



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN  
DE INGENIEROS EN LA  
ERA DIGITAL



# IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR DE BAJO COSTO PARA LA PORCICULTURA SOSTENIBLE EN LA RESERVA FORESTAL EL VERJÓN

**Laura Alejandra Chacón Vargas,  
Jorge Andrés Forero Fajardo, Juan  
Sebastián Sánchez Gómez, Luis  
Humberto Reyes Barrios**

**Universidad de los Andes  
Bogotá, Colombia**

**Juan Manuel Fajardo Pinilla**

**Universidad Minuto de Dios  
Bogotá, Colombia**

## Resumen

La porcicultura es uno de los sectores más productivos de la economía colombiana, la cual enfrenta desafíos de calidad y salud, debido al impacto ambiental generado por el manejo inadecuado de los residuos producidos por la porquinaza que contamina los cuerpos de agua, suelo y aire. Esta es la actividad productiva de los habitantes de la Reserva Forestal El Verjón, que han apoyado el desarrollo de una solución sostenible y amigable con la función ecológica de este territorio. Durante 2018 se diseñó un biodigestor de bajo costo con materiales reciclados y de fácil acceso para la comunidad, y en 2019 se desarrollará la implementación del biodigestor en clima frío para transformar la porquinaza en abono (sólidos) para la mejora de suelos, biogás para uso doméstico y biol (líquidos) para regar plantas. Estos productos de uso doméstico se obtendrán luego de diferentes procesos que permitan su uso sin afectar la salud de la comunidad y el ecosistema de la Reserva. La implementación tendrá dos fases, una primera fase que desarrollará el piloto para consolidar el correcto funcionamiento del biodigestor durante el primer semestre de 2019 y una segunda fase durante el segundo semestre de 2019 que analizará el carbono orgánico y permitirá obtener bioabono, biogás y biol. En esta primera fase de la implementación, se solucionaron los errores de diseño del biodigestor respecto a la adecuada medición de las variables de temperatura, presión y pH que permitieron establecer el funcionamiento estable del sistema para la generación de los productos propuestos para el uso doméstico en la segunda fase de implementación. Este proyecto será un trabajo multidisciplinario de investigadores de la Universidad de los Andes y la Universidad Minuto de Dios que capacitará a la comunidad del Verjón en la gestión sostenible de

los residuos y su aprovechamiento ecológico.

**Palabras clave:** biodigestor; porcicultura; ingeniería sostenible

### **Abstract**

*Pig farming is one of the most productive sectors of the Colombian economy, which faces quality and health challenges, due to the environmental impact generated by the inadequate management of the waste produced by the swine manure that contaminates the bodies of water, soil and air. This is the productive activity of the habitants of the Verjón Forest Reserve, who have supported the development of a sustainable and friendly solution with the ecological function of this territory. During 2018 a low-cost biodigester was designed with recycled and easy access materials for the community, and in 2019 the implementation of the biodigester in cold weather will be developed to transform the swine manure into fertilizer (solids) for the improvement of soils, biogas for domestic use and biol (liquids) for watering plants. These products will be obtained after of different process that allows its use without affecting the health of the community and the ecosystem of the Reserve. The implementation will have two phases, a first phase that will develop the pilot to consolidate the correct operation of the biodigester during the first semester of 2019 and a second phase during the second semester of 2019 that will analyze the organic carbon and will allow to obtain fertilizer, biogas and biol. In this first phase of the implementation, errors in the design of the biodigester were resolved with respect to the adequate measurement of the variables of temperature, pressure and pH that allowed to establish the stable functioning of the biodigester for the generation of the products proposed for domestic use in the second phase of implementation. This project will be a multidisciplinary work of researchers from Universidad de los Andes and Universidad Minuto de Dios that will empower the community in the sustainable management of waste and its ecological use.*

**Keywords:** *biodigester; pig farming and sustainable engineering*

## **1. Introducción**

El sector porcicultor es uno de los más productivos de la economía colombiana y con el paso de los años se ha ido fortaleciendo y haciendo más competitivo en el mercado. Sin embargo, este crecimiento enfrenta enormes retos de calidad y sanidad, puesto que el impacto ambiental resulta en la contaminación continua de cuerpos de agua, suelo y aire. En la mayoría de los casos, esta contaminación es causada por el manejo inadecuado de los residuos generados por los cerdos (porquinaza), ya que hay poblaciones que no son conscientes del daño ambiental y transforman ineficientemente estos residuos en compost después de un periodo de 4 meses.

