

**Montaje Y Operación de un Biodigestor a Escala Real en la Finca Campoalegre del  
municipio de Victoria, Caldas**

Eduardo Garzón Valencia

Facultad De Ingeniería Y Arquitectura, Universidad Católica de Manizales

Ingeniería Ambiental

Sebastián Pacheco González

13 de agosto de 2020

## Tabla de contenido

Introducción	8
Planteamiento del problema	10
Justificación	12
Objetivos	13
Objetivo General	13
Objetivos Específicos	13
Marco de referencia	14
Marco contextual	14
Marco teórico	15
Introducción	15
Biodigestores	15
Porcicultura	20
Biogás y energías alternativas	21
Estado del arte.	23
Marco legal	26
Metodología	27
Campo, línea y área de investigación	27
Tipo y enfoque de investigación	28
Hipótesis y variable	28
Población y muestra	29
Desarrollo del trabajo: Presentación, análisis y discusión de resultados	30
Desarrollo Experimental	30
Seguimiento de pruebas	35
Diseño Del Biodigestor Tubular	36
Toma de pruebas para laboratorio	43
Resultados	53
Construcción y arranque de un biodigestor a escala real	59
Proceso de adecuación y/o mejora del Biodigestor	59
Adecuaciones del terreno y construcción de las cajas de entrada de sustrato y salida de lixiviados.	61
Construcción del reactor y Alistamiento del plástico	62

Montaje y prueba del reactor.	64
Estado de cajas y sedimentado	65
Producción de biogás	68
Segunda parte	69
Montaje de las pruebas BMP a escala banco	69
Conclusiones	75
Recomendaciones	75
Ventajas	76
Bibliografía	77
Anexos	81

### **Lista de figuras**

Figura No. 1: Vista satelital de la finca Campoalegre, Victoria, Caldas, Colombia .....	14
Figura No. 2: Reactor de flujo pistón.....	37
Figura No. 3: Ecuaciones del diseño del Biodigestor Tubular .....	37
Figura No. 4: Cálculo del tiempo de residencia desde la eficiencia. ....	38
Figura No. 5: Reemplazamiento en (1).....	38
Figura No. 6: Cálculo del tiempo de residencia .....	39
Figura No. 7: Fotos de toma de pruebas .....	42
Figura No. 8: Fotos de toma de pruebas .....	42
Figura No. 9: Pruebas tomadas para traslado al laboratorio.....	43
Figura No. 10: Preparación de botellas con pruebas.....	44
Figura No. 11: Peso de muestras con recipiente.....	45
Figura No. 12: Gráfica de medición de pH .....	47
Figura No. 13: Foto de pruebas de pH en papel .....	47
Figura No. 14: Gráfica de medición de producción de gas .....	50
Figura No. 15: Montaje prueba de desplazamiento de agua por presión de gas .....	51
Figura No. 16: Desgaste de un biodigestor que no cumple con directrices de Corpocaldas	53
Figura No. 17: Condiciones de los porcinos en Finca Campoalegre .....	58
Figura No. 18: Planos del biodigestor.....	60

Figura No. 19: Montaje del techo en esterilla de guadua.....	61
Figura No. 20: Adecuación de cajas de entrada y salida biodigestor .....	62
Figura No. 21: Aislamiento de plástico del biodigestor.....	62
Figura No. 22: Instalación de acople y plástico reforzado .....	63
Figura No. 23: Montaje y prueba del reactor .....	64
Figura No. 24: Primera caja de entrada con materia orgánica .....	65
Figura No. 25: Tanque de almacenamiento de lixiaviado.....	65
Figura No. 26: Caja de salida de biodigestor .....	67
Figura No. 27: Prueba de producción de biogás.....	68
Figura No. 28: Recipientes con pruebas .....	70
Figura No. 29:Recolección de cacao .....	72
Figura No. 30: Recolección de plumas .....	73
Figura No. 31: Muestra de suero .....	73
Figura No. 32: Carta generada por Corpocaldas al predio finca Campoalegre .....	81
Figura No. 33:Tabla de materiales construcción de biodigestor. ....	82

### **Lista de tablas**

Tabla No. 1: Estado del arte del proyecto .....	23
Tabla No. 2: Resultados del análisis de las muestras de los sustratos con humedad .....	30
Tabla No. 3: Pesos de los componentes .....	31
Tabla No. 4: Relación: Estiércol, capota de cacao, plumas y suero de leche (Codigestión 4 sustratos).....	32
Tabla No. 5: Fórmula molecular de la nueva mezcla a codigerir .....	32
Tabla No. 6: Cálculos de relación molar.....	33
Tabla No. 7: Cálculos con valor de 1000 gramos.....	33
Tabla No. 8: Fórmula química.....	34
Tabla No. 9: Cálculo del BMP .....	34
Tabla No. 10: Fórmula química.....	35
Tabla No. 11: Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	35
Tabla No. 12: Calculo del volumen de CH <sub>4</sub> .....	36

Tabla No. 13: Pruebas y variables analizadas .....	39
Tabla No. 14: Composición de las pruebas expresadas en kilogramos .....	44
Tabla No. 15: Medición de pH en las pruebas .....	46
Tabla No. 16: Medición del gas desplazamiento.....	48
Tabla No. 17: Datos de medición de gas en bomba.....	52
Tabla No. 18: Cantidad de cada suplemento consumida por los cerdos diariamente.....	55
Tabla No. 19: Producción de estiércol al día según peso de los cerdos.....	56
Tabla No. 20: Población de cerdos según edad y mes .....	57
Tabla No. 21: Nombre de pruebas y variables. ....	69
Tabla No. 22: Presupuesto de la construcción del biodigestor.....	70
Tabla No. 23: Herramientas utilizadas.....	71

## Resumen

El presente trabajo está enmarcado en la modalidad de autoría propia, permite estudiar, identificar virtudes y falencias a partir del tratamiento de aguas residuales y estudiar el potencial bioquímico del metano (BPM) del biodigestor ubicado en victoria caldas en la finca Campoalegre, para utilización como energía renovable (GAS y ELECTRICIDAD) indagando en la co-digestión con otros residuos agroindustriales producidos por la misma finca (plumas, capota de cacao, suero entre otros). Mejorando la producción de la biodegestión, producción de gas y producción de lixiviados a utilizar como abono orgánico para aprovechar en los cultivos de la misma propiedad.

En el desarrollo del trabajo se pretende realizar un proyecto piloto, en el cual se puedan estudiar diferentes variables y a futuro replicar en otras propiedades porcícolas o de cultivos; donde se genera una contaminación de las aguas por los procesos agroindustriales realizados, que pueden ser aprovechables para el cuidado del medio ambiente y las fuentes hídricas del municipio, con un tratamiento económico y viable como lo es la implementación de un biodigestor. Finalmente, el trabajo concluye mostrando los resultados de la construcción del Biodigestor en la zona propuesta, además de aportar información insumo para nuevos proyectos de esta envergadura que puedan beneficiar a más unidades agropecuarias en Colombia y en América Latina.

## **Abstract**

This work is framed in the form of self-authorship, it allows to study and identify strengths and weaknesses from wastewater treatment, and to study the biochemical potential of methane (BPM) of the biodigester located in Victoria Caldas on the Campoalegre farm, for use as renewable energy (GAS and ELECTRICITY) investigating the co-digestion with other agro-industrial waste produced by the same farm (feathers, cocoa hood, serum, among others). Improving biodegestion production, gas production and leachate production to be used as organic fertilizer to take advantage of crops on the same property.

In the development of the work, it is intended to carry out a pilot project, in which different variables can be studied and in the future replicated in other pig or crop properties. Where water contamination is obtained by the agro-industrial processes carried out and it is desired to take advantage of these for the care of the environment and the water sources of the municipality, with an economic and viable treatment such as the implementation of a biodigester. Finally, this report finishes showing the results of the construction of a Biodigester in the proposal zone, besides to give base lines to create new projects of this kind, which can improve the living conditions of even more farm unities in Colombia an Latin America.

## Introducción

Uno de los problemas que enfrentan las porcícolas o fincas productoras es la gran cantidad de residuos que generan, ya sean sólidos o líquidos. Esta situación va en crecimiento continuo de acuerdo a la demanda que generan los mercados a los que atienden estas unidades de negocio. En consecuencia, el sector agropecuario ha buscado reducir esta problemática, generando políticas y normatividades tendientes a disminuir la producción de los residuos mencionados. No obstante a ello, dichas normativas están diseñadas para grandes productores, haciendo difícil su cumplimiento por parte de las explotaciones de los productores porcícolas medianos y pequeños.

En ese orden de ideas, estas fincas pequeñas tienen menos oportunidad económica para adaptarse a tecnologías apropiadas para el aprovechamiento y disposición de sus residuos, lo que disminuiría los impactos ambientales esencialmente en fuentes hídricas. Dicha situación evidencia la necesidad de adoptar una tecnología económica y viable para el medio ambiente como lo es un biodigestor.

Esta tecnología se implementa desde hace unos años atrás, pero ha carecido de una adecuada educación frente al proceso de implementación. Esto se ve en la percepción que tienen los pequeños productores de que dicho proceso de implementación les implique costos muy altos, que podrían estar invirtiendo en el mejoramiento de la producción porcícola y agropecuaria en sus unidades. Finalmente, es común que la tecnología sea poco aceptada por las comunidades más alejadas o del sector rural, quienes no la han puesto en práctica, a pesar de que contribuye de manera integral a mejoras significativas; beneficiando al medio ambiente y a la menor producción de gases efecto invernadero. Por



su parte, con respecto a la salud humana de las comunidades en donde se pone en práctica, incide en la disminución de las enfermedades respiratorias, así como reduce los gastos por pago de servicios energéticos, como gas y electricidad (Cepero et al., 2012).

La generación y uso de biogás como fuente de energía renovable es el principal beneficio con la implementación de la digestión anaerobia, convirtiéndose en una opción que puede mejorar la rentabilidad de las empresas porcícolas y agropecuarias, dado que es una alternativa que resuelve una problemática ambiental al momento de dar una adecuada transformación a la materia orgánica, y por otro lado representa para todo generador de materia orgánica un posible ahorro económico al volverse auto sustentable en la generación de energía eléctrica y/o calorífica.

El adecuado aprovechamiento del metano que se genera por la fermentación metanogénica de los residuos representa una forma significativa de disminución de emisiones de gases efecto-invernadero al medio ambiente. Así mismo, es una práctica que contribuye en la disminución de las reservas de combustibles fósiles (Bolívar y Ramírez, 2012).

A su vez, se encuentra una amplia bibliografía que describe el proceso bioquímico de la digestión anaerobia en un biodigestor y que refleja el desarrollo de nuevos diseños y modelos del funcionamiento del mismo. Por lo general, se publican artículos originales que tienen como objetivo el diseño del biodigestor (González y Jurado, 2017, p.46).

## **Planteamiento del problema**

La generación de aguas residuales porcícolas es uno de los vertimientos más comunes en las poblaciones rurales, indistintamente del tipo de producción; pequeña, mediana o gran escala, siendo éste uno de los principales contaminantes de las cuencas hídricas, ya que no se cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales.

La finca Campoalegre ubicada en el municipio de Victoria, Caldas, Colombia a una altura de 750 m.s.n.m. cuya temperatura promedio es de 26°C (Municipio de Victoria, 2020), es productora de cerdos para el consumo humano (porcicultura), generando 1800 litros diarios de aguas residuales porcícolas. Cabe resaltar que este último resultado de la cantidad de agua residual se obtuvo realizando el método de medición de caudal por volumetría, en el cual se registraron los picos más importantes desde las 8 AM hasta las 11 AM, dado que son estas horas en las que los porcinos hacen sus necesidades fisiológicas y donde, empíricamente se observó, que dichos animales más riegan el agua de sus bebederos.

Por orden de la Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas), se solicita que el predio al estar situado en un sector acuífero debe implementar un programa de manejo y mitigación ambiental por la generación de aguas residuales porcícolas. Esta solicitud se realizó mediante el documento que está en los anexos del presente trabajo.

Evidenciada la necesidad de cumplir con la normativa exigida por la Corporación, se hace necesario indagar sobre procesos que permitan la continuidad de un negocio familiar de más de 25 años, ubicado en la finca Campoalegre del municipio de Victoria, Caldas, el cual no solo ha sido una iniciativa productiva familiar, sino también la

oportunidad para la generación de empleo de un número de personas en el sector lo cual genera beneficios directos e indirectos.

A partir de los planteamientos ¿Qué tan factible es usar la tecnología de digestión anaerobia para realizar el montaje y operación de un biodigestor a escala real en la finca Campoalegre del Municipio de Victoria, Caldas?

