



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
“Sede Oscar Lucero Moya”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE DIPLOMA

EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE FILTRADO
DE PEQUEÑAS PLANTAS DE BIOGÁS
EN EL MUNICIPIO HOLGUÍN

ANA CECILIA ALGARÍN SINTES

HOLGUÍN

2015

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
“Sede Oscar Lucero Moya”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

TRABAJO DE DIPLOMA

**EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE FILTRADO DE PEQUEÑAS PLANTAS
DE BIOGÁS EN EL MUNICIPIO HOLGUÍN**

Autora: ANA CECILIA ALGARÍN SINTES

Tutores: MSc. Ing. Raymundo Carlos Rodríguez Tejeda

Dipl. –Ing. Kirsten Neumann

Consultante: MSc. Ing. Antonio Calaña Ascuy

HOLGUÍN

2015

PENSAMIENTO

“Todas las batallas en la vida sirven para enseñarnos algo, inclusive aquellas que perdemos”

Paulo Coelho

DEDICATORIA

- *A mis padres, por su apoyo incondicional.*
- *Al resto de mis familiares y amigos por la ayuda brindada.*
- *A todos los que de una forma u otra me han ayudado a convertirme en lo que soy.*

AGRADECIMIENTOS

- *A mis tutores, por la ayuda brindada.*
- *A mi consultante, por toda la ayuda y conocimientos brindados en estos últimos meses de arduo trabajo.*
- *A mi familia y amigos por estar ahí dispuestos a ayudar.*

RESUMEN

La ganadería porcina ha tenido un gran auge por ser fuente del plato principal de alimentación cubana. Los desechos producidos son tratados en plantas de biogás, las cuales no son diseñadas correctamente y trae consigo un mal funcionamiento y posibilita la afectación de la remoción de contaminantes del efluente. Para ello se plantea esta investigación en la que se realiza el análisis de 6 de esas pequeñas plantas mediante el procedimiento de (Sánchez- Gómez, 2014). Primeramente se seleccionaron las plantas y fueron analizadas mediante la evaluación de los diferentes ensayos. Los valores obtenidos fueron comparados con la NC 27: 2012 Vertimiento de las aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado – Especificaciones - y se pudo constatar que no funcionaban correctamente. La causa principal de esta situación radica en problemas constructivos que presentan; así como una mayor cantidad de animales para los cuales la planta no fue diseñada, lo que afecta el tiempo de retención hidráulico y por tanto la biomasa no es procesada correctamente, objetivo principal en primer medida.

ABSTRACT

The porcine stock farm has gotten a boom for being the main source of Cuban food. The produced residues are treated in biogas plants, which are not correctly designed, and this brings with it malfunctioning, and makes possible the affectation of the removal of pollution in the effluent. With that purpose, the following investigation is put forward, in which the analysis of six of these small plants is performed through the process of (Sánchez- Gómez, 2014). In first place, the plants were selected, and they were analyzed through the evaluation of the different experiments. The results obtained were compared with the NC 27: 2012, Pouring of the residual waters to the terrestrial waters and to the sewage system – specifications- and it was proved that they were not functioning correctly. The main cause of this situation is evident in the construction problems they present, as well as in the larger number of animals for which the plant was not designed; this affects the time of hydraulic retention, and because of this the biomass is not correctly processed, which is the main objective.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS PEQUEÑAS PLANTAS DE BIOGAS PORCINAS DEL MUNICIPIO HOLGUÍN. HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO.	6
Introducción al capítulo	6
1.1 Antecedentes históricos de la formación de pequeñas plantas de biogás en el municipio Holguín	6
1.2 Tipologías de pequeñas plantas de biogás construidas en la provincia Holguín.....	11
1.2.1 Planta de modelo Nicarao	11
1.2.2 Modelo HOH	13
1.3 Parámetros para la evaluación del funcionamiento de las pequeñas plantas de biogás	15
1.3.1 Parámetros constructivos	15
1.3.2 Parámetros de la producción de biogás y subproductos	16
1.3.3 Parámetros de calidad del efluente en términos de remoción de contaminantes.....	17
1.4 Metodologías para la evaluación del funcionamiento de las plantas de biogás.....	17
1.5 Situación actual del funcionamiento de las plantas de biogás del municipio Holguín.....	20
Conclusiones del capítulo I	21
CAPÍTULO 2: EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE PEQUEÑAS PLANTAS DE BIOGÁS DEL MUNICIPIO HOLGUÍN	22
2.1 Selección de las plantas de biogás a evaluar	22
2.2 Aplicación de la metodología para la evaluación	23

2.2.1 Evaluación de las plantas de Eliades Méndez	23
2.2.2 Evaluación de la planta de Vismar Leyva.....	29
2.2.3 Evaluación de la planta de Rosell Torres	33
2.2.5 Evaluación de la planta de Figueredo	37
2.2.6 Evaluación de la planta de Ramón Pupo	41
2.2.7 Evaluación de la planta de Yosdel Corchete Pupo	45
Conclusiones del capítulo II	50
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	53

INTRODUCCIÓN

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Esto ha posibilitado la demanda de mayores fuentes de obtención y la búsqueda de nuevas variantes para satisfacerlas.

La búsqueda de energías alternativas, es un tema presente en casi todos los países del globo terráqueo. La contribución a la contaminación ambiental por el uso de combustibles convencionales derivados de materiales fósiles, sumado al costo que involucra su obtención y su carácter finito, genera la necesidad de destinar mayores recursos y tiempo a las investigaciones relacionadas con este tema.

Por ende, al convertir biomasa en energía se presenta una alternativa efectiva en la utilización de energías más limpias que no generen daños al medio ambiente. En los últimos años ha habido un continuo aumento de investigaciones y puesta en práctica de numerosas tecnologías que ha posibilitado esta fuente de energía haya alcanzado un gran auge en los últimos años.

Según expertos del Grupo cubano de Biogás (GB), la primera aplicación industrial del biogás en Cuba data de 1940, cuando se construyeron dos biodigestores para procesar los residuales de una fábrica de cervezas en La Habana.¹

En Cuba, en el año 2009 se estableció la existencia 700 plantas de biogás aunque estimaciones oficiales aseguran que la mitad de ellas estaban en pleno funcionamiento². Este dato atestigua que se desconocen el estado actual de acuerdo a las cuestiones técnicas, así como, si el producto obtenido se encuentra entre los valores de rango que las normas de por sí lo exigen.

¹<http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/biogas-gana-espacio-como-fuente-de-energia-en-Cuba>

² Cuba y su planta de biogás
<http://www.lasenergiasrenovables.com/noticias/biomasa/cubainstalarounaplantadebiogas/index.html>

Al ser aprobados los Lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución se tuvo en cuenta en varios capítulos: V Política de Ciencia, Tecnología, Innovación y Medio Ambiente (Artículo 133, 134, 135) y en el VIII Política Industrial y Energética (Artículo 247) ha recogido en esos artículos la planificación de la construcción de nuevas plantas de biogás como fuente alternativa para la generación de energía.

En las investigaciones realizadas por Cano en el año 2014 se comprobó la existencia de 50 plantas de biogás en la provincia Holguín. En su estudio creó una metodología para la evaluación de la remoción de contaminantes y aunque solo pudo analizar a 3 plantas, determinó que no funcionaban correctamente y en dependencia del valor de plantas examinadas, no se pudo llegar a determinar la situación existente en la provincia en cuanto a la tecnología de biogás.

Posteriormente en las investigaciones realizadas por Sánchez Gómez en diciembre de ese mismo año, estableció la existencia de 42 plantas de biogás en instalaciones porcinas en la provincia. Utilizó esta misma metodología de evaluación pero introdujo una pequeña variación en uno de sus aspectos. Aunque solo pudo evaluar tres de ellas, atestiguó que estas tampoco funcionaban correctamente, y con ello no se puede establecer tampoco la realidad existente en cuanto a la remoción de contaminantes en el efluente.

Según la Dirección de Energía Renovable del Ministerio de Energía y Minas, actualmente existen un total de 82 plantas de biogás en la provincia, de las cuales 39 se encuentran distribuidas en el municipio cabecera, 15 en Gibara, 8 en Urbano Noris, 7 en Mayarí, 2 en Báguano y Cacocum y 1 en Rafael Freyre, Calixto García, Sagua de Tánamo, Cueto, Frank País y Moa, respectivamente.

La contradicción que motiva el desarrollo de esta investigación se refleja en la existencia de un número insuficiente de plantas de biogás en comparación con las que se pudieran construir para evitar gastos de energía no renovable, además de que sus potencialidades tampoco son aprovechadas al máximo.

Problema de la investigación

Se necesita evaluar el funcionamiento de pequeñas plantas de biogás del municipio Holguín para conocer la calidad del efluente que está siendo vertido a los cuerpos receptores sin saber si este está descontaminado o no.

Objeto de la investigación

Plantas de biogás porcinas del municipio Holguín.

Campo de acción

Evaluación de los procesos de filtrado del efluente de las plantas de biogás.

Objetivo general

Evaluar el funcionamiento de pequeñas plantas de biogás porcinas del municipio Holguín aplicando la metodología de (Sánchez-Gómez, 2014).

Objetivos específicos

1. Determinar los antecedentes históricos de la tecnología del biogás en Cuba y la provincia Holguín.
2. Sistematizar los fundamentos teóricos metodológicos en los que se basa el tratamiento de los residuales porcinos mediante las plantas de biogás.
3. Aplicar la metodología para la evaluación del funcionamiento de las plantas de biogás del municipio Holguín.

Hipótesis

Si tras la aplicación de la metodología de evaluación del funcionamiento de las plantas de biogás se obtienen resultados favorables lograremos el empleo de las aguas resultantes en el ciclo de descomposición anaeróbica en los biodigestores del municipio Holguín para su paso hacia al medio ambiente.

Preguntas científicas:

1. ¿Qué elementos han caracterizado el desarrollo histórico del empleo de plantas de biogás?
2. ¿Qué fundamentos teóricos metodológicos sirven como base en el proceso del tratamiento de los residuales porcinos mediante las plantas de biogás?
3. ¿Cómo se aplica la metodología para la evaluación del funcionamiento de las plantas de biogás del municipio Holguín?

Tareas de la investigación:

1. Determinación los antecedentes históricos del uso de biogás.
2. Sistematización los fundamentos teóricos metodológicos en los que se basa el proceso de filtrado en las plantas de biogás.
3. Aplicación de la metodología de evaluación del funcionamiento de las plantas de biogás del municipio Holguín.

Métodos de investigación:

Métodos Teóricos:

- Análisis – síntesis: En todo el desarrollo de la investigación estará presente este método ya que debemos analizar y sintetizar toda la información que se recopile.
- Histórico – lógico: Para iniciar la investigación se buscarán los datos históricos más relevantes de la utilización del biogás, para ello emplearemos este método teórico.
- Hipotético – deductivo: La constatación de la hipótesis planteada está sustentada en este método.

Métodos Empíricos:

- Análisis documental: en este método se analizará documentos con el fin de obtener la información necesaria para la realización de la investigación.
- Observación: Se observarán los procesos que ocurren en las plantas de biogás.
- Entrevista: Mediante este método se recopilará información detallada de las plantas de biogás en la provincia de Holguín.
- Experimento: Mediante experimentos químicos se determinarán los parámetros del efluente de las plantas de biogás.