Con el fin de reducir el impacto ambiental generado por las granjas porcícolas de la Reserva El Verjón, se busca implementar un biodigestor de bajo costo que sea sustentable y de fácil uso para la comunidad, dando continuidad a la fase de diseño desarrollada en 2018 propuesta por Sánchez et al (2019). En esta fase de implementación, se pueden presentar dificultades durante la carga

relacionadas con la proporción de agua y materia orgánica, dado que dicha proporción es uno de los factores que afecta la producción de gas. Por ejemplo, un contenido insuficiente de agua en la mezcla que alimenta el biodigestor puede generar que las bacterias y otros microorganismos no presenten un entorno adecuado para que puedan sobrevivir de forma efectiva y que la producción de biogás sea pequeña. Por otro lado, si la mezcla es demasiado diluida se puede digerir poca materia orgánica y la producción de gas es limitada, puesto que la composición de materia orgánica es en su mayoría de estiércol porcino. La FAO (2011) establece que para biodigestores rurales pequeños de carga semicontinua, se recomienda una mezcla 1:3. No obstante, según Silva (2012) en algunos proyectos rurales se ha encontrado mayor rendimiento en proporciones 1:1 y 1:2. Por esta razón, en el presente proyecto se emplea una proporción de 1:2 y la producción de biogás se podrá evaluar después de implementado el proyecto, por lo que se podrá modificar en caso de que sea baja la producción.

Adicionalmente, otro problema que puede presentar el biodigestor no relacionado con la carga es la temperatura. Se conoce que la temperatura máxima promedio de la Reserva el Verjón es de 22 °C, pero como se encuentra en una zona de páramo las temperaturas pueden variar drásticamente con valores mínimos de 8 °C, lo cual puede afectar el tipo de microorganismos que crecen con mayor predominancia y el tiempo de retención requerido para la degradación microbiana como se muestra en la Tabla 1.

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psychrophilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

**Tabla 1.** Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica. Tomado de FAO (2011).

Por lo anterior, se espera que las bacterias que predominen sean las mesofílicas y por ende el tiempo de retención sea de 60 días. Sin embargo, dadas las condiciones climáticas de la zona puede haber predominancia de bacterias psicofílicas, lo que indicaría un incremento de 100 días de retención. Esto podría reducir la viabilidad del reactor, porque necesitaría un mayor tamaño, pero disminuiría los problemas de estabilidad que se presentan en los otros rangos de temperatura de operación (FAO, 2011). Finalmente, es recomendable que la mezcla sea lo más uniforme posible y no presente grumos en el tanque del digestor para promover una digestión efectiva (Gómez, 2012). Para ello, la mezcla se puede agitar en baldes con un palo, y si es necesario, disolver los grumos con las manos antes de llenar el biodigestor.

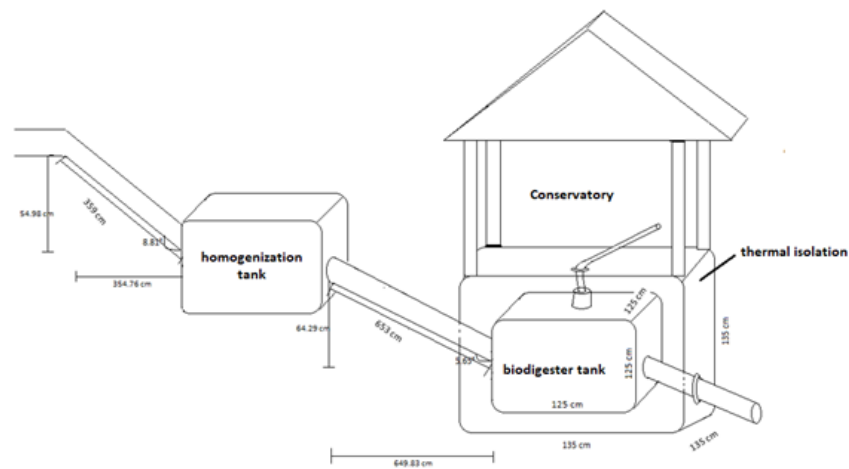
## **2. Justificación**

La explotación porcícola en la Vereda El Verjón Alto no cumple con la normativa ambiental de manejo integral de los residuos sólidos producidos dentro de las porquerizas. Esta problemática se ha podido evidenciar en las multas impuestas a la comunidad por la Corporación Autónoma Regional (CAR), como organismo de control ambiental. Por esta razón, esta investigación se ha enfocado en la implementación de un biodigestor de bajo costo y de fácil acceso para la

comunidad, que permita alcanzar un modelo de explotación económica auto sostenible, que contribuya al mejoramiento de la calidad de vida de esta población. Este proyecto pretende concientizar a la población local sobre los beneficios que trae reducir el impacto de su actividad económica sobre el ecosistema de la Reserva, a través del tratamiento y aprovechamiento de los residuos de la porcicultura.

