

Potencial de biodigestores para el tratamiento de efluentes orgánicos en el ámbito rural

Potential of biodigesters for the treatment of organic effluents in rural areas

Federico Vargas Lehner^{1*}, ¹

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Ruta Mcal. Estigarribia km. 10,5, C.P.2160, San Lorenzo, Central, Paraguay. Tel +595 21 585606 * fvargaslehner@gmail.com

Recibido: 18.02.2016

Aceptado: 25.03.2016

Resumen: El agua es un elemento esencial para la vida y uno de los recursos naturales más valiosos, es por ello, que hoy día, la utilización racional del agua es una preocupación a nivel mundial; a pesar de ello, este recurso, es cada vez más escaso, ya que tanto a nivel de las comunidades rurales como de las urbanas se consume en grandes cantidades y solo un bajo porcentaje es tratado. En Paraguay, en el ámbito rural, se acuerdo a datos de la Encuesta Permanente de Hogares del 2013, 29,7% de las viviendas posee pozo ciego (absorbente) y el 24% pozo ciego con cámara séptica; sin embargo a estos sistemas solo están conectados para el tratamiento de las aguas negras generadas en el baño; las demás aguas no reciben ningún tipo de tratamiento. Los aspectos básicos que deben ser considerados cuando se analiza la contaminación del agua por descarga de las aguas residuales domésticas: el primero se refiere a la concentración del grupo coliforme que refleja el riesgo relativo de infección; el segundo alude a la calidad física y química del agua, en especial lo relacionado con el contenido de materia orgánica en solución, suspensión o en estado coloidal, la presencia de grasas o aceites, de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo y de sustancias tóxicas como los metales pesados; y el tercero se refiere a los objetivos de calidad del agua en función de sus usos, entre los cuales se puede citar el uso humano, el doméstico, la preservación de la flora y fauna, el agrícola y el recreativo. Los biodigestores son sistemas naturales que aprovechan la digestión anaeróbica para la generación de biogás y fertilizantes; su utilización no solo está limitado al tratamiento de aguas residuales, sino también, puede ser alimentado con el estiércol generado por los animales, con esto se elimina estas pilas de estiércol reduciendo los focos de infección, malos olores y moscas, además de disminuir la contaminación de los

recursos hídricos. Esta investigación tiene por objeto diseñar un biodigestor que permita el tratamiento de los efluentes generados en las viviendas rurales, para ello utiliza la metodología sugerida por Martí (2008). Considerando los datos proporcionados por la EPH (2013) en promedio, las viviendas en el área rural, cuentan con 4 habitantes y con dos bovinos. Con el propósito de poder tratar todos los efluentes generados se recomienda la implementación de dos biodigestores, uno de 1,5 m³ para el tratamiento de las heces y otro de 2,8 m³ para el tratamiento de otros tipos de materia orgánica (estiércoles, hojarasca, etc.).

Palabras claves: aguas residuales, digestión anaeróbica, tratamiento

Abstract : Water is essential for life and one of the most valuable natural resources, therefore, today, the rational use of water is a concern worldwide; However, this resource is increasingly scarce, since is consumed in large quantities in both rural and urban communities and only a low percentage is treated. In Paraguay, in rural areas, according to data of the permanent survey of households 2013, 29.7% of dwellings has cesspit (absorbent) and 24% with septic cesspool; however these single systems are connected to the treatment of the sewage generated in the bathroom; other waters do not receive any treatment. The basic aspects that must be considered when the water pollution is analyzed by discharge of domestic sewage: the first refers to the concentration of the coliform group that reflects the relative risk of infection; the second refers to the physical and chemical water quality, especially related to the content of organic matter in solution, suspension or in colloidal State, the presence of fats or oils, nutrients such as nitrogen and phosphorus and toxic substances such as heavy metals; and the third refers to the goals of water quality based on their applications, among which one can quote the human use, the domestic, the preservation of flora and fauna, the agricultural and the recreation. The bio-digesters are natural systems that take advantage of anaerobic digestion for the generation of biogas and fertilizers; its use is not only limited to the treatment of wastewater, but also, it can be fed with manure generated by animals, this eliminates these piles of manure by reducing outbreaks of infection, odors and flies, in addition to reducing the pollution of water resources. This research aims to design a biodigester that allows the treatment of effluents generated in rural households, this uses the methodology suggested by Martí (2008). Whereas the data provided by the EPH (2013) on average, homes in the rural area, have 4 inhabitants and two cattle. In order to be able to treat all effluent generated is recommended the implementation of two bio-digesters, one of 1.5 m³ for the treatment of Lee and another of 2.8 m³ for the treatment of other types of organic matter (manure, leaves, etc.).