## **Justificación**

La digestión anaerobia producida por aguas residuales porcícolas en un biodigestor y co-digestión de residuos agroindustriales producidos en la finca Campoalegre y la exigencias de la Corporación, generan una oportunidad para dar solución y control a la contaminación generada al ecosistema del afluente quebrada el matadero y al medio ambiente; lo que conlleva a optimizar las variables de operación, montando pruebas para la medición del potencial bioquímico de metano (BMP), utilizado como fuente calórica para uso diario de la finca en la preparación de alimentos y arreglo de aves de corral para consumo humano, y como subproducto de la digestión anaerobia el lixiviado para aprovechamiento como abono orgánico para cultivos.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Realizar el montaje y operación de un Biodigestor a la escala real en la Finca Campoalegre del Municipio de Victoria, Caldas.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar el estado del arte sobre el aprovechamiento y la co-digestión con diferentes sustratos agroindustriales.
- Evaluar a escala laboratorio el potencial bioquímico de metano de diferentes sustratos y obtener la mejor relación por co-digestión entre los sustratos producidos en la finca Campoalegre.
- Aplicar a escala real los resultados del análisis BMP con un digestor anaerobio.

## Marco de referencia

El presente trabajo requiere construir un marco de referencia que pueda dar al lector un contexto acerca de lo investigado y encontrado hasta el momento en materia de biodigestores en el contexto regional y nacional. Así como también encontrar referentes que permitan guiar al investigador para realizar el proyecto teniendo en cuenta experiencias nacionales e internacionales en el mismo tema.

## Marco contextual

La presente investigación se llevará a cabo en la finca Campoalegre, ubicada geográficamente en la Vereda El Aguacate, en la vía que conduce al municipio de Victoria Caldas. Se encuentra a una altura de 750 msnm y las coordenadas geográficas son 5°19'14,2" Norte y 74°54'33,2" Oeste.

*Figura No. 1: Vista satelital de la finca Campoalegre, Victoria, Caldas, Colombia*



Fuente: Google Maps

## **Marco teórico**

### ***Introducción***

El presente apartado del trabajo de investigación buscar dar a conocer la mirada y los aspectos más importantes de autores e investigaciones realizadas acerca del mismo tema que se trata aquí, así como las recomendaciones y conclusiones de proyectos similares para poder tener mucho más contexto y una visión a experiencias pasadas.

Como preámbulo es pertinente acotar que una parte importante de los proyectos relacionados con el tema vienen de Argentina y México, dos países que han tenido algunas políticas relacionadas con el agro, integrando la tecnología a fin de hacerlo más competitivo y rentable; además de un gran interés por parte de la academia en este mismo objetivo (Menna et al., 2011).

Finalmente, y en el mismo orden del párrafo anterior, se espera que este trabajo contribuya al desarrollo de este campo en el país y en la región cafetera, dado que en Colombia, si bien se ha tratado el tema en varios trabajos, no ha habido la profundidad deseada, lo que puede sugerir que en general las unidades productivas en fincas familiares y pequeñas en el país pueden estar desperdiciando un potencial energético que mejore su rentabilidad y conservación del ambiente.

### ***Biodigestores***

Un biodigestor se define como “un dispositivo en el que se lleva a cabo el proceso de digestión anaerobia, mediante el cual se genera biogás, que puede ser utilizado como

combustible gracias al contenido de metano que posee” (González & Jurado, 2017, p. 44).

Por su parte, es una de las maneras de generación de energía renovable que puede ser emulada en unidades de producción agrícola de diversos tamaños.

Este tipo de dispositivos han tenido poco uso en Colombia (país en donde se realiza el presente trabajo). Sin embargo, ha habido diversos proyectos de investigación y de desarrollo con el fin de implementar esta tecnología en el sector rural del país. Por ejemplo, Jurado y González (2017), afirman que en el sector rural del país habitan más de 100.000 familias que no tienen posibilidad de tener energía eléctrica, y llevar esta infraestructura hasta ellos podría llegar a ser imposible por las condiciones topográficas y las inversiones multimillonarias que esto requiere (p.45).

Por su parte, y en el mismo orden, se debe entender que muchas de estas familias no se han preocupado por realizarse económicamente ni han acumulado el capital suficiente para tener servicios profesionales al implementar estas tecnologías. En suma, no ha existido la educación relativa a tecnologías de generación de energías renovables, salvo algunos intentos de algunas asociaciones y fundaciones (Jaramillo, 2006, p. 50).

Lo anterior supone que, en los términos mencionados anteriormente, se está teniendo un desaprovechamiento de la generación de energías renovables a bajo precio en las zonas rurales del país, además de significar una pérdida de la oportunidad de optimizar procesos en la gestión de residuos orgánicos en el sector agropecuario del país (Pinzón Fernández, 2017, p.94).

Esto sigue en el mismo orden a lo establecido por Montenegro Orozco et al. (2016), quienes afirman que sólo el departamento de Cundinamarca tiene un potencial promedio de



1.117.567 Terajulios por año, a través de procesos anaerobios (p.23). Esta cantidad de sería suficiente para suministrarle la energía que consumen anualmente los sectores industriales, residencial, de servicio y de transporte en el país en un año, dado que para el 2018 consumieron 1.077.921 Terajulios (Ahumada, 2019).

A su vez, es necesario afirmar que la implementación de biodigestores puede ser la clave para la administración de residuos orgánicos que, manejados de una manera diferente, podrían afectar la salud y la comodidad de las personas que conviven en estas unidades agropecuarias. Por ejemplo, se encuentran trabajos relacionados que ven las ventajas de administrar los desechos de la producción avícola y se mide mediante variables financieras como la Tasa Interna de Retorno de estos proyectos, obteniendo datos positivos para dicha unidad productiva, dando a entender que la mejora en las prácticas ambientales de una empresa debe ir de la mano de un aumento de los ingresos percibidos (Rodríguez Uribe, 2016, p.47).

Es importante tener en cuenta que hay algunas fuentes interesantes acerca de trabajos realizados acerca de los biodigestores en Colombia. En el panorama de la región latinoamericana cabe destacar que hay países pioneros en estas prácticas como Argentina y Brasil, así como países que se han dado la tarea a generar más producción investigativa y de desarrollo en este tema como Ecuador y México.

Iniciando con dichos ejemplos, Brasil ha considerado los modelos de biodigestores que se tienen a nivel global, teniendo en cuenta que este país tiene una extensión muy grande y condiciones diversas para la generación de energías renovables. Por ello, en él es posible adaptar diferentes tipos de biodigestores diseñados a nivel global, lo que les ha permitido realizar una gestión responsable de sus residuos orgánicos de las unidades

agropecuarias y avícolas pequeñas y medianas a lo largo de todo su territorio (de Azevedo Frigo et al., 2015, p.59).

Por su parte, como se había dicho antes, Ecuador ha empezado a realizar muchos trabajos acerca de la importancia de los biodigestores para la generación de energía renovable, así como una gestión responsable de los desechos orgánicos. Esto se evidencia por el trabajo que han desarrollado en Ecuador entidades como el Climate Technology Centre & Network, la Universidad Politécnica de Cataluña, el Insituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Martí Herrero et al., 2017).

Estas entidades han sido las responsables de realizar la Línea Base Programa Nacional de Biogás del Ecuador, el cual busca “proveer de asistencia técnica, para el desarrollo de herramientas que promuevan de manera sostenible el sector de biodigestores en Ecuador, permitiendo la promoción y la implementación masiva de la tecnología, para aprovechar el potencial de la biomasa de la producción pecuaria” (Martí Herrero et al., 2017, p. 4).

Sin embargo, como conclusiones se puede ver que el sistema de digestión anaerobia y la producción de biogás no es atractivo para el campo ecuatoriano desde el punto de vista económico, dado que la energía eléctrica y el Gas Natural son subsidiados por el Estado en las zonas rurales, sólo pagando 20 USD al mes por estos conceptos. Por ende, estos proyectos se deben concentrar en las zonas de menos acceso a los servicios eléctricos y distribución de gas por gasoductos y adaptados a las diferentes variantes de la producción agropecuaria de cada región del país (Martí Herrero et al., 2017, p. 56).

En consecuencia, a este programa, muchas universidades en el Ecuador han realizado proyectos individuales y colectivos acerca de este tema. Llama la atención la completitud del realizado por Durazno Coronel (2018), en donde valora el estiércol bovino y porcino para la producción de Biogás en un Biodigestor de producción por etapas, en donde afirma la necesidad de propender por una mayor oferta energética a nivel internacional, también teniendo en cuenta el contexto de Ecuador (p.15).

A su vez, destaca los avances en la materia de países como Perú, Bolivia, México y Costa Rica, así como las cantidades de metros cúbicos de Biogás producidos por países como Inglaterra, Dinamarca e Italia. Este proyecto, finalmente, concluye a partir de dos pruebas (55,5 kg de estiércol porcino y 67,32 kg de estiércol bovino), mostrando ampliamente su potencial de generación de Biogás, definiendo sus temperaturas y tiempos de mayor producción (Durazno Coronel, 2018, p.77).

Adicionalmente, en el contexto chileno, Echeverría Echeverría (2018), formula un proyecto muy general para la construcción de biodigestores en viviendas rurales, en donde afirma que su proyecto contribuye a la generación de energías limpias y a bajar la dependencia de combustibles fósiles. Por su parte, con ello es posible beneficiar a comunidades de agricultores que puedan mejorar su calidad y estilo de vida, ahorrando un gasto de USD \$597.21 anuales (p.70).

Por otro lado, en lo que respecta a más casos en países latinoamericanos, se puede observar cómo los proyectos relacionados con biodigestores hacen ahínco también en la producción de biofertilizantes, los cuales resultan ser otra gran bondad de esta tecnología, dado que en algunos casos puede abaratar más costos de otras unidades productivas de los

lugares en donde se instalan estos dispositivos, pues beneficia los posibles cultivos que se puedan tener (Spahr et al., 2019, p. 36).

Así mismo, en México se han desarrollado los biodigestores, los cuales, al igual que en Brasil, son utilizados en diferentes diseños dependiendo de la zona y los productos producidos en cada región, dado que su gran extensión y diversos climas y entornos, así como cada granja demandan necesidades específicas de energía (Venegas et al., 2017, p.738). Para un ejemplo, es posible ver como estados mexicanos como Yucatán, para el año 2014, tenía el 50% de sus granjas porcinas con biodigestores, habiendo instalado 62 biodigestores en un lapso de 10 años (Trejo Lizama et al., 2014, p. 323)

Finalmente, es posible afirmar que, en común, se ha buscado una optimización del uso y generación de energía en las unidades productivas analizadas, así como se puede ver el impulso que pueden dar programas estatales para la creación de este tipo de tecnologías, que permitan una mayor apertura a las energías renovables, así como su evaluación y pertinencia (como fue el caso de Ecuador). Por su parte, los prometedores cálculos que se han realizado localmente, pueden dar fe que el uso de biodigestores puede abastecer gran parte de la demanda de energía y combustibles gasíferos en el país.

### ***Porcicultura***

En la producción porcina, industria en donde se obtiene la materia prima para la producción de biogás por los desechos orgánicos, es posible ver un aumento en las estadísticas de crianza de cerdos en Colombia. Porkcolombia, entidad del Fondo Nacional de la Porcicultura, evidencia un aumento del consumo del producto final (carne de cerdo)

en los hogares colombianos, indicando también que la producción está subiendo en el país, así como su demanda (Porkcolombia, 2018, p.4).

A su vez, las cifras recientes dan cuenta de un crecimiento sostenido de las cabezas totales de cerdos que hay en el país (Porkcolombia, 2020), mostrando más producción porcícola y más oportunidades de tener materia prima para la generación de biogás.

### ***Biogás y energías alternativas***

En un principio, la finalidad de tener un biodigestor es que este realice el proceso anaerobio y dé como resultado biogás. Este combustible se puede utilizar con las funcionalidades del gas domiciliario (calefacción, cocción de alimentos), así como para la generación de energía eléctrica gracias a plantas transformadoras, cuya escala depende de la escala de la unidad productiva (Espinoza Hernández, 2017).

En este orden de ideas, dicha electricidad es usada para el funcionamiento, mayoritariamente, de artefactos relacionados directamente con la producción de la actividad principal de la unidad productiva, tales como regadíos automáticos, máquinas de ordeño, iluminación en plantas, etcétera (Espinoza Hernández, 2017). Sin embargo, es posible utilizarla en cualquier artefacto que requiera energía.

Adicionalmente, la producción de este combustible es un ejemplo de “energía limpia y renovables que sería una buena alternativa para aprovechar los desechos orgánicos generados en los mataderos” (Sogari et al., 2016, p.28). Es importante tener en cuenta que se evidencia una tendencia positiva en la generación de biogás en los experimentos e implementaciones de esta tecnología, siempre y cuando haya condiciones adecuadas

ayudadas por un correcto diseño del biodigestor que se utilice en las unidades productivas (Menna et al, 2011, p. 117).

Además, es visto en varios proyectos realizados alrededor del mundo que esta fuente de energía tiende a generar mayores volúmenes de oferta energética que pueden colaborar en el mercado energético nacional de cada país e incluso regional, dada la posibilidad de exportación de energía, no siendo Colombia ajena a esta realidad (Derivex Colombia SA, 2014).

Finalmente, esta energía podría ser eficiente también para ayudar a las unidades productivas pequeñas o familiares en Colombia a realizar, con la energía resultante, procesos de producción o transformación de sus productos en productos finales, lo que permita mejor dinamismo y entradas económicas para dichas unidades (Rivera Vargas et al., 2016).

