
**SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES EN
LA EMPRESA DE APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO
VILLA CLARA**

**TREATMENT SYSTEM FOR WASTEWATER AT VILLA CLARA WATER
MANAGEMENT COMPANY**

Floramis Pérez Martín^{1}, Tayruma de los Ángeles Armenteros Ordóñez¹
y Juan Pedro Hernández Touset²*

¹ Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Villa Clara. Ave. Libertadores #201 A e/ Danielito y Jesús Menéndez, Santa Clara, VC, Cuba.

² Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba

Recibido: Diciembre 11, 2015; Revisado: Enero 18, 2016; Aceptado: Febrero 16, 2016

RESUMEN

El objetivo del trabajo es evaluar las actuales condiciones de operación y de seguridad de los sistemas de tratamiento biológico para las aguas residuales en los centros de cría porcina y avícola en la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Villa Clara, con el propósito de establecer un conjunto de medidas organizativas, técnicas y humanas, que contribuya a prevenir la contaminación y minimizar los riesgos biológicos, garantizando la protección a los trabajadores, las instalaciones, comunidad y el medio ambiente, para contar con un ambiente ocupacional seguro en la organización. Como resultado de la evaluación se definen los factores que afectan la operación del sistema de biodigestión y la seguridad del proceso.

Palabras clave: contaminación, medio ambiente, riesgos biológicos, sistema de tratamiento.

Copyright © 2016. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Floramis Pérez, Email: floramis@vc.hidro.cu

ABSTRACT

The aim of this paper is to assess the current operating and safety conditions of biological treatment systems for wastewater in the centers of swinish and poultry breeding at Villa Clara Water Management Company, with the purpose of setting a group of organizational, technical and human measures that contributes to prevent contamination and minimize biological risks. In this way it can be guaranteed the protection to the workers, the facilities, community and the environment, to have a sure occupational atmosphere in the organization. As a result of the evaluation the factors that affect the operation of the biodigestion system and the security of the process are defined.

Key words: contamination, environment, biological risks, treatment system.

1. INTRODUCCIÓN

La realidad actual impone en las agendas de los empresarios dos temas críticos, el suministro energético y el adecuado tratamiento y disposición de los residuos orgánicos generados. A esto se suma que cuando se habla de contaminación no solo se refiere al agua y suelo sino también, a la atmosférica ya que la emisión de gases de efecto invernadero como el metano que se libera de lagunas sin control contribuye al calentamiento global del planeta según plantea Hilbert (2014).

La sociedad necesita desarrollar procesos sustentables y ecológicos de manera responsable, situación que motiva la aplicación de procesos anaerobios que se basan en el tratamiento de residuos orgánicos y recuperación de energía. Estos proporcionan beneficios económicos y ambientales (Mancillas-Salas, 2012), (RWL Water, 2015).

Acorde a los criterios de sustentabilidad, el uso de biodigestores anaeróbicos estabiliza los efluentes mantiene la calidad ambiental y puede considerarse como el proceso productivo, donde los desperdicios orgánicos constituyen la materia prima y el combustible y aditivo de nutrientes para cultivos, el producto final.

La posibilidad de reutilizar desechos y obtener ciertos beneficios, mediante la aplicación de tecnologías no convencionales, es un sendero que en la actualidad se considera necesario a la hora de realizar diversos tipos de proyectos e inversiones. En lo particular, lo referido se ajusta a la actividad agropecuaria, que dispone de materia prima en exceso. En ese sentido la biodigestión anaeróbica presenta una aplicabilidad con balances energéticos positivos si se aprovecha el biogás que se obtiene (Valdés, 2014; Valdés, 2015).

Un aspecto importante, es la versatilidad del proceso, por la cual se puede aplicar la biodigestión anaeróbica a distintas escalas y con distintos niveles de complejidad técnica, sin que ello afecte las propiedades como combustibles del biogás que se obtiene.