Keywords: Wastewater treatment, anaerobic digestion

Introducción

La protección de la salud pública y la preservación del ambiente son los objetivos más importantes del tratamiento de los residuos, tanto los líquidos como los sólidos. El agua es un elemento esencial para la vida y uno de los recursos naturales más valiosos, es por ello, que hoy día, la utilización racional del agua es una preocupación a nivel mundial; a pesar de ello, este recurso, es cada vez más escaso, ya que tanto a nivel de las comunidades rurales como de las urbanas se consume en grandes cantidades y solo un bajo porcentaje es tratado [1].

La contaminación de los cuerpos de agua puede originar problemas de salud pública al aumentar el riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas, problemas estéticos al alterar el aspecto agradable y natural del paisaje, problemas ambientales al comprometer la supervivencia de la biota presente, el bienestar de la población y los usos recreativos y deportivos; además, la contaminación demanda un mayor consumo de insumos químicos en las plantas de potabilización o de uso industrial [2].

Considerando la gran necesidad existente en América Latina de infraestructura de Saneamiento y con la escasez de recursos financieros existentes las opciones tecnológicas debería cumplir con estos objetivos: se debe considerar el manejo requerido de los sub productos generados por el sistema de tratamiento; limitar las necesidades de insumos; minimizar los residuos generados; cumplir con la calidad específica de descarga; e incorporar a la población en la toma de decisiones [3].

Hoy día se han desarrollado numerosas alternativas en cuanto al manejo adecuado y gestión de los recursos hídricos, pero estos esfuerzos aún son incipientes, ya que la contaminación del agua es uno de los problemas ambientales más graves. Los principales contaminantes del agua son los efluentes de origen urbano y rural con una alta carga de materia orgánica; la descarga de estos efluentes y la contaminación de los recursos hídricos es una de las principales fuentes de enfermedades como el cólera, la hepatitis y la tifoidea, debido a que posee características que permiten la proliferación de diversos mecanismos [4].

En América Latina y el Caribe la mayor parte de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales son del tipo de lagunas de estabilización y lodos activados, ambos sistemas aerobios. En varios países de la región (Argentina, Bolivia, Chile, Costa Rica, Ecuador, Nicaragua, Paraguay, Perú y República

Dominicana) el 63% de los sistemas de tratamiento corresponde a las lagunas de estabilización [3].

Hoy día, Paraguay, sigue ocupando el último lugar en América Latina, en cuanto a cobertura de alcantarillado sanitario. Según datos de la Encuesta Permanente de Hogares del 2013, solo el 10% de la población cuentan con este servicio; si analizamos el medio rural, el 41% de las viviendas no cuenta con ningún tipo de tratamiento, el 29% cuenta con pozo ciego y el 25% cuenta con el sistema combinado [5].

Debido a que muchas de las soluciones tecnológicas para el tratamiento de aguas han demostrado sus limitaciones en América Latina, principalmente debido a los montos elevados de inversión y operación, además de aumentar la dependencia tecnológica, surge la necesidad de desarrollar ideas innovadoras que surjan a partir de un profundo conocimiento de la problemática específica [3].

Es a partir de estas premisas que esta investigación tiene por objeto el de diseñar un biodigestor que permita el tratamiento de los efluentes generados en las viviendas rurales; para ellos se pretende determinar el volumen de aguas negras y materia orgánica generado y dimensionar el sistema de tratamiento anaeróbico y sus piletas correspondientes.

La remoción de la materia orgánica es de gran importancia sanitaria, ya que su aumento en cuerpos de agua (especialmente lagos y lagunas), genera el fenómeno de eutrofización. La eutrofización consiste en un enriquecimiento excesivo de los elementos nutritivos del agua, que da lugar a una serie de cambios sistemáticos indeseables, entre ellos la producción perjudicial de algas y otras plantas acuáticas, el deterioro de la calidad de agua, la aparición de malos olores y sabores desagradables y la muerte de peces en el cuerpo de agua. La floración excesiva de algas y plantas acuáticas es un fenómeno visible que puede complicar considerablemente la utilización y la calidad estética de las masas de agua [6]. La remoción de estos nutrientes es uno de los principales objetivos del tratamiento de las aguas residuales y para ello se utiliza, en la mayoría de los casos procesos biológicos [7].