## Estado del arte.

Tabla No. 1: Estado del arte del proyecto

Título	Autores	Referencia	Formato	Resumen	Aporte Teórico metodológico
Sustratos y producción de biogás en biodigestores. Una revisión sistemática.	Erika Tatiana González y Paula Catalina Jurado	González, E. T., & Jurado, P. C. (2017). Sustratos y producción de biogás en biodigestores. Una revisión sistemática. <i>Ingeciencia</i> , 2(1), 44-64. Obtenido de <a href="http://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2352/2176">http://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2352/2176</a>	Artículo de revista	Un biodigestor es un dispositivo en el que se lleva a cabo el proceso de digestión anaerobia, mediante el cual se genera biogás, que puede ser utilizado como combustible gracias al contenido de metano que posee. Por esto, una de sus utilidades es la generación de energía renovable. Se hizo una revisión sistémica de artículos científicos para identificar los diferentes sustratos empleados en los biodigestores y establecer su relación con la cantidad de metano producido. En este sentido, se bus-caron artículos originales en la base de datos ScienceDirect, teniendo como criterios de selección aquellos artículos publicados en los últimos diez años y que incluyeran el término “anaerobic codigestion”, en-tre comillas en el título y con la palabra “manure” en el título, resumen y palabras clave. Se revisaron 57 artículos en los que se encontró que las mezclas más usadas como sustrato para la codigestión son el estiércol de vaca y los residuos de cultivos. Se obtuvo que la codigestión de estiércol de cerdo, vaca, pollo y ganado mezclados con residuos de alimentos producen una buena cantidad de metano para ser aprovechado. Es importante estandarizar la información en la cual se presentan los resultados del proceso de codigestión para poder realizar una mejor comparación.	Ejemplo tomando las condiciones de Colombia.
Evaluación energética de la biodigestión anaerobia de estiércol de cerdo en condiciones de mínimo manejo	M. B. Menna, G. J. Murcia, B. Corleto, A. Dinamarca, J. Branda, E. Garin	Menna, M. B., Murcia, G. J., Corleto, B., Dinamarca, A., Branda, J., & Garin, E. (2011). Evaluación energética de la biodigestión anaerobia de estiércol de cerdo en condiciones de mínimo manejo. <i>Avances en energías renovables y medio ambiente</i> , 15, 06.113-06.118. Obtenido de <a href="https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2011/2011-t006-a015.pdf">https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2011/2011-t006-a015.pdf</a>	Artículo de revista	El presente trabajo analiza desde el punto de vista energético la generación de biogás, obtenido por digestión anaerobia de estiércol de cerdo, generado en cría intensiva con estrictos controles de la dieta diaria en todas las etapas del ciclo de desarrollo animal. Se analizó el comportamiento semanal con el objeto de determinar la factibilidad de un futuro aporte en escala real al sistema de calefacción del Galpón de Madres, ambiente de nacimiento y primera etapa del ciclo de producción que requiere control térmico. Siendo la generación de biogás fuertemente dependiente de la temperatura, y debido a las condiciones climáticas del sudeste bonaerense, se controló la temperatura de biodigestión en dos rangos de temperatura $22 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Se comparó el comportamiento inicial y se cuantificó el potencial energético en una unidad	Se toma la experiencia realizada en Argentina utilizando la misma materia orgánica utilizada en el presente proyecto

				<p>de generación de biogás escala laboratorio, sin intervención en corregir pH, simulando operación en una futura implementación con mínimo manejo.</p> <p>Los resultados obtenidos en laboratorio indican una producción aceptable de metano en un periodo compatible con el ciclo de producción porcina. Sin embargo desde el punto de vista de la gestión del estiércol, la remoción de materia orgánica en el período analizado no es significativa, por lo que se requiere del tratamiento combinado anaerobio/aerobio. Controlando sólo la temperatura de biodigestión puede hacer factible el aprovechamiento energético de este tipo de unidades energéticas en la región, imponiéndose la necesidad del tratamiento de los lodos residuales de la biodigestión.</p>	(estiércol de cerdo) y se pueden comparar sus resultados.
Implementación de biodigestores para el mejoramiento de la calidad de vida de las familias campesinas	César Augusto Pinzón Fernández	Pinzón Fernández, C. A. (2017). Implementación de biodigestores para el mejoramiento de la calidad de vida de las familias campesinas. Revista de Investigaciones Agroempresariales, 3, 88-96. Obtenido de <a href="http://revistas.sena.edu.co/index.php/riag/article/view/1438">http://revistas.sena.edu.co/index.php/riag/article/view/1438</a>	Artículo de revista	<p>El SENA mediante el programa SER (SENA Emprende Rural) brinda cursos de porcicultura con el fin de capacitar a los aprendices, al tiempo, que sean competentes en la cría y ceba de cerdos. El resultado obtenido estriba en el aporte de la seguridad alimentaria y el aumento del recurso económico de las familias criadoras. Adicionalmente se instruye en el marco formativo sobre la implementación de biodigestores para la producción de bio-gás. Cabe agregar que con la construcción de biodigestores se obtienen numerosos beneficios, entre ellos se resaltan, la reducción de tala de árboles, situación que protege la flora y fauna del ecosistema además del cuidado de las fuentes hídricas; el cuidado significativo de la salud, ya que se evita que las personas cocinen con leña e inhalen humo, escenario que previene las enfermedades respiratorias. Otro factor a resaltar es la disminución de tiempo que dedican los campesinos a recolectar su leña pudiendo emplearlo en otras actividades que mejoran la productividad de su finca. En cuanto al área socioeconómica se estimula la cría de cerdos, aportando a la seguridad alimentaria y a la generación de ingresos para productor por concepto de venta de lechones y carne; adicionalmente el efluente del biodigestor sirve como abono orgánico el cual disminuye el uso de fertilizantes de síntesis química.</p>	Demuestra a las implicaciones sociales positivas en el ámbito local, de la implementación de los biodigestores y cómo estos pueden suplir la demanda de energía y biogás en las zonas rurales.
Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIM	Miguel Osejos Merinos, Julio Jaramillo Véliz, Martín Merino Conforme, Alex	Osejos Merino, M., Jaramillo Véliz, J., Merino Conforme, M., Quimis Gómez, Á., & Alcívar Cobeña, J. (2018). Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la	Artículo de revista	<p>Esta investigación titulada: “Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa – Ecuador”, se basó en que resulta necesario la aplicación de una gestión integral de los residuos orgánicos generado en los establecimientos ganaderos, tomando como objetivo la valorización de los mismos atendiendo a aquellos procesos de reutilización y tratamiento en su forma química, física, biología y energética. La hipótesis fue diseñada para</p>	Creación de un proyecto similar al presente, en Ecuador, revisando los posibles



A Jipijapa – Ecuador	Quimis Gómez, José Alcívar Cobeña.	Granja EMAVIMA Jipijapa – Ecuador. Dominio de las Ciencias, 4(1), 709-733. Obtenido de <a href="https://www.researchgate.net/publication/336003185_Produccion_de_biogas_con_estiercol_de_cerdo_a_partir_de_un_biodigestor_en_la_Granja_EMAVIMA_Jipijapa_-_Ecuador">https://www.researchgate.net/publication/336003185_Produccion_de_biogas_con_estiercol_de_cerdo_a_partir_de_un_biodigestor_en_la_Granja_EMAVIMA_Jipijapa_-_Ecuador</a>	confirmar la producción de biogás, para generar energía mediante el tratamiento biológico del estiércol de cerdos y generar beneficios ambientales en el recinto San Carlos. La metodología utilizada evidencia el cumplimiento de los objetivos y de la hipótesis planteada, los métodos utilizados en esta investigación fueron: bibliográfico, inductivo, deductivo y descriptivo; el tipo de investigación fue de campo y experimental, donde se logró obtener la producción total de estiércol, la cantidad de gas licuado de petróleo (GLP) consumida por año, carga diaria, el volumen en metros cúbicos de producción diaria de biogás. Mediante la generación del biogás se logra atender un problema fundamental en la producción de ganado porcino como es el manejo de desechos y a su vez favorecer el rendimiento económico del establecimiento y reduciendo la contaminación ambiental en el recinto San Carlos de Jipijapa	resultados que se puedan tener localmente.
----------------------	------------------------------------	--	--	--

## Marco legal

- Ley 1715 de 2014: Artículo 18: Energía de Residuos: Considera como Fuentes no Convencionales de Energía Renovable (FNCER) el contenido energético tanto de la fracción biodegradable, como de la fracción de combustible de los residuos de biomasa.
- Decreto 2981 de 2013: Artículo 82: “Racionalizar el uso y consumo de las materias primas provenientes de los recursos naturales. Recuperar valores económicos y energéticos que hayan sido utilizados en los diferentes procesos productivos. Aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios al reducir la cantidad de residuos a disponer finalmente en forma adecuada. Reducir el caudal y la carga contaminante de lixiviados en el relleno sanitario, especialmente cuando se aprovechan residuos orgánicos”.
- Normatividades regionales por parte de Corpocaldas

## **Metodología**

Se realizó una revisión sistemática de artículos relacionados con diseños experimentales sobre proceso de co-digestión anaerobia, utilizando como tal agua residual de actividades porcícolas, ganaderas y residuos orgánicos de actividades agrícolas, pecuarias e industriales tomando como referencia tablas de comparación de González y Jurado (2017), sustratos y producción de biogás en biodigestores.

La revisión literaria sobre biodigestión y sustratos permitió analizar e identificar procesos físicos y químicos de operación de esta tecnología, funcionamiento básico, ventajas y desventajas, información relativa a porcentajes.

### **Campo, línea y área de investigación**

El campo y línea de investigación del presente trabajo es ambiental, porque se relacionan factores físicos y químicos, a partir de los cuales se busca dar solución a un problema relacionado con la transformación de materia orgánica en biogás a través de la implementación de tecnologías más limpias.

Con respecto al área de investigación, esta se enfoca en el control de la contaminación, puesto que comprende acciones que contribuyen con el mejoramiento en los procesos de tratamiento de aguas residuales industriales, disminuyendo así los impactos que estos ocasionan tanto a las fuentes hídricas como a las poblaciones aledañas al recurso hídrico.

### **Tipo y enfoque de investigación**

El tipo de investigación del presente estudio es evaluativo-experimental, ya que se desea evaluar la eficiencia del sistema de digestión anaerobia en una unidad agropecuaria real, como lo es la Finca Campoalegre en el municipio de Victoria, Caldas.

Así mismo, el estudio contará con un enfoque diseño de plantas (Biodigestor) ya que se desea determinar el potencial bioquímico de metano, con el fin de verificar o rechazar la hipótesis planteada en la investigación.

### **Hipótesis y variable**

Para el presente trabajo se tendrá una hipótesis descriptiva que buscará la viabilidad del proyecto. Dicha hipótesis está formulada de la siguiente manera: Efectivamente es factible usar la tecnología de digestión anaerobia para realizar el montaje y operación de un biodigestor a escala real en la finca Campoalegre de Victoria, Caldas que genere biogás como una fuente de energía renovable y limpia.

Las variables serán:

- Factibilidad del uso de la digestión anaerobia para el montaje y operación del biodigestor
- Potencial de generación de biogás para el uso en la Finca Campoalegre de la Victoria, Caldas.

## **Población y muestra**

El presente trabajo tendrá como población y muestra las condiciones que presente el proyecto en la finca Campoalegre del municipio de Victoria, Caldas. Para información relativa a las condiciones especiales de la unidad productiva y datos no consultados en bibliografía, se utilizará el método Delphi, mediante consultas a los trabajadores y dueños de fincas aledañas, aportando sus experiencias en pro del resultado del proyecto.

## Desarrollo del trabajo: Presentación, análisis y discusión de resultados

### Desarrollo Experimental

Se abstrajo los resultados de información terciarios o investigados y estas muestras son en estado húmedo.

*Tabla No. 2: Resultados del análisis de las muestras de los sustratos con humedad*

<b>Elemento Químico</b>	<b>Estiércol %</b>	<b>Capota Cacao %</b>	<b>Plumas %</b>	<b>Suero Leche%</b>
<b>C</b>	43,92	45,4	64,47	38,36
<b>H</b>	5,64	5,33	1,29	5,02
<b>O</b>	28,09	37,81	22,34	38,94
<b>N</b>	3,29	1,31	10,41	3,21
<b>Ash</b>	19,06	10,15	1,49	14,47
<b>Total</b>	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia con datos de Mora, Garcés y Pacheco (2020); Tesfaye, Sithole, Ramjugernath y Chunilall (2017); Escalante, Castro, Amaya, Jaimes y Jaimes-Estévez (2018).

Con respecto a los datos suministrados en la tabla, los porcentajes de cada muestra provienen de las siguientes fuentes:

Estiércol: Sus datos se tomaron de una base de datos de análisis elemental propia.

Capota de Cacao: Sus datos fueron tomados de un artículo realizado por Mora, Garcés y Pacheco (2020), el cual trata acerca del mejoramiento del potencial del Biometano

por la codigestión anaeróbica de los lodos de depuración de plantas de tratamiento y cáscaras de cacao.

Plumas: Sus datos fueron tomados de un artículo realizado por Tesfaye, Sithole, Ramjugernath y Chuilal (2017) de un artículo que indaga la valorización de las plumas de gallina, y la caracterización de sus propiedades químicas.

