas, cerdos y aves.

1.7 Tecnologías de digestión empleadas para la producción de biogás.

Existen, a nivel mundial, un número importante de plantas de tratamiento anaerobio de residuos las cuales se pueden clasificar de diferentes maneras. En la siguiente clasificación se ha tomado en cuenta la relación entre el tiempo de retención hidráulica y el de retención de sólidos lo que se encuentra estrechamente relacionado con la eficiencia.

Tabla # 3 Clasificación de los digestores.

DE 1 ^{ERA} . GENERACIÓN	DE 2 ^{DA} . GENERACIÓN	
	Con crecimiento en soporte	Con crecimiento disperso
<ul style="list-style-type: none"> • Tanques sépticos. • Lagunas anaerobias. • Minidigestores. • Digestores convencionales 	<ul style="list-style-type: none"> • Híbridos. • Lecho fijo. • Lecho fluidizado y expandido. • Filtro anaerobio con carbón activado. • Inmovilización de microorganismos. • Asociado a partículas suspendidas. • Contacto rotatorio anaerobio. • Columna de plata. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lodo activo anaerobio. • UASB. • EGSB. • Circulación interna. • Con ascenso de gas. • Modificado de alta velocidad. • Membranado. • Flujo horizontal con deflector. • Dos etapas. • Percolados en serie. • Tubular inclinado.

Fuente: (Montalvo. S, Guerrero. L, 2003).

En los reactores de segunda generación el tiempo de retención hidráulico es menor que el tiempo de retención de sólido mientras que en los de primera generación estos dos tiempos se igualan y como consecuencia son menos eficientes. Existen más de 1 000 reactores anaerobios en explotación a nivel mundial. Tal como muestra la siguiente tabla.

Tabla # 4. Distribución de los digestores por tecnologías.

Tipos de reactores	Cantidad de ellos	%
Reactor anaerobio de flujo ascendente UASB.	650	65
Contacto anaerobio.	120	12
Lagunas anaerobias	60	6
Híbridos	40	4
Lecho fluidizado	20	2
Reactores de película fija.	20	2
Otros	90	9

Fuente:(Valdés. E, 2001)

Aquí se puede observar como a nivel industrial la tecnología más aplicada en el UASB con un 65 % muy por encima de los de contacto anaerobio con un 12 % que es el que le sigue en cantidad de ellos en funcionamiento. (Valdés. E, 2001).

Minidigestores: Generalidades.

Estos digestores son utilizados, fundamentalmente, para obtener biogás a partir de residuos domésticos y/o residuos agropecuarios (Ringkamp M, Bologna, 1988). Los minidigestores mas utilizados a nivel mundial son los de tipo hindú o los de tipo chino.

El digestor de **tipo hindú** consiste, en un tanque reactor vertical que tiene instalado una campana flotante recolectora de biogás. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 300 mm de columna de agua. Con esta campana se logra, además, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos digestores. En este digestor se alcanzan productividades volumétricas (Pv) de 0.5 a 1m³ de biogás/vol.reactord. la siguiente figura muestra un minidigestor de tipo hindú.

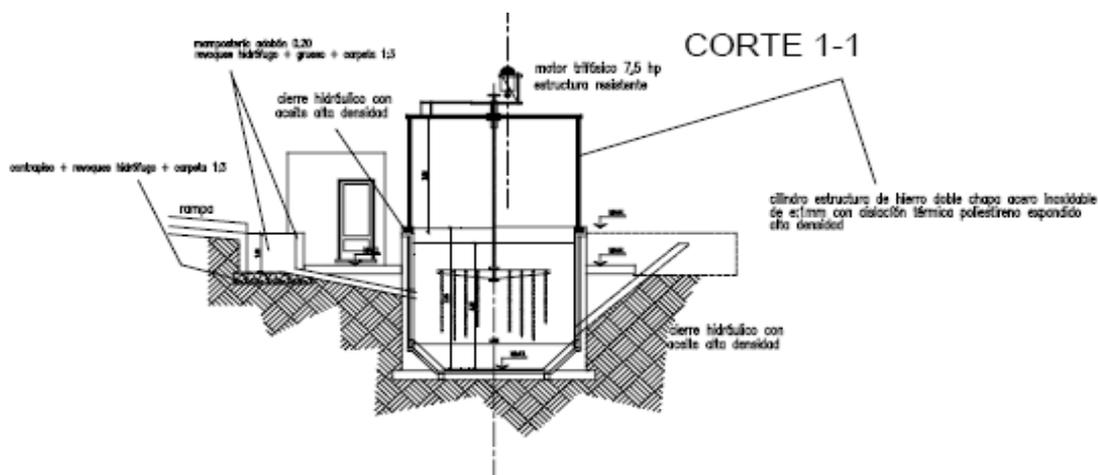


Fig. # 3 Minidigestor de tipo hindú.

El digestor de **tipo chino** no tiene campana flotante, sino techo fijo para la recolección del biogás. Son tanques redondos y achatados con el techo y el piso en forma de domo. En este caso, a medida que aumenta la producción de

gas, aumenta la presión en el domo o cúpula fija, forzando el líquido en los tubos de entrada y salida a subir, llegándose a alcanzar presiones internas de hasta más de 100 cm. de columna de agua. Como consecuencia de la variación de presión, la que aumenta al generarse el gas y disminuye al consumirse éste, se reduce la eficiencia en los equipos consumidores. La (Pv) en estos digestores se encuentra siempre entre 0.15 y 0.2 $m^3/m^3.d$.

Los tiempos (θ) de operación para los digestores tipo chino son de 30 – 40 días, requiriéndose para alcanzar la misma eficiencia (máximo 50 % de reducción de la materia orgánica) de 1/2 a 1/3 de estos θ en los digestores de tipo hindú.

Las relaciones altura: diámetro de diseño para estos reactores que se utiliza con mayor frecuencia, son de 0.5 a 1 y de 1 a 2 respectivamente.

Lagunas anaerobias.

Las lagunas de oxidación o estabilización, son estanques en tierra cuyo fondo y paredes o taludes laterales pueden estar recubiertos o no por material impermeable como arcilla o algún material plástico. (Saffley L. M, Westerman P. W, 1988).

Un tipo de laguna ampliamente utilizado, lo constituye las llamadas lagunas anaerobias, que es el reactor anaerobio más sencillo que existe y que como regla general, no está cubierta, escapándose el biogás a la atmósfera.

Las lagunas anaerobias se construyen en muchas ocasiones, con el objetivo fundamental de reducir la carga orgánica sedimentable, operando con θ entre 5 y 30 días y con cargas volumétricas (Bv) entre 1 y 2 Kg DQO/ $m^3.d$, por lo que teniendo en cuenta sus grandes dimensiones θ de trabajo, estos sistemas pueden considerarse como sistemas anaerobios de baja carga volumétrica.

En este tipo de sistema se logra un elevado tiempo de retención media de la célula (y_x), con una máxima destrucción de material particulado, decaimiento endógeno, liberación de nutrientes de biomasa y minimización de las disposiciones de lodos. La limpieza de las lagunas debe realizarse cuando el lecho de lodos alcance la mitad de la altura útil, lo cual no debe ocurrir en menos de diez años. En estos sistemas se presentan problemas por ineficiencias de mezclado y por insuficiencias en el contacto entre el agua

residual y la biomasa anaerobia. Estas limitaciones se intentan mejorar con la introducción de deflectores, baffles o chicanas. (Viñas M., 1994).

Digestor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodo (UASB).

Este tipo de reactor es hoy, sin duda alguna el sistema anaerobio más aplicado a escala real. Aunque su aplicación ha estado limitada a residuales líquidos bajo contenido de sólidos en suspensión. Su característica distintiva es la retención de biomasa en su interior sin necesidad de ningún medio de soporte, lo que abarata sus costos de inversión, gracias a la formación de granos o gránulos, lo cual lo hace más económico y le da ventajas técnicas sobre otros tipos de reactores. Por lo general los TRS en estos reactores son mayores de 30 días. Sin embargo, el proceso de formación de gránulos es también su principal limitante, ya que la selección y correcta operación del proceso UASB dependerá del grado de sedimentación que logre sus aglomerados celulares, ya sean como gránulos o flóculos densos y a escala real se le han aplicado cargas de hasta 15 kg. DQO/m³.d.