La digestión anaeróbica es un proceso microbiológico fermentativo en donde la materia orgánica es transformada en biomasa y compuestos orgánicos, la mayoría volátiles, en ausencia de oxígeno. Este proceso corresponde al ciclo anaeróbico del carbono en donde, mediante una serie de acciones combinadas, diferentes grupos de bacterias utilizan la materia orgánica para alimentarse y reproducirse [8; 9; 10]. Este grupo de bacterias generan una importante cantidad de metano

(CH₄), anhídrido carbónico (CO₂); y trazas de nitrógeno (N₂), hidrógeno (H₂) y ácido sulfhídrico (SH₂) [8].

El tratamiento por medio de la digestión anaeróbica deben ser utilizados cuando las aguas residuales contienen un alto contenido de materia orgánica y las temperaturas ambientales son cálidas. Los principales aspectos que deben ser considerados son la presencia de sustancias potencialmente tóxicas, variaciones de caudal, concentraciones de inorgánicos y variaciones estacionales de carga [10].

Los diferentes grupos de bacterias que realizan los procesos de la digestión anaeróbica pertenecen a los grupos de bacterias facultativas y anaerobias estrictas, las cuales utilizan de manera secuencial los productos metabólicos generados por cada uno de ellos. Los grupos de bacterias intervinientes el proceso de digestión anaeróbica son las hidrolíticas y fermentativas, las acetogénicas y las metanogénicas [11]. De una forma sencilla se puede afirmar que son cuatro las etapas que ocurren en el proceso de degradación anaeróbica: Hidrólisis, Acidogénesis, Acetogénesis y Metanogénesis [11; 12; 13].

El proceso inicia con la acción de enzimas, producidas por las bacterias hidrolíticas, sobre los polisacáridos, proteínas y lípidos transformándolos en moléculas de bajo peso; luego son fermentados a ácidos grasos con bajo número de carbonos, así como compuestos reducidos como el etanol, además de H₂ y CO₂. Estas sustancias luego son transformadas a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por las bacterias acetogénicas. Por último, las bacterias metanogénicas, convierten el acetato a metano o reducen el CO₂ a metano [7; 12; 13; 14; 15; 16; 17]

Entre los principales aspectos que pueden influir en los procesos anaerobios se encuentra el pH, ya que las bacterias metanogénicas prefieren un medio neutro, con un rango de entre 6.5 a 7.5; otro de los aspectos que deben ser considerados es la relación de carbono nitrógeno (C/N) que constituyen la principal fuente de alimento de las bacterias formadoras de metano, la relación óptima debe de estar alrededor de los 30 [10]. La temperatura es uno de los parámetros más importantes debido a que este factor establece el tiempo de retención, el tamaño del reactor, la producción de biogás y determina los niveles de las reacciones químicas y biológicas; existen dos rangos de temperaturas óptimas para la ocurrencia de las reacciones, las bacterias mesofílicas prefieren un rango de entre 10 °C a 37 °C y las termófilas de entre 55 a 60 °C, los más recomendado, para una trabajo óptimo de las bacterias, es mantener las temperaturas en forma constante [8, 18].

La digestión anaerobia es un proceso eficiente para la remoción de materia orgánica, pero tiene poco efecto sobre la concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo), y sobre la remoción de patógenos es apenas parcial. Dependiendo de la disposición final del efluente y de la legislación local sobre la calidad mínima de vertimientos, puede existir la necesidad de postratamientos para remover la concentración residual de la materia orgánica y de sólidos suspendidos, y para reducir la concentración de nutrientes y patógenos. Los recursos tecnológicos más utilizados incluyen procesos biológicos como Lodos Activados, Filtros Percoladores, Lagunas de Oxidación, Humedales y Plantas Acuáticas; también pueden ser utilizados procesos físicos, químicos o fisicoquímicos como Filtración en Arena, Desinfección y Floculación-Coagulación [19]