Métodos Estadístico – Matemáticos:

- Estadístico – descriptivo: los resultados obtenidos en los experimentos y la observación de procesos serán representados gráficamente e interpretados para su mejor comprensión.

El aporte de la presente investigación radica en la aplicación de una metodología de evaluación para plantas de biogás con el objetivo de constatar que los parámetros analizados se encuentren entre los rangos que las normas exigen.

La novedad científica de esta investigación reside en los beneficios que trae consigo la aplicación de la metodología de evaluación de las plantas de biogás, pues con ella se podrá determinar si las características constructivas son óptimas, si los parámetros químicos del efluente están en los rangos establecidos para disminuir, con ello, la contaminación ambiental y garantizar un aprovechamiento máximo de la energía que generan.

La actualidad de la investigación se manifiesta en que la aplicación de la metodología, constituye uno de los resultados del proyecto de investigación que se desarrolla como parte de la colaboración entre la carrera Ingeniería Civil de la Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya con la Universidad de Ciencias Aplicadas Magdeburg – Stendal de Alemania. Además en nuestro país siempre ha sido defensor del medio ambiente así como del óptimo aprovechamiento de las energías renovables la creación de nuevas alternativas como la Revolución Energética y los Lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución.

El informe de la investigación se estructura en dos capítulos. En el primer capítulo se muestra los resultados de la caracterización histórica de las plantas de biogás así como un estudio de los estudios precedentes en cuanto a este tema en la provincia Holguín. En el segundo capítulo se muestran los resultados de la validación de una metodología en la práctica social a través de la aplicación y por tanto evaluación, mediante experimentos, toma de muestras y ensayos químicos en dichas plantas de biogás en el municipio Holguín.

CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS PEQUEÑAS PLANTAS DE BIOGAS PORCINAS DEL MUNICIPIO HOLGUÍN. HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO.

Introducción al capítulo

En el presente capítulo se hace un análisis de la situación actual y las características generales de las pequeñas plantas de biogás porcinas del municipio Holguín. Además, se realiza un análisis de las técnicas existentes para la evaluación del funcionamiento de estas instalaciones así como de los resultados obtenidos en investigaciones precedentes similares.

1.1 Antecedentes históricos de la formación de pequeñas plantas de biogás en el municipio Holguín

Según un informe del MINAGRI³, Cuba fue uno de los primeros países de América Latina donde se introdujo la tecnología del biogás. La primera instalación⁴ data del año 1940, en La Habana, la cual consistió en dos biodigestores para el tratamiento de los residuos industriales de una fábrica de cerveza. El uso del biogás creció de forma acelerada a partir de 1980, pues se construyeron biodigestores de las tecnologías de campana flotante y de cúpula fija. El biogás producido se usaba para la cocción de alimentos, contribuyendo así con el ahorro de combustible.

Sin embargo, con el paso del tiempo, debido fundamentalmente a la falta de mantenimiento de las instalaciones y a la falta de exigencia por el cumplimiento de las políticas gubernamentales para la protección del medio ambiente, se fue perdiendo esta buena práctica.

³ Resumen Ejecutivo II Propuesta de política para la biomasa no cañera, biodigestores, biocombustibles y molinos a viento (18 de febrero de 2013)

⁴<http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/biogas-gana-espacio-como-fuente-de-energia-en-Cuba>

No fue hasta principios de la década de los años 90, con la alarma internacional por el deterioro creciente del medio ambiente y el derrumbe del campo socialista, que se retomó esta alternativa como una fuente de energía renovable, con la creación del Movimiento Nacional de Biogás.

Fue así como surgieron varios programas para la generalización de esta tecnología a nivel nacional. Estas nuevas iniciativas, comenzaron con la calificación de técnicos y usuarios, e incluyó la transferencia, no solo de conocimientos, sino también de tecnologías, con lo cual se han desarrollado nuevas capacidades y nuevos prototipos o modelos de plantas sencillas para el tratamiento de residuales porcinos, avícolas y otras formas de biomasa.

En la actualidad, el uso del biogás en comunidades rurales y sub-urbanas es también una alternativa que toma auge en la producción de energía eléctrica, en la cocción de alimentos y otras aplicaciones.

En el año 2001 la Oficina Nacional de Estadística reportó la existencia de 70 pequeños biodigestores instalados en Cuba, con un crecimiento de un 16% con respecto al 2000, cuando solo existían 58 biodigestores. La provincia con más biodigestores instalados en esta etapa fue Pinar del Río, con un total de 17 plantas de diferentes tipologías.

En el año 2013, según el informe del MINAGRI antes referido, se rebasó la cifra de 800 unidades, principalmente en la ganadería vacuna y porcina. Se calculó un potencial de aplicaciones del biogás en el país de 491647.775 metros cúbicos anuales de biogás a producir, lo que incidió en la construcción de 9345 nuevas plantas con diferentes tecnologías.

De acuerdo con el propio informe, para el periodo 2013-2022 se han planificado inversiones para la construcción y puesta en marcha de unas 8762 nuevas instalaciones, de ellas, 2958 para el tratamiento de los residuales del ganado vacuno, 5796 para el ganado porcino y 4 plantas en industrias procesadoras de café.

En la provincia Holguín, en el año 1990 solo existía una planta de biogás, sin embargo, en la actualidad se tienen registradas unas 83 instalaciones, de ellas, 39 están enmarcadas en el municipio Holguín (ver gráfico 1.1).

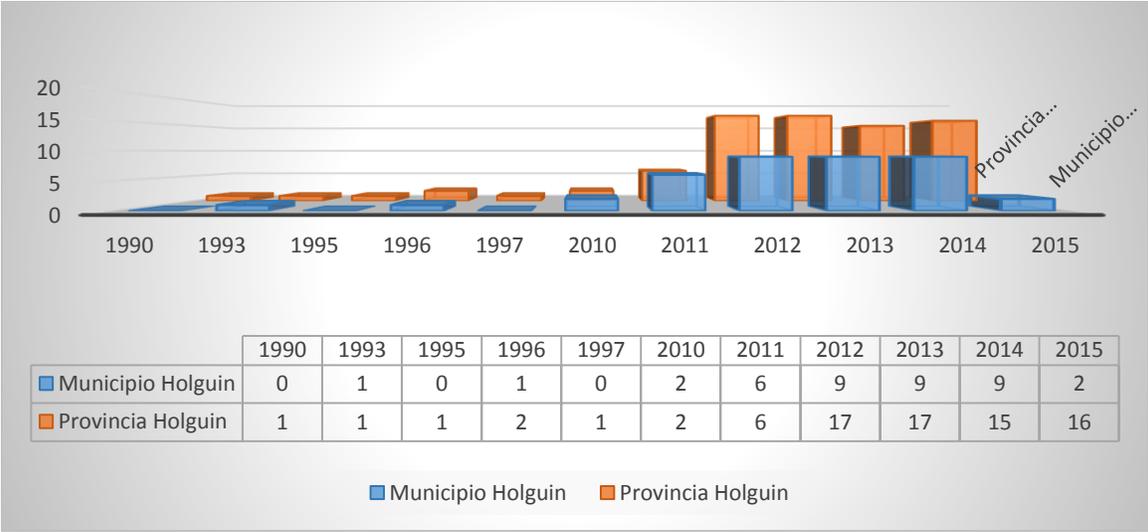


Gráfico 1.1 Evolución de la construcción de pequeñas plantas de biogás en el municipio y la provincia Holguín.

Hasta la fecha, la tecnología más empleada en Cuba ha sido la de cúpula fija, la cual tiene como principales ventajas la sencillez y los bajos costos de su construcción, son de forma cilíndrica y cerradas, se construyen parcial o totalmente soterradas con materiales locales como: ladrillos, cemento, arena y gravilla. Actualmente, están construidas en el país más de 856 plantas de biogás con dicha tecnología.

En la provincia Holguín, por su parte, la tipología de planta que más se ha construido según registros es el modelo HOH (ver gráfico 1.2), aunque también se pueden encontrar instalaciones de otras cuatro tipologías.

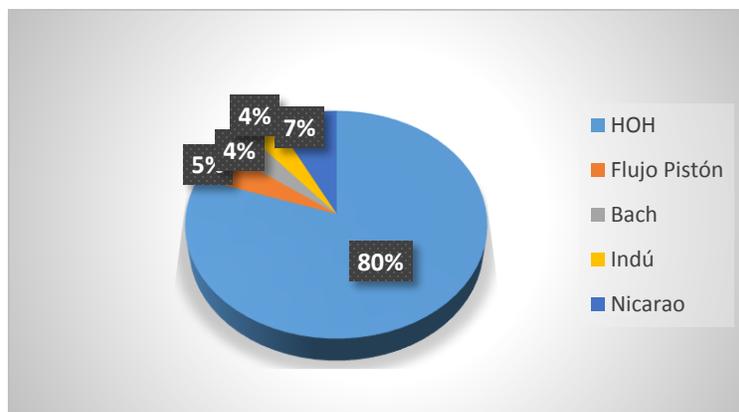


Gráfico 1.2 Tipologías de plantas de biogás construidas en la provincia Holguín en el período 1990-2015.

Mientras que en el municipio Holguín, solo se han construido tres diferentes modelos de plantas, siendo igualmente el HOH el más generalizado (ver gráfico 1.3)

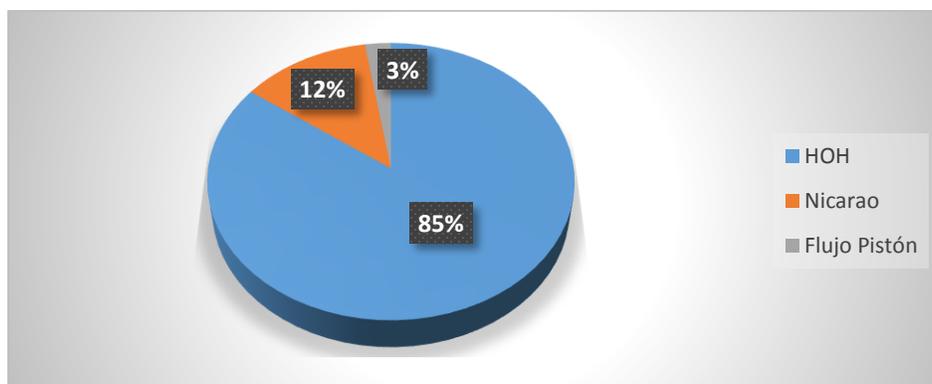


Gráfico 1.3 Tipologías de plantas de biogás construidas en el municipio Holguín en el período 1990-2015.

Aparte de la construcción de nuevas plantas en la provincia, se ha incrementado de la misma forma la cantidad de investigaciones realizadas por profesionales cubanos en este sentido. Por ejemplo:

En el año 2006, el Dr. Ing. José A. Guardado, de la provincia de Villa Clara escribió para la Editorial CUBASOLAR el texto: “Tecnología de Biogás. Manuel del usuario” en el cual expuso su diseño del modelo “Nicarao” y realizó otros apuntes técnicos para mejorar la producción de biogás.