Reactores anaerobios con lecho fijo (RALF)

El reactor anaerobio con lecho fijo o empacado o filtro anaerobio (FA) comenzó su desarrollo a mediados de la década de los 60 (Young J. C, California, 1968), (Young J. C, McCarty P. L, 1991). En este reactor, el agua residual pasa a través de un lecho con materiales inertes (piedra, medio plástico, cerámica, etc.) sobre el cual, o entre los espacios muertos, se establecen y desarrollan los microorganismos que actúan sobre el sustrato que, en forma disuelta o suspendida, contienen, el agua residual. De esta forma, los sólidos biológicos se retienen dentro del reactor por un período largo de tiempo (>100 días). El material soporte actúa como un separador gas- sólido, ayuda a uniformar el flujo a través del reactor y mejora el contacto entre el sustrato y la biomasa. De forma resumida se puede plantear que la biomasa (Young J. C, 1991) retenida en el reactor puede estar presente en tres formas diferentes: 1) Como biopelícula fina adherida a las superficies del medio soporte, 2) Como biomasa dispersa atrapada en los intersticios del material soporte, y 3) Como flóculos o gránulos retenida en el falso fondo del reactor que sostiene al material soporte. La elevada concentración de microorganismos dentro del reactor hace que los tiempos de retención alcancen valores entre 3 horas y 6 días, obteniéndose

elevadas eficiencias y rendimientos significativos en la producción de biogás (Hamoda M. F, Kennedy K. J, 1986), (Landine R. C, 1982).

En este sistema es indispensable que el medio soporte este sumergido en líquido para garantizar una adecuada anaerobiosis.

De acuerdo con el tipo de alimentación, los RALF pueden ser de flujo ascendente, descendente o longitudinal. Las cargas aplicadas a estos reactores son de hasta 20 Kg. DQO/m³.d.

Arreglo del relleno del RALF

El arreglo de relleno puede realizarse al azar o de forma orientada. Al azar se garantiza un mayor contacto entre sustratos y biopelícula, pero la acumulación de sólidos es mayor y una gran parte de los microorganismos se hallan en suspensión. En este caso el peligro de atascamiento aumenta, por lo tanto su empleo es aconsejable en aguas residuales con bajo contenido de sólidos en suspensión. Para disminuir este efecto negativo, se debe hacer lavados periódicos con biogás o recirculando el efluente del reactor a 50 – 100 m/h.

El arreglo orientado posibilita un mayor drenaje existiendo una menor acumulación de sólidos, disminuyendo el peligro de atascamiento. La mayor parte de los microorganismos crecen unidos al soporte. Este tipo de arreglo se ha empleado con éxito en el tratamiento de aguas residuales con altos contenidos de sólidos e incluso lodos (Sánchez E, Montalvo S, 1995).

La altura de relleno en los RALF va de 100% de su altura hasta 50-70% de la parte superior de éste. Se ha comprobado que estos reactores con poca altura de medio soporte operan eficientemente.

El relleno, medio o material de soporte del RALF, es el elemento más importante de este y el responsable del comportamiento, más menos eficiente, del proceso anaerobio desarrollado en el reactor. Este medio debe cumplir las condiciones siguientes:

- Separar los sólidos de los líquidos.
- Promover la homogeneización del líquido en el reactor.
- Mejorar el contacto entre el sustrato y los microorganismos dentro del reactor.
- Acumular grandes cantidades de biomasas con el consecuente aumento del tiempo de retención de sólidos.

- Actuar como barrera física (filtración) para evitar que los sólidos salgan en el efluente del reactor.

RALF de flujo ascendente

En este reactor la entrada de aguas residuales se realiza por la zona inferior, siendo ésta la más activa (Henry J. G, 1987). Los lodos, que se encuentran concentrados en el fondo, actúan directamente sobre el sustrato.

Este tipo de reactor presenta dos desventajas fundamentales:

- El peligro de atascamiento es significativo, dificultándose la extracción de los lodos que se encuentran acumulados en el fondo del reactor.
- Es imprescindible el bombeo lo que encarece el proceso.

El sistema de relleno desordenado con flujo ascendente se llama comúnmente filtro anaerobio (FA), siendo, precisamente, una de las ventajas principales de este tipo de reactor, la capacidad de filtración física que presenta.

RALF con flujo descendente.

En este reactor, la zona de mayor actividad se concentra en la parte superior (Young J. C, 1987). Tiene la ventaja que el gas tiende a salir más rico en CH₄ y el peligro de atascamiento es menor, ya que la mayor concentración de sólidos se encuentra en la parte superior del reactor, siendo más fácil su eliminación. Se puede trabajar con niveles mayores de sólidos en suspensión en el agua residual que en el de flujo ascendente.

El RALF con relleno ordenado y flujo descendente es llamado, comúnmente reactor anaerobio de película fija (DSFFR), creado para resolver los problemas que se presentaban en los RALF de flujo ascendente (Kennedy K. J, Droste R. L, 1993).

En el DSFFR, la utilización del relleno ordenado y orientado forma canales verticales que se desplazan a lo largo de todo el relleno, lo que permite que exista una interacción a contracorriente, entre el líquido y el gas generado en el reactor, promoviendo el mezclado en este. El volumen del líquido se mantiene por encima y por debajo del relleno para promover el mezclado entre canales, protegiendo la película sumergida y minimizando las tupidiones en el fondo del reactor.

Debido a que los canales son relativamente grandes, es posible tratar en DSFFR residuos con mediano contenido de sólidos. Ha sido ampliamente

probado que en estos reactores pueden tratarse aguas residuales solubles e insolubles (E. Sánchez, X. Rodríguez, 1992).

A consecuencia de la relativa baja acumulación de biomasa en estos reactores, hay una tendencia a obtener niveles de eficiencia similares a otros reactores pero operando con menores B_v , lo que es compensado en parte, por la reducción de atascamiento y por la estabilidad y facilidad de la operación.

Muchos DSFFR han sido diseñados para trabajar con canales de diámetro nominales de 1- 2.5 cm. y áreas superficiales específicas de 100-150 m^2/m^3 . El volumen libre en estos reactores usualmente es del 60 - 90 % de su volumen total. También se utiliza algún grado de recirculación.

RALF con flujo longitudinal.

Este reactor se construye de forma alargada, siendo su alimentación lateral, la ventaja fundamental de este tipo de filtro es que el costo de construcción, a pequeña y mediana escala, es menor que los de los otros tipo, no siendo así a gran escala. El peligro de corto circuito hidráulico es mayor que en otros casos y el área que se requiere es para su montaje es más amplia para este modelo de reactor, es por eso que su uso es muy limitado.

Digestores MININT.

Estos digestores han sido aplicados en el país a escala industrial alcanzando un volumen de hasta 1 000 m^3 de digester, sus capacidades de remoción de sólidos volátiles están alrededor del 80- 85 %, constituyen una combinación entre los digestores secuenciales, los UASB, y los de tipo Chino, su productividad volumétrica alcanza valores de 0.8-1.2 m^3 de gas/ m^3 de digester, logrando asimilar entre 1-4 kg de sólidos volátiles, en ellos se logra un alto tiempo de retención de la materia orgánica y logra el tratamiento de residuos de alto y bajo contenido de sólidos en suspensión.

1.8 Aspectos para la selección de digestores.

En esta amplia diversidad de formas de digerir anaeróticamente la materia orgánica para producir biogás se han realizado pocos estudios sobre la formas de selección entre unos u otros biodigestores, muchos autores solamente muestran metodologías de diseño para cada una de ellas, por ejemplo (López, 1999) plantea que los biodigestores más utilizados en zonas rurales son los de régimen semi – continuos, que de acuerdo a su principio de funcionamiento y construcción pueden ser: De campana flotante o tipo hindú, De tipo chino o de

cúpula fija, Del tipo tubular o de Plug Flor, y otros distintas variantes y diferentes tipos de materiales. Este autor continúa su trabajo haciendo énfasis en un biodigestor de cúpula fija de tipo chino desarrollado por el Instituto de Investigaciones Porcinas de Cuba, (Chao et. al. 1997).