Suero de Leche: Sus datos fueron tomados de un artículo realizado por Escalante, Castro, Amaya, Jaimes y Jaimes-Estévez (2018) el cual trata de la Digestión anaerobia del suero de leche, de su potencial energético y nutricional para el sector lácteo en países en desarrollo.

Tabla No. 3: Pesos de los componentes

	%capot.		%suero		Masa	Masa	Masa	Masa	Masa	%
	%Estiercol	Cacao	%plumas	leche	Estiercol (g)	capot. Cacao (g)	plumas (g)	suero leche (g)	sustrato (g)	sustrato
<b>C</b>	43,92	45,4	64,47	38,36	158,11	689,17	25,79	115,08	988,15	44,55
<b>H</b>	5,64	5,33	1,29	5,02	20,30	80,91	0,52	15,06	116,79	5,27
<b>O</b>	28,09	37,81	22,34	38,94	101,12	573,96	8,94	116,82	800,84	36,11
<b>N</b>	3,29	1,31	10,41	3,21	11,84	19,89	4,16	9,63	45,52	2,05
<b>Ash</b>	19,06	10,15	1,49	14,47	68,62	154,08	0,60	43,41	266,70	12,02
	100,00	100,00	100,00	100,00	360		<b>Total</b>		<b>2218</b>	

Fuente: Elaboración propia con datos de Mora, Garcés y Pacheco (2020); Tesfaye, Sithole, Ramjugernath y Chuilal (2017); Escalante, Castro, Amaya, Jaimes y Jaimes-Estévez (2018).

Teniendo en cuenta, que estos compuestos están pensados para ser utilizados como abono en plantas de la unidad agropecuaria y porcícola en donde se hacen los cálculos pertinentes, se debe encontrar una relación de componentes valorada en una estequiometría

de 25,30:1. Esta cantidad es la adecuada, dado que es la que las plantas soportan para no tener un exceso de componentes en su abono que podría resultar dañino para su crecimiento.

*Tabla No. 4: Relación: Estiércol, capota de cacao, plumas y suero de leche (Codigestión 4 sustratos)*

<b>Relación: Estiércol, capota de cacao, plumas y suero de leche (Codigestión 4 sustratos)</b>			
	360	g	Estiércol
<b>Variable</b>	1518	g	Capota de cacao
	40	g	Plumas
	300	g	Suero leche

Fuente: Elaboración propia

En el mismo orden, a partir de la relación encontrada en los componentes citados anteriormente, se debe realizar una fórmula que permita alcanzar la mezcla adecuada de sus elementos químicos, los cuales permitirán una codigestión correcta.

*Tabla No. 5: Fórmula molecular de la nueva mezcla a codigerir*

<b>C</b>	25,30	<b>H</b>	35,92	<b>O</b>	15,39	<b>N</b>	1
		Peso molecular	600,13947				

Fuente: Elaboración propia

Una vez hallada la fórmula correspondiente, se realizaron los cálculos pertinentes para encontrar la relación molar de cada elemento. Para ello se tomó la masa de cada elemento y se multiplicó por las moles de cada componente.



Tabla No. 6: Cálculos de relación molar

Elemento	% elemento	m elemento	moles	rel. Molar
<b>C</b>	44,55	44,55148783	3,709223864	25,30
<b>H</b>	5,27	5,265527502	5,265527502	35,92
<b>O</b>	36,11	36,1062128	2,2566383	15,39
<b>N</b>	2,05	2,052470694	0,146594579	1,00
<b>Ash</b>	12,02			

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se realiza una suposición, en donde se utiliza un valor de referencia de mil gramos de la mezcla, con la cual se averigua cuánto sería su peso molecular, las moles del sustrato y las moles de biogás resultantes.

Tabla No. 7: Cálculos con valor de 1000 gramos

Suponer	1000	gramos
Peso molec:	600,139466	g/mol
mol sustrato	1,666279351	mol
mol CH4	21,52471795	mol

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que el peso molecular (gramos por mol) fue calculado con la fórmula molecular de la nueva mezcla a codigerir. Por su parte, las moles del sustrato se calcularon dividiendo el valor del peso en gramos de referencia (1000 gr) entre el peso molecular hallado por la fórmula. Finalmente, las moles de Biogás (Mol CH<sub>4</sub>) se obtuvieron tras multiplicar las moles del sustrato por el resultado de la aplicación de la Ecuación de Buswell en la Fórmula química que se enuncia a continuación:

Tabla No. 8: Fórmula química

C	25,30	H	35,92	O	15,39	N	1 + 9,38	H <sub>2</sub> O	= 12,385	CO <sub>2</sub>	+ 12,92	CH <sub>4</sub>	+ 1	NH <sub>3</sub>
	600,1							168,77		545,07		206,83		17,007
Comprobación balanceo								768,91	768,91	g				

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se calcula el Potencial Bioquímico del Metano (BMP). Este cálculo se hace tomando los datos del ambiente, los cuales permanecen constantes como la temperatura y la presión. Dichas constantes deben ser convertidas de sus unidades originales a unidades que permitan el cálculo de BMP (En el caso de Presión, debe convertirse de Miligramos de Mercurio a Atmósferas, y la Temperatura se convierte de Grados Centígrados a Grados Kelvin). Posteriormente, se debe tener en cuenta la constante molar de los gases, la cual es equivalente a 0,082.

Una vez se tengan estos datos, se procede a hallar el BMP utilizando la ecuación de gases ideales, la cual se realiza mediante la multiplicación de las moles de gas, la constante molar de gases y la temperatura del ambiente en Grados Kelvin. Este resultado debe dividirse entre la presión en Atmósferas, dando como resultado el BMP.

Tabla No. 9: Cálculo del BMP

Presión	756,81	mmHg	0,995802632	atm
Temperatura	26	°C	299,15	Kelvin
R gases	0,082	l*atm/mol*k		
Volumen CH <sub>4</sub>	530,2333735	litros (ecuación de gases ideales PV=nRT)		
<b>BMP</b>	530,2333735	<b>l CH<sub>4</sub>/ Kg sust</b>		

Fuente: Elaboración propia

## Seguimiento de pruebas

El seguimiento de pruebas pilotos se realiza periódicamente para medir el volumen generado, las condiciones ambientales de operación como son la temperatura que puede oscilar entre 28° y 34° grados. En estas pruebas hubo un seguimiento del pH y la producción de gas que tenía cada una, valiéndose de pehachímetro y mediciones de bomba y desplazamiento de agua por producción de gas. Estas mediciones se realizaron diariamente durante el primer mes. El segundo mes se realizó sólo una prueba y finalmente se realizaba una prueba cada dos meses.

Tabla No. 10: Fórmula química

C 25,08	H 35,35	O 15,28	N 1	+ 9,35	H <sub>2</sub> O	=	12,32	CO <sub>2</sub>	+	12,8	CH <sub>4</sub>	+	1	NH <sub>3</sub>
595,2				168,288			542,09			204,35		17,007		
				763,445				763,44						

En los siguientes cálculos se ilustran datos técnicos del proyecto. Estos se interpretan de la siguiente manera: En primer lugar, se puede ver los componentes de un mol del sustrato. Adicionalmente se muestra que 1 mol de requiere 64 gramos de oxígeno para su completar su oxidación. Finalmente, se enseña que 816,84 gr es la cantidad de oxígeno necesaria para completar la oxidación del metano, haciendo de esta la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Tabla No. 11: Demanda Química de Oxígeno (DQO)

1 mol	C 25,08	H 35,35	O 15,28	N 1	=	12,763	CH <sub>4</sub>
						1 mol	CH <sub>4</sub> = 64 gr O <sub>2</sub>
						12,76305 mol	CH <sub>4</sub> = 816,84 gr O <sub>2</sub>
						DQO =	816,84 gr O <sub>2</sub>

Finalmente, se realiza el cálculo del volumen del CH<sub>4</sub>, el cual tiene en cuenta los siguientes datos. Se calcula una Constante de remoción del DQO, con la cual se calcula el volumen total del metano dividiendo el DQO entre la Constante de Remoción. Por consiguiente, se procede a calcular el volumen de metano por kilogramo de DQO removido, el cual se realiza mediante la división del Volumen del Metano entre la cantidad de oxígeno requerida para la completa oxidación del metano. Cabe resaltar que este último dato debe estar representado en kilogramos.

Tabla No. 12: Cálculo del volumen de CH<sub>4</sub>

K(T)	2,598067224	g DQO/L
V CH <sub>4</sub>	314,4010697	L CH <sub>4</sub>
<b>BMP</b>	384,9015109	
		$\frac{l CH_4}{KgDQO_{removida}}$

### Diseño Del Biodigestor Tubular

Modelamiento matemático de un reactor tipo flujo pistón, mezcla completa y en estado estacionario.

$$Entra + Genera = Sale + Acumulación$$

$$Entra - Sale + Genera = Acumulación$$

$$Afluyente - Efluyente + Genera = Acumulación$$

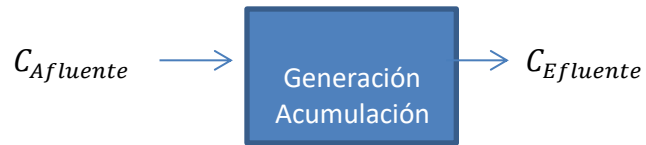


Figura No. 2: Reactor de flujo pistón



Figura No. 3: Ecuaciones del diseño del Biodigestor Tubular

$$t = \int_{C_o}^C \frac{dC}{r}$$

$$r = -kC$$

$$t = \int_{C_o}^{C_e} \frac{dC}{-kC}$$

$$t = -\frac{1}{k} |\ln C|_{C_o}^{C_e}$$

$$t = -\frac{1}{k} \ln \left( \frac{C_e}{C_o} \right)$$

$$t = -\frac{1}{k} |\ln C|_{C_o}^{C_e}$$

$$t = -\frac{1}{k} (\ln C_e - \ln C_o)$$

$$t = -\frac{1}{k} (-\ln C_o + \ln C_e)$$

$$t = \frac{1}{k} (\ln C_o - \ln C_e)$$

$$t = \frac{1}{k} \ln \left( \frac{C_o}{C_e} \right) \quad (1)$$

Figura No. 4: Cálculo del tiempo de residencia desde la eficiencia.

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o}$$

$$E = \frac{C_o}{C_o} - \frac{C_e}{C_o}$$

$$E = 1 - \frac{C_e}{C_o}$$

$$\frac{C_e}{C_o} = 1 - E$$

Reemplazando en (1)

Figura No. 5: Reemplazamiento en (1)

$$t = \frac{1}{k} \ln \left( \frac{1}{1 - E} \right)$$

Datos:

$$C_o = DQO_A = 2598.06$$

$$k = 0.07 \text{ d}^{-1}$$

Si el biodigestor tiene una eficiencia del 60% (Estrada, Gómez y Jaramillo (2008); Chica y Vaca (2019)), el tiempo de residencia sería de:

Figura No. 6: Cálculo del tiempo de residencia

$$t = \frac{1}{k} \ln \left( \frac{1}{1 - E} \right)$$

$$t = \frac{1}{0.07d^{-1}} \ln \left( \frac{1}{1 - 0.6} \right)$$

$$t = 13.09 \text{ días}$$

Tabla No. 13: Pruebas y variables analizadas

<b>Prueba 1 C: Cacao</b>	<b>Prueba 2 S: Suero</b>	<b>Prueba 3: Plumas</b>	<b>Prueba 4: Todo</b>
Esta prueba aún después de seis meses tiene una descomposición del sustrato en un 70%, lo cual fue detectado con una valoración periódica diaria a simple vista. Por su	De acuerdo al seguimiento este tipo de sustrato fue el que más rápido se consumió no superándolos, pero a cambio fue el que mejor producción de gas tuvo en sus	En comparación a las pruebas anteriores, esta prueba tuvo una regularidad la cual se logra evidenciar para descomponer el sustrato dejando como muestra unos	Con esta última prueba se observa un trabajo en conjunto el cual ha estado muy estable a pesar que cada uno de los sustratos se consume en tiempos diferentes, lo cual se

<p>parte, se le realizó un pretratamiento físico de reducción de tamaño para facilitar a las bacterias la hidrólisis del sustrato. Se plantea que, debido a esto, su producción de biogás es muy baja al inicio, pero a medida que se presenta la hidrólisis y continúa por las otras fases bioquímicas se incrementa su producción de biogás. Por su parte, es una de las pruebas que mejor fue aceptada por</p>	<p>primeros meses. Luego tuvo una curva de descenso muy rápida, en temas de abono este sustrato tiene un pH muy ácido el cual quemó inmediatamente las plantas de prueba e incluso quemó unas plantas invasoras (rastros). En la prueba se evidencia que dicha mezcla es uno de los ambientes más óptimos la producción de un hongo esto debido a la acidez del ambiente.</p>	<p>simples hilos de los cañones principales de las plumas, en un proceso llamado “análisis cualitativo al digestato”. En producción de gas tuvo un rápido inicio, lo que se debe a que las plumas traen sujetas estiércol de aves (gallinaza), y esto ayuda a la producción en las pruebas en plantas, pero no las quema. Con el pasar de los días se ve la aceptación de las plantas y un crecimiento óptimo. Se deduce que el en</p>	<p>revisó con una valoración periódica diaria a simple vista, destapando las pruebas y revisando el avance. Sin embargo, se ve en la producción de gas los vacíos al momento que se consume un sustrato y se disminuye la producción de gas mientras los organismos se adaptan al consumo de otro sustrato. Las plantas de prueba (tomate y patilla), reaccionaron de forma aceptable, las cuales se comparan en temas de</p>
---	---	--	---



<p>plantas como el tomate y la patilla. Estas plantas son reconocidas por ser muy sensibles a los cambios de pH y saturación del suelo. Con respecto a dichas plantas, se consiguió que tuvieran más crecimiento y producción.</p>		<p>las plantas es por alta cantidad de urea o en su caso Nitrógeno. Es una o la única prueba donde no se presentó formación de hongos.</p>	<p>producción con los resultados de la Prueba 1. Sin embargo, se diferencia de dichos resultados con el deterioro de la vigorosidad de la planta siendo está un poco más endeble, lo cual se determinó realizando un análisis y comparación con cada planta con la ayuda de un medidor óseo. La producción de hongo es alta de acuerdo a la comparación con las otras pruebas.</p>
--	--	--	--

*Figura No. 7: Fotos de toma de pruebas*



Fuente: Elaboración propia

En las presentes imágenes, es posible ver las tomas de pruebas en diferentes tiempos, y se muestra cómo se comparan los colores de cada composición, viendo cómo se desintegra cada uno de sus diferentes componentes. A su vez, es evidente cómo empiezan a cambiar de color indicando la descomposición por bacterias.