En el año 2007, el propio autor escribió para la misma editorial otra publicación con el título: “Diseño y Construcción de plantas de biogás sencillas” donde expuso

nuevas especificaciones técnicas así como la secuencia constructiva para la ejecución de pequeñas plantas de biogás. También presentó el esquema y algunos valores comparativos de los modelos Nicarao y GBV.

En el año 2010, Gulliver Marichal Sánchez en su trabajo de diploma en opción al Título de Licenciado en Ciencias Alimentarias “Evaluación preliminar de excretas animales como inóculos para la producción de Biogás” realizó una evaluación de cinco inóculos diferentes de excretas (conejo, carnero, cerdo, vacuno y gallina) son capaces de fermentar la pulpa de arroz residual como sustrato y producir biogás dentro de las 24 horas. Obteniéndose además que las excretas de conejo, carnero y cerdo resultaron las de mayor potencial para la fermentación del sustrato y de las cinco excretas evaluadas, la de cerdo fue la que presentó valores elevados y sostenidos en comparación con las demás, identificándose así como la excreta de mejor capacidad para la producción de biogás.

En el año 2014, Yusleidys Cano Ricardo, en su trabajo de diploma en opción al título de Ingeniería Civil con el tema “Contribuciones a la evaluación de pequeñas plantas de biogás y al perfeccionamiento de los procesos de filtrado de las mismas, en el municipio de Holguín” propuso un nuevo procedimiento para la evaluación del funcionamiento de pequeñas plantas de biogás. Además, realizó una evaluación de la remoción de contaminantes de tres pequeñas plantas de biogás en el municipio Holguín donde planteó la construcción de humedales artificiales para optimizar la calidad del efluente en todas las plantas donde no se cumplían los parámetros determinados por la norma cubana NC 27:2012 (Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y el alcantarillado. Especificaciones) y los diferentes parámetros que se tienen en cuenta para lograr una excelente producción de biogás.

En ese mismo año 2014, Esteban Sánchez Gómez, en su trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Civil con el tema “Evaluación del funcionamiento de pequeñas plantas de biogás en el municipio de Holguín” aplicó esta misma metodología, pero realizó algunas modificaciones para la determinación del tiempo de retención hidráulico. Su estudio lo realizó en tres pequeñas plantas de biogás en el municipio de Holguín y constató que las tres instalaciones son eficientes en la

producción de biogás, pero no funcionan correctamente en cuanto a la remoción de contaminantes del efluente a la salida del biodigestor.

1.2 Tipologías de pequeñas plantas de biogás construidas en la provincia Holguín

Cuando se comenzó a insertar en Cuba la tecnología del biogás, debido a la falta de experiencia en el tema, se importaron los modelos clásicos de pequeñas plantas de biogás surgidos en otros países como China, La India y otros, y se comenzaron a construir instalaciones idénticas a como se construían en sus respectivos países de origen.

Bastó a penas ponerlas a funcionar para darse cuenta de que esta no había sido una decisión inteligente, pues el comportamiento de las bacterias productoras del biogás está muy asociado a las condiciones climáticas y a las características bioquímicas de la biomasa donde actúan. Fue por ello que, a partir de estos modelos clásicos, se comenzó a desarrollar nuevas tipologías acorde con las condiciones climáticas locales, los materiales de construcción disponibles y las características específicas de la biomasa a tratar. Entre ellas se pueden mencionar:

1. Modelo Nicarao
2. Modelo GBV
3. Modelo Flujo-Pistón
4. Modelo HOH
5. Modelo Indú
6. Modelo Batch

Específicamente, en la provincia Holguín, los modelos que se han desarrollado con mayor fuerza son: el Nicarao y el HOH, aunque también se han construido otros tipos de modelos. A continuación se detallan las características de estas dos tipologías.

1.2.1 Planta de modelo Nicarao

El modelo Nicarao es el resultado de la adaptación de los biodigestores de cúpula fija a las condiciones de Cuba. Este fue desarrollado por Dr. C. José A. Guardado en el año 2007, en la provincia de Villa Clara (ver Figuras 1.1 y 1.2).

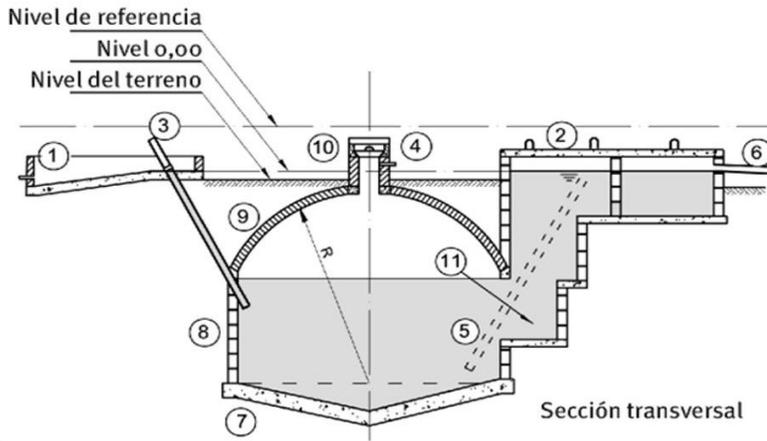


Figura 1 Esquema de la sección transversal del modelo Nicarao.⁵

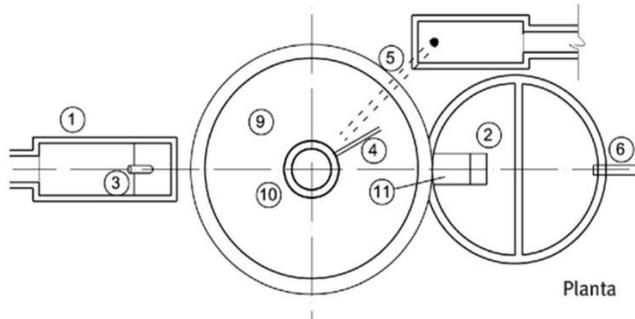


Figura 2 Esquema de la sección en planta del modelo Nicarao.⁶

Las partes componentes de la planta son las siguientes:

1. Tanque de mezcla (desarenador)
2. Tanque de compensación
3. Tubo de carga
4. Tubo de salida de biogás
5. Tubo de salida de lodos
6. Tubo de reboso
7. Losa de fondo

⁵ **Guardado, José Antonio.** *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas.* Ciudad de la Habana : CUBASOLAR, 2007. ISBN 959-7113-33-3.

⁶ **Guardado, José Antonio.** *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas.* Ciudad de la Habana : CUBASOLAR, 2007. ISBN 959-7113-33-3.

8. Muro circular
9. Cúpula de ladrillos
10. Cuello
11. Acceso del tanque de compensación

Los principales logros que se le atribuyen son:

- Posibilidad de hacer extracciones del lodo digerido, sistemáticamente, sin alterar su funcionamiento, lo que permite un mejor aprovechamiento del lodo y extiende los plazos de mantenimiento.
- Mejor aprovechamiento de la excavación.
- Mejor acceso al biodigestor, tanto durante la obra como para futuros trabajos de revisión.
- Simplificación del método de construcción, lo que permite disminuir el tiempo de ejecución (de 10 a 15 días).

Su desventaja principal radica en la necesidad de personal calificado para su construcción, y de una inspección periódica y monitoreo por parte de técnicos especializados, sobre sus condiciones de explotación.

1.2.2 Modelo HOH

Este modelo surgió igualmente a partir del modelo de cúpula fija, pero con la particularidad de que la cúpula tiene un desarrollo de una forma más elíptica. Fue desarrollado por los ingenieros Hipólito Oviedo y Alexander Valdespino en la provincia Holguín, en el año 2010, aunque desde entonces, ha sufrido varias modificaciones en aras de su perfeccionamiento. Este modelo (ver foto 1) es el más generalizado en el municipio y la provincia Holguín, tal como se explicó en el epígrafe anterior.



Foto 1 Modelo HOH en construcción.

A continuación se muestran una serie de particularidades de este modelo de planta que posibilitan un mejor funcionamiento de esta y la hacen superior a otras construidas anteriormente.

Es una planta sin cuello que se ha construido sobre las experiencias de las características de los alimentos de los cerdos en la provincia debido a que se utilizan muchos alimentos con fibras, como caña y aflechos derivados de la cervecería. Para ello se le han incorporado nuevas partes para mejorar el tiempo de retención y la reducción de carga contaminante principal objetivo de la planta al ser construidas.

Estas nuevas partes se muestran a continuación:

Cámara de rejas: sistema de laberintos que permite retener los sólidos en suspensión (alta concentración en Holguín) y llevarlos para su extracción hacia el plato de secado; funciona también como desarenador.

Tanque prefiltro: se utiliza para cualquier sólido de menor que haya pasado por la cámara pueda ser sacado por el operador si lo entiende conveniente

En los dos anteriores se realizan las primeras etapas de la descomposición del residual, estas nuevas partes en la planta, por su forma constructiva permiten que existan colonias de bacterias que garantizan que el material empiece su tratamiento.

Filtros decantadores: es un tratamiento mecánico que garantiza un mayor tiempo de retención mediante el paso del efluente por diferentes tamices con granulometría variada para un mayor tratamiento.

1.3 Parámetros para la evaluación del funcionamiento de las pequeñas plantas de biogás

A la hora de evaluar el funcionamiento de una planta de biogás, según Sánchez-Gómez (2014), se deben revisar los siguientes criterios:

- Calidad de la planta como instalación construida.
- Calidad de la planta en cuanto a su funcionamiento en la producción de biogás y subproductos.
- Calidad de la planta en cuanto a su funcionamiento en términos de remoción de contaminantes y otros aspectos relacionados con la protección del medio ambiente.

A continuación se pasa a explicar cómo evaluar cada uno de estos criterios.

1.3.1 Parámetros constructivos

La calidad de la planta como instalación, o desde el punto de vista constructivo, según criterios de diversos autores, puede revisarse a partir de los siguientes criterios:

1. El volumen o capacidad del tanque de almacenamiento debe estar en correspondencia con la cantidad de excretas que se producen realmente, o sea, se debe respetar la cantidad y el peso de los cerdos estimados en el diseño. De esta manera se evitará el desbordamiento del depósito o estancamiento y la pérdida de biogás por comenzar la fermentación bajo términos aeróbicos.
2. La conexión del tanque de alimentación con el biodigestor debe garantizar la heterogeneidad de la biomasa, o sea, la materia debe pasar mezclada, no solo las aguas residuales ni los sólidos, sino ambas bien proporcionadas.
3. El volumen o capacidad del biodigestor debe corresponderse con la cantidad y el peso de cerdos considerados en el diseño, de tal manera que se garantice el tiempo de retención necesario para que el 100 % de la materia que entra al depósito sea fermentada correctamente. En Cuba, donde la temperatura ambiente se considera como 25°C, el tiempo de retención debe ser no menor de 40 días.

4. Se debe garantizar la hermeticidad del biodigestor, (principalmente de la cúpula), de las tuberías para la conducción y explotación del biogás y del resto de las instalaciones de la planta de biogás.
5. El nivel del tanque de depósito debe estar por debajo del tanque de compensación para la regulación de la presión. De esta manera se evita la salida anticipada de la biomasa y el escape del biogás producido conjuntamente con el efluente.