También (C.Filippín, J. Follari y J. Vigil, 1990) trabajaron en el diseño de un biodigestor de tipo hindú para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de vacas lecheras en la facultad de agronomía de la universidad nacional de la pampa. Argentina. Quienes se basaron fundamentalmente en la proximidad al lugar donde se acumula el desperdicio, y cerca de los puntos de consumo del gas. Lo ubican protegido de los vientos dominantes, con una separación de 10 a 15mts de los pozos de agua, y cerca a los puntos de consumo del efluente y de las aguas sobrenadantes. Fueron condicionantes del diseño, la inversión a realizar, la energía que se desea obtener, la biomasa disponible, el tamaño del digestor, profundidad de la napa, la simplicidad en el manejo, el uso del efluente, y la temperatura media del lugar.

(Zamora, 2001), propone una metodología para el diseño de plantas de biogás pero en ella no se especifica el tipo de planta aunque si se exponen factores a tener en cuenta para un buen funcionamiento de una planta de biogás.

- Temperatura
- Tiempo de retención.
- Relación Carbono / Nitrógeno.
- Porcentaje de sólidos.
- Factor PH.

Se mencionan en este mismo artículo algunos aspectos para la elección del diseño todos los cuales se refieren de forma amplia en León, 2006. ellos son:

- a) Inversión que se está dispuesto a realizar.
- b) Energía que se quiere obtener.
- c) Los materiales con que se cuenta (biomasa).
- d) El tamaño del digestor.
- e) Las características del lugar en cuanto a profundidad del manto freático.
- f) La simplicidad que se quiere lograr en el manejo.
- g) Uso del efluente del biodigestor.
- h) Temperaturas medias del lugar donde se instalará.

Pero de manera amplia se destacan los aspectos definidos por (León, A. 2006) los cuales tienen en cuenta los elementos de los autores antes mencionados y otros tales como se enumeran a continuación.

Aspectos a considerar en la selección plantas de tratamiento anaerobio de residuales (PTAR). (León, A. 2006)

1- Definición objetiva PTAR.

- Ecológico ambientalista.
- Portador energético.
- Procesamiento de materia orgánica.

Primeramente se debe definir el objetivo de la PTAR, ellos tres suelen estar presentes siempre aunque unos en mayor escala y otros en menor escala según el objetivo principal de la planta.

2- Restricciones ambientales.

- Entorno territorial y adaptabilidad.
 - Urbano.
 - Rural.
 - Empresarial.
 - Cuenca hidrográfica.
 - Área protegida.

Este aspecto está asociado específicamente con las restricciones de las leyes ambientales por las que se rigen los diferentes entornos territoriales.

3- Restricciones socioeconómicas.

- Objeto social (planta diversificación de uso).
 - Estas pueden llegar a obtenerse hasta 17 derivados.
- Empresarial.
 - Se enmarca dentro de las necesidades y estatutos específicos de las empresas.
- Interrelación social (hombre – PTAR).
 - Esto se refiere a las relaciones que pudieran existir entre las plantas de tratamiento de residuales y la comunidad en función de los beneficios que esta pudiera reportarles como residuales ya tratados y biogás.

4- Caracterización del residual.

- Volúmenes del residual.
- PH.
- DQO.
- Sustancias inhibidoras.
- Nutrientes.
- Temperatura.

5- Parámetros técnicos de varios digestores para utilizar como criterio discriminatorio.

Minidigestores.

- Tipo Chino.
 - Productividad volumétrica (Pv) 0.15 – 0.2 m³/m³.d.
 - Tiempos de operación 30 – 40 días.
 - Eficiencia 50 % de remoción de DQO.
 - Residuales con bajo contenido de sólidos insolubles.
 - Carga orgánica capaces de asimilar (Bv) 0.5 – 3 Kg DQO/m³.d.
 - Tipo Hindú.
 - Productividad volumétrica (Pv) 0.5 – 1 m³/m³.d.
 - Tiempos de operación 13 – 15 días.
 - Eficiencia 50 % de remoción de DQO.
 - Residuales con bajo contenido de sólidos insolubles.
 - Carga orgánica capaces de asimilar (Bv) 0.5 – 3 Kg DQO/m³.d.
 - Lagunas anaerobias.
 - Productividad volumétrica (Pv) 0.5 - 1 m³/m³.d.
 - Tiempos de operación 5 – 30 días.
 - Eficiencia 65 % de remoción de DQO.
 - Residuales con mediano contenido de sólidos insolubles.
 - Carga orgánica capaces de asimilar (Bv) 1 – 5 Kg DQO/m³.d.
 - Reactor anaerobio de lecho fijo (RALF).
 - Productividad volumétrica (Pv) 2.5 – 3.5 m³/m³.d.
 - Tiempos de retención de sólidos mayores de 100 días.
 - Tiempos de retención hidráulica 3 horas a 6 días.
 - Eficiencia 70 - 85 % de remoción de DQO.

- Residuales con bajo contenido de sólidos insolubles.
- Carga orgánica capaces asimilar (diseño) (Bv) 0 – 20 Kg DQO/m³.d.
- Carga orgánica capaces asimilar (reales aplicadas) (Bv) 0-16 Kg DQO/m³.d
 - Digestor a anaerobio de flujo ascendente con manto de lodo (UASB).
- Productividad volumétrica (Pv) 2.7 –3.7 m³/m³.d.
- Tiempos de retención de sólidos mayores de 30 días.
- Tiempos de retención hidráulica 4 horas a 7 días.
- Eficiencia 70 - 85 % de remoción de DQO.
- Residuales con bajo contenido de sólidos insolubles.
- Carga orgánica capaces asimilar (diseño) (Bv) 0 – 20 Kg DQO/m³.d.
- Carga orgánica capaces asimilar (reales aplicadas) (Bv) 0-15 Kg DQO/m³/d
 - Digestor anaerobio de lecho expandido o fluidizado.
- Productividad volumétrica (Pv) 2.8 –3.7 m³/m³.d.
- Tiempos de retención de sólidos mayores de 100 días.
- Tiempos de retención hidráulica 20 minutos a 6 días.
- Eficiencia 70 - 90 % de remoción de DQO.
- Residuales con bajo contenido de sólidos insolubles.
- Carga orgánica capaces de asimilar (diseño) (Bv) 0 – 20 Kg DQO/m³.d.

6- Costo.

Este aspecto tiene una estrecha relación con todos los pasos antes mencionados, pero fue tratado por este autor de manera muy breve siendo de mucha importancia sin perder de vistas los demás aspectos mencionados. El mismo puede definir la continuidad del proyecto en cada una de las etapas. Teniendo en cuenta, en lo económico, el tiempo de recuperación de la inversión, el VAN y la TIR.

Capítulo II. Metodología de diseño para la construcción de una planta de biogás en La UBPC Ciego Caballo.

2.1 Caracterización de la UBPC Ciego Caballo

La UBPC “Ciego Caballo”, pertenece la UEB Atención al Productor Azucarero Uruguay, que se encuentra ubicada en la zona Sur del Municipio Jatibonico provincia de Sancti Spíritus, limita por el norte con la UBPC el Maja, por el sur con al Empresa pecuaria sur del Jíbaro, al este con el Río Jatibonico, por el oeste con la carretera que une a los asentamientos poblacionales El Majá y La Ferrolana.

Es constituida 13 de Octubre de 1993. Registrada con el código 53203, considerándose como una de las transformaciones más relevante en este sector después de realizada con la primera y segunda leyes de Reforma Agraria a principios de la revolución, de ahí la importancia que se le concede a esta organización, con una estructura para su funcionamiento (Ver Anexo 1) en lo que se refiere a su consolidación y desarrollo, debido a su papel en el contexto de la economía cubana.

Esta unidad se ha creado con el objetivo de aumentar la producción cañera a través del incremento de los rendimientos agrícolas y al mismo tiempo lograr que éste se alcance con la mayor eficiencia posible y cuenta con un área total de 3016.4 (ha) distribuidos de la siguiente forma según el tipo de producción que se realiza: 1930 (ha) destinadas a la producción cañera, 104.7 a los cultivos varios, 236.7 al desarrollo forestal, 61.2 a la producción de frutales y 683.3 a la ganadería.

Esta UBPC tiene la misión de satisfacer las necesidades cañeras de la Fábrica de Azúcar Uruguay, además se desarrollan otras producciones con el objetivo de obtener granos, viandas, hortalizas, frutales y forestales; tanto para la alimentación interna como para la venta de excedentes a los trabajadores y otros clientes, la producción agropecuaria es la encargada de proporcionar leche y vacunos para la venta al sector estatal con seriedad, calidad y precios competitivos.

Características del personal.