### 3. Metodología

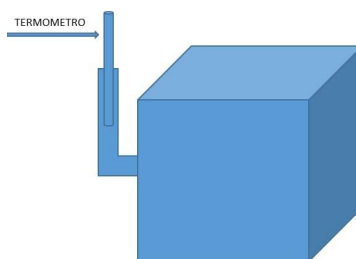
El biodigestor propuesto en la fase de diseño por Sánchez et al (2019), consiste de un isotanque sencillo en el cual solo se presentó degradación de materia orgánica a través de una reacción anaerobia con altas actividades microbianas provenientes de las concentraciones de carbono que posee el estiércol, cuyos productos deben ser sometidos a diferentes procesos para garantizar que queden libres de contaminantes. Esta primera parte de la fase de implementación, se enfocó en el correcto funcionamiento del biodigestor y en la segunda parte se enfocará en el análisis de la composición del abono orgánico obtenido al final del proceso, el cual se espera tenga una menor carga de compuestos fitotóxicos, metales pesados, carbono y amonio, así como un aumento en la concentración de humus, cenizas y ácido fúlvico (Tiquia, 2003) para así compararlo con el abono que actualmente utilizan y venden los habitantes del sector.



**Figura 1.** Diseño del biodigestor (Sánchez et al, 2019).

El biodigestor (ver Figura 1) tiene capacidad de almacenamiento de 1 metro cúbico el cual se cargó con 300 kilogramos de porquinaza generada por los cerdos del lugar y 600 litros de agua manteniendo una relación 1:2 (es decir 2 litros de agua por cada kilogramo de porquinaza). Para que el proceso se llevará a cabo satisfactoriamente se tuvo que mantener y controlar en repetidas ocasiones la temperatura del isotanque, puesto que la reacción que esperábamos ocurriera es mesofílica y las condiciones ambientales del lugar no cumplen con los parámetros requeridos que son de mínimo 11 grados centígrados. Para que el proceso se llevará a cabo satisfactoriamente y ante las bruscas variaciones de temperatura del sector, se construyó un invernadero, con poliestireno expandido cuyas propiedades físicas le permiten ser un excelente aislante térmico, y con ello se logra un mejor control de temperatura.

Adicionalmente, a partir de las características del biodigestor y las del material orgánico que fue introducido en él, se tiene en cuenta un tiempo de retención mínimo requerido para que la actividad microbiana lograra una degradación efectiva. Este tiempo fue de aproximadamente 60 días, de los cuales cada 8 días se hicieron mediciones de temperatura, pH, análisis de DQO y análisis de carbono, con el fin de tener referencias acerca de su funcionamiento con el paso de los días. A través de un tubo de toma de muestras se midió la temperatura dentro del tanque, además, con ayuda de una jeringa se extrajeron diferentes muestras de la mezcla con el fin de estudiar sus componentes en el laboratorio (ver Figura 2).



**Figura 2.** Tubo de toma de muestras. Tomado de Academia (s.f.).

Con base a las muestras obtenidas, el análisis de carbono orgánico se realizará en la segunda parte de la fase de implementación mediante el método Walkley y Black. Una cantidad determinada de muestra es tratada con un volumen conocido de oxidante dicromato de potasio 1N en un medio ácido. El exceso de oxidante se determina con una solución valorada de sulfato ferroso, y con la cantidad de oxidante consumido se calcula la cantidad de materia orgánica oxidada. Ahora bien, al finalizar los 60 días, se pesó el sólido obtenido y se tomó una muestra significativa a través del método de cuarteo, para compararla con otra muestra tomada del abono tradicional que usan en la zona. Por consiguiente, se espera que el abono tradicional tenga concentraciones más altas de nitratos, fósforo y potasio; los cuales, sumado a la presencia de microorganismos patógenos, acaban siendo contaminantes de cuerpos de agua por movimiento de escorrentía (Grisales et al, 2016).