Hoy día se considera que los mejores procesos de tratamiento para las aguas residuales son aquellos en donde se combinan los sistemas anaerobios con aerobios [3]. El efluente generado por los reactores anaerobios debe de ser conducido primeramente a una pileta de sedimentación para separar los sólidos, luego el líquido resultante es conducido a una pileta de descontaminación, donde pueden darse reacciones aerobias o ser tratados por medio de fitodepuración [21]. El tratamiento de aguas residuales por medio de plantas acuáticas o biofiltros se ha constituido en una opción válida en los últimos años; este sistema puede ser combinado con biodigestores para el tratamiento de aguas residuales con una elevada carga orgánica. Entre las especies acuáticas que más se han utilizado son Lemna (*Lemna* spp), azolla (*Azolla* spp) y Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) en sistemas de recirculación de nutrientes a través de su cultivo en estanques cargados con efluentes provenientes de biodigestores anaeróbicos, en lagunas, o simplemente colectadas en su medio natural [6; 21].

De acuerdo a investigaciones realizadas en Nicaragua la utilización de los biofiltros permite una remoción de hasta el 90% de la materia orgánica y sólidos suspendidos [22].

Cuadro 1. Promedio de los análisis efectuados en la planta piloto de Masaya [22]

Parámetro	Afluente	Salida	% de remoción
DBQ5 (mg/l)	270	8	97,4
DQO (mg/l)	653	46	94,5
N-total (mg/l)	34	27	34,5
Fósforo total (mg/l)	6.1	4,7	26,6
Sólidos suspendidos (mg/l)	253	6	97,2
E. Coli (NMP/100 ml)	1.6E+07	1,3E+05	99,52

Metodología

La investigación será del tipo exploratoria con enfoque cuantitativo. La unidad de análisis está constituida por la vivienda rural tipo, que de acuerdo a datos de la Encuesta Permanentes de Hogares cuenta con 4 habitantes [23] y en promedio dos cabezas de ganado vacuno (en su mayoría lecheras), 3 porcinos y 32 gallináceas [23; 24]

Las variables e indicadores ha ser analizados se exponen en el cuadro 2.

Cuadro 2. Variables analizadas

Objetivo	Variable	Indicador
Diseñar un biodigestor que permita el tratamiento de los efluentes generados en las viviendas rurales	Dimensiones del biodigestor	Tiempo de retención Carga diaria Volumen
	Dimensiones del biofiltro	Producción de efluentes del sistema Tiempo de retención

Para determinar el volumen del biodigestor se calculó la tasa de carga diaria en donde el volumen líquido de un biodigestor es igual al tiempo de retención multiplicado por la tasa de carga diaria. El tiempo de retención para zonas sub tropicales es de 30 días. A partir del volumen líquido se determinó el volumen gaseoso y total; se establece que el 75% del volumen total corresponde al líquido y el 25% al gaseoso [25].

La tasa de carga diaria se determinó a partir de la producción diaria de estiércoles generada por los animales y las personas que residen en las viviendas.

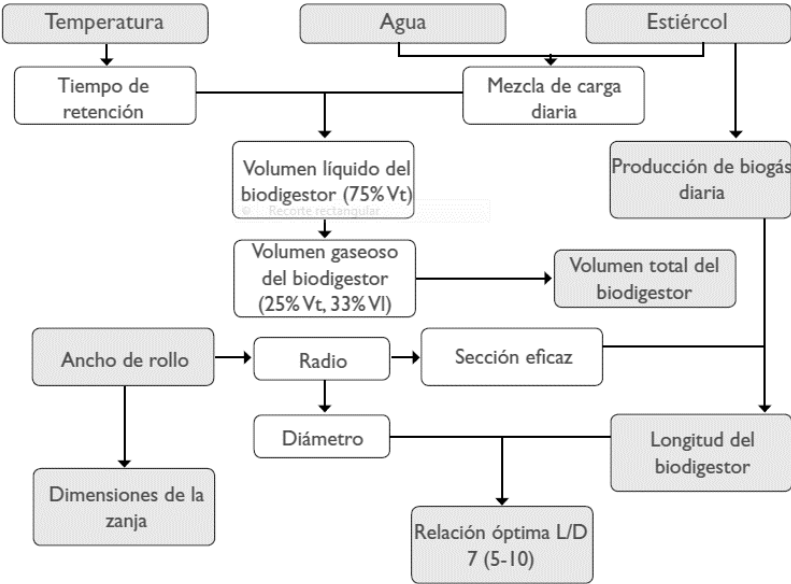


Figura 1. Esquema del diseño de un biodigestor [25]

Para el dimensionamiento de los estanques para biofiltro se considerará el tiempo de retención hidráulico y el caudal de las aguas ha ser tratadas [6].