La UBPC , “Ciego Caballo”, de Jatibonico cuenta con una plantilla aprobada de 212 trabajadores, de ellos 7 son directivos y 205 trabajadores en distintas funciones, con el siguiente nivel de escolaridad.

Nivel de escolaridad:

Superior----- 4

Técnicos medios ----- 27

Bachiller -----27

Secundaria Básica----- 154

Planificación:

La planificación se cumple basada en los lineamientos del VI Congreso del PCC (Anexo 2), en los valores dictados por un plan aprobado a nivel de empresa, justificado principalmente con el indicador gasto de salario por peso de producción bruta.

2.2 Determinación del potencial biodegradable.

El trabajo de campo para la estimación del potencial biodegradable existente, para lo cual se tomo una planilla elaborada por los especialistas en el tema de la UNISS, que permitió obtener los datos necesarios para estudiar las posibilidades de proponer el diseño de un biodigestor para la producción de biogás en esta UBPC. (Ver anexo 3). Los datos que en ella se han plasmado, fueron obtenidos en reunión con los directivos de la unidad.

Cálculo del flujo de residuales provenientes de las excretas vacunas:

Para calcular las cantidades de excretas por animales se aplica el índice de 10 Kg. de excreta húmeda para toros y vacas y se asume como promedio 5 Kg para terneros según especialistas del laboratorio de biogás de la UNISS, se consideró un período de 12 h de estabulación. A partir de aquí se aplicó el 25 % de la excreta fresca para obtener los Kg de sólidos volátiles (SV) contenidos en la masa de excreta según (Savran, 2005 y Hermida, 2006). Para efectuar el cálculo la cantidad de agua se debe considerar la relación 1: 3 (índices, X taller de biogás, 2006) y finalmente se estima la masa de residuales provenientes de las excretas vacunas.

2.3 Diagrama del proceso de la planta.

Las plantas de producción de biogás con fines energéticos deben estar provistas de las siguientes etapas:

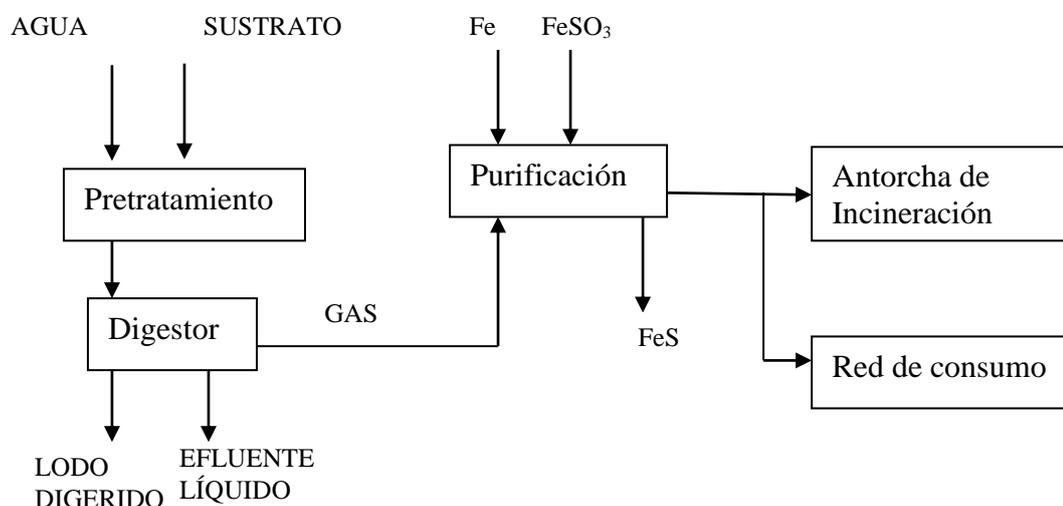


Fig. # 4: Diagrama de la planta de biogás.

El pretratamiento se seleccionó en función del tipo de sustrato a utilizar, el sustrato es excreta húmeda del ganado vacuno que se recolecta en los establos y la vaquería y se deposita en el mezclador donde se realiza la operación, en la entrada del digestor se instal un sedimentador que garantizó el depósito de los sedimentos.

2.4 Análisis para seleccionar la tecnología a utilizar.

Para la selección de la tecnología ha utilizar se tuvo en cuenta como primera prioridad la disponibilidad de los materiales de construcción de la UBPC para hacer viable el proyecto, el % sólido de los sustratos a tratar, su naturaleza, la eficiencia de remoción de las tecnologías existentes, sus productividades volumétricas, la intensidad de carga que pueden asimilar, el por ciento de sólidos en suspensión que es capaz de asimilar cada tecnología y los costos.

Tabla # 5. Digestores más usados en Cuba.

Digestor	Prod. Vol. (m3/m3)	% Remoción	% S. Susp.
Hindú	0,2 -0,4	50	Medio
Chino	0,2-0,4	50	Medio
MININT	0.8 -1,2	80-85	Alto
UASB	3-5	75-85	Bajo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los digestores más usados en Cuba, de mayores productividades volumétricas y mayor porcentaje de remoción que son los UASB y los MININT, se determinó utilizar para nuestro trabajo los biodigestores de tipo MININT; por su capacidad para asimilar sustratos con alto contenido de sólidos en suspensión como es el caso de la variante de excreta que se analiza, además la UBPC reportó en el estudio, la disponibilidad de compra para los materiales de construcción, también se analizó el sistema constructivo que se emplea en cada una de estas tecnologías y el grado de especialización de la mano de obra. Esta tecnología MININT ha sido difundida en el país por su fácil construcción con materiales convencionales, obtenido resultados satisfactorios para digestión anaerobia del residual industrial y pecuario.

2.5 Ecuaciones fundamentales para el diseño del digestor. (Hermida, O. 2006)

1. Intensidad de carga.

$$I \leq 4 \text{KgSV}(\text{DQO})/\text{m}^3\text{d}$$

Mediante esta ecuación se estimó el volumen del digestor teniendo en cuenta los kg de S.V del sustrato alimentado.

2. Tiempo de retención de sólido

$$t_r \leq 30\text{d}$$

El tiempo de retención de sólidos se calcula para garantizar el 85% de remoción de los sólidos volátiles del sustrato alimentado.

3. Velocidad límite del líquido afluyente

$$V_l \leq 10 \text{ m/h}$$

Esto garantizó el cumplimiento de las ecuaciones de Stokes para la sedimentación de una partícula en el seno de un líquido lo que hace que estos digestores funcionen como UASB de flujo horizontales, evitando la ocurrencia de cortos circuitos hidráulicos.

4. Altura máxima del reactor.

$$h \leq 3,0 \text{ m}$$

5. Número de Re < 100

Garantiza que el flujo se estrictamente laminar.

6. Presión máx. en cámara de gas.

$$Pr < 200 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Con sello hidráulicoe.

7. Diseño del túnel

Teniendo en cuenta las condiciones anteriores se calculó el diámetro equivalente, asumiendo que esta fuera menor o igual que el largo del túnel, buscando valores óptimos el número entero de secciones.

2.6 Cálculo de la red de consumidores.

Para este cálculo primeramente se consideró la necesidad primaria de la UBPC que fue mejorar las condiciones de vida de los trabajadores para la cocción de los alimentos que hoy se realiza con leña y mejorar las condiciones de vida a tres viviendas que se encuentran en los alrededores de la UBPC por lo que se determinó el volumen de biogás y las características técnicas de las tuberías para el comedor, teniendo en cuenta los datos tomados de los reportes del comedor donde se pudo comprobar que 50 comensales almuerzan y comen 20, el cálculo quedó del siguiente modo: (Hermida, O., 2006)

Volumen consumido en los comedores:

$$V = 7,08 + 0,073 Ct \quad (\text{m}^3/\text{d})$$

Ct – Comensales totales

Número de quemadores necesarios:

Cantidad de quemadores q (que debe ser un # entero)

$$q = 1,73 + 0,011 Ct$$

Caudal Pico

$$Q = q*(0,0009) \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Diámetro de tuberías:

$$dc = 39 \sqrt[5]{L * Q^2}$$

L... largo de la tubería (m)

Número de válvulas reguladoras:

$$Rc = Q (180)$$

Velocidades en las tuberías.