Fueron consultadas las legislaciones vigentes en Cuba para la temática que se aborda, tales como la Ley 81 del Medio Ambiente ANPP (1997) y el Decreto Ley de la Seguridad Biológica (Decreto – Ley, 1999).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar las actuales condiciones de operación y de seguridad de los sistemas de tratamiento para las aguas residuales en los centros de

cría porcina y avícola de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Villa Clara, para establecer un conjunto de medidas organizativas, técnicas y humanas, que prevenga la contaminación, minimice riesgos biológicos y garantice la protección de los trabajadores, instalaciones, comunidad y medio ambiente en general.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como sustrato se emplearon excretas frescas de cerdos, de 4 a 6 meses de edad, recolectadas desde un piso de cemento. Estos biodigestores se cargan una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que se complete el proceso.

Los procedimientos analíticos empleados así como simbología, unidades de medida y fundamentos del método se tomaron de Clesceri (1998).

Los equipos y cristalería que se utilizaron en las determinaciones, cumplían los requisitos establecidos por la Oficina Territorial de Normalización de Villa Clara (OTN). Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros y métodos de determinación

<i>Parámetros</i>	<i>Unidad</i>	<i>Método</i>
Potencial de Hidrógeno (pH)	unidades	Potenciométrico
Conductividad Eléctrica (CE)	µS/cm	Conductimétrico
Demanda Quím. Oxígeno DQO	mg/L	Digestión y Valoración Redox
Demanda Bioquímica Oxígeno DBO ₅	mg/L	Incubación y Determinación de Vd. a los 5 días
Nitrógeno Total (Nt)	mg/L	Digestión ácida y Valorad. ácido - base
Sólidos Sedimentables (Sed)	ml/L	Volumen sedimentables en 30 min.
Coliformes totales y fecales	NMP/ 100ml	Tubos múltiples

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción del sistema de tratamiento

La Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara cuenta con dos centros porcinos ubicados en la derivador Pavón y presa Jiboa y además otro avícola en la Minerva, los que poseen sistemas de tratamiento para residuales (biodigestor) que se cargan todos los días con el agua proveniente de los corrales de cerdos y aves, así como desechos líquidos de lavabos, duchas, cocinas, fregaderos y que constituyen desagües de las casas de explotación enclavadas en dichos lugares.

El biodigestor es un sistema de cultivo en el que se regulan ciertas condiciones ambientales por ejemplo temperatura, pH, permiten optimizar el desarrollo de microorganismos que producen reacciones anaeróbicas en el que se degrada la materia orgánica disuelta en un medio acuoso, para dar como resultado metano y dióxido de carbono, trazas de hidrógeno y sulfhídrico, estos microorganismos, protozoarios hongos y bacterias que están en el interior deben ser cultivadas, por lo que el biogás no se obtiene de forma inmediata, se tendrá que esperar que lo empiecen a generar. Este proceso tarda alrededor de 15 días, donde puede afectarse por la temperatura exterior.

Para que el biodigestor produzca más o menos constante se debe soterrar, de manera tal que la temperatura se mantenga sobre 18 grados. Este proceso de biodigestión ocurre porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos en los excrementos que al actuar con el material orgánico produce la mezcla de gases con alto contenido de metano al cual se le llama biogás.

La separación y evacuación de los desechos domésticos y porcinos de las aguas grises y negras cada vez es más común a partir de su utilización en la producción de energía eléctrica y gas de cocina, el residual proveniente de la limpieza de corrales se recoge en las canaletas y se somete a pretratamiento para la eliminación de grasas y sólidos flotantes, luego se trata en la planta de donde sale por el sistema de canales a la unidad de sedimentación con el objetivo de decantar los residuos que queden y estar en condiciones proceder al tratamiento físico biológico mediante la construcción de filtros para ser depositado en el punto de vertimiento con un nivel de tratamiento adecuado.

El tratamiento de las aguas residuales por lo general consta de tres etapas:

- Primario consiste en retener de manera temporal el agua residual en un recipiente de reposo donde los sólidos pesados pueden asentarse en el fondo mientras que los sólidos de aceite, grasa y más ligeros flotan en la superficie.
- Secundario consiste en elimina la materia disuelta y en suspensión biológica, puede requerir un proceso de separación para eliminar los microorganismos del agua tratada antes de la descarga o el tratamiento terciario.
- Terciario se define a veces como algo más que un tratamiento primario y secundario con el fin de permitir el rechazo en un ecosistema muy sensible o frágil. El agua se desinfecta antes de la descarga en una corriente, río, lagunas o se puede utilizar para el riego de plantaciones u otra disposición final conforme por los organismos al respecto. Si es adecuada, se puede utilizar para la recarga subterránea.