Resultados

El primer paso para el diseño del sistema de tratamiento consiste en el dimensionamiento de los biodigestores, para ello se debe de determinar el volumen, que depende de la producción de materia orgánica a partir de las excretas, y el tiempo de retención hidráulico que depende de la temperatura promedio.

Para el tratamiento de las heces humanas se sugiere un tratamiento diferenciado al de las demás excretas debido al peligro de la presencia de Coliformes fecales. Además se debe evitar que lleguen al biodigestor las aguas provenientes del

lavado de manos y de las duchas porque podría inhibir el proceso de biodigestión [25].

El biodigestor para las excretas que no provengan del baño será del tipo Taiwán o tubular, este biodigestor es de bajo costo y flujo continuo, hecho en geomenbrana de alta resistencia [21]. La entrada y salida de los efluentes se da a través de caños de PVC y la salida del biogás se da a través de conexiones plásticas en forma directa y manteniendo el sistema bajo la misma presión (entre 8 y 13 cm. de altura para la columna de agua). Esta presión se logra a con la colocación de una válvula de seguridad construida a partir de una botella plástica [25; 26].

La tasa de carga diaria para este biodigestor está dada por la cantidad de animales existentes en finca, considerando los datos proveídos por el Censo Agrícola Nacional y la cantidad de estiércol generado por kg de animal, se obtiene un total de 60 kg por día (Cuadro 3); es importante aclarar que del estiércol generado por el ganado vacuno solo es aprovechable, de manera aproximada, el 25% debido a que parte se pierde mientras pastorea [25]. Por lo tanto la cantidad de estiércol disponible para el primer biodigestor es de 24 kg.

Cuadro 3. Cantidad de estiércol animal generado

Cantidad de animales	Especie de ganado	Kg de estiércol fresco producido por cada 100 kg de peso del animal	Peso del animal	Total producido
2	Vacuno	8	300	48
3	Porcino	4	100	12

A partir de la cantidad de estiércol disponible se puede determinar la tasa de carga diaria; para ello se debe calcular la cantidad de agua necesaria, considerando la recomendación de la mayoría de los autores, se utiliza una proporción de tres litros de agua por cada kg de estiércol, con lo que la tasa de carga diaria sería de 72 litros por día.

La temperatura media en Paraguay es de 22 °C por lo que el tiempo de retención aproximado, necesario para que las bacterias digieran toda la materia orgánica, es de 30 días.

Con esto tenemos los dos datos necesarios para determinar el volumen líquido del biodigestor que son una tasa de carga diaria de 72 litros y un tiempo de retención de 30 días, por ende el volumen líquido es de 2.160 litros, que representa el 75% del volumen total. El volumen total del biodigestor debe de ser de 2.880 litros y el volumen gaseoso, 25% del total, es de 720 litros.

En cuanto al biodigestor para el tratamiento de las aguas negras generadas en el baño, se considera la presencia en las viviendas de dos adultos y dos niños, que generan, de manera aproximada, una tasa de carga diaria de 1,4 kg de heces y 15,6 litros de agua. Considerando la importancia de una correcta eliminación de los posibles patógenos presentes en las heces humanas el tiempo de retención recomendado es el doble (en este caso se recomienda 70 días), por lo que el volumen líquido del biodigestor sería de 1.190 litros; totalizando un volumen de 1.587 litros y un volumen gaseoso de 397 litros; para lograr una correcta eliminación de los patógenos y el tratamiento del efluente se plantea la utilización de un sistema de tres biodigestores de polietileno rígido de 500 litros en lotes.

Los efluentes generados por los biodigestores, considerando que son del tipo flujo continuo, sería de 89 litros por día, de esto podrían ser utilizados para la fertilización de cultivos los generados por el primer biodigestor.