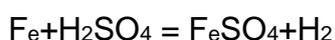
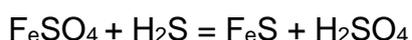
$$W = \frac{1.2738 Q}{dc^2}$$

De esta manera se obtiene el consumo total de gas en el comedor, también se analizó la variante de brindar el servicio de gas a tres viviendas cercanas al comedor de la unidad, donde residen un total 12 personas y se asumió como

índice de consumo 0.25 m³ de gas por habitante según la bibliografía consultada.

2.7 Purificación del gas.

El diseño de la etapa de purificación se utilizó una tecnología que ha tenido resultados probados en el país y patentado a nivel internacional que se basa en poner en contacto una solución sulfato de hierro con el biogás para eliminar el H₂S como FeS que es un precipitado oscuro, el hierro agotado se repone por la presencia de las limallas según la siguiente ecuación:



2.8 Aspectos considerados en el efecto económico y ambiental.

Posteriormente se realizó un análisis del efecto ambiental de la producción de biogás en la UBPC teniendo en cuenta:

1. Período de recuperación de la inversión y relación costo beneficio.
2. Cantidades de CH₄ que se dejan de emitir a la atmósfera.
3. Obtención de bioabonos.
4. La producción de energías renovables.
5. Sustitución de leña como combustible.
6. La deforestación como impacto negativo en la erosión de los suelos.

2.8.1 Afectaciones que se provocan con los residuos de origen animal al medio ambiente en la UBPC Ciego Caballo.

Los residuos orgánicos de origen animal tiene un impacto negativo al medio ambiente si no se tratan adecuadamente, la UBPC Ciego Caballo se ve afectada por un grupo de causas que provocan el deterioro de su área agropecuaria y las zonas aledañas a la misma, lo que provoca graves daños a los suelos, la contaminación de las aguas por el vertimiento de residuales sin tratamiento, emisiones de gases de efecto invernadero y afectaciones a las plantas y animales etc.

En la figura # 5 se muestra el diagrama causa efecto donde se representan las principales causas que originan el deterioro ambiental del área de la UBPC y las zonas aledañas.

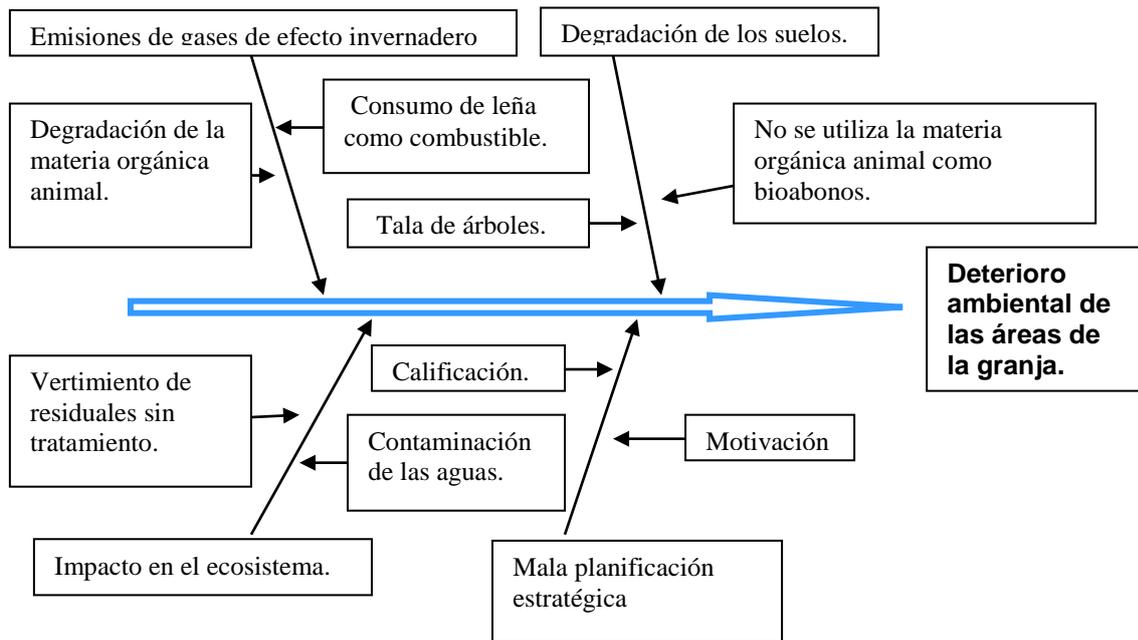


Figura # 5: Diagrama Causa-Efecto. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo III: Análisis de los Resultados.

3.1 Cálculo del potencial biodegradable.

Para realizar el cálculo del potencial biodegradable de origen animal existente en la UBPC Ciego Caballo de la UEB Atención al Productor Uruguay se tuvo en cuenta la masa de ganado vacuno que es de 358 animales, tomándose en consideración solamente los animales que se les aplica régimen de estabulación que en nuestro caso son: 16 toros, 102 vacas y 49 terneros, a los cuales se les aplicaron los índices correspondientes de excreta húmeda según: (índice x taller de biogás. 2006). En el caso de terneros se asume un índice promedio de 5 Kg por animal según especialistas del laboratorio de biogás de la UNISS. En el anexo 3 se muestran una tabla que resume los cálculos. Una vez obtenida la masa de excreta

Toro y vaca ----- 118

Terneros ----- 49

Volumen total de excreta húmeda 1425 Kg

Residuales vacunos.

Una vez obtenida el volumen de excreta se calculó la cantidad de agua considerando la relación 1:3 (índices del taller de biogás. 2006) y finalmente se estimó la masa de residual proveniente de las excretas vacunas.

$$Q_{\text{excreta}} = 1425 \text{ kg/d}$$

$$Q_{\text{agua para vacunos}} = 1 : 1425 \text{ kg/d} * 3 = 4275 \text{ kg/d}$$

$$Q_{\text{sustrato vacuno}} = 1425 \text{ kg/d} + 4275 \text{ kg/d} = 5700 \text{ kg/d}$$

$$Q_{\text{sustrato total}} = 5700 \text{ kg/d}$$

$$Q_{\text{sustrato total}} \approx 5,7 \text{ tn/d}$$

$$Q_{\text{excreta total}} = 1425 \text{ kg/d}$$

$$\text{kg SV/d} = 25\% Q_{\text{excreta fresca}} = 356,25 \text{ kgSV/d}$$

3.2 Diseño del digestor según tecnología MININT.

Estos digestores son capaces de asimilar. Una intensidad de carga (I) de hasta $4 \text{ Kg SV/m}^3 \text{ digestor} * d$ de donde:

$$V_{\text{digestor}} = \frac{\text{Kg. SV}}{I} = \frac{302,81 \text{ kgSV}}{4 \text{ kgsv/m}^3} = 75,70 \text{ m}^3 \approx 76 \text{ m}^3$$

Como la eficiencia de remoción del digestor el 85% para esta tecnología entonces el valor real será:

$$\frac{\text{Kg. SV}}{d} = 356,25 \text{ kgsv/d} * 0,85 = 302.81 \text{ Kg. SV/ d.}$$

Que dan lo que realmente se removerá en el digestor. Por tanto el volumen del digestor resultó:

$$V \text{ digestor} = 76 \text{ m}^3 .$$

En estos digestores se debe cumplir que:

$$1. \text{ deq} \leq \frac{L_t}{10}$$

$$\left. \begin{array}{l} 2. \text{ Re} \leq 100 \\ 3. \text{ V} \leq 10 \text{ m/h} \end{array} \right\} \text{ Para el tiempo efectivo de carga}$$

$$4. \text{ h} \leq 3.00 \text{ m}$$

deq.... El diámetro equivalente del túnel (m)

Lt.....Largo del túnel (m)

Re.....Reynolds del afluente. Adimensional.