El proceso de digestión anaerobio de la materia orgánica contenida en la mezcla de fangos se convierte bajo condiciones anaerobias, en metano CH₄ y dióxido de carbono (CO₂).

El resultado es una mezcla de metano (CH₄) en proporción entre un 40% y un 70%, dióxido de carbono (CO₂), en pequeñas proporciones y otros gases como hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y sulfuro de hidrogeno H₂S). El biogás tiene como promedio un poder calorífico entre 18,8 y 23,4 mega julios por m³.

En la digestión anaerobia se produce la transformación de compuestos orgánicos de alto peso molecular hasta metano, en dicho proceso participa un consorcio de microorganismos, principalmente bacterias (hidrolíticas, acidogénica, fermentativas, acetogénicas, metanogénicas), siendo la ecuación general del mismo la siguiente (1):



El poder calórico del biogás, con concentraciones entre 50 y 70 % de metano CH₄, es de 4 700 a 6 500 kcal/m³. Según las referencias bibliográficas un metro cúbico de biogás, con 70 % de metano (CH₄), equivale a: 0,8 L de gasolina, 1,3 L de alcohol, 0,7 L de gasóleo, 1,5 m³ de gas de ciudad, 2,7 kg de madera.

3.2 Factores que controlan la digestión anaeróbica.

Los factores que controlan la digestión anaeróbica son: temperatura, tiempo de retención hidráulico (TRH), pH, composición química de las aguas residuales, competencia entre bacterias metanogénicas y bacterias reductoras del azufre y la presencia de sustancias tóxicas.

La disminución de la temperatura provoca, entre otros:

- Disminución de pH.
- Incremento de la concentración de los ácidos grasos volátiles.
- Disminución del volumen de gas generado.
- Elevación del contenido de metano en el mismo.

El tiempo de retención hidráulico (TRH) en los digestores depende de las características de las aguas residuales y condiciones ambientales. Para que un digestor opere forma adecuada es necesario que se desarrollen las bacterias metanogénicas que presentan la menor velocidad de crecimiento en los digestores, de aquí que el tiempo de retención hidráulico esté determinado por el crecimiento de las mismas.

El pH es un factor determinante, porque el mismo debe permitir el crecimiento de bacterias metanogénicas. Es indicador de acidez o basicidad de una sustancia y se define como la concentración del ión hidrógeno en el agua, ecuación 2, (Davis y Cornwell, 1998).

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+] \quad (2)$$

El rango de pH en el que crecen la mayoría de las bacterias metanogénicas se encuentra entre 6,7 y 7,4 siendo el pH óptimo de 7,0–7,2 y el crecimiento cesa a un pH de 6.

Para que las bacterias responsables del proceso de digestión anaerobia crezcan es necesario que las aguas residuales donde ellas se desarrollan presenten un balance de nutrientes (fuentes de C, N, P, S) correcto. Estas bacterias metanogénicas pueden limitar el proceso, la fuente de C puede ser: polisacáridos, proteínas, lípidos e incluso algunos compuestos orgánicos.

En un digestor anaerobio, las bacterias metanogénicas y las bacterias reductoras del azufre presentan características similares, ambas requieren para vivir de condiciones anaerobias estrictas y los rangos de pH y temperatura, para su crecimiento, son semejantes. En ocasiones este proceso falla debido a la presencia de sustancias tóxicas en las aguas residuales o lodos.

Cuando ocurre la inhibición de las metanogénesis se observa que la producción de metano se reduce mientras que las concentraciones de ácidos grasos volátiles se incrementan. Entre las sustancias que afectan el proceso de digestión anaerobia se encuentran: oxígeno, amonio, sulfato, cianuro y metales pesados. Para el óptimo rendimiento de biodigestor, estos factores pH, presión y temperatura son determinantes.

Una de las características más importantes de la biodigestión es que disminuye el potencial contaminante de los excrementos de origen animal y humano, disminuye la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) hasta un 90% dependiendo de las condiciones de diseño y operación.