*Figura No. 8: Fotos de toma de pruebas*



Fuente: Elaboración propia

## Toma de pruebas para laboratorio

*Figura No. 9: Pruebas tomadas para traslado al laboratorio*



Fuente: Elaboración propia

En la toma de pruebas se evidenció una comparación de cantidad de materia orgánica y un acoloramiento, medido con termómetro, que superaba los tres grados centígrados más que la temperatura ambiente, con lo cual se indica cuál tiene más materia

orgánica y por ende es mejor generador de carbono para el aprovechamiento de las plantas.

Se transportan a Manizales y seguidamente se procede a des gasificar las otras pruebas donde la prueba 2 S es la siguiente en tener alta presión y la prueba 3 P no tuvo mayor formación de gases.

Figura No. 10: Preparación de botellas con pruebas



Fuente: Elaboración propia

Tabla No. 14: Composición de las pruebas expresadas en kilogramos

Composición	Prueba 1 C (Agua, estiércol y cáscaras de cacao).	Prueba 2 S (Agua, estiércol y suero de leche)	Prueba 3 P (Agua, estiércol y plumas)	Prueba 4 T (Agua, estiércol, cáscaras de cacao y plumas)
Capota cacao	3 Kg			3 Kg
Suero de leche		3 Kg		3 Kg
Plumas de aves			3Kg	3 Kg
Aguas residuales porcícolas	3 Kg	3 Kg	3 Kg	3 Kg
agua	3 Kg	3 Kg	3 Kg	3 Kg
<b>TOTAL PESO</b>	9 Kg	9 Kg	9 Kg	9 Kg

Fuente. Elaboración propia.

Se mantiene constante el peso de cada experimento en 3000 gramos, sumando a ello el peso del recipiente plástico utilizado, el cual es de 355 gramos, dando como resultado un peso de 3,355 gramos como se observa en la siguiente imagen.

Figura No. 11: Peso de muestras con recipiente



Fuente. Elaboración propia.

Por su parte, las mediciones de pH pertinentes fueron tomadas utilizando un indicador universal en las mañanas con una temperatura ambiente de Victoria, Caldas (25°C). Dichas pruebas se realizaron una vez cada dos días durante un mes, y luego fueron realizadas una vez cada mes. A continuación, se enseñan sus resultados:

Tabla No. 15: Medición de pH en las pruebas

<b>PH</b>	<b>Prueba 1 C</b> (Agua, estiércol y cáscaras de cacao).	<b>Prueba 2 S</b> (Agua, estiércol y suero de leche)	<b>Prueba 3 P</b> (Agua, estiércol y plumas)	<b>Prueba 4 T</b> (Agua, estiércol, cáscaras de cacao y plumas)
<b>Toma 1</b>	6	5	5	6
<b>Toma 2</b>	5	5	6	5
<b>Toma 3</b>	6	3	6	4
<b>Toma 4</b>	6	3	5	5
<b>Toma 5</b>	6	2	5	6
<b>Toma 6</b>	6	2	6	6
<b>Toma 7</b>	6	2	5	5
<b>Toma 8</b>	5	3	6	5
<b>Toma 9</b>	5	2	6	5
<b>Toma 10</b>	6	2	6	4
<b>promedio</b>	5.7	2.9	5.6	5.1

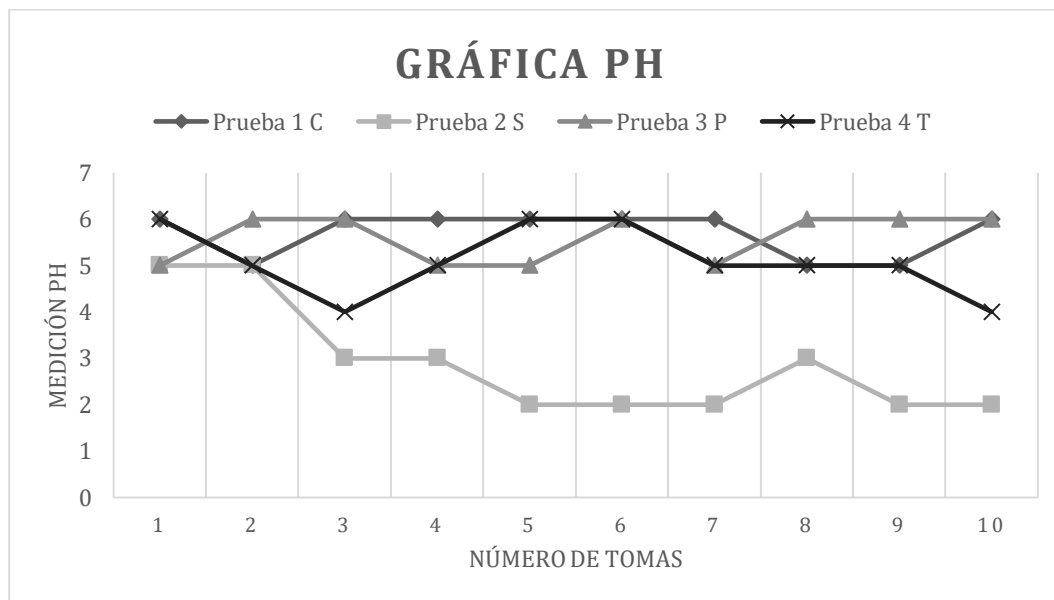
Fuente. Elaboración propia.

Dichas pruebas demuestran el comportamiento con respecto a su pH, y se puede ver que las pruebas 1C, 3P y 4T son estables y oscilan entre 5 y 6, salvo la 4T que ha tenido algunas oscilaciones en 4. Sin embargo, sigue teniendo un buen comportamiento. Por su parte, se evidencia que la prueba 2S no tiene los mismos registros, teniendo bajas importantes a través pasan sus tomas.

Esto último se debe a que su componente principal, el suero de leche, contiene lactosa la cual tiene ácidos lácteos que no permiten el progreso de las bacterias encargadas

de la biodigestión y se consume muy rápido la materia orgánica. También se muestra la evidencia de las pruebas de pH que se realizaron en papel.

Figura No. 12: Gráfica de medición de pH



Fuente. Elaboración propia.

Figura No. 13: Foto de pruebas de pH en papel



Fuente. Elaboración propia.

Por su parte, se presentan los datos obtenidos de la medición producción de gas desplazamiento de agua en mililitros (ml), la cual fue realizada una vez cada dos días durante un mes, y luego su periodicidad fue disminuyendo, llegando a hacerse cada dos días durante un mes y no realizar dicha medición en el mes siguiente, hasta terminar de completar los datos recolectados:

*Tabla No. 16: Medición del gas desplazamiento*

Medición gas desplazamiento	Prueba 1 C (Agua, estiércol y cáscaras de cacao).	Prueba 2 S (Agua, estiércol y suero de leche)	Prueba 3 P (Agua, estiércol y plumas)	Prueba 4 T (Agua, estiércol, cáscaras de cacao y plumas)
Toma 1	0	7	0	5
Toma 2	0	6	0	4
Toma 3	3	7	2	5,5
Toma 4	4	5	3	5,5
Toma 5	5	6	2	6
Toma 6	4	4,5	3	6
Toma 7	4	5	4	3
Toma 8	3,5	4	3,5	4
Toma 9	4	2	4	5
Toma 10	3	0	5	4,5
Toma 11	4	0	5	4
Toma 12	4,5	0	4	4
Toma 13	3	0	4,5	4

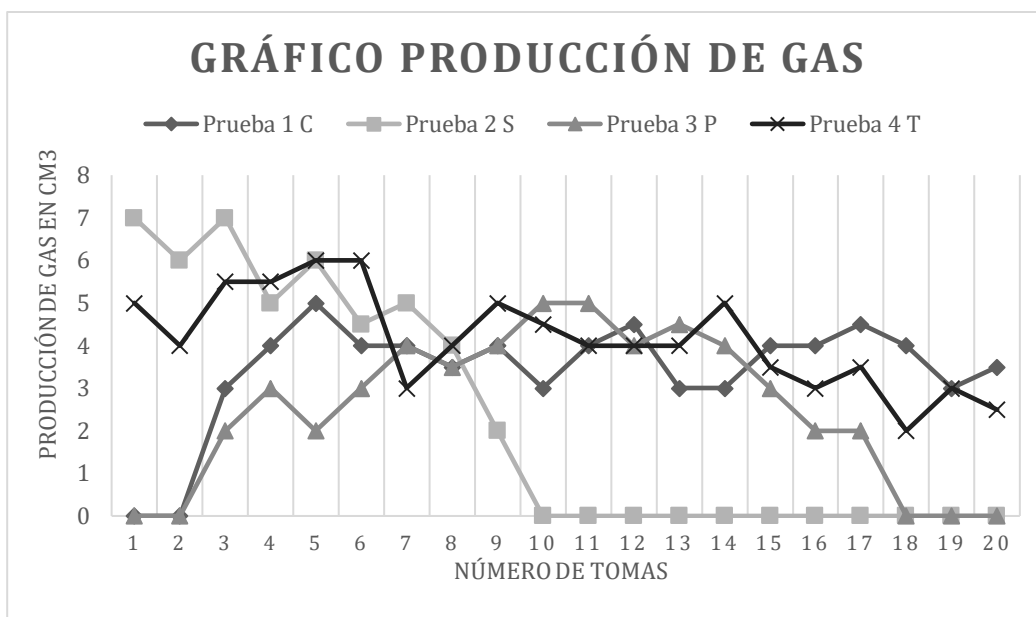


Toma 14	3	0	4	5
Toma 15	4	0	3	3,5
Toma 16	4	0	2	3
Toma 17	4,5	0	2	3,5
Toma 18	4	0	0	2
Toma 19	3	0	0	3
Toma 20	3,5	0	0	2,5
promedio	3.4	2,32	2,55	4,15

Fuente. Elaboración propia.

La siguiente gráfica enseña la producción de gas medido en las pruebas durante un año, lo que demuestra que aún después de más de un año sigue produciendo las pruebas siguen produciendo gas. De ello, es posible inferir que las pruebas realizadas demuestran que la tecnología utilizada puede servir a los productores como una fuente de energía duradera mediante el biogás que produce y así puedan tener sus servicios derivados en las unidades productivas.

Figura No. 14: Gráfica de medición de producción de gas



Fuente. Elaboración propia.

Lo que se busca con este procedimiento es revisar la producción de gas que se puede obtener diariamente. El sistema mueve el agua de una botella a otra reemplazándola por el gas, por la presión que éste último ejerce. Así se puede obtener el volumen del gas que se produce en un tiempo determinado. En este caso se quiere revisar cuánto gas se genera al día.

Figura No. 15: Montaje prueba de desplazamiento de agua por presión de gas



Fuente. Elaboración propia.

Medición producción de gas por expansión de bomba en Cm. Esta prueba realiza pocas veces ya que por factores climáticos y de desgaste las bombas se rompen con facilidad por cuenta de las condiciones climáticas como el sol y el viento. En la siguiente tabla se enuncian los resultados de la medición de producción de gas en las pruebas designadas.

Tabla No. 17: Datos de medición de gas en bomba

Medición gas bomba	Prueba 1 C (Agua, estiércol y cáscaras de cacao).	Prueba 2 S (Agua, estiércol y suero de leche)	Prueba 3 P (Agua, estiércol y plumas)	Prueba 4 T (Agua, estiércol, cáscaras de cacao y plumas)
Toma 1	1 cm	7 cm	2 cm	4 cm
Toma 2	3 cm	7 cm	4 cm	5 cm
Toma 3	6 cm	5 cm	4 cm	3 cm
Toma 4	6 cm	6 cm	6 cm	5 cm
Toma 5	5 cm	5 cm	3 cm	3 cm

Fuente. Elaboración propia.