V.....Velocidad en el tiempo efectivo de carga (m/h)

h..... Altura del digestor (m.)

at..... Ancho del túnel. (m)

ld..... Largo del digestor (m)

ad..... Ancho del digestor (m)

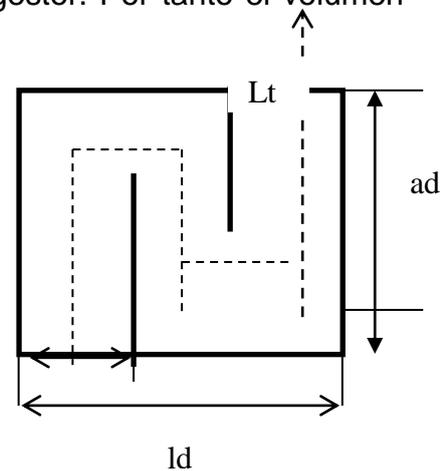
n..... Número de secciones del digestor.

$$\text{deq} = \frac{L_t}{10} = \frac{4 \text{ área de flujo}}{\text{Perimetro}}$$

$$\frac{L_t}{10} = \frac{4 \text{ at} \cdot \text{h}}{2(\text{at} + \text{h})} \quad L_t = \frac{20 \text{ at} \cdot \text{h}}{\text{at} + \text{h}}$$

$$L_t * \text{at} + L_t * \text{h} = 20 \text{ at} * \text{h} \text{ (I)}$$

$$V = \text{at} * L_t * \text{h} = 76 \text{ (II)}$$



Despejando Lt en (II)

$$Lt = \frac{76}{at * h} = \frac{76}{at * 2} \quad \text{suponiendo } h = 2,00 \text{ m}$$

$$Lt = \frac{38}{at} \quad \text{(III)}$$

Sust. Lt en (I)

$$\frac{38}{at} * at + \frac{38}{at} * 2 = 40 * at.$$

$$38 + \frac{76}{at} = 40at \quad \text{Se multiplica la ecuación por at}$$

$$40at^2 - 38at - 76 = 0$$

Aplicando discriminante

$$\text{Entonces } at = 1,93 \text{ m}$$

Por tanto el ancho del túnel at. = 1,93 m

Sustituyendo at en Lt

$$Lt = \frac{38}{at} = \frac{38}{1,93m} = 19,68m$$

Condición

$$deq \leq \frac{Lt}{10} = \frac{19,68m}{10} = 1,96m$$

$$deq \leq 1,96 \text{ m}$$

Por tanto se cumple la condición.

$$deq. \leq \frac{Lt}{10}$$

Ahora, Suponiendo n = 3

$$Lt = Ad * n$$

$$Ad = \frac{Lt}{n} = \frac{19,68m}{3} = 6,56m$$

Calculamos los restantes lados del digestor teniendo en cuenta el ahorro de materiales en cuanto a barras de acero fundamentalmente, pues estas vienen en longitudes de 9m y un empalme en estas significaría un desperdicio de un metro por empalme.

Por lo que a pesar de que los cálculos dan:

Tabla # 6: Resultados de los parámetros calculados y parámetros ajuste de materiales.

Parámetros calculados	Parámetros de ajuste de materiales.
Ad = 6,56 m	Ad = 6,50 m
n = 3	n = 3
Lt = 19,63 m	Lt = n * Ad = 3 * 6,50 m = 19,50 m
h = 2 m	h = 2 m
ld = at * n = 1,93 m * 3 = 5,79 m	ld = at * n = 2 m * 3 = 6 m.
at = 1,93 m	at = 2 m
aflujo = at * h = 1,93 m * 2m = 3,86 m ²	aflujo = at * h = 2 m * 2 m = 4 m ²

Fuente: Elaboración propia.

Para estas nuevas dimensiones se recalculan las condiciones límites:

$$Deq = \frac{2 * at * h}{At + h} = \frac{2 * 1,50m * 2m}{1,50m + 2m} = 1,72 m$$

$$\frac{Lt}{10} = 1,96 m \therefore \text{Se cumple que } deq \leq \frac{Lt}{10}$$

$$2. Re = \frac{\rho * V * deq}{\mu} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 * 1,42 \text{ m/h} * 1,71 \text{ m}}{0,025 \text{ Pa} * S} = 97,12 \leq 100$$

Para el Tiempo efectivo de carga (1h) el $Q = 5,7 \text{ m}^3/\text{h}$ por tanto:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{5,7 \text{ m}^3/\text{h}}{4 \text{ m}^2} = 1,42 \text{ m/h}$$

$$h = 2,00m < 3,00m$$

\therefore Se cumple también 2, 3 y 4 para estas nuevas condiciones.

Tabla # 7: Resumen del diseño.

Tecnología Propuesta	Masa de sustrato (t/d)	Volumen digestor (m³)	Dimensiones Digestor. (m)	m³/d biogás	m³/h biogás
Digestor MININT	5,7	78	at=2 Lt=19,50 h=2 Ad=6,50 n=3	78	3.25

3.3 Cálculo de la red de consumidores.

1. Consumo de gas en el comedor de la UBPC Ciego Caballo.

Ct – Comensales totales

$$C_t = C_{alm} + C_{comida} = 50 + 20 = 70$$

$$C_t = 70$$

2. Para menos de 200 comensales se plantea que:

$$V = 7,08 + 0,073 C_t \quad (\text{m}^3/\text{d})$$

$$V = 7,08 + 0,073 * (70)$$

$$V = 12,19 \text{ m}^3/\text{d}$$

Después de determinar el consumo total de gas se comprobó que aun existía un excedente, por lo que se propuso suministrar gas a tres viviendas que se encuentran cercanas al comedor y residen en ellas un total de 12 para lo que se asumió un índice de consumo de 0.25 m³ por persona diariamente.

$$V_t = V_c + V_v = 12,19 \text{ m}^3/\text{d} + 3 \text{ m}^3/\text{d} = 15,19 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$V_t = 15,19 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$V_v = 12 * 0,25 \text{ m}^3 = 3 \text{ m}^3/\text{d}$$

Como se puede observar existe un excedente de gas por lo que se hizo necesario proponer la instalación de una antorcha de incineración en la red de consumo con el fin de quemar el metano sobrante de la producción diaria.

3. Quemadores para la cocina

Cantidad de quemadores q (que debe ser un # entero)

$$q = 1,73 + 0,011 C_t$$

$$q = 1,73 + 0,011 (70) = 2,50$$

$$q = 3 \text{ quemadores.}$$

4. Diseño de la tubería.

- $Q = q \cdot (0,0009)$ Q ---Caudal pico.(m³/s)

$$Q = 3 \cdot (0,0009) = 2,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

- d_c ---diámetro de la tubería de alimentación (mm)

L ---Distancia hasta la planta (m)

$$L = 800 \text{ m}$$

$$d_c = 39 \sqrt[5]{L \cdot Q^2}$$

$$d_c = 39 \sqrt[5]{800 \cdot (2,7 \times 10^{-3})^2}$$

$$d_c = 13,94 \text{ mm}$$

Por lo que el diámetro nominal (D_n) para esta tubería resultó:

$$D_n = \frac{1}{2} \text{ plg.}$$

- R_c --- # de válvulas reguladoras para la red de consumo.

$$R_c = Q (180) = 0,49 \text{-----} 1 \text{ válvula}$$

5. Ecuaciones del transporte.

W ---Velocidad del gas en la tubería. (m/s)

$$W = \frac{1,2738 Q}{d_c^2} = 10 \text{ m/s}$$

$$W = \frac{1,2738 \cdot 2,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{(0,01394 \text{ m})^2}$$

$$W = 17,70 \text{ m/s}$$

$$6. \Delta P = \frac{0,0175 L Q^2}{D_n^5}$$

$$\Delta P = \frac{0,0175 \cdot 800 \cdot (2,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})^2}{(0,01394 \text{ m})^5}$$

$$\Delta P = 194030,42 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$\therefore \Delta P = 1,91 \text{ atm}$$

3.4 Análisis económico.

A continuación se determinó el costo de la inversión fija de la planta teniendo en cuenta el valor de los materiales de construcción necesarios según tarifas de precios de los proveedores del Brigada de Obras Ingenieras Tranzmec. Grupo AZCUBA de Sancti Spíritus.

Tabla # 8: Materiales y precio por unidades en MN

Materiales de construcción	Cantidad / U	Precio por / U	Precio total por / U
Bloques	1560	0,78	1216,80
Cemento	3,61 T	105,95	382,50
Arena	15 m ³	15,38	230,70
Piedra	8 m ³	19,82	158,56
Acero Ø 1/2"	35 B=0,283 T	2,83	99,05
Tubo Ø 1/4" de PVC	800 m	1,14	912,00
Tubo Ø 8" de PVC	25	9,93	248,00
Llave de paso de 1/4"	1	7,83	7,83
Excavación	85 m ³	11,28	958,80
Total	-----	-----	4 214,25

Fuente: Elaboración propia

A los costos de los materiales de construcción se les adicionan los costos de mano de obra a razón de un mes de trabajo los cuales son:

1 Albañil A ----- 275,50

2 Ayudantes----- 480,00

Por lo que podemos estimar un costo total de inversión fija de \$ 4 969,74 MN.