En la Tabla 2 se muestra los ensayos físico-químicos y bacteriológicos de las muestras del residual Jiboa No. 44 y Pavón No. 254 y el límite máximo admisible (LMA) según

NC 27 (2012), dando como resultado que los valores muestreados corresponde a un cuerpo receptor de clasificación “C”.

Tabla 2. Ensayos físico - químicos y bacteriológicos

<i>Ensayos físico – químicos</i>	<i>Muestra No 44</i>	<i>Muestra No 254</i>	<i>Limite Máximo Admisible</i>
PH ± 0,5 %	7,07	7,2	6-9
Conductividad Eléctrica ± 1,0 %	2100	2200	< 4000
Demanda Química de Oxígeno	207	245	250
Nitrógeno Total	11	15	15
Sólidos Sedimentables	5	6	5
Coliformes totales	30	33	-
Coliformes fecales	5	5	-

3.3 Evaluación de la seguridad del proceso

A continuación, se muestra una lista de verificación de la seguridad del proceso.

1. El digestor no tiene gas o el manómetro no indica presión.
 - La llave principal está cerrada.
2. Escape de gas
 - Verificar con una solución jabonosa los posibles salideros y elimínelos.
3. Las bacterias no trabajan todavía correctamente.
 - Calcular el tiempo en que llenó el digestor. No puede ser menos de treinta días. Si tiene mal olor, detener la alimentación.
4. El pH aporta información importante sobre el buen funcionamiento: debe estar entre 6 y 9. Si el pH es más bajo, alimentar el digestor con una solución de lechada de cal, hasta restablecerlo.
5. Llama de gas oscilante.
 - Las boquillas están sucias.
6. La tubería está bloqueada por agua.
 - Eliminar el agua accionando la válvula ubicada en la trampa de agua.
7. Excesivo consumo de gas o poca existencia.
 - La distancia entre llama y cazuela es muy grande. Ajustar la distancia.
8. Diámetro incorrecto de las boquillas. Adecuarlo (si nunca antes se había usado el fogón).
9. Fugas de gas.
 - Detectar, con solución de jabón, las burbujas que indican escape de gas. Eliminar los escapes.
10. Llama muy pequeña.
 - La boquilla del quemador es muy pequeña. Debe abrir entre 2 y 3 mm, para un fogón doméstico; y entre 5-7 mm, para un quemador industrial.
 - Diámetro de tubería extremadamente pequeño utilizado en determinado tramo de la conducción del gas.

Estas plantas, están provista de una tubería de fondo para la extracción del lodo digerido. Es importante que esta extracción se efectúe dos veces a la semana y,

preferente, en el horario de la mañana, antes de utilizar el gas que se almacena, para garantizar la mayor presión posible y facilitar la extracción del lodo.

Esta operación deberá realizarse de manera instantánea permitir la extracción del lodo digerido y evitar pérdida de presión.

No existe recomendación exacta sobre la periodicidad con que se deben realizar las labores de mantenimiento a los digestores de biogás, debido a que dependen de las condiciones específicas de cada lugar.

1. Se deben controlar las uniones, empalmes y presillas con agua jabonosa para detectar salideros.
2. Eliminación de la nata o sobrenadante. La frecuencia con que se realiza esta operación depende del cuidado al introducir en el digestor la excreta libre de pajas, fibras, así como la calidad de la mezcla que se logre. Se hará siempre que se compruebe que se pueda afectar la producción de biogás, por formación de la costra. Para atenuar este problema es recomendable cerrar la válvula del digestor y dejar que alcance su presión máxima y trabaje burbujeando durante 15-20 minutos, como mínimo.
3. En todas las plantas se deben prever trampas para eliminar el ácido sulfhídrico (H₂S). Estas deben limpiarse de manera que se drene el condensado allí acumulado
4. Eliminación periódica de excretas secas que se crean en el tanque de compensación, que dificulta el movimiento del efluente. Si esta operación por problemas estéticos y de higiene se realiza todos los días, el tiempo que hay que dedicarle a puede ser despreciable.
5. Chequear cada tres meses el estado de la manguera flexible que une la cocina con el resto de la instalación, y sustituirla en caso que sea necesario. De la misma forma y con igual frecuencia, chequear los aditamentos de la cocina.