1.3.2 Parámetros de la producción de biogás y subproductos

Una planta de biogás, independientemente de su tamaño, debe ser capaz de realizar correctamente la remoción de los contaminantes, y además, sostener una buena producción de biogás y subproductos como el bioabono y el fértil riego en correspondencia con las cantidades de biomasa de entrada, las cuales deben ser bien estimadas durante el proceso de diseño de la instalación, de lo contrario, será imposible garantizar el tiempo de retención necesario para que ocurra perpetuamente la digestión o fermentación anaeróbica. La eficacia de una planta en términos de producción de biogás y subproductos puede ser evaluada mediante los siguientes criterios:

1. La cantidad de biomasa estimada en proyecto, en función de la cantidad y el peso promedio de los cerdos de diseño, debe corresponderse con el volumen de material que realmente entra al sistema. Una sobrecarga implica que no se cumpla el tiempo de retención y, por lo tanto, no se complete el proceso de fermentación y producción del biogás, lo cual atentaría además contra la calidad del efluente. Por otra parte, poca carga supone un sobredimensionamiento de la instalación y por lo tanto, baja productividad de la planta.
2. Se debe garantizar la homogeneidad de la biomasa a la entrada del biodigestor entre los residuales sólidos y los líquidos.
3. La productividad real de la planta debe corresponderse o ser superior a la productividad estimada en el diseño (en el caso de biomasa porcina se estima una productividad de 50 L/Kg/día). Para ello es fundamental velar por

que la biomasa no se contamine con agentes o sustancias que pudieran eliminar las bacterias productoras del biogás dentro del biodigestor.

4. El tiempo de explotación real del biogás producido por la planta debe estar en correspondencia con lo estimado en el coeficiente de contención del gas durante el proyecto. Mientras mejor empleado sea el gas, mayor será la productividad de la instalación.
5. No debe aparecer un porcentaje alto de sólidos en el efluente, esto indicaría deficiencias en el proceso de fermentación y producción del biogás y altos índices de contaminación en el efluente.

1.3.3 Parámetros de calidad del efluente en términos de remoción de contaminantes

Las aguas residuales efluentes de las plantas de biogás deben cumplir ciertos parámetros de calidad antes de ser vertidas a los cuerpos receptores. Estos requerimientos se establecen de forma diferente en cada país o territorio, pues los valores de muchos de ellos dependen, entre otros factores, de las condiciones climáticas y ambientales en general de la región. En Cuba, existe un documento que legisla estos parámetros, la norma NC 27:2012 “Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y el alcantarillado”.

En todos los casos, para que se considere que una planta funciona apropiadamente en términos de remoción de contaminantes, los valores de los parámetros que se ensayen deben cumplir con los rangos establecidos en dicha norma, según sea el caso.

1.4 Metodologías para la evaluación del funcionamiento de las plantas de biogás

Actualmente, existen varias metodologías para la evaluación del funcionamiento de una planta de biogás, entre ellas:

- Yusleydis Cano Ricardo, en su trabajo de diploma en opción al título de Ingeniera Civil en julio del 2014, diseñó un procedimiento para la evaluación del funcionamiento de pequeñas plantas de biogás, consistente en los siguientes pasos:

1. Descripción general de la planta.

2. Inspección de las condiciones de drenaje del afluente.
3. Determinación de los datos iniciales.
4. Comprobación del tiempo de retención hidráulico.
5. Chequeo de la producción y utilización del biogás.
6. Identificación de toxinas.
7. Preparación de las condiciones necesarias y realización de la toma de muestras.
8. Medición de los parámetros físicos-químicos del afluente y del efluente.
9. Análisis del destino del efluente con respecto a la ubicación de la planta y el uso del mismo.
10. Comparación de los resultados obtenidos con los rangos óptimos y con los límites establecidos por las normas.

Este procedimiento, en sus diferentes pasos, considera de una forma u otra lo expresado anteriormente en el epígrafe 1.3, pero se hace la concepción de que el cálculo del tiempo de retención hidráulico (TR) oscila entre 25 y 40 días, por lo que asume que un periodo de 25 días es suficiente para lograr la fermentación anaerobia dentro del biodigestor, lo cual se contradice a lo planteado en todas las bibliografías, donde se especifica que para temperaturas tropicales (20°C o más) el TR debe ser de 40 días.

Para el análisis emplea la siguiente ecuación:

$$V_D = (kg_{excreta} + kg_{agua}) \times T_R$$

Donde

V_D : volumen del biodigestor

T_R : tiempo de retención hidráulico

Los cálculos los realizó mediante una hoja de cálculo Excel, consideró que la cantidad de excreta producido por día es de 1,2 a 4 kg por cada kg de animal y la relación excreta/agua es de 1:1 a 1:2 y los resultados obtenidos los plasmó en una tabla como la que se muestra a continuación:

Relación C _E y C _D :	kg _{excreta} =1,2 excreta/agua =1:1	kg _{excreta} =2,6 excreta/agua =1:1,5	kg _{excreta} =4 excreta/agua =1:2
C _E /C _D	T _R	T _R	T _R

Al obtener estos tres valores de TR, analizó si se encontraban entre el rango de tiempo necesario planteado anteriormente y así determinó cuándo se cumplía este parámetro.

Posteriormente, en diciembre de ese mismo año, Esteban Sánchez Gómez, en semejante trabajo de diploma, aplicó esta misma metodología pero realizó una modificación para el cálculo del tiempo de retención hidráulico que se expone a continuación:

Cantidad de material de entrada diario (S_d)

$$S_d = (1 + N) \times C_F$$

$$C_F = 0.05 \times P_{Total}$$

Cantidad de excreta producido por día: 5% del peso de los cerdos.

P_{Total}: Es la cantidad de cerdos existentes por el peso promedio de los animales.

Con una tasa de disolución (N): 1L=1Kg

Volumen descompuesto (V_d)

$$V_d = \frac{S_d \times T_R}{1000}$$

Luego el T_R se calcula por la expresión:

$$T_R = \frac{V_d}{S_d}$$

El tiempo de retención lo calculó en función de la cantidad de cerdos reales con su peso promedio. Los resultados obtenidos fueron comparados con un tiempo de cuarenta días para una temperatura mayor de 20°C que es lo que establece las literaturas en el caso de Cuba.

Tras el análisis de ambas metodologías, se decide aplicar la de Esteban Sánchez,

ya que esta permite tener el tiempo de retención necesario con mayor exactitud.

1.5 Situación actual del funcionamiento de las plantas de biogás del municipio Holguín

Los trabajos precedentes realizados en Holguín (Cano – Ricardo, 2014) y (Sánchez Gómez, 2014) han llegado, de una u otra, a evaluar un grupo de estas pequeñas plantas de biogás en el municipio Holguín aplicando sus respectivas metodologías. Como resultados, ambos han llegado a la conclusión de que, ninguna de las seis plantas evaluadas cumple con la NC 27:2012 (Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y el alcantarillado. Especificaciones) aunque si se ha corroborado una alta producción de biogás en la mayoría de ellas.

Esta situación, si se tiene en cuenta que cada día aumenta más el número de productores porcinos en el municipio Holguín y por ende se construyen más plantas de biogás, refleja claramente la necesidad de la continuidad de este tipo de estudios, pues, aunque ya es un paso de avance el hecho de que se traten los residuales porcinos mediante esta tecnología, hay que ganar todavía en lograr la calidad requerida en este proceso para garantizar, no solamente el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, sino también la protección del medio ambiente, asunto este tan urgente en estos tiempos.

A continuación, en el capítulo II, se hace un análisis de 6 de estas pequeñas plantas de biogás del municipio Holguín, aplicando la metodología (Sánchez-Gómez, 2014).

Conclusiones del capítulo I

1. Se realizó el estudio de los antecedentes históricos de la tecnología del biogás en Cuba, en la provincia y el municipio Holguín, y se pudo constatar que se trata de una solución que se encuentra en pleno auge en el territorio a pesar de que su aparición data del siglo pasado.
2. Se sistematizaron los fundamentos teóricos metodológicos en los que se basa el tratamiento de los residuales porcinos mediante las plantas de biogás, evidenciando la necesidad de evaluar la calidad del efluente según los parámetros establecidos en la norma cubana NC 27:2012.
3. Se diagnosticó el estado actual de las plantas de biogás del municipio Holguín, arribando a la conclusión de que más del 80% de las instalaciones han sido construidas con una tecnología que presenta serias dificultades en términos de remoción de contaminantes del efluente, según resultados de investigaciones precedentes, aunque también se ha corroborado una alta producción de biogás en la mayoría de ellas.

CAPÍTULO 2: EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE PEQUEÑAS PLANTAS DE BIOGÁS DEL MUNICIPIO HOLGUÍN

Introducción al capítulo

Como se expresó en el capítulo anterior, a la hora de evaluar una planta de biogás hay que tener en cuenta diferentes aspectos tanto desde el punto de vista constructivo como bioquímico. En el presente capítulo se realiza la evaluación de seis plantas del municipio Holguín aplicando la metodología de (Sánchez-Gómez, 2014) tal como se describe a continuación.

2.1 Selección de las plantas de biogás a evaluar

La selección de las plantas de biogás a evaluar se realizó sobre los siguientes criterios:

- La planta a evaluar debe estar emplazada dentro de los límites del municipio Holguín.
- Solo se considerarán las plantas de biogás para el tratamiento de los residuales del proceso de crianza de ganado porcino.
- La instalación debe estar en pleno funcionamiento en el momento en que se realiza el muestreo.
- Se requiere del consentimiento de los propietarios para realizar la toma de muestras y posterior evaluación.
- Solo se evaluarán las plantas del modelo HOH construidas en diferentes años para analizar el comportamiento evolutivo y la eficiencia de las diferentes variantes que se han hecho de esta tipología.

A continuación se relacionan las plantas seleccionadas en colaboración con el grupo de Energía Renovable de la UNE de la provincia Holguín:

- Planta # 1. Propietario: Eliades Méndez perteneciente a la CCS “Sabino Pupo” en la localidad de Aguas Claras, en el municipio Holguín.
- Planta # 2. Propietario: Vismar Leyva perteneciente a la CCS “Frank País” en la localidad de Aguas Claras, en el municipio Holguín.
- Planta # 3. Propietario: Rosell Torres perteneciente a la CCS “Alcides Pino” en la localidad de Alcides Pino, en el municipio Holguín.

- Planta # 4. Propietario: Figueredo perteneciente a la CCS “Alcides Pino” en la localidad de Alcides Pino, en el municipio Holguín.
- Planta # 5. Propietario: Ramón Pupo perteneciente a la CCS “José Antonio Echevarría” en la localidad de San Rafael, en el municipio Holguín.
- Planta # 6. Propietario: Yosdel Corchete Pupo perteneciente a la CCS “José Antonio Echevarría” en la localidad de San Rafael, en el municipio Holguín.