#### 4. Resultados

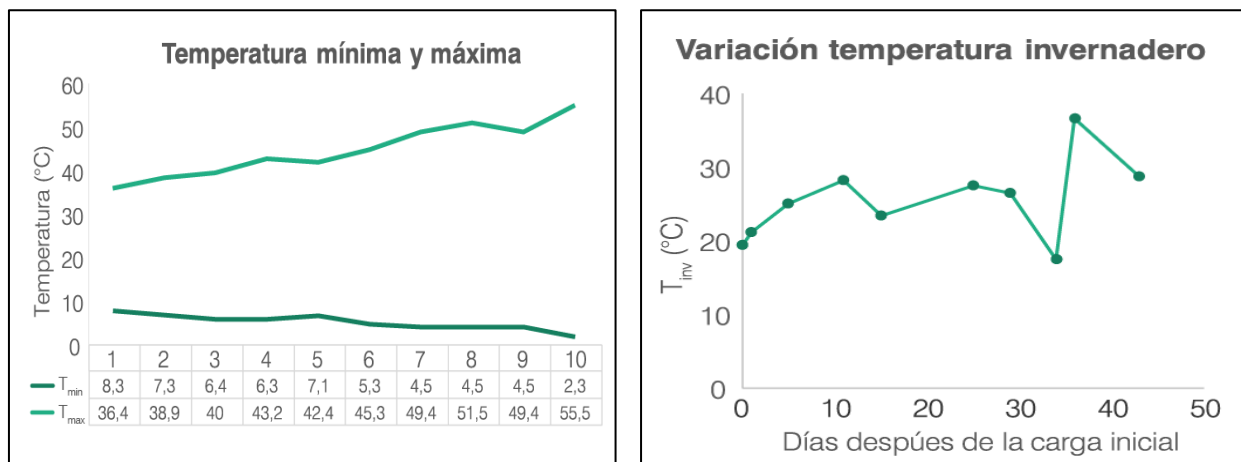
La implementación involucra dos fases, una primera fase que consiste en una prueba piloto del funcionamiento del biodigestor durante el primer semestre del año 2019 y una segunda fase de análisis de muestras durante el segundo semestre del mismo año. En esta primera parte de la implementación, la carga suministrada al isotanque está constituida por porquinaza 300 Kl – agua y purín 600 Kl, teniendo un contenido de sólidos del 10,8%, y una relación 1:2 sólido líquido, libre de contaminantes que puedan entorpecer el proceso. A partir de la carga del isotanque se efectúa el monitoreo de variables como temperatura en grados centígrados (°C), el pH y la presión en milibares (mbar) entre el día cero y el día 43 después de la carga inicial del biodigestor (ver Tabla 2).

**IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR DE BAJO COSTO PARA LA PORCICULTURA SOSTENIBLE EN LA RESERVA FORESTAL EL VERJÓN**

Días	Tinv	Tmin	Tmax	Ttank	Tsuelo	pH	Presión
0	19,5	8,3	36,4	13	14	7,1	0
1	21,3	7,3	38,9	12	13	7	0
5	25,2	6,4	40	13	14	7,2	2
11	28,3	6,3	43,2	14	14	7,3	4
15	23,5	7,1	42,4	12	11	7,2	0
25	27,6	5,3	45,3	12	13	7,4	2
29	26,6	4,5	49,4	12	14	7,6	2
34	17,6	4,5	51,5	10	11	7,4	0
36	36,7	4,5	49,4	13	14	7,3	2
43	28,9	2,3	55,5	11	11	7,1	2
Media	25,5	5,7	45,2	12,2	12,9	7,3	1,4

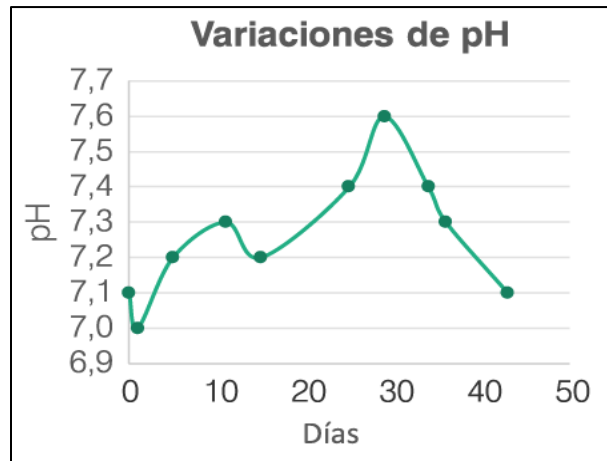
**Tabla 2.** Registro de temperatura (°C), pH y presión (mbar) del biodigestor.

Se registran las mediciones de la temperatura del interior del isotanque (Ttank), del invernadero (Tinv), del suelo (Tsuelo), y de la temperatura máxima (Tmax) y mínima (Tmin). La temperatura en el invernadero (Tinv) oscila entre 17,6 y 36,7 °C (ver Figura 3-a), la temperatura al interior del isotanque (Ttank) entre 10 y 14 °C y la temperatura del suelo (Tsuelo) entre 11 y 14 °C. En general, el sistema presentó una temperatura mínima entre 2,3 y 8,3 °C y una temperatura máxima entre 36,4 y 55,5 °C (ver Figura 3-b).