Para determinar el período de recuperación de la inversión fija, se determinaron los gastos atendiendo al consumo de leña del comedor de la unidad donde se estimo un consumo de 30,00m³ mensuales por un precio de \$1 200,00.

Analizando lo antes expuesto, podemos determinar que el período de recuperación de la inversión total es de 5 meses, contribuyendo a un ahorro de más de \$ 14 400,00 anuales por concepto de transportación y compra de leña.

3.5 Análisis del efecto ambiental de esta propuesta.

La variante propuesta nos permite generar volúmenes considerables de gas que se dejan de emitir a la atmósfera y de esta forma se puede contribuir a evitar un efecto ambiental considerable que consiste en:

- Se dejan de emitir aproximadamente 10 922,58 m³ de CH₄ al año.
- Permite obtener 173,3 t de bioabonos cada año rica en nutrientes que pueden sustituir el uso de agroquímicos y contribuir con esto al mejoramiento de los suelos.
- Se evita la tala de árboles, utilizados hoy como combustible para la cocción de alimentos, dejando de emitir volúmenes considerables de gases causantes de efecto invernadero y la degradación de los suelos.
- Se produce una energía que parte de una fuente renovable.

Conclusiones.

1. Se realizó una amplia revisión bibliográfica referente al tema.
2. Existe un potencial biodegradable en la UBPC concentrado en los residuales de excretas de vacunas, cuyo aprovechamiento podría generar hasta 78 m³ de biogás/días capaz de satisfacer la demanda al 100%.
3. La tecnología MININT resultó la más adecuada para la digestión de estos residuos.
4. La valoración económica arrojó períodos simples de recuperación de la inversión, que en nuestro caso es de 5 meses y con la aplicación de la propuesta, se dejan de emitir volúmenes considerables de gases de efecto invernadero a la atmósfera

Recomendaciones

1. Utilizar el potencial biodegradable de origen animal disponible en la unidad mediante la variante propuesta para la producción de biogás, evitando con ello el impacto negativo que provocan estos desechos al medio ambiente.
2. Extender este tipo de plantas a otras granjas con características similares.

Bibliografía.

1. A. Marcos, B Aníbal., P Inocente. 2003. Nexos entre la generación descentralizada y las fuentes renovables de energía.
2. Barreto S. T. Para un desarrollo de programas rurales de empleo del biogás Centro de Estudio para el Desarrollo de la Producción Animal, Universidad de Camagüey. 2003
3. Bermúdez, R. C. (1995): Aprovechamiento biotecnológico de residuos por Fermentación anaerobia en la obtención de biogás y otros metabolitos. Curso de postgrado. ESPOCH. Riomamba. Ecuador.
4. Carballal, J.M. 1998. Proyecto PNUD\FAO CUBA 91-011.Estudio Económico: Cuba. 21 p.
5. CEDATOS, 2007, disponible en <http://www.cedatos.com>
6. CITMA, 2006 Informe sobre el potencial de biogás en la provincia de Sancti Spíritus
7. CUNNIGHAM, R. CYTED: El subprograma IV “Biomasa como fuente de Productos Químicos y Energía y sus proyectos de Investigación Precompetitiva y Redes Temáticas”. Buenos Aires, 1995.
8. C.Filippín, J. Follari y J. Vigil, 1990 Diseño de un biodigestor para obtener gas metano y fertilizantes a partirde la fermentación de excrementos de vacas lecheras en la facultad de agronomía de la universidad nacional de la pampa.
9. Delgado D, C. J. Cuba Verde: En busca de un modelo para la sustentabilidad en el siglo XXI, Ciudad Habana, Cuba, 1999, Editorial José Martí, Energía renovable en Cuba: Posibilidades y limitaciones, Pérez, H E (p – 168-181)
10. Díaz, M., 2006. Introducción de digestores de biogás en la provincia de las Tunas. Un intercambio con el Instituto de Energía de Hanoi.
11. Espineira, P M. R.. BIOGÁS FAMILIAR: MAS DE 11 AÑOS DE EXPERIENCIA y RESULTADOS. XV FORUM PROVINCIAL DE CIENCIA Y TÉCNICA. Sancti Spíritus. Cuba. 2004
12. Fonte H, A. Biogás: Energía, medio ambiente y clima, Energía y tú, Octubre – Diciembre 2002, No 20, (p- 10-12).

13. Funes Monzote, 2001. Integración ganadería-agricultura con bases agro-ecológicas.
14. Florencio L. J. A. Field and G, 1997. Lettinga. high-rate anaerobic treatment of alcoholic wastewaters. Braz. J. Chem. Eng. vol. 14 no. 4 São Paulo Dec. 1997.
15. García M, E. Estadísticas energéticas 2002. En: Memorias III Seminario Nacional de energía en apoyo a la adopción de decisiones. La Habana 3-4 de junio del 2003.
16. Guardado, José. Tercer Taller Nacional de Biogás, "Energía y tú", Abril – Junio, 2002, No 18, (p- 51).
17. Hamoda M. F., Kennedy K. J., 1986. Anaerobic treatment of beet waste in a stationary fixed- film reactor.
18. Henry J. G. 1987. Renoval of organics from leachates by anaerobic fliter.
19. Hermidas, O. 2006. Diseño y evaluación de un biodigestor para obtener gas metano y biofertilizante a partir de la fermentación de cachaza y residuos agropecuarios.
20. Herminia, J. et al. Tabloide universidad para todos. Protección ambiental y producciones más limpias. 2006.
21. <http://www.maches.com>, costos de equipos \ Matches provides.
22. Indicadores socioeconómicos, 2003.
23. Índices X taller de biogás, 2006.
24. Kennedy K. J., Droste R. L., 1993. Anaerobic wastewater treatment in downnfolow stationary fixed film reactors.
25. Ladine R. C., Wat. Poll J., 1982. Anaerobic fermentation / flitration of potato processing wastewater.
26. León, A, 2006, Recopilación bibliográfica de tecnologías existentes en Cuba y el Mundo para producir biogás. Trabajo de diploma.
27. León Mursuli; A Recopilación bibliográfica de tecnologías existentes en Cuba y el Mundo para producir biogás/Antonio León Mursuli; Ernesto L Barreras Cardoso; Osvaldo Romero Romero- Tesis para optar Ingenieria Industrial.2006
28. Ley, N. "Contribución a los métodos de asimilar tecnologías, aplicado a un caso de producción de biocombustibles" 2006.