2.2 Aplicación de la metodología para la evaluación

2.2.1 Evaluación de las plantas de Eliades Méndez

1. Descripción general de la planta

La planta es de cúpula fija, específicamente del modelo HOH, perteneciente a la CCS “Sabino Pupo” en la localidad de Aguas Claras, en el municipio Holguín. Está concebida para 700 cerdos en su diseño, con un tiempo de retención de 30 días y una capacidad del biodigestor cada uno de 30 m³. El biogás se utiliza para la cocción de los alimentos de la casa como de los animales, así como de otra casa y un pequeño restaurante continuo a esta. La planta se consideró como si fueran tres a la hora de evaluar ya que los tres biodigestores trabajan de forma independiente aunque tienen en común la caja de alimentación y el depósito final de almacenamiento del efluente.

Elementos componentes de la planta:

1. Tanque de almacenamiento del efluente (ver Foto 4)
2. Cámara de rejillas
3. Plato de secado
4. Llave de regulación de la entrada de biomasa a la planta
5. 3 biodigestores
6. 3 tanques de compensación
7. 3 tuberías de conducción de biogás con sus correspondientes llaves de paso.
8. 1 tanques de almacenamiento del efluente
9. Tubería de conducción del efluente



Foto 2 Depósito de almacenamiento del efluente



Foto 3 Biodigestores, tanques de compensación y tubos de salida del biogás.

La planta funciona de la siguiente forma al ser realizada la limpieza de los corrales ese material compuesto por excretas, agua y restos de alimentos se conduce mediante canales colectores y se almacena posteriormente dentro del tanque de alimentación de aquí pasa a la cámara de rejillas encargada de reducir la cantidad de sólidos que posee el material; que cuando la planta se abre mediante un sistema de tuberías llegan a cada biodigestor la entrada del material para la realización de la fermentación anaerobia. Paralelamente cuando el gas producido sale del biodigestor, en el tanque de compensación disminuye la cantidad de biomasa que se corresponde con la cantidad de biogás originado. Luego el efluente es almacenado dentro de un tanque, en el cual permanece hasta que es utilizado para el fértil riego en una plantación que existe en la misma propiedad. (Ver Foto 6) Los residuos sólidos son depositados en un plato de secado (ver Foto 7)



Foto 4 Plantación en la cual se utiliza el fértil riego y cámara de rejillas.



Foto 5 Plato de secado.



Foto 6 Biodigestores, tanques de compensación y tuberías de salida de biogás.

2. Inspección de las condiciones de drenaje del afluente

El sistema que conecta los corrales con el tanque de almacenamiento del afluente mediante canales conductores, permite sin ningún tipo de obstrucción y con una pendiente adecuada el libre paso de la biomasa para su futura recolección y tratamiento posterior.

3. Determinación de los datos iniciales

Cantidad de cerdos existentes (C_E): 450 (de 90 Kg. como peso promedio) a 150 en cada una de las plantas

Cantidad de cerdos de diseño (C_D): 700 en total a 234 que tributa a cada biodigestor

Volumen de cada uno de los biodigestores (V_D): $V_d = 30 \text{ m}^3 = 30\,000 \text{ L}$

Cantidad de excreta producido por día: 5% del peso de los cerdos

Tasa de disolución (N): 1L=1Kg

Tiempo de retención (T_R): 30 días

4. Comprobación del tiempo de retención hidráulico

Al conocer que el volumen descompuesto (V_d)

$$V_d = \frac{S_d \times T_R}{1000}$$

Y el T_R se calcula mediante la fórmula realizando el despeje correspondiente

$$T_R = \frac{V_d}{S_d}$$

Con la cantidad de material de entrada diario (S_d)

$$S_d = (1 + N) \times C_F$$

$$C_F = 0.05 \times P_{Total}$$

$$C_F = 0.05 \times (150 \times 90) = 675 \text{ Kg/ día}$$

$$S_d = (1 + 1) \times 675 = 1350 \text{ L/día} = 1.35 \text{ m}^3/\text{ día}$$

$$T_R = \frac{V_d}{S_d} = \frac{30\text{m}^3}{1.35\text{m}^3/\text{día}} = 22,22 \text{ días}$$

Con este tiempo de retención obtenido (22,22 días) es menor del diseñado para la planta representa 74.07 % del total de días y si se considera que el tiempo ideal de retención es de 40 días este valor decrece a 55.55 % por lo que la masa no está siendo tratada en su totalidad para su descontaminación.

5. Chequeo de la producción y utilización del biogás

Según el testimonio del propietario el gas obtenido de la planta abastece a su casa, a otra al lado y a un pequeño restaurante por lo que está siendo bien aprovechado por el productor. Aunque este gas no pudo ser medido por la falta de un equipo capaz de obtener este valor, se pudo constatar por la autora de este trabajo que la llama era de permanente color azul y permanentemente alta lo que manifiesta una buena producción de biogás.

6. Identificación de toxinas

La planta no se encuentra expuesta a toxinas que puedan inhibir la fermentación anaerobia de la biomasa ya que no se utilizan sustancias químicas en el lavado de los corrales.

7. Preparación de las condiciones necesarias y realización de la toma de muestras

La toma de las muestras y realización de los ensayos se llevaron a cabo por la autora en colaboración con la Empresa Eléctrica que facilitó el transporte y la ubicación de las plantas. Algunos ensayos fueron medidos "in situ" y otros fueron realizados en el laboratorio de Química de la Universidad de Holguín.

8. Medición de los parámetros físicos-químicos del efluente

Los ensayos realizados así como los resultados obtenidos están tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 1 Resultados de la medición de los parámetros analizados.

Parámetros	U.M	Biodigestor 1	Biodigestor 2
Potencial de Hidrógeno (pH)	U	7.19	7.12
Sólidos sedimentables	mL/ L	1	55
Oxígeno disuelto	mg/L	0.81	1.23
Temperatura	°C	29.3	29.7
Conductividad eléctrica	μS/cm	6600	6400
DBO _{5,20}	mg/L	470	370
DQO	mg/L	615	540
Grasas y aceites	-	Ausente	Ausente
Materia Flotante	-	Ausente	Ausente

9. Análisis del destino del efluente con respecto a la ubicación de la planta y el uso del mismo

Según el lugar donde se encuentra ubicada la planta y el uso que se le da al efluente, según la norma NC 27:2012 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado, el mismo establece la clasificación en cuerpos receptores de clase C.

10. Comparación de los resultados obtenidos con los rangos óptimos y con los límites establecidos por las normas

Los resultados de los parámetros analizados son comparados con lo establecido en la Tabla 3 Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) de la NC 27: 2012 y los resultados están tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 2 Comparación de la NC 27:2012 con los ensayos realizados en la planta

Parámetros	U.M	Biodigestor 1	Biodigestor 2	NC 27:2012
Potencial de Hidrógeno (pH)	U	7.19	7.12	6 – 10
Sólidos sedimentables	mL/ L	1	55	< 5

Oxígeno disuelto	mg/L	0.81	1.23	< 2
Temperatura	°C	29.3	29.7	< 50
Conductividad eléctrica	µS/cm	6600	6400	< 4000
DBO _{5,20}	mg/L	470	370	<100
DQO	mg/L	615	540	< 250
Grasas y aceites	-	Ausente	Ausente	Ausente
Materia Flotante	-	Ausente	Ausente	Ausente

2.2.2 Evaluación de la planta de Vismar Leyva

1. Descripción general de la planta

La planta es de cúpula fija específicamente del modelo HOH, perteneciente a la CCS “Frank País” cita en la Carretera a Velazco entrada de Yaraniquén en la localidad de Aguas Claras, en el municipio Holguín. Está concebida para 500 cerdos en su diseño, con un tiempo de retención de 20 días y una capacidad del biodigestor de 50 m³. El biogás se utiliza para la cocción de los alimentos.



Foto 7 Tanque prefiltro, plato de secado, caja alimentadora y laguna de oxidación.

Elementos componentes de la planta:

1. Tanque de almacenamiento del efluente

2. Plato de secado
3. Llave de regulación de la entrada de biomasa a la planta
4. Tanque prefiltro
5. Biodigestor
6. Tanque de compensación
7. Tubería de conducción de biogás con su correspondiente llave de paso.
8. Tubería de conducción del efluente
9. Laguna de almacenamiento del efluente

La planta funciona de la siguiente manera: la biomasa se conduce mediante canales colectores y se almacena posteriormente dentro del tanque de alimentación al ser realizada la limpieza de los corrales, mediante un sistema de tuberías llega al tanque prefiltro donde se eliminan parte de los residuales sólidos. Luego entra el material al biodigestor para la realización de la digestión anaerobia. Paralelamente cuando el gas producido sale del biodigestor, en el tanque de compensación disminuye la cantidad de biomasa, que se corresponde con la cantidad de biogás originado. Luego el efluente pasa hacia una laguna para un mayor tratamiento.

2. Inspección de las condiciones de drenaje del afluente

La conexión entre los corrales y el depósito de almacenamiento del afluente de la planta se encuentra en buen estado, ya que no se queda retenida la biomasa en el proceso de transportación.

3. Determinación de los datos iniciales

Cantidad de cerdos existentes (C_E): 1000 (de 30 Kg. como peso promedio)

Cantidad de cerdos de diseño (C_D): 500

Volumen de cada uno de los biodigestores (V_D): $V_d = 50 \text{ m}^3 = 50\,000 \text{ L}$

Cantidad de excreta producido por día: 5% del peso de los cerdos

Tasa de disolución (N): 1L=1Kg

Tiempo de retención (TR): 20 días

4. Comprobación del tiempo de retención hidráulico

Al conocer que el volumen descompuesto (V_d)

$$V_d = \frac{S_d \times T_R}{1000}$$

Y el T_R se calcula mediante la fórmula realizando el despeje correspondiente

$$T_R = \frac{V_d}{S_d}$$

Con la cantidad de material de entrada diario (S_d)

$$S_d = (1 + N) \times C_F$$

$$C_F = 0.05 \times P_{Total}$$

$$C_F = 0.05 \times (1000 \times 30) = 1500 \text{ Kg/ día}$$

$$S_d = (1 + 1) \times 1500 = 3000 \text{ L/día} = 3 \text{ m}^3/\text{ día}$$

$$T_R = \frac{V_d}{S_d} = \frac{50 \text{ m}^3}{3 \text{ m}^3/\text{día}} = 16.66 \text{ días}$$

Con este tiempo de retención obtenido (16.66 días) es menor del diseñado para la planta representa 83.3 % del total de días y si se considera que el tiempo ideal de retención es de 40 días este valor decrece a 41.65 % por lo que la masa no está siendo tratada ni la mitad para su descontaminación.

5. Chequeo de la producción y utilización del biogás

Según el testimonio del propietario el gas obtenido de la panta se utiliza para la cocción.

6. Identificación de toxinas

Para el lavado de los corrales no se utilizan sustancias químicas por lo que la planta no se encuentra expuesta a toxinas que puedan inhibir la fermentación anaerobia de la biomasa.

7. Preparación de las condiciones necesarias y realización de la toma de muestras

La toma de las muestras y realización de los ensayos se llevaron a cabo por la autora en colaboración con la Empresa Eléctrica que facilitó el transporte y la ubicación de las plantas. Algunos ensayos fueron medidos "in situ" y otros fueron realizados en el laboratorio de Química de la Universidad de Holguín.