**Figura 3.** Variaciones de temperatura (a) mínima y máxima e (b) invernadero.

Las mediciones de pH presentan una medición promedio de 7,3 y oscila entre 7 y 7,6, por lo que se puede decir que la solución al interior del isotanque presenta un pH neutro (ver Figura 4).



**Figura 4.** Variaciones de pH en el isotanque.

Referente al monitoreo de presión, la determinación se volvió compleja porque se detectó una fuga en uno de los sellos, lo cual no nos permite una medición adecuada de este parámetro, por lo cual se requiere dar por finalizado este ensayo, solucionar la fuga y efectuar una nueva carga para tener un mejor control del proceso.

## 5. Conclusiones

La variación en la temperatura al interior del invernadero se mantuvo entre los 4,6°C (mínimo) y los 49,8°C (máximo). Estas variaciones de temperatura reducen la producción de gas y el proceso se puede ver retrasado al aumentar el tiempo de retención promedio, es decir 60 días para clima frío.

De acuerdo al registro de temperatura promedio al interior del isotanque (11,6°C), se obtuvo gas a bajas concentraciones, puesto que esta temperatura se encuentra dentro de los parámetros de generación de gas en procesos lentos, por lo cual se puede concluir que las fuertes variaciones de los umbrales máximos y mínimos de temperatura, no permiten mantener un incremento constante. Adicionalmente, como se observa en la temperatura promedio del suelo (12,2°C), el piso del isotanque se debe aislar de mejor manera para así poder garantizar una mayor temperatura de reacción.

En esta primera fase de implementación del biodigestor, se lograron conocer las variables medio ambientales en las que el reactor funciona y se pudo identificar y corregir algunas fallas como las fugas y otros errores de diseño. Para la segunda fase de implementación, que se desarrollará en el segundo semestre de 2019, se espera caracterizar las muestras de biol, gas y líquido que se obtendrán al completarse los 60 días de tiempo de retención en el reactor.

## 6. Referencias

- Academia (s.f.). *Determinación de materia orgánica en muestra de suelo*. Recuperado de [https://www.academia.edu/10957069/determinaci%C3%B3n\\_de\\_materia\\_organica\\_en\\_una\\_muestra\\_de\\_suelo](https://www.academia.edu/10957069/determinaci%C3%B3n_de_materia_organica_en_una_muestra_de_suelo)
- Gómez, S. (2012). *Diseño, construcción y puesta a punto de un biodigestor tubular* Carazo-Nicaragua (Tesis de pregrado). Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/30046846.pdf>
- Grisales, J., Osorio, N. & Gómez, J. (2016). *Manual de uso de la Porcinaza en la agricultura*. Universidad Nacional De Colombia, Sede Medellín.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. (2011). *Manual de Biogás*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Sánchez, J., Rodríguez, D., Obando, D., Gualdrón, N. & Fajardo, J. (2019). *Design of a low cost biodigester for sustainable pig farming in the Verjon forest reserve*. Proceedings of The IRES International Conference, Rio de Janeiro, Brazil. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/330997250\\_Design\\_of\\_a\\_low\\_cost\\_biodigester\\_for\\_a\\_sustainable\\_pig\\_farming\\_in\\_the\\_Verjon\\_forest\\_reserve](https://www.researchgate.net/publication/330997250_Design_of_a_low_cost_biodigester_for_a_sustainable_pig_farming_in_the_Verjon_forest_reserve)
- Silva, J. (2012). *Tecnología del Biogás*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>
- Tiquia, S. (2003). *Evaluation of organic matter and nutrient composition of partially decomposed and composted spent pig litter*. Journal Environmental Technology, 24, 97-107.

## Sobre los autores

- **Laura Alejandra Chacón Vargas:** Estudiante de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes.
- **Jorge Andrés Forero Fajardo:** Estudiante de Economía de la Universidad de los Andes.
- **Juan Sebastián Sánchez Gómez:** Investigador del Centro de Innovación en Tecnología y Educación (Conecta-TE) de la Universidad de los Andes. Correspondencia a [js.sanchez14@uniandes.edu.co](mailto:js.sanchez14@uniandes.edu.co)
- **Juan Manuel Fajardo Pinilla:** Profesor de la Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Minuto de Dios.
- **Luis Humberto Reyes Barrios:** Profesor del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de los Andes.

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)