Como parte del Programa de Gestión Ambiental que contempla acciones que tributan al de Bioseguridad, la empresa podrá contar con instalaciones seguras, mantener vigilancia epizootiológica, garantizar la calidad ambiental, alimentación y suministro de agua, profilaxis según las crías, tratamiento de los residuales y protección del medio ambiente, así como calificación, formación e información del personal que labora en las actividades agropecuarias.

El elemento más importante lo constituye sin duda el estricto cumplimiento de las técnicas y prácticas establecidas, para lo cual, la capacitación, entrenamiento y procedimientos de los trabajadores agropecuarios, juegan un papel fundamental.

Otro aspecto importante incluye los equipos de protección que impiden la contaminación del ambiente laboral y exposición de trabajadores a riesgos durante el desarrollo de las actividades agropecuarias.

También se consideró importante en el diseño de las instalaciones que se debe tener en cuenta un conjunto de medidas técnico ingenieras direccionadas a impedir la diseminación de agentes fuera de las instalaciones donde son manipulados, las mismas son tan complejas como peligrosos.

El diseño incluye barreras de contención, paredes, pisos, puertas y techos, así como sistemas de ventilación especiales que garanticen la descontaminación del aire expulsado y sistemas de tratamiento de desechos líquidos y sólidos, entre otros.

4. CONCLUSIONES

1. Con la aplicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en los centros pecuarios de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Villa Clara, se logró prevenir la contaminación, minimizar riesgos biológicos, mejorar la disposición final de efluentes al suelo para aumentar la producción de plantas cultivadas.
2. El uso del biogás proporcionó combustible para suplir las necesidades energéticas de la infraestructura hidráulica (casa de explotación), lo que incrementó la producción de energía renovable (calor y electricidad) de bajo costo.
3. Mediante el ajuste de las condiciones de operación se definieron los parámetros óptimos de pH y temperatura que permitieron estabilizar el crecimiento de bacterias y monitorear las sustancias tóxicas que afectan el proceso, así como las condiciones de seguridad biológica tanto para las crías, infraestructuras y personal que labora en las instalaciones.
4. A través de la reducción de organismos patógenos, durante el proceso de biodigestión se mejoraron las condiciones higiénicas sanitarias de las casas de explotación y unidades de producción.

REFERENCIAS

- ANPP, Asamblea Nacional del Poder Popular., Ley 81 del Medio ambiente, La Habana, Cuba, Gaceta Oficial de la República de Cuba, 1997.
- Clesceri, L., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, USA, 1998, pp. 1-1220.
- Davis, M. L., Cornwell, D.A., Introduction to Environmental Engineering-, McGraw Hill, Series in Water Resources and Environmental Engineering, 1998, pp. 1-919.
- Decreto - Ley 190, Consejo de Estado de la Seguridad biológica., La Habana, Cuba, Gaceta Oficial de la República de Cuba, 1999.
- Hilbert, J., La digestión anaeróbica., 2014, pp. 1-6. Disponible en: http://www.clubderoma.org.ar/documentos/Biogas_Hilbert.pdf
- Mancillas-Salas, S., Bioestimulación de la digestión anaerobia., AQM Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila, Vol. 4, No. 8, 2012, pp. 56-62. Disponible en: <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/Documentos/AQM/AQM8/6.pdf>
- NC 27., Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado., Especificaciones, 2 ed., 2012.
- RWL Water, Tratamiento anaeróbico de aguas residuales, 2015. Disponible en: <https://www.rwlwater.com/digestion-anaerobica?lang=es>
- Valdés, L.A., Ciclo cerrado en sistemas de producción porcina con la utilización de la tecnología del biogás., Revista Computarizada de Producción Porcina, Vol. 21, No.4, 2014, pp.188-193.
- Valdés, L.A., La producción porcina no especializada en la provincia cubana de Ciego de Ávila y su incidencia sobre los recursos naturales., Vías de compatibilidad., Revista Computarizada de Producción Porcina, Vol. 22, No. 1, 2015, pp.58-62.