8. Medición de los parámetros físicos-químicos del efluente

Los ensayos realizados así como los resultados obtenidos están tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 3 Medición de los parámetros en el análisis realizado en la planta.

Parámetros	U.M	Efluente
Potencial de Hidrógeno (pH)	U	6.63
Sólidos sedimentables	mL/ L	145
Oxígeno disuelto	mg/L	1.68
Temperatura	°C	32
Conductividad eléctrica	μS/cm	5800
DBO _{5,20}	mg/L	280
DQO	mg/L	260
Grasas y aceites	-	Ausente
Materia Flotante	-	Ausente

9. Análisis del destino del efluente con respecto a la ubicación de la planta y el uso del mismo

Según el lugar donde se encuentra ubicada la planta y el uso que se le da al efluente, según la norma NC 27:2012 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado, el mismo establece la clasificación en cuerpos receptores de clase C.

10. Comparación de los resultados obtenidos con los rangos óptimos y con los límites establecidos por las normas

Los resultados de los parámetros analizados son comparados con lo establecido en la Tabla 3 Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) de la NC 27: 2012 y los resultados están tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 4 Comparación de la NC 27:2012 con los ensayos realizados en la planta.

Parámetros	U.M	Efluente	NC 27:2012
Potencial de Hidrógeno (pH)	U	6.63	6 - 10
Sólidos sedimentables	mL/ L	145	< 5

Oxígeno disuelto	mg/L	1.68	< 2
Temperatura	°C	32	< 50
Conductividad eléctrica	µS/cm	5800	< 4000
DBO _{5,20}	mg/L	280	< 100
DQO	mg/L	260	< 250
Grasas y aceites	-	Ausente	Ausente
Materia Flotante	-	Ausente	Ausente

2.2.3 Evaluación de la planta de Rosell Torres

1. Descripción general de la planta

La planta es de cúpula fija específicamente del modelo HOH, perteneciente a la CCS “Alcides Pino” en la localidad de Alcides Pino, en el municipio Holguín. Está concebida para 200 cerdos en su diseño, con un tiempo de retención de 28 días y una capacidad del biodigestor de 20 m³. El biogás se utiliza para la cocción de los alimentos.

Elementos componentes de la planta:

1. Tanque de almacenamiento del efluente
2. Llave de regulación de la entrada de biomasa a la planta
3. Biodigestor
4. Tanque de compensación
5. Tubería de conducción de biogás con su correspondiente llave de paso.
6. Tanque de almacenamiento del efluente
7. Tubería de conducción del efluente

La planta funciona de la siguiente manera: la biomasa se conduce mediante canales colectores y se almacena posteriormente dentro del tanque de alimentación al ser realizada la limpieza de los corrales, mediante un sistema de tuberías llega al biodigestor para la realización de la digestión anaerobia. Paralelamente cuando el gas producido sale del biodigestor, en el tanque de compensación disminuye la cantidad de biomasa, que se corresponde con la cantidad de biogás originado.

Luego el efluente es almacenado y posteriormente mediante una turbina distribuido para la realización del fértil riego.



Foto 8 Biodigestor y tanque de compensación.

2. Inspección de las condiciones de drenaje del afluente

El sistema que conecta los corrales con el tanque de almacenamiento del afluente se realiza mediante canales conductores, lo cual permite sin ningún tipo de obstrucción y con una pendiente adecuada el libre paso de la biomasa para su futura recolección y tratamiento posterior.

3. Determinación de los datos iniciales

Cantidad de cerdos existentes (C_E): 600 (de 70 Kg. como peso promedio) tributa 300 a cada biodigestor

Cantidad de cerdos de diseño (C_D): 200 tributa 100 a cada biodigestor

Volumen de cada uno de los dos biodigestores (V_D): $V_d = 20 \text{ m}^3 = 20\,000 \text{ L}$

Cantidad de excreta producido por día: 5% del peso de los cerdos

Tasa de disolución (N): $1\text{L}=1\text{Kg}$

Tiempo de retención (TR): 28 días

4. Comprobación del tiempo de retención hidráulico

Al conocer que el volumen descompuesto (V_d)

$$V_d = \frac{S_d \times T_R}{1000}$$

Y el T_R se calcula mediante la fórmula realizando el despeje correspondiente

$$T_R = \frac{V_d}{S_d}$$

Con la cantidad de material de entrada diario (S_d)

$$S_d = (1 + N) \times C_F$$

$$C_F = 0.05 \times P_{Total}$$

$$C_F = 0.05 \times (300 \times 70) = 1050 \text{ Kg/ día}$$

$$S_d = (1 + 1) \times 1050 = 2100 \text{ L/día} = 2.1 \text{ m}^3/\text{ día}$$

$$T_R = \frac{V_d}{S_d} = \frac{20 \text{ m}^3}{2.1 \text{ m}^3/\text{ día}} = 9.52 \text{ días}$$

Con este tiempo de retención obtenido (9.52 días) es menor del diseñado para la planta representa 47.62 % del total de días y si se considera que el tiempo ideal de retención es de 40 días este valor decrece a 23.8 % por lo que la masa no está siendo tratada ni un cuarto para lograr su descontaminación.

5. Chequeo de la producción y utilización del biogás

Según el testimonio del propietario el gas obtenido de la panta se utiliza para la cocción. El gas no pudo ser medido por la ausencia de un medidor.

6. Identificación de toxinas

Para el lavado de los corrales no se utilizan sustancias químicas por lo que la planta no se encuentra expuesta a toxinas que puedan inhibir la fermentación anaerobia de la biomasa.

7. Preparación de las condiciones necesarias y realización de la toma de muestras

La toma de las muestras y realización de los ensayos se llevaron a cabo por la autora en colaboración con la Empresa Eléctrica que facilitó el transporte y la ubicación de las plantas. Algunos ensayos fueron medidos "in situ" y otros fueron realizados en el laboratorio de Química de la Universidad de Holguín.

8. Medición de los parámetros físicos-químicos del efluente

Los ensayos realizados así como los resultados obtenidos están tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 5 Medición de los parámetros en el análisis realizado a la planta.

Parámetros	U.M	Efluente
Temperatura	°C	32
Sólidos sedimentables	mL/L	0.5
Conductividad eléctrica	µS/cm	10300
Potencial de Hidrógeno (pH)	U	7.81
Oxígeno disuelto	mg/L	1.45
DBO _{5,20}	mg/L	510
DQO	mg/L	725
Grasas y aceites	-	Ausente
Materia Flotante	-	Ausente

9. Análisis del destino del efluente con respecto a la ubicación de la planta y el uso del mismo

Según el lugar donde se encuentra ubicada la planta y el uso que se le da al efluente, según la norma NC 27:2012 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado, el mismo establece la clasificación en cuerpos receptores de clase C.

10. Comparación de los resultados obtenidos con los rangos óptimos y con los límites establecidos por las normas

Los resultados de los parámetros analizados son comparados con lo establecido en la Tabla 3 Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) de la NC 27: 2012 y los resultados están tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 6 Comparación de la NC 27: 2012 con el análisis realizado a la planta.

Parámetros	U.M	Efluente	NC 27:2012
Temperatura	°C	32	< 50

Sólidos sedimentables	mL/L	0.5	< 5
Conductividad eléctrica	μS/cm	10300	< 4000
Potencial de Hidrógeno (pH)	U	7.81	6 – 10
Oxígeno disuelto	mg/L	1.45	< 2
DBO _{5,20}	mg/L	510	< 100
DQO	mg/L	725	< 250
Grasas y aceites	-	Ausente	Ausente
Materia Flotante	-	Ausente	Ausente

2.2.5 Evaluación de la planta de Figueredo

1. Descripción general de la planta

La planta es de cúpula fija específicamente del modelo HOH, perteneciente a la CCS “Alcides Pino” cita en el Camino Militar No. 14, Las Garitas, en la localidad de Alcides Pino, en el municipio Holguín. Está concebida para 50 cerdos en su diseño, con un tiempo de retención de 20 días y una capacidad del biodigestor de 10 m³. El biogás se utiliza para la cocción de los alimentos.



Foto 9 Biodigestor, tanque de compensación y tanque de almacenamiento del efluente.

Elementos componentes de la planta:

1. Tanque de almacenamiento del efluente
2. Llave de regulación de la entrada de biomasa a la planta
3. Biodigestor
4. Tanque de compensación
5. Tubería de conducción de biogás con su correspondiente llave de paso.
6. Tanque de almacenamiento del efluente
7. Tubería de conducción del efluente

La planta funciona de la siguiente manera: la biomasa se conduce mediante canales colectores y se almacena posteriormente dentro del tanque de alimentación al ser realizada la limpieza de los corrales, mediante un sistema de tuberías llega al biodigestor para la realización de la digestión anaerobia. Paralelamente cuando el gas producido sale del biodigestor, en el tanque de compensación disminuye la cantidad de biomasa, que se corresponde con la cantidad de biogás originado. Luego el efluente es almacenado y posteriormente distribuido para la realización del fértil riego.

2. Inspección de las condiciones de drenaje del afluente

El sistema que conecta los corrales con el tanque de almacenamiento del afluente se realiza mediante canales conductores, lo cual permite sin ningún tipo de obstrucción y con una pendiente adecuada el libre paso de la biomasa para su futura recolección y tratamiento posterior.

3. Determinación de los datos iniciales

Cantidad de cerdos existentes (C_E): 55 (de 95 Kg. como peso promedio)

Cantidad de cerdos de diseño (C_D): 50

Volumen de cada uno de los dos biodigestores (V_D): $V_d = 10 \text{ m}^3 = 10\,000 \text{ L}$

Cantidad de excreta producido por día: 5% del peso de los cerdos

Tasa de disolución (N): 1L=1Kg

Tiempo de retención (TR): 20 días

4. Comprobación del tiempo de retención hidráulico

Al conocer que el volumen descompuesto (V_d)

$$V_d = \frac{S_d \times T_R}{1000}$$

Y el T_R se calcula mediante la fórmula realizando el despeje correspondiente

$$T_R = \frac{V_d}{S_d}$$

Con la cantidad de material de entrada diario (S_d)

$$S_d = (1 + N) \times C_F$$

$$C_F = 0.05 \times P_{Total}$$

$$C_F = 0.05 \times (55 \times 95) = 261.25 \text{ Kg/ día}$$

$$S_d = (1 + 1) \times 261.25 = 522.5 \text{ L/día} = 0.5225 \text{ m}^3/\text{ día}$$

$$T_R = \frac{V_d}{S_d} = \frac{10 \text{ m}^3}{0.5225 \text{ m}^3/\text{ día}} = 19.14 \text{ días}$$

Con este tiempo de retención obtenido (19.14 días) es menor del diseñado para la planta representa 95.7% del total de días y si se considera que el tiempo ideal de retención es de 40 días este valor decrece a 47.85 % por lo que la masa no está siendo tratada ni un cuarto para lograr su descontaminación.

5. Chequeo de la producción y utilización del biogás

Según el testimonio del propietario el gas obtenido de la panta se utiliza para la cocción. El gas no pudo ser medido por la ausencia de un medidor.