## Resultados

Inicialmente, se pueden inferir algunos aspectos encontrados en el campo de trabajo, lo cual ha sido insumo para fortalecer los resultados del presente trabajo. A partir de las actividades realizadas en los objetivos, durante la aplicación a escala real los resultados del análisis BMP con digester anaerobio, se encuentra la implementación de un biodigestor que no se encuentra en condiciones aptas para el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, evidenciando deficiencias y problemas significativos y adicionales como vectores, un notable estado de deterioro por desgaste y corrosión a partir de los gases generados y la exposición directa a factores climáticos, como también el vertimiento directo a un afluente sin ningún tratamiento previo.

Lo anterior se puede observar en el deterioro de dicho biodigestor y las malas condiciones en las que se encuentra, incumpliendo con lo solicitado por Corpocaldas, como se puede apreciar en las siguientes imágenes.

*Figura No. 16: Desgaste de un biodigestor que no cumple con directrices de Corpocaldas*



Fuente. Elaboración propia.

Fuente. Elaboración propia.



Fuente. Elaboración propia.

Fuente. Elaboración propia.

Como primer resultado, se establece una aproximación de producción de estiércol de cerdo en los picos más bajos y altos de producción de cerdos para consumo. Estas aproximaciones se fueron obtenidas de investigaciones anteriores acerca de la crianza de porcinos (Germán Alarcón, Camacho Ronquillo, & Gallegos Sánchez, 2005). Temas que fueron también contrastados mediante un grupo de expertos consultados (productores porcícolas de Victoria, Caldas), para poder darle más certeza a los datos encontrados.

En primer lugar, se debe considerar que se cuenta con una línea de cerdas maternas, quienes son las productoras de las crías. Están divididas en:

- Cerdas de cría: Son las cerdas madres de las crías que se producen en la finca.
- Cerdos reproductores: Son los machos que se encargan de la reproducción de los cerdos que próximamente se criarán en la finca.
- Lechones: Son los cerdos pequeños que entran al proceso de engorde.

Las líneas de producción cuentan con una dieta establecida con suplementos como caña, pasto de corte, morera, bore, aguacate, suero y concentrado. Las cerdas de cría tienen el siguiente consumo de suplementos:

*Tabla No. 18: Cantidad de cada suplemento consumida por los cerdos diariamente*

<b>Suplemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Periodicidad</b>
<b>Suero</b>	20 litros	Diariamente
<b>Caña</b>	4 kilos	Diariamente
<b>Pasto de corte</b>	4 kilos	Diariamente
<b>Morera</b>	4 kilos	Diariamente
<b>Bore</b>	4 kilos	Diariamente
<b>Aguacate</b>	4 kilos	Diariamente

Los cerdos de engorde se alimentan sólo con concentrado y los cerdos de cría se alimentan con suplementos. El consumo de estos suplementos por parte de los cerdos de cría hace disminuir su precio dado que sus costos se abaratan. Por su parte, y para interés del presente trabajo, el hecho de que estos cerdos consuman suplementos hace que su estiércol tenga más materia orgánica que pueda ser procesada más fácilmente por el Biodigestor.

Se tiene un tiempo de retención, el cual se define como el tiempo que se toma el agua residual en entrar y hacer su proceso dentro del Biodigestor. Este tiempo varía entre 12 y 13 días; y aporta datos importantes acerca de la producción de biogás y su relación con la permanencia de los cerdos en la unidad productiva. Esta estancia de los cerdos por lo

general consta de 4 meses, siendo a veces un poco menos en el caso de mortandad o sacrificio.

Por su parte, vale la pena destacar que un cerdo de levante es un cerdo que tiene entre un mes y dos meses y medio edad. Un cerdo de engorde tiene dos meses y medio en adelante.

De 20 a 24 lechones de peso hasta 30 kg producen alrededor de 14,5 kg de estiércol por día. Los cerdos con un peso desde 30 hasta 110 kg produce alrededor de 3,5 kg de estiércol por día y las cerdas de cría con un peso superior a 150 kg producen entre 6,5 kilos alrededor de estiércol al día.

*Tabla No. 19: Producción de estiércol al día según peso de los cerdos*

<b>Cantidad de cerdos</b>	<b>Peso de los cerdos</b>	<b>Producción de Estiércol al día</b>
<b>20-24</b>	< 30 kg	14,5 kg
<b>20-24</b>	> 30 kg < 110 kg	3,5 kg
<b>20-24</b>	> 150 kg	6,5 kg

En el mismo orden de lo anterior, en el siguiente cuadro se relaciona la cantidad de cerdos que hay cada mes en la finca Campoalegre conforme se desarrolla el año. El cuadro también se muestra un promedio de las cantidades manejadas en el año de cada una de las clases de cerdos.



Tabla No. 20: Población de cerdos según edad y mes

<b>Cantidad cerdos en tiempo</b>	<b>Gestación</b>	<b>Cría</b>	<b>Pre-cebo</b>	<b>Levante</b>	<b>Engorde</b>	<b>Cantidad total</b>
<b>Enero</b>	43	40	50	65	40	238
<b>febrero</b>	43	35	74	50	52	254
<b>Marzo</b>	43	176	86	74	65	444
<b>Abril</b>	44	98	53	86	50	331
<b>Mayo</b>	43	76	60	53	72	304
<b>Junio</b>	43	54	63	60	86	306
<b>Julio</b>	43	134	58	63	43	341
<b>Agosto</b>	43	105	80	58	60	346
<b>Septiembre</b>	48	54	83	80	63	328
<b>e</b>						
<b>Octubre</b>	48	39	56	83	51	277
<b>noviembre</b>	47	63	42	56	80	288
<b>e</b>						
<b>Diciembre</b>	47	47	52	42	82	270
<b>Enero</b>	44	65	50	52	55	266
<b>Febrero</b>	44	98	70	48	42	302
<b>Promedio</b>	44	77	63	62	60	306

Fuente. Elaboración propia.

Por su parte, se evidencia en las siguientes imágenes cómo se comportan los animales en las cocheras de la finca objeto del presente trabajo. Como se puede observar, el suelo está lleno de heces con materia orgánica, la cual es el combustible para el Biodigestor. Una vez son lavadas por los trabajadores, estas heces viajan hacia el Biodigestor y lo hacen funcionar para la producción de biogás.

*Figura No. 17: Condiciones de los porcinos en Finca Campoalegre*



Fuente. Elaboración propia.

Fuente. Elaboración propia.



Fuente. Elaboración propia.

Fuente. Elaboración propia.

## **Construcción y arranque de un biodigestor a escala real**

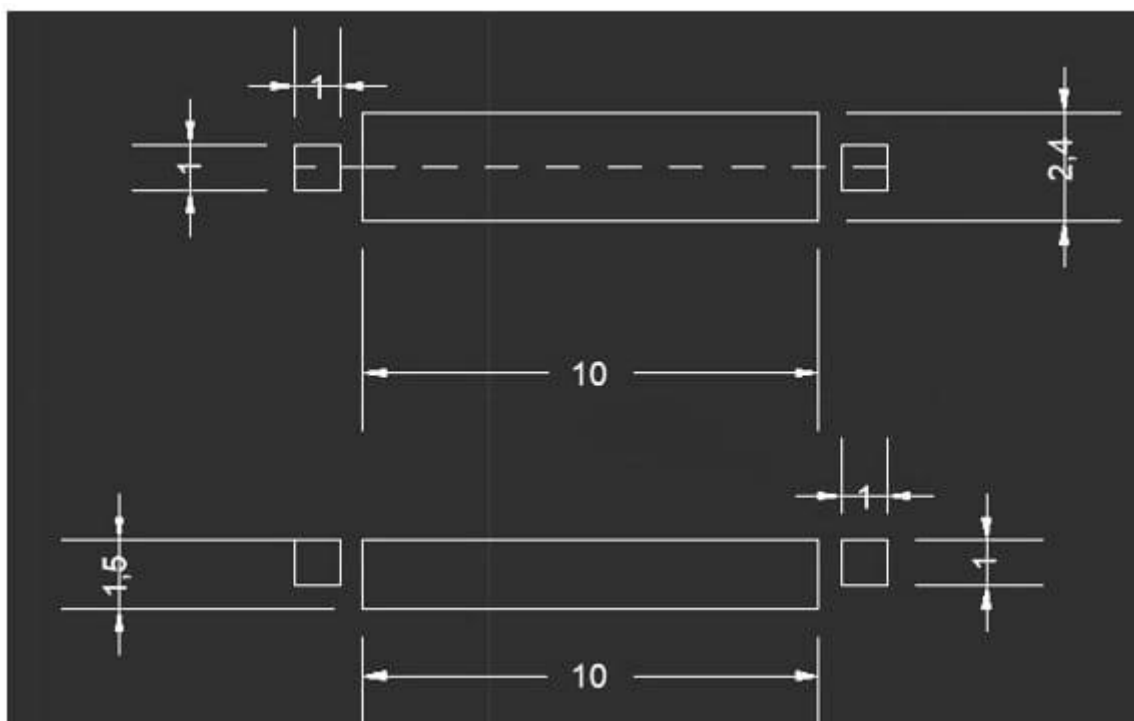
### **Proceso de adecuación y/o mejora del Biodigestor**

La condición de desgaste y corrosión del zinc utilizado en la construcción del anterior Biodigestor de la finca Campoalegre, responde al deterioro de cualquier elemento metálico que esté en el radio de al menos 5 metros de distancia de dicho dispositivo. Se ve, entonces, alta probabilidad de rasgar el plástico de esta construcción por las esquilas que caen, por el daño progresivo de su cubierta, lo cual se produce por la elevada cantidad de gases que se pierden en todo el proceso de digestión anaerobia como lo son las cajas de entrada y salida de lixiviado como se pueden observar en la imagen.

La condición existente genera la necesidad de implementar una construcción de soporte con material natural como es la guadua y la esterilla de guadua; como materiales de amarre se realiza combinando alambre galvanizado y cuerda de 6 milímetros el cual no se corroe ni se desgasta a corto plazo, a su vez se extiende como recubrimiento un plástico de alto calibre disminuyendo la entrada de rayos directos del sol, los cuales generan un deterioro progresivo de la lona con la que está hecho el biodigestor; de esta manera se garantiza la durabilidad de la guadua y la esterilla de guadua, el cual ha sido dispuesto desde el corte, la preparación y su organización en época de luna menguante.

En este orden de ideas, se realiza un plano con las medidas que debe tener el nuevo biodigestor, el cual debe comprender las condiciones de la Finca Campoalegre, además de las mejores condiciones para la mayor generación de biogás.

Figura No. 18: Planos del biodigestor



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, el plano está mostrando dos perspectivas del biodigestor. La de arriba es la vista superior y la de abajo muestra la vista de perfil. La imagen de arriba enseña el ancho de la abertura del biodigestor. A su vez, la de debajo muestra la altura del reactor desde el punto más bajo hasta el punto superior. La unidad de medida utilizada está en metros.

Figura No. 19: Montaje del techo en esterilla de guadua



Fuente. Elaboración propia.

### **Adecuaciones del terreno y construcción de las cajas de entrada de sustrato y salida de lixiviados.**

Se genera el alistamiento de terreno con limpieza de paredes y las medidas adecuadas para el correcto montaje del plástico del biodigestor, con medidas de 10 metros de largo por 2,5 metros de ancho; cerciorándose que no se tenga ninguna esquirla de la cobertura anterior ya que con el peso del agua existe la probabilidad que se fisure el plástico, o que no exista alguna una raíz de o residuo puede dañar el plástico.

Figura No. 20: Adecuación de cajas de entrada y salida biodigestor



Fuente. Elaboración propia.

Se adecuan las cajas de entrada y salida incrementando una hilada más de bloques para controlar el ingreso de sedimentos arrastrados por las aguas lluvias, y a su vez previenen accidentes con animales que puedan caer y no tengan posibilidad de salir de nuevo.

### Construcción del reactor y Alistamiento del plástico

Figura No. 21: Aislamiento de plástico del biodigestor



Fuente. Elaboración propia

Se utiliza un plástico calibre 8 por 2,5 metros de diámetro el cual es cortado de 14 metros de largo para suplir el espacio del terreno que es de 10 metros y 2 metros a cada lado para el óptimo montaje, luego de cortado es necesario reforzarlo introduciendo otro plástico de las mismas dimensiones dentro del otro creando así una doble capa más fuerte, posterior a ello se ubica la válvula de salida de gases que va incrustada en el plástico exactamente en la mitad conformada por piezas de pvc y empaques de neumático diseñados para la contención del gas.

*Figura No. 22: Instalación de acople y plástico reforzado*



Fuente. Elaboración propia.

## Montaje y prueba del reactor.

Figura No. 23: Montaje y prueba del reactor



Fuente. Elaboración propia.