Para determinar el volumen de la pileta de biofiltro se debe considerar el caudal de carga, que en este caso corresponde a los efluentes generados por ambos biodigestores, y el tiempo de retención recomendado. El tipo de biofiltro a ser empleado es uno de flujo horizontal que consiste en un humedal artificial de flujo subterráneo [22].

El tiempo de retención necesario para lograr la remoción de Coliformes fecales es de unos 8 días [22]. Con ello tenemos que, con una carga diaria de 89 litros por día y el tiempo de retención mencionado el volumen del biofiltro debe de ser de 1 m³; considerando que la profundidad máxima es de 1 m, el área que ocuparía sería de 1 m².

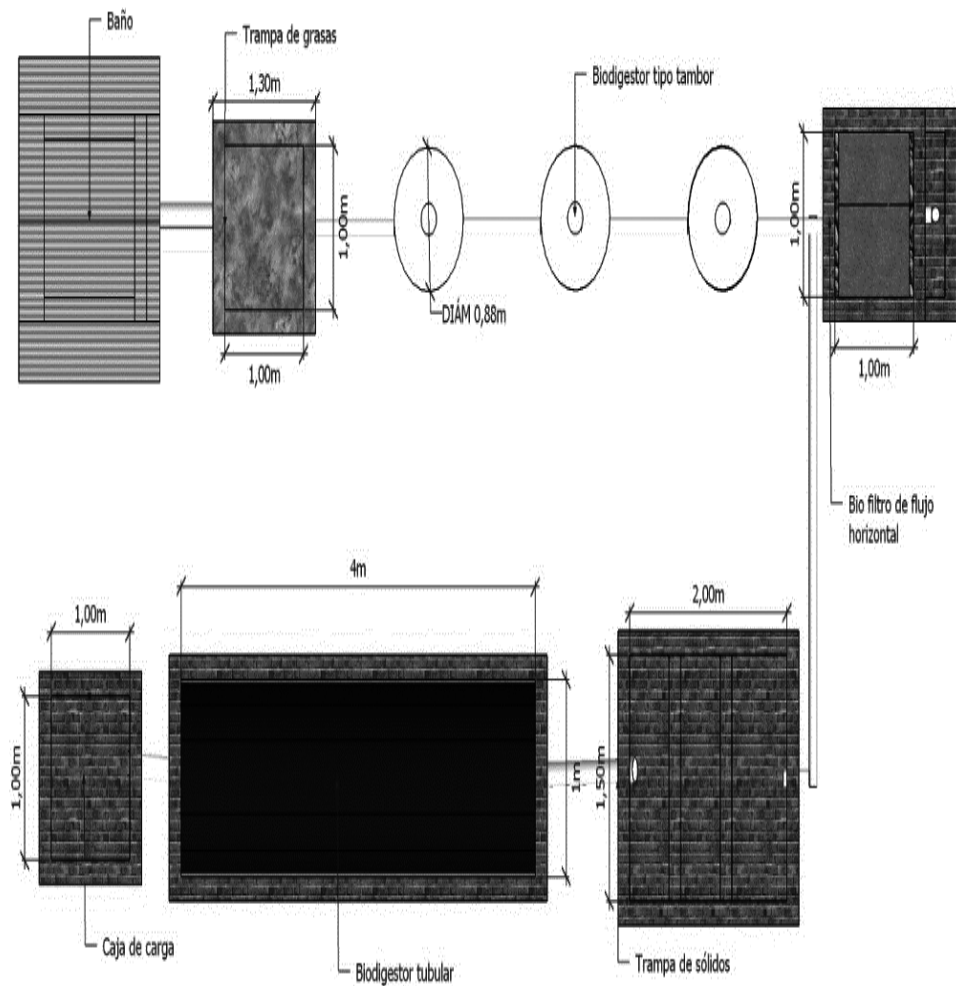


Figura 2. Sistema de tratamiento para viviendas rurales

Conclusiones

El sistema de tratamiento recomendado para áreas rurales estaría compuesto por cuatro biodigestores; uno de 2,8 m³ para el tratamiento de los estiércoles de origen animal y tres de 0,5 m³ para el tratamiento de las heces humanas.

El primer biodigestor sería del tipo tubular o Taiwán con flujo continuo, de bajo costo y hechos en geomembrana de alta resistencia; los tres restantes serían del tipo tambores hechos en polietileno rígido colocados en lotes.