6. Identificación de toxinas

Para el lavado de los corrales no se utilizan sustancias químicas por lo que la planta no se encuentra expuesta a toxinas que puedan inhibir la fermentación anaerobia de la biomasa.

7. Preparación de las condiciones necesarias y realización de la toma de muestras

La toma de las muestras y realización de los ensayos se llevaron a cabo por la autora en colaboración con la Empresa Eléctrica que facilitó el transporte y la ubicación de las plantas. Algunos ensayos fueron medidos "in situ" y otros fueron realizados en el laboratorio de Química de la Universidad de Holguín.

8. Medición de los parámetros físicos-químicos del efluente

Los ensayos realizados así como los resultados obtenidos están tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 7 Medición de los parámetros en el efluente.

Parámetros	U.M	Efluente
Temperatura	°C	31
Sólidos sedimentables	mL/L	26
Conductividad eléctrica	μS/cm	6500
Potencial de Hidrógeno (pH)	U	7.11
Oxígeno disuelto	mg/L	1.34
DBO _{5,20}	mg/L	420
DQO	mg/L	560
Grasas y aceites	-	Ausente
Materia Flotante	-	Ausente

9. Análisis del destino del efluente con respecto a la ubicación de la planta y el uso del mismo

Según el lugar donde se encuentra ubicada la planta y el uso que se le da al efluente, según la norma NC 27:2012 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado, el mismo establece la clasificación en cuerpos receptores de clase C.

10. Comparación de los resultados obtenidos con los rangos óptimos y con los límites establecidos por las normas

Los resultados de los parámetros analizados son comparados con lo establecido en la Tabla 3 Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) de la NC 27: 2012 y los resultados están tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 8 Comparación de la NC 27: 2012 con los valores obtenidos en la medición del efluente.

Parámetros	U.M	Efluente	NC 27:2012
Temperatura	°C	31	< 50

Sólidos sedimentables	mL/L	26	< 5
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	6500	< 4000
Potencial de Hidrógeno (pH)	U	7.11	6 - 10
Oxígeno disuelto	mg/L	1.34	<2
DBO _{5,20}	mg/L	420	< 100
DQO	mg/L	560	< 250
Grasas y aceites	-	Ausente	Ausente
Materia Flotante	-	Ausente	Ausente

2.2.6 Evaluación de la planta de Ramón Pupo

1. Descripción general de la planta

La planta es de cúpula fija específicamente del modelo HOH, perteneciente a la CCS “José Antonio Echevarría” en la localidad de San Rafael, en el municipio Holguín. Está concebida para 120 cerdos en su diseño, con un tiempo de retención de 22 días y una capacidad del biodigestor de 10 m³. El biogás se utiliza para la cocción de los alimentos.



Elementos componentes de la planta:

1. Tanque de almacenamiento del efluente
2. Llave de regulación de la entrada de biomasa a la planta

3. Biodigestor
4. Tanque de compensación
5. Tubería de conducción de biogás con su correspondiente llave de paso.
6. Tanque de almacenamiento del efluente
7. Tubería de conducción del efluente

La planta funciona de la siguiente manera: la biomasa se conduce mediante canales colectores y se almacena posteriormente dentro del tanque de alimentación al ser realizada la limpieza de los corrales, mediante un sistema de tuberías llega al biodigestor para la realización de la digestión anaerobia. Paralelamente cuando el gas producido sale del biodigestor, en el tanque de compensación disminuye la cantidad de biomasa, que se corresponde con la cantidad de biogás originado. Luego el efluente es almacenado y posteriormente distribuido para la realización del fértil riego.

2. Inspección de las condiciones de drenaje del afluente

El sistema que conecta los corrales con el tanque de almacenamiento del afluente se realiza mediante canales conductores, lo cual permite sin ningún tipo de obstrucción y con una pendiente adecuada el libre paso de la biomasa para su futura recolección y tratamiento posterior.

3. Determinación de los datos iniciales

Cantidad de cerdos existentes (C_E): 120 (de 90 Kg. como peso promedio)

Cantidad de cerdos de diseño (C_D): 120

Volumen de cada uno de los dos biodigestores (V_D): $V_d = 10 \text{ m}^3 = 10\,000 \text{ L}$

Cantidad de excreta producido por día: 5% del peso de los cerdos

Tasa de disolución (N): 1L=1Kg

Tiempo de retención (T_R): 20 días

4. Comprobación del tiempo de retención hidráulico

Al conocer que el volumen descompuesto (V_d)

$$V_d = \frac{S_d \times T_R}{1000}$$

Y el T_R se calcula mediante la fórmula realizando el despeje correspondiente

$$T_R = \frac{V_d}{S_d}$$

Con la cantidad de material de entrada diario (S_d)

$$S_d = (1 + N) \times C_F$$

$$C_F = 0.05 \times P_{Total}$$

$$C_F = 0.05 \times (120 \times 90) = 540 \text{Kg/ día}$$

$$S_d = (1 + 1) \times 540 = 1080 \text{ L/día} = 1.08 \text{ m}^3/\text{ día}$$

$$T_R = \frac{V_d}{S_d} = \frac{10 \text{m}^3}{1.08 \text{ m}^3/\text{día}} = 9.26 \text{ días}$$

Con este tiempo de retención obtenido (9.26 días) es menor del diseñado para la planta representa 42.09 % del total de días y si se considera que el tiempo ideal de retención es de 40 días este valor decrece a 23.15 % por lo que la masa no está siendo tratada ni un cuarto para lograr su descontaminación.

5. Chequeo de la producción y utilización del biogás

Según el testimonio del propietario el gas obtenido de la planta se utiliza para la cocción. El gas no pudo ser medido por la ausencia de un medidor.

6. Identificación de toxinas

Para el lavado de los corrales no se utilizan sustancias químicas por lo que la planta no se encuentra expuesta a toxinas que puedan inhibir la fermentación anaerobia de la biomasa.

7. Preparación de las condiciones necesarias y realización de la toma de muestras

La toma de las muestras y realización de los ensayos se llevaron a cabo por la autora en colaboración con la Empresa Eléctrica que facilitó el transporte y la ubicación de las plantas. Algunos ensayos fueron medidos "in situ" y otros fueron realizados en el laboratorio de Química de la Universidad de Holguín.

8. Medición de los parámetros físicos-químicos del efluente

Los ensayos realizados así como los resultados obtenidos están tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 9 Medición de los parámetros en el efluente.

Parámetros	U.M	Efluente
Temperatura	°C	30
Sólidos sedimentables	mL/L	270
Conductividad eléctrica	μS/cm	6800
Potencial de Hidrógeno (pH)	U	7.3
Oxígeno disuelto	mg/L	1.56
DBO _{5,20}	mg/L	330
DQO	mg/L	670
Grasas y aceites	-	Ausente
Materia Flotante	-	Ausente

9. Análisis del destino del efluente con respecto a la ubicación de la planta y el uso del mismo

Según el lugar donde se encuentra ubicada la planta y el uso que se le da al efluente, según la norma NC 27:2012 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado, el mismo establece la clasificación en cuerpos receptores de clase C.

10. Comparación de los resultados obtenidos con los rangos óptimos y con los límites establecidos por las normas

Los resultados de los parámetros analizados son comparados con lo establecido en la Tabla 3 Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) de la NC 27: 2012 y los resultados están tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 10 Comparación de la NC 27: 2012 con los valores obtenidos en el efluente.

Parámetros	U.M	Efluente	NC 27:2012
Temperatura	°C	30	< 50
Sólidos sedimentables	mL/L	270	< 5
Conductividad eléctrica	μS/cm	6800	< 4000
Potencial de Hidrógeno (pH)	U	7.3	6 - 10

Oxígeno disuelto	mg/L	1.56	< 2
DBO _{5,20}	mg/L	330	< 100
DQO	mg/L	670	< 250
Grasas y aceites	-	Ausente	Ausente
Materia Flotante	-	Ausente	Ausente

2.2.7 Evaluación de la planta de Yosdel Corchete Pupo

1. Descripción general de la planta

La planta es de cúpula fija específicamente del modelo HOH, perteneciente a la CCS “José Antonio Echevarria” cita en Carretera a Mayarí km 5 ¹/₂, en la localidad de San Rafael, en el municipio Holguín. Está concebida para 100 cerdos en su diseño, con un tiempo de retención de 20 días y una capacidad del biodigestor de 10 m³. El biogás se utiliza para la cocción de los alimentos.



Foto 10 Tanque de almacenamiento del efluente, biodigestor, tanque de compensación y tubo de salida del biogás.

Elementos componentes de la planta:

1. Tanque de almacenamiento del efluente
2. Llave de regulación de la entrada de biomasa a la planta
3. Biodigestor

4. Tanque de compensación
5. Tubería de conducción de biogás con su correspondiente llave de paso.
6. Tubería de conducción del efluente
7. Laguna de oxidación

La planta funciona de la siguiente manera: la biomasa se conduce mediante canales colectores y se almacena posteriormente dentro del tanque de alimentación al ser realizada la limpieza de los corrales, mediante un sistema de tuberías llega al biodigestor para la realización de la digestión anaerobia. Paralelamente cuando el gas producido sale del biodigestor, en el tanque de compensación disminuye la cantidad de biomasa, que se corresponde con la cantidad de biogás originado. Luego el efluente se conduce hacia una pequeña laguna para continuar su tratamiento.

2. Inspección de las condiciones de drenaje del afluente

El sistema que conecta los corrales con el tanque de almacenamiento del afluente se realiza mediante canales conductores, lo cual permite sin ningún tipo de obstrucción y con una pendiente adecuada el libre paso de la biomasa para su futura recolección y tratamiento posterior.

3. Determinación de los datos iniciales

Cantidad de cerdos existentes (C_E): 150 (de 90 Kg. como peso promedio)

Cantidad de cerdos de diseño (C_D): 100

Volumen de cada uno de los dos biodigestores (V_D): $V_d = 10 \text{ m}^3 = 10\,000 \text{ L}$

Cantidad de excreta producido por día: 5% del peso de los cerdos

Tasa de disolución (N): 1L=1Kg

Tiempo de retención (TR): 20 días

4. Comprobación del tiempo de retención hidráulico

Al conocer que el volumen descompuesto (V_d)

$$V_d = \frac{S_d \times T_R}{1000}$$

Y el T_R se calcula mediante la fórmula realizando el despeje correspondiente

$$T_R = \frac{V_d}{S_d}$$

Con la cantidad de material de entrada diario (S_d)

$$S_d = (1 + N) \times C_F$$

$$C_F = 0.05 \times P_{Total}$$

$$C_F = 0.05 \times (150 \times 90) = 675 \text{ Kg/ día}$$

$$S_d = (1 + 1) \times 675 = 1350 \text{ L/día} = 1.35 \text{ m}^3/\text{ día}$$

$$T_R = \frac{V_d}{S_d} = \frac{10 \text{ m}^3}{1.35 \text{ m}^3/\text{día}} = 7.41 \text{ días}$$

Con este tiempo de retención obtenido (7.41 días) es menor del diseñado para la planta representa 37.05 % del total de días y si se considera que el tiempo ideal de retención es de 40 días este valor decrece a 18.53 % por lo que la masa no está siendo tratada ni un cuarto para lograr su descontaminación.