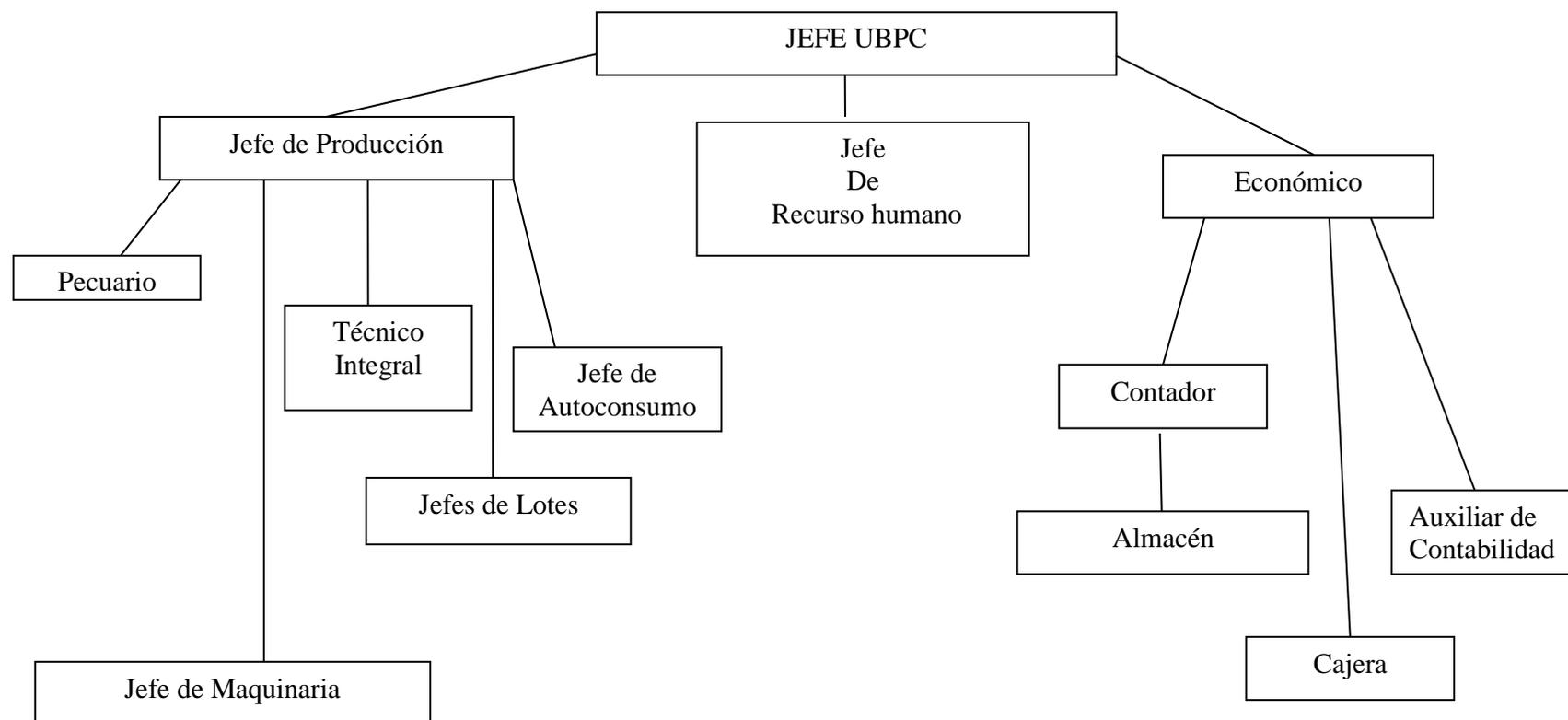
29. López, L. La producción de biogás a partir de desechos pecuarios y agroindustriales: una alternativa energética. 2006.
30. López G; L M; Contreras L. M; Romero O. Cruz O. de la R; Barrera E. Centro Universitario José Martí Pérez de Sancti Spíritus. "ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON FINES ENERGÉTICOS EN LA PROVINCIA SANCTI SPÍRITUS". 2005
31. López Torres, M. 2002. "Procedimiento de pretratamiento para mejorar la digestión anaerobia de residuos sólidos". Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas,
32. López T, M. M del Carmen E Llorens, Escobedo R A, Morales D, 2006. Tendencia actual en el tratamiento de residuos sólidos X Taller Nacional con participación extranjera: "ACTUALIZACION Y PERSPECTIVA PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS EN CUBA". SANCTI SPIRITUS.
33. López Varela, A., Cisnero Reyna, Y., y Macías Socarrás, I. Consideraciones sobre la utilización del biogás. Metodología para la construcción de una pequeña planta de Biogás. 1999.
34. M .C. A Obaya., V. Esperanza. Tratamiento combinado de las vinazas de destilería y residuales azucareros en reactores UASB. Revista Tecnología del agua. Nro. 249, junio 2004. Pág. 78-85.
35. Montalvo. S., Guerrero. L, 2003. Tratamiento anaerobio de residuos.
36. Pavlov, K.F. Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química.
37. Pérez, J. L., Rodríguez, L., Quintero, F.& Reyes, F. (1985): Aprovechamiento de residuales como fuente de energía en una planta destiladora de alcohol etílico. Resúmenes IX Seminario Científico del Centro Nacional de Investigaciones Científicas. La Habana. p. 52.
38. Peter, M.S, , Plant desing and economics for chemical engineers,1991.
39. Revista Chemical Engineering plant cost index, march 2007
40. Ringkamp M., 1988.Preliminary results on: Statistical optimization sized fixed- dome digesters.
41. Rosabal, J. Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas. 2006.
42. Safley L. M., Westerman P. M., 1988.Producción de biogás en lagunas anaerobias.

43. Sánchez E., Montalvo S., 1995. Anaerobic digestion of sewage sludge in an anaerobic fixed bed digestion.
44. Sánchez E., Rodríguez X., 1992. Treatment of settled cattle wastewater by downflow anaerobic filter.
45. Savran Valentina, 2005. Una solución energético – ambiental para reducción de contaminantes agropecuarios, como contribución al manejo integrado de la cuenca Zaza. Tesis presentada en opción al título académico de Master en Gestión Ambiental y Protección de los Recursos Naturales. Universidad Camilo Cienfuegos, Matanzas.
46. Valdés Jiménez, Esperanza. Presentación: Biogás una alternativa para el desarrollo sostenible, 2001.
47. Villaz M., 1994. Criterios de diseño y escalado de reactores anaerobios.
48. Vladimir P. M. y Ramón G. G. Utilización de los Residuales de la Industria Azucarera y sus Derivados para la producción diversificada de Biogás. Ministerio del Azúcar. Empresa azucarera “Antonio Guiteras Holmes”. U/B. Derivados. Informe interno, 1997.
49. Young J. C., 1991. Factors affecting the design and performance of upflow anaerobic filters.
50. Young J. C., McCarty, Wat. Poll J., 1968. Filtro anaerobio de tratamiento de residuales.
51. Young J. C., Poll J., 1987. Two- stage cyclic operation of anaerobic filters. D. E. Howerton.
52. Young J. C., Poll J., 1987. Two- stage cyclic operation of anaerobic filters. D. E. Howerton.
53. Zamora, 2001, Metodología para el diseño de un biodigestor.

Anexos.

Anexo 1

Organigrama de la UBPC Ciego Caballo de la UEB Atención a Productores Uruguay



Anexo 2

Entrevista: Realizada a directivos de la UBPC Ciego Caballo.

Nombre y Apellidos: _____

1. La planificación estratégica de la UBPC se realiza atendiendo a los lineamientos aprobados en el IV Congreso del Partido.
2. ¿Se insertan las técnicas agroecológicas en los cultivos existentes?
3. ¿Se utilizan los desechos de origen animal como fertilizantes?
4. ¿Existe alguna estrategia para dar tratamiento a los desechos de origen animal?
5. ¿Considera que sea factible la construcción de una planta de biogás como alternativa energética para la cocción de alimentos?

Anexo 3:

Entrevista: Determinación del potencial biodegradable de la UBPC Ciego Caballo.

Proyecto: El biogás como alternativa energética en la UBPC Ciego Caballo de Jatibonico.

Demanda energética: Cocción de alimentos

Tiene la UBPC 1 comedor.

Usos: Cocción de alimentos x leña Energía eléctricas _____

1- Cría de ganado vacuno (estabulado).

Keroseno _____ Energía de la red _____ otros leña _____

Necesidad de una planta de biogás: Si x No _____.

Interés en su construcción Si x No _____.

Disponibilidad de materiales: Si x No _____.

Posibilidades para la construcción: Si

Monetarias x Disponibilidad de Materiales x

Tipo de materiales Bloques, cemento, (barra de acero), tubos de PVC

Ubicación: UBPC Ciego Caballo, Jatibonico.

Características del lugar:

Abastecimiento de agua: Acueducto _____ Río _____ Pozo x

Manantial _____ Otra _____.

Nivel freático (m): 3.

Característica del Suelo: Duro _____ Blando _____ Arcilloso x

Acceso: Fácil X Difícil _____

Materia prima disponible:

Origen de la biomasa para la producción de biogás:

- Animal x.
- Vegetal _____.
- Residuales de proceso productivo industrial _____

Anexo 3. Continuación...

Residuales de origen animal.

Ganado	Cantidad	Excreta animal/día (Kg)	Tiempo de estabulación (h).	Excreta húmeda/días (Kg).
Toros	16	10	12	160
Vacas	102	10	12	1020
Terneros	49	5	12	245
TOTAL	167	----	12	1425

(Excreta vacuna)

Nota: Solo se tuvo en cuenta la excreta húmeda proveniente de los animales que se le aplica régimen de estabulación.

Posibles usos de los efluentes generados por la planta de biogás.

Efluente líquido.

Piscicultura_____.

Aplicación foliar_____.

Fertiriego__X__.

Cultivo de vegetales proteicos_____.

Otros._____.

Lodos.

Bioabono __X__.

Alimentación animal (elaboración de piensos) _____.

Lombricultura _X_.Otros._____