Para la correcta disposición de los efluentes generados por ambos biodigestores se recomienda la utilización de una pileta de biofiltro de flujo horizontal de 1m³. Este sistema tendrá la capacidad de tratar 89 litros diarios de efluentes con una capacidad teórica de 90 de la materia orgánica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Gijzen, H.** (2001). Low cost wastewater treatment and potentials for reuse. A cleaner production approach to wastewater management. *Curso internacional de sistemas integrados sostenibles* (pág. 16). Cali: International Institute for Hydraulic, Infrastructural and Environmental Engineering.
- [2] **Opazo, U.** (1993). *Ingeniería sanitaria: aplicada al saneamiento y salud pública*. México: Limusa.
- [3] **Noyola, A.** (2003). Tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Latinoamérica. *Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales*. Cartagena. Recuperado el 11 de Junio de 2015, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/noyo.pdf>
- [4] **Crites, R., & Tchobanoglous, G.** (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Bogotá: McGraw-Hill.

- [5] **Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censos.** (2014). *Principales Resultados EPH 2013*. Fernando de la Mora, Paraguay: Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censos.
- [6] **Garcia, Z.** (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- [7] **Rodríguez, J.** (2003). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales*. Cali: Universidad del Valle. Recuperado el 2 de Junio de 2015, de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>
- [8] **Groppelli, E., & Giampaoli, O.** (2012). *Biodigestores: una propuesta sustentables*. Santa Fé: Universidad Nacional del Litoral.
- [9] **Márquez, M., & Martínez, S.** (2011). *Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología*. México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- [10] **Bermúdez, R., Rodríguez, S., Martínez, M., & Terry, A.** (2011). *Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás*. Santiago de Cuba: Universidad de Oriente.
- [11] **Torres, P., & Pérez, A.** (2010). Actividad metanogénica específica: una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. *EIDENAR*(9), 5-15. Obtenido de <http://revistaeidenar.univalle.edu.co/revista/ejemplares/9.htm>
- [12] **Ortega, N.** (2006). *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*. Boca Raton, EE.UU: Dissertation.com.
- [13] **Mosquera, J., & Martínez, B.** (2012). *Evaluación de la digestión anaerobia como alternativa de estabilización de biosólidos producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- [14] **Tsagarakis, K., & Papadogiannis, C.** (2006). Technical and economic evaluation of the biogas utilization for energy production at Iraklio Municipality, Greece. *Energy Conversion and Management*, 47(7-8), 844-857.
- [15] **Caicedo, F.** (2006). *Diseño, construcción y arranque de un reactor U.A.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

- [16] **Hilbert, J.** (2010). *Manual para la producción de biogás*. Buenos Aires: INTA.
- [17] **Díaz-Báez, M., Espitia, S., & Molina, F.** (2002). *Digestión anaeróbica: una aproximación a la tecnología*. UNIBIBLOS.
- [18] **Groppelli, E., & Giampaoli, O.** (2001). *El camino de la biodigestión: Ambiente y tecnología socialmente apropiada*. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral.
- [19] **Van Haandel, A., & Lettinga, G.** (1994). *Tratamiento anaeróbico de esgotos : un manual para regiões de clima quente*. Campina Grande: EPGRAF.
- [20] **Botero, R.** (2011). El biodigestor de bajo costo, su aporte a la mitigación del cambio climático y su potencial para reducir la pobreza rural en América Latina y el Caribe. *UTN Informa*, 60-65.
- [21] **Water and Sanitation Program.** (2006). *Biofiltro: una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeña escala*. Tegucigalpa: COSUDE
- [22] **Dirección de Censo y Estadísticas Agropecuarias.** (2009). *Censo Agropecuario Nacional 2008*. San Lorenzo: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- [23] **Almada, F., & Barril, A.** (2007). *La agricultura familiar en los países del cono sur*. Asunción: IICA.
- [24] **Marti, J.** (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. La Paz, Bolivia: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - GIZ.
- [25] **Botero, R., & Preston, T.** (1987). *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas*. Cali: CIPAV.
- [26] **Huerga, I., & Venturelli, L.** (2009). *Energías renovables: su implementación en la agricultura familiar de la República Argentina*. Recuperado el 12 de Marzo de 2014, de INTA: file:///C:/Users/user/Downloads/energias_renovables.pdf.