5. Chequeo de la producción y utilización del biogás

Según el testimonio del propietario el gas obtenido de la planta se utiliza para la cocción. El gas no pudo ser medido por la ausencia de un medidor.

6. Identificación de toxinas

Para el lavado de los corrales no se utilizan sustancias químicas por lo que la planta no se encuentra expuesta a toxinas que puedan inhibir la fermentación anaerobia de la biomasa.

7. Preparación de las condiciones necesarias y realización de la toma de muestras

La toma de las muestras y realización de los ensayos se llevaron a cabo por la autora en colaboración con la Empresa Eléctrica que facilitó el transporte y la ubicación de las plantas. Algunos ensayos fueron medidos "in situ" y otros fueron realizados en el laboratorio de Química de la Universidad de Holguín.

8. Medición de los parámetros físicos-químicos del efluente

Los ensayos realizados así como los resultados obtenidos están tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 11 Medición de los parámetros analizados en el efluente.

Parámetros	U.M	Efluente
Temperatura	°C	30.3
Sólidos sedimentables	mL/L	200
Conductividad eléctrica	µS/cm	6300
Potencial de Hidrógeno (pH)	U	7.11
Oxígeno disuelto	mg/L	1.12
DBO _{5,20}	mg/L	460
DQO	mg/L	382
Grasas y aceites	-	Ausente
Materia Flotante	-	Ausente

9. Análisis del destino del efluente con respecto a la ubicación de la planta y el uso del mismo

Según el lugar donde se encuentra ubicada la planta y el uso que se le da al efluente, según la norma NC 27:2012 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado, el mismo establece la clasificación en cuerpos receptores de clase C.

10. Comparación de los resultados obtenidos con los rangos óptimos y con los límites establecidos por las normas

Los resultados de los parámetros analizados son comparados con lo establecido en la Tabla 3 Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) de la NC 27: 2012 y los resultados están tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 12 Comparación de la NC 27: 2012 con los valores obtenidos en el efluente.

Parámetros	U.M	Efluente	NC 27:2012
Temperatura	°C	30.3	< 50
Sólidos sedimentables	mL/L	200	< 5
Conductividad eléctrica	µS/cm	6300	< 4000
Potencial de Hidrógeno (pH)	U	7.11	6 - 10

Oxígeno disuelto	mg/L	1.12	< 2
DBO _{5,20}	mg/L	460	< 100
DQO	mg/L	382	< 250
Grasas y aceites	-	Ausente	Ausente
Materia Flotante	-	Ausente	Ausente

Conclusiones del capítulo II

1. Se realizó la evaluación de las plantas de biogás y se pudo constatar que ninguna funciona correctamente al ser comparados los diferentes parámetros muestreados con la NC 27: 2012 “Vertimiento de las aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado- especificaciones”.
2. Ninguna de las plantas funciona correctamente por lo que la remoción de contaminantes y la producción de biogás no son óptimas. El factor causante común del mal funcionamiento de las plantas evaluadas es el mal diseño de las instalaciones, específicamente el no cumplimiento del tiempo de retención hidráulico de 40 días, establecido para temperaturas mayores de 20°C como es el caso de Cuba.

CONCLUSIONES

1. Se realizó el análisis de los antecedentes históricos de la evaluación del funcionamiento de las plantas de biogás, corroborando la existencia de los fundamentos teóricos metodológicos necesarios para desarrollar esta investigación en el municipio Holguín.
2. Se seleccionaron seis plantas de biogás del municipio Holguín y se realizó la evaluación del funcionamiento de las mismas aplicando la metodología de (Sánchez-Gómez, 2014), obteniendo como resultado que ninguna de ellas cumple con los parámetros de calidad del efluente establecidos en la NC 27:2012 para su vertimiento a los cuerpos receptores.
3. Se determinó que la causa de los problemas de funcionamiento de todas las plantas analizadas es el no cumplimiento del tiempo de retención hidráulico necesario para que ocurra la remoción de contaminantes en la biomasa (en Cuba: 40 días).

RECOMENDACIONES

1. Profundizar en la evaluación del funcionamiento de las plantas de biogás del municipio Holguín aplicando criterios estadísticos para la selección y muestreo de las instalaciones, así como en el procesamiento de los resultados.
2. Tener en cuenta los diferentes modelos de plantas de biogás construidos en el municipio Holguín en próximos estudios para comparar entre sí la efectividad de los mismos.
3. Legislar la evaluación de las plantas de biogás como un requisito para su funcionamiento en aras de contribuir con la protección del medio ambiente.
4. Continuar investigando sobre como explotar de manera más eficiente las potencialidades del biogás como fuente de energía renovable en el territorio.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Ministerio de la Agricultura.** *RESUMEN EJECUTIVO II PROPUESTA DE POLÍTICA PARA LA BIOMASA NO CAÑERA, BIODIGESTORES, BIOCOMBUSTIBLES Y MOLINOS A VIENTO.* 2013.
2. **Oficina Nacional de Normalización (NC).** *NC 27:2012 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.* Ciudad de la Habana : s.n., 1999.
3. **A.Guardado, Jose.** *Curso de biogás.*
4. **Guardado, José Antonio.** *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas.* Ciudad de la Habana : CUBASOLAR, 2007. ISBN 959-7113-33-3.
5. —. *Tecnología del biogás.Manual del usuario.* Ciudad de la Habana : CUBASOLAR, 2006.
6. **Sánchez Gómez, Esteban.** *Evaluación del funcionamiento de pequeñas plantas de biogás en el municipio Holguín.* Holguín : s.n., 2014.
7. **Cano Ricardo, Yusleydis.** *Contribuciones a la evaluación de pequeñas plantas de biogás y al perfeccionamiento de los procesos de filtrado de las mismas, en el municipio de Holguín.* Holguín : s.n., 2014.
8. **Viñas Alvarez, Mario, Rubio Alvarez, Nelson y García Dorta, Rodolfo.** *Tecnología para el tratamiento y aprovechamiento de residuales porcinos.* Ciudad de la Habana : s.n.
9. **Instituto de Investigaciones Marina y Costeras "José Benito Vives de Andrés" (INVEMAR) Vinculado al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.** *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos).* Santa Marta : Cargraphics, 2003.
10. **Marichal Sánchez, Gulliver.** *Evaluación preliminar de excretas de animales como inóculos para la producción animal.* Ciudad de la Habana : Editorial Universitaria, 2010. ISBN 978-959-16-1284-7.

11. **Zaldívar Pedroso, Israel de Jesús.** *Biodigestores: Biogás y Bioabono un sistema tecnológico limpio.* s.l. : Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA).
12. **Vinasco, Juan Pablo Silva.** *Tecnología de biogás.*
13. **López Pérez, Antonio Carlos.** *Valorización del estiércol de cerdo a través de la producción de biogás.*
15. **Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.** *Análisis de agua-Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de Prueba.* Ciudad de México : s.n., 2000. NMX-AA-004-SCFI-2000 .
16. **Las energías renovables. Cuba y su planta de biogás.** [En línea] 2009. [Citado el: 25 de agosto de 2014.] <http://www.lasenergiasrenovables.com/noticias/biomasa/cubainstalarauaplantadebiogas/index.html>.
17. **Cuba amplía uso del biogás como fuente energética.** [En línea] 12 de junio de 2014. [Citado el: 23 de agosto de 2014.] <http://www.sustentare.cl/2014/06/12/cuba-amplia-uso-del-biogas-como-fuente-energetica/>.
18. **Botero Botero, Raúl y R. Preston, Thomas.** **Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas.** [En línea] 1987. [Citado el: 24 de agosto de 2014.] <http://www.utaoundation.org/publications/botero&preston.pdf>.
19. **Qué es el biogás?** [En línea] [Citado el: 18 de mayo de 2015.] <http://vidaverde.about.com/od/Energias-renovables/a/Que-Es-El-Biogas.htm>.
20. **Wikipedia. Biogás. Concepto.** [En línea] [Citado el: 10 de abril de 2015.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Biog%C3%A1s>.
21. **El Nuevo Diario • Portal Web de Noticias de Nicaragua.** [En línea] [Citado el: 20 de mayo de 2015.] <http://www.elnuevodiario.com.ni/economia/327432-sistema-de-biogas-se-expande-pais>.

- 22. Bioenergía: el biogás y su uso.** [En línea] http://www.bioenergia-agricola.es/index.asp?ra_id=18.
- 23. Wikipedia. Biodigestor - Wikipedia, la enciclopedia libre.** [En línea] <http://es.wikipedia.org/wiki/Biodigestor>.
- 24. Funcionamiento básico de un biodigestor.** [En línea] [Citado el: 15 de mayo de 2015.] <http://bio-digestores.blogspot.de/2012/06/funcionamiento-basico-de-un-biodigestor.html>.
- 25. AgriCultures Network. Los biodigestores en los sistemas agrícolas ecológicos.** [En línea] [Citado el: 16 de mayo de 2015.] <http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/latin-america/energia-en-la-finca/los-biodigestores-en-los-sistemas-agricolas>.
- 26. Componentes de un biodigestor.** [En línea] [Citado el: 15 de mayo de 2015.] <http://www.unasam.edu.pe/sistemas/biodigestores/documentos/COMPONENTES%20DE%20UN%20BIODIGESTOR.pdf>.
- 27. Sofos. Plantas de biogás.** [En línea] [Citado el: 26 de agosto de 2014.] <http://www.sofos.es/plantas-de-biogas/>.
- 28. AméricaEconomía. Biogás gana espacio como fuente de energía en Cuba AméricaEconomía - El sitio de los negocios globales de América Latina.** [En línea] [Citado el: 25 de agosto de 2014.] <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/biogas-gana-espacio-como-fuente-de-energia-en-Cuba>.
- 29. Cuba y su planta de biogás.** [En línea] [Citado el: 25 de agosto de 2014.] <http://www.lasenergiasrenovables.com/noticias/biomasa/cubainstalarounaplantadebiogas/index.html>.
- 30. Cuba amplía uso del biogás como fuente energética.** [En línea] [Citado el: 25 de agosto de 2014.] <http://www.sustentare.cl/2014/06/12/cuba-amplia-uso-del-biogas-como-fuente-energetica/>.

31. amplía Cuba uso del biogás. [En línea] [Citado el: 25 de agosto de 2014.] <http://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?id=260107&urlredirect=http://www.reforma.com/aplicaciones/articulo/default.aspx?id=260107>.

32. Diseño y construcción de un biodigestor industrial para tratamientos de residuos orgánicos. [En línea] [Citado el: 25 de agosto de 2014.] http://www.ceplan.gob.pe/sites/default/files/Documentos/diseño_y_construcción_de_un_biodigestor_industrial_para_tratamientos_de_residuos_organicos.pdf.

33. Ergormix. Instalaciones de biogas a mediana y gran escala en Alemania . [En línea] [Citado el: 25 de agosto de 2015.] <http://www.engormix.com/MA-porcicultura/manejo/articulos/instalaciones-biogas-mediana-gran-t1886/124-p0.htm>.