Transportado y dispuesto el plástico en el lugar de instalación se extiende y se toman 2 metros para hacer el amarre utilizando cintas de neumático ya que son más resistentes y flexibles por tener una buena compresión del plástico en el acople de tubo que lleva a las cajas; se realiza una prueba de sello neumático utilizando una máquina de espaldas a aire. Se verifica el estado del plástico para evitar fugas de aire y/o de gases a futuro, se adapta un filtro de ácido sulfhídrico la cual está hecha a partir de chatarra y



esponjillas de brillo. Finalmente se hace un llenado manual con agua para facilitar y disminuir el tiempo de llenado del biodigestor con materia orgánica.

### Estado de cajas y sedimentado

*Figura No. 24: Primera caja de entrada con materia orgánica*



Fuente. Elaboración propia.

En la presente imagen se observa la riqueza de materia orgánica en suspensión que se recolecta de la producción de aguas residuales porcícolas, las cuales sedimentan y entran en el proceso del biodigestor; es necesario tener en cuenta que se debe realizar una limpieza periódica de arenas que se sedimentan procedentes del desgaste de paredes y pisos de la infraestructura. La mayor cantidad de materia que llega a la caja de entrada corresponde al estiércol de las cerdas de cría y el bagazo sobrante de su alimentación diaria.

*Figura No. 25: Tanque de almacenamiento de lixiaviado*



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente imagen se observa la caja de salida, ya sin materia orgánica en suspensión; se observan unas hojas que han llegado por vientos las cuales se digerirán dentro del reactor. Se cuenta con una disminución de un 80% a 90% de materia orgánica. Esto se determina a simple vista dado que ninguna materia orgánica sale como entró, sino que tiene más componente de agua.

*Figura No. 26: Caja de salida de biodigestor*



Fuente: Elaboración propia

Se implementan 2 tanques de sedimentación en línea, con el propósito final de utilizarlo como abono orgánico para los cultivos del predio y predios cercanos. Están conformado por 2 tanques de 1000 litros los cuales están conectados en línea.

## Producción de biogás

*Figura No. 27: Prueba de producción de biogás*



Fuente. Elaboración propia.

Después del proceso de biodigestión se obtiene el biogás el cual un gran porcentaje es metano ya purificado del ácido sulfhídrico el cual fue removido por un filtro de sulfuros que está ubicado en el inicio de la condición. Este gas se es utilizado para preparar alimentos para el consumo diario y para el sacrificio de aves de corral en forma de energía calórica para calentar el agua.

## Segunda parte

### Montaje de las pruebas BMP a escala banco

El montaje de las pruebas a escala banco se desarrolla después de identificar y evidenciar la alta cantidad de residuos agroindustriales generados como lo son: de aguas residuales porcícolas, la capota de cacao, el suero de leche y las plumas de aves de corral para el consumo humano.

Se da como inicio 4 pruebas piloto, las cuales están basadas en 4 variables, a saber:

*Tabla No. 21: Nombre de pruebas y variables.*

Prueba 1 C	Prueba 2 S	Prueba 3 P	Prueba 4 T
(Agua, estiércol y cáscaras de cacao).	(Agua, estiércol y suero de leche)	(Agua, estiércol y plumas)	(Agua, estiércol, cáscaras de cacao y plumas)

Se busca unos recipientes que sean herméticos al momento de cerrarlo, como son las canecas de pintura a las cuales se les perfora un orificio con taladro y broca de XX'', posteriormente se implementan acoples con los accesorios y tubos de pvc de diámetro XX'', después se procede con la instalación de los medidores de gas; que en este caso son unas botellas con agua las cuales por presión del gas desplazarán el agua generando un resultado de producción de gas conocido como gasómetros tipo Mariott.

Figura No. 28: Recipientes con pruebas



Tabla No. 22: Presupuesto de la construcción del biodigestor

Descripción	Cantidad	Valor (COP \$)
<b>Recipientes de 5 galones</b>	4	8.000
<b>Tubo pvc</b>	1	10.500
<b>Botellas de gaseosa</b> (4 botellas de 3 litros 4 botellas de 2 litros)	8	No tuvieron costo
<b>Adaptador hembra pvc</b> (Media pulgada)	4	1.600
<b>Adaptador macho pvc</b>	4	1.600
<b>Unión pvc</b> (Media pulgada)	4	1.200
<b>Codos pvc</b> (Media pulgada)	16	3.200

<b>Reducciones de pvc a manguera</b> (Media pulgada)	4	4.800
<b>Cinta teflón</b>	1	1.800
<b>Pegante pvc</b> (Marca Pavco)	1	5.200
<b>Manguera transparente</b> (Media pulgada)	4 metros	1.800
<b>Neumático</b>	1	1.000
<b>Bombas</b> (Globos comunes de fiesta)	5	1.000
<b>Silicona</b>	2	1.400
	<b>Total presupuesto</b>	<b>43.100</b>

Tabla No. 23: Herramientas utilizadas

<b>Herramientas</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Taladro marca Bosch</b>	1
<b>Brocas metálicas</b> (5,5 mm, 25 mm y media pulgada)	3
<b>Segueta</b>	1
<b>Tijeras</b>	1
<b>Báscula marca ICM Modelo ACS A9</b>	1
<b>Palustre</b>	1

<b>Pala</b>	1
<b>Recipiente plástico de 10 litros de capacidad</b>	1

*Figura No. 29:Recolección de cacao*



Fuente: Elaboración propia

Mensualmente se generan entre unos 200 a 500 kg de capota de cacao, los cuales ocasionan problemas para el cultivo ya que por la cantidad de residuo sin disponer adecuadamente se producen hongos y enfermedades que pueden atacar y disminuir la cosecha de cacao y su posterior transformación en chocolate en la finca Campoalegre; por lo cual se decide aprovechar como sustrato de mayor interés para el proceso de digestión anaerobia.



*Figura No. 30: Recolección de plumas*



Fuente: Elaboración propia

Adicional se cuenta con una alta cantidad de producción de pollos de engorde para el consumo humano, lo cual implica una alta generación de residuos como vísceras y sangre, -subproductos que posteriormente se han aprovechado para la alimentación de peces; las plumas no se les ha encontrado algún uso práctico, por lo que son enterradas en fosas añadiéndoles cal para la disminución de vectores y olores, es por ello que se decide usarlo como sustrato y darle así un aprovechamiento adecuado.

*Figura No. 31: Muestra de suero*



Fuente: Elaboración propia

Otro residuo agroindustrial que no es aprovechado, es el suero de leche o lactosuero el cual es generado por una empresa local de quesos; esta empresa tiene prohibido verter este residuo al alcantarillado ya que altera las condiciones óptimas de funcionamiento de la PTAR de Victoria, Caldas; por lo tanto, se optó por ser transportado a la zona de estudio, y ahí ser acopiado y darle un aprovechamiento como lo es alimentando a las cerdas como suplemento alimenticio.

En las temporadas de lluvias tiende a haber más crecimiento de pastos, lo que hace que los animales de las granjas, en este caso las vacas, tengan más alimentación y tengan más potencial de producción de leche. Esto, también hace que se incrementa la producción de queso y por ende también aumenta la generación del de suero de leche. Este subproducto, como se ha venido diciendo en el trabajo, es un suplemento a la alimentación de los cerdos, lo cual resultará en desechos orgánicos que alimentarán al biodigestor.

## Conclusiones

- Algunos de los sustratos trabajados aún están en producción de gas metano, desintegrando uno de los sustratos, aún uno se encuentra en el trabajo de romper los enlaces químicos de otro de los sustratos.
- Se deben implementar más estudios sobre aplicaciones de los lixiviados de co-digestión como abono orgánico y hacer análisis elementales del mismo esperando nivelar la producción de nitrógeno y carbono.
- El aprovechamiento del potencial energético de estos sustratos y su posible aplicación en la generación de electricidad puede ayudar a disminuir la cantidad de gases de efecto invernadero y generar un beneficio económico para comunidades alejadas y desconectadas de la malla eléctrica.
- En nuestro país y en nuestra región apenas se está potenciando el uso de estas tecnologías que son amigables con el medio ambiente con las cuales otros países están siendo líderes en su utilización, tal como lo hacen Alemania, Suiza y Bélgica en Europa; y Argentina y México en América Latina.
- Realizando el aprovechamiento de los residuos orgánicos de la finca Campoalegre se logra cumplir con la gestión ambiental y el cumplimiento con las exigencias ambientales de la Corporación Autónoma Regional Ambiental (Corpocaldas).

## Recomendaciones

- Retornar los lixiviados al proceso de digestión o montar otro biodigestor en serie ya que aún cuentan con gran producción de gas y puede ser aprovechado.

- Implementar un filtro anaerobio (FAFA) para disminuir la turbiedad debido a que éste, cumpliría con requisitos y condiciones de pH y turbidez para la disposición final en el afluente quebrada el matadero.
- Crear concienciación mediante una adecuada educación ambiental en la comunidad sobre el aprovechamiento de los residuos agroindustriales para el beneficio económico y ambiental.
- Se recomienda a la Universidad Católica de Manizales, a sus estudiantes e investigadores la implementación de este tipo de tecnologías, pues tiene mucho que ofrecer en el campo de la investigación.
- Ligar universidades o carreras afines para que trabajen con proyectos sociales. La utilización de residuos agroindustriales y sus nuevos beneficios, ya que se desconoce por la comunidad estos nuevos usos y tecnologías.

### **Ventajas**

- En el caso de los materiales requeridos para la construcción, el costo es relativamente bajo y asequible.
- Se minimiza el problema de los malos olores y producción de vectores.
- Los lodos después del proceso de digestión también son utilizados porque contienen propiedades fertilizantes.
- El manejo, el cuidado y mantenimiento es simple y sencillo de este tipo de tecnologías.

## Bibliografía

- Aguilar Álvarez, G. (2013). *Control de temperatura y PH aplicado en biodigestores modulares de estructura flexible con reciclado de lodos a pequeña escala*. Universidad Autónoma de Querétaro, Maestría en Mecatrónica. Querétaro: Facultad de Ingeniería. Obtenido de <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/904>
- Ahumada, Ó. (9 de septiembre de 2019). Los 22 billones que se van a la basura por ineficiencia energética. *El Tiempo*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/los-22-billones-que-se-van-a-la-basura-por-ineficiencia-energetica-en-colombia-410148>
- Alonso Estrada, D., Lorenzo Acosta, Y., Díaz Capdesuñer, Y. M., Sosa Cáceres, R., & Angulo Zamora, Y. (2014). Tratamiento de residuales porcinos para la producción de biogás. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 48(3), 16-21. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223132853003.pdf>
- Blanco, D., Suárez, J., Jiménez, J., González, F., Álvarez, L. M., Cabeza, E., & Verde, J. (2015). Eficiencia del tratamiento de residuales porcinos en digestores de laguna tapada. *Pastos y Forrajes*, 38(4), 441-447. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v38n4/pyf08415.pdf>
- Carhuancho, F., Ramírez, J., & Guerrero, J. (2015). Gestión ambiental de residuos agrícolas mediante digestión anaerobia para la producción de fertilizantes orgánicos líquidos. *Anales Científicos*, 76(1), 125-132. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/311958551\\_GESTION\\_AMBIENTAL\\_DE\\_RESIDUOS\\_AVICOLAS\\_MEDIANTE\\_DIGESTION\\_ANAEROBIA\\_PARA\\_LA\\_PRODUCION\\_DE\\_FERTILIZANTES\\_ORGANICOS\\_LIQUIDOS](https://www.researchgate.net/publication/311958551_GESTION_AMBIENTAL_DE_RESIDUOS_AVICOLAS_MEDIANTE_DIGESTION_ANAEROBIA_PARA_LA_PRODUCION_DE_FERTILIZANTES_ORGANICOS_LIQUIDOS)
- Cepero, L., Savrán, V., Blanco, D., Díaz Piñón, M. R., Suárez, J., & Palacios, A. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos y Forrajes*, 219-226. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942012000200009&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200009&lng=es&tlng=es)
- Chica, A. A., & Vaca, J. V. (2019). *Estudio de la cinética química para la obtención de biogás a partir de desechos orgánicos (residuos de frutas no cítricas y estiércol vacuno) para la validación del diseño y operatividad de un biodigestor didáctico anaerobio*. Universidad de Guayaquil, Carrera de Ingeniería Química. Guayaquil: Facultad de Ingeniería Química. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39948/1/401-1356%20-%20Estudio%20cinetica%20quimica%20obtene%20de%20biogas.pdf>
- de Azevedo Frigo, K. D., Feiden, A., Barchinsk Galant, N., Ferreira Santos, R., Mari, A. G., & Pires Frigo, E. (2015). Biodigestores: seus modelos e aplicações. *Acta Iguazu*, 4(1), 57-65. Obtenido de <http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/12528/8708>
- Derivex Colombia SA. (2014). *Caracterización del mercado eléctrico colombiano*. Bogotá D.C.: Derivex. Obtenido de <http://www.derivex.com.co/Capacitaciones/Memorias%20de%20Capacitaciones/Caracterizaci%C3%B3n%20del%20Mercado%20El%C3%A9ctrico%20Colombiano.pdf>
- Durazno Coronel, A. D. (2018). *Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de Biogás en un biodigestor de producción por etapas*. Cuenca: Universidad Politécnica

- Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15445/1/UPS-CT007585.pdf>
- Echeverría Echeverría, D. A. (2018). *Proyecto de un biodigestor para vivienda rural*. Universidad Técnica Federico Santa María. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/45995/3560901543866UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Escalante, H., Castro, L., Amaya, M. P., Jaimes, L., & Jaimes Estévez, J. (2018). Anaerobic digestion of cheese whey: Energetic and nutritional potential for the dairy sector in developing countries. *Waste manage*, 711-718. doi:10.1016/j.wasman.2017.09.026.
- Espinoza Hernández, S. (7 de diciembre de 2017). Generación de Energía Eléctrica a través de Biogas. (S. Jalisco, Entrevistador) Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=SZ3dPoJfvd0>
- Estrada, J., Gómez, G., & Jaramillo, A. (2008). Efecto del biodigestor plástico de flujo continuo en el tratamiento de aguas residuales de establos bovinos. *Veterinaria y Zootecnia*, 9-20. Obtenido de <http://vetzootec.ucaldas.edu.co/downloads/v2n2a01.pdf>
- Ferrer Martí, I., Uggetti, E., Poggio, D., & Velo García, E. (2015). *Producción de biogás a partir de residuos orgánicos en biodigestores de bajo coste*. Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech. Barcelona: II Congrés UPC Sostenible 2015, Barcelona, 9 i 10 de juliol de 2009.
- Germán Alarcón, C., Camacho Ronquillo, J. C., & Gallegos Sánchez, J. (2005). *Producción de cerdos*. Puebla, México: Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Obtenido de <http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/14960672-Manual-de-Produccion-Cerdos.pdf>
- Gómez Álvarez, M. Á. (2017). *Determinación del Potencial Bioquímico de Metano y del Potencial de Suministro Eléctrico Neto de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos de Mercados de Abasto del Distrito de Arequipa*. Escuela Profesional de Ingeniería y Computación. Arequipa: Universidad Católica San Pablo. Obtenido de [http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/15469/2/G%C3%93MEZ\\_ALVAREZ\\_MIG\\_DET.pdf](http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/15469/2/G%C3%93MEZ_ALVAREZ_MIG_DET.pdf)
- González, E. T., & Jurado, P. C. (2017). Sustratos y producción de biogás en biodigestores. Una revisión sistemática. *Ingeciencia*, 2(1), 44-64. Obtenido de [http://editorial.ucentral.edu.co/ojs\\_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2352/2176](http://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2352/2176)
- Jaramillo, P. S. (2006). Pobreza rural en Colombia. *Revista Colombiana de Sociología*(27), 47-62. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/14161/1/3-7974-PB.pdf>
- Martí Herrero, J., Piedra Burbano, M. A., Cují, P., Ramírez, V., Rodríguez, L., López Domínguez, D., & Cipriano, J. (2017). *Actividad 1: Línea base y demanda potencial técnica de biodigestores en Ecuador: Análisis del contexto y tipologías de productores*. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Obtenido de [https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/180114\\_e1.1\\_linea\\_base\\_ecuador\\_biogas.pdf](https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/180114_e1.1_linea_base_ecuador_biogas.pdf)
- Menna, M. B., Murcia, G. J., Corleto, B., Dinamarca, A., Branda, J., & Garin, E. (2011). Evaluación energética de la biodigestión anaerobia de estiércol de cerdo en condiciones de mínimo manejo. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, 15, 06.113-06.118.

- Obtenido de <https://www.mendoza-conicet.gov.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2011/2011-t006-a015.pdf>
- Montenegro Orozco, K. T., Rojas Carpio, A. S., Cabeza Rojas, I., & Hernández Pardo, M. A. (2016). Potencial de biogás de los residuos agroindustriales generados en el departamento de Cundinamarca. *Rev.ion*, 29(2), 23-37. Obtenido de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/5982>
- Mora Cortés, D. (2018). *Determinación Teórica del BMP (Potencial Bioquímico de Metano) de los Lodos en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Victoria, Caldas*. Universidad Católica de Manizales. Manizales: Grupo de Investigación en Desarrollos Tecnológicos y Ambientales. Obtenido de <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/2500/Daniela%20Mora%20Cort%C3%A9s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mora Cortés, D., Garcés Gómez, Y. A., & Pacheco, S. I. (2020). Improvement of Biomethane Potential by Anaerobic Co-Digestion of Sewage Sludge and Cocoa Pod Husks. *International Journal of Technology*, 11(3), 482-491. doi:<https://doi.org/10.14716/ijtech.v11i3.4079>
- Municipio de Victoria. (11 de agosto de 2020). *Alcaldía de Victoria, Caldas*. Obtenido de Nuestro municipio, Alcaldía de Victoria, Caldas: <http://www.victoria-caldas.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Osejos Merino, M., Jaramillo Véliz, J., Merino Conforme, M., Quimis Gómez, Á., & Alcívar Cobeña, J. (2018). Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa – Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 4(1), 709-733. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/336003185\\_Produccion\\_de\\_biogas\\_con\\_estiercol\\_de\\_cerdo\\_a\\_partir\\_de\\_un\\_biodigestor\\_en\\_la\\_Granja\\_EMAVIMA\\_Jipijapa\\_-\\_Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/336003185_Produccion_de_biogas_con_estiercol_de_cerdo_a_partir_de_un_biodigestor_en_la_Granja_EMAVIMA_Jipijapa_-_Ecuador)
- Otero Guerrero, Ó. (2017). *Evaluación del potencial de producción de biogás a partir de residuos agroindustriales de la caña de azúcar*. Cali: Universidad ICESI. Obtenido de [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/82464/1/TG01758.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/82464/1/TG01758.pdf)
- Pinzón Fernández, C. A. (2017). Implementación de biodigestores para el mejoramiento de la calidad de vida de las familias campesinas. *Revista de Investigaciones Agroempresariales*, 3, 88-96. Obtenido de <http://revistas.sena.edu.co/index.php/riag/article/view/1438>
- Porkcolombia. (2018). *Análisis de coyuntura del sector porcicultor del año 2018 y perspectivas 2019*. Área Económica FNP. Bogotá D.C.: Fondo Nacional de la Porcicultura. Obtenido de [https://www.miporkcolombia.co/wp-content/uploads/2019/03/Bol\\_Inf\\_2018.pdf](https://www.miporkcolombia.co/wp-content/uploads/2019/03/Bol_Inf_2018.pdf)
- Porkcolombia. (2020). *Boletín económico julio*. Bogotá D.C.: Fondo Nacional de la Porcicultura. Obtenido de <https://www.miporkcolombia.co/boletin-economico-julio-2020/>
- Quintero Curvelo, G., Huertas Díaz, W., & Ortega David, E. (2017). Procesamiento de plumas de pollo para la obtención de queratina. *UGCiencia*, 23. Obtenido de <https://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/767>
- Rivera Vargas, G. A., Matsumoto, Y., & Baquero Parra, R. (2016). Análisis para la obtención de hidrógeno a partir de biogás proveniente de la fermentación de bebidas naturales.

- Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(2), 251-256. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/404/40445803009.pdf>
- Rodríguez León, L. D., Ordóñez Vásquez, K. M., & Quizhpe Cordero, P. F. (2019). Estrategias para mitigar el impacto ambiental generado por la porcicultura hacia la contribución del desarrollo sostenible: Sitio Banasur, cantón Pasaje. *Polo del Conocimiento*, 4(8), 51-70. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1043/1342>
- Rodríguez Uribe, C. A. (2016). *Estudio de factibilidad para la implementación de Biodigestores para el procesamiento de los residuos sólidos orgánicos en granjas avícolas*. Programa de Administración de Negocios Internacionales. Bogotá D.C.: Universidad del Rosario. Obtenido de <https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/12588>
- Sogari, N., Vázquez, F., Martínez, F., Gómez, C., Bertona, V., Monzón, V., & Planisich, N. (2016). Generación de Biogás a partir de la degradación de residuos orgánicos de frigoríficos. *XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*. 4, págs. 06.27-06.33. Corrientes: Universidad Nacional del Nordeste. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/65609>
- Spahr, D. A., Carrizo, J. F., Belinha Patiño, M., Manera, M. E., & Rubiolo, G. S. (2019). Relevamiento, evaluación y optimización de biodigestores. *I Congreso Internacional de Ingeniería Aplicada a la Innovación en la Educación y Asamblea General de ISTECS 2019* (págs. 36-54). Córdoba: Universidad Nacional de la Plata. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/95534>
- Tesfaye, T., Sithole, B., Ramjugernath, D., & Chuniwall, V. (2017). Valorisation of chicken feathers: Characterisation of chemical properties. *Waste Manag.* doi:10.1016/j.wasman.2017.06.050
- Trejo Lizama, W., Vázquez González, L. B., Uicab, A. J., Castillo Caamal, J., Caamal Maldonado, A., Belmar Casso, R., & Santos Ricalde, R. (2014). Eficiencia de remoción de materia orgánica de aguas residuales porcinas con Biodigestores en el Estado de Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(2), 321-323. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93931761025.pdf>
- Venegas, J. A., Espejel García, A., Pérez Fernández, A., Castellanos Suárez, J. A., & Sedano Castro, G. (2017). Potencial de energía eléctrica y factibilidad financiera para biodigestor-motogenerador en granjas porcinas de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 735-740. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/322670581\\_Potencial\\_de\\_energia\\_electrica\\_y\\_factibilidad\\_financiera\\_para\\_biodigestor-motogenerador\\_en\\_granjas\\_porcinas\\_de\\_Puebla](https://www.researchgate.net/publication/322670581_Potencial_de_energia_electrica_y_factibilidad_financiera_para_biodigestor-motogenerador_en_granjas_porcinas_de_Puebla)



## Anexos

Figura No. 32: Carta generada por Corpocaldas al predio finca Campoalegre



**CORPOCALDAS**  
Corporación Autónoma Regional de Caldas  
Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible

500- 8643

Manizales,

Señor  
**LUIS EDUARDO GARZON BELTRAN**  
Predio Campo Alegre - Vereda El Aguacate  
Victoria - Caldas

CORPORACION AUTONOMA  
REGIONAL DE CALDAS



Al contestar cite:  
**2016-IE-00019154**

04/08/2016 05:57:32 Folios

Asunto: Requerimiento Concesión de Aguas y Permiso de Vertimientos.

Cordial saludo,

Mediante visita realizada por parte de contratistas de la Subdirección de Evaluación y Seguimiento Ambiental de Corpocaldas, al predio Campo Alegre, localizado en la vereda El Aguacate del municipio de Victoria, se pudo constatar que usted está haciendo uso del agua de fuente natural, sin contar con la correspondiente concesión de aguas, igualmente se determinó que en su predio se vienen generando aguas residuales y no se cuenta con el respectivo permiso de vertimientos.

Con base en dicha observación, se le recomienda iniciar los trámites de concesión de aguas y permiso de vertimientos, para lo cual puede dirigirse a las oficinas de Corpocaldas de su municipio, o en la sede central localizada en la calle 21 N° 23 – 20 de la ciudad de Manizales; tramitando y allegando los formularios que se anexan a la presente.

Por lo anterior, se le requiere una sola vez y en los términos del artículo 17 de la ley 1755 de 2015, para que en un plazo máximo de un (1) mes realice las acciones antes aludidas. En caso contrario, será reportado el incumplimiento, lo que podría motivar el inicio de un proceso sancionatorio, de acuerdo con lo establecido en el numeral 1° del artículo 40 de la Ley 1333 de 2009.

Atentamente,



**ADRIANA MERCEDES MARTINEZ GOMEZ**  
Subdirectora de Evaluación y Seguimiento Ambiental

Proyecto: Carlos Gilberto Naranjo – Contrato 078-2015  
Revisó: José Albeiro Gómez Chica



ISO 9001  
NTCGP 1000  
BUREAU VERITAS  
Certification

Calle 21 No. 23 – 22 Edificio Atlas Manizales  
Teléfono: (6) 884 14 09 – Fax: 884 19 52  
Código Postal 170006 - Línea Verde: 01 8000 96 88 13  
www.corpocaldas.gov.co - corpocaldas@corpocaldas.gov.co  
www.facebook.com/corpocaldas - twitter@corpocaldas

Figura No. 33:Tabla de materiales construcción de biodigestor.

MATERIALES CONSTRUCCION DE DOS BIODIGESTORES TIPO SALCHICHA DE X METROS			
INSUMO	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Plástico tubular calibre 8 de 2,50 mt de diámetro	28	13000	364.000
Ladrillos	50	750	37.500
Cemento	2	24000	48.000
Arena	8	2000	16.000
Tubos de cemento de 1 mt de largo y de 10" a 12" pulgadas de diámetro	2	15000	30.000
Arandelas plasticas de 20 cm. de diámetro y agujero central de 1 pulgada	2	2.000	4.000
flanche de PVC de 1 pulgada	1	3000	3.000
union de PVC de 1 pulgada	1	800	800
adaptador de PVC macho de 1 Pulgada	1	1000	1.000
Arandela o ruanas de neumático de carro			0
			0
T de Manguera de 1 pulgada	1	1.300	1.300
Adaptador de PVC a manguera de 1 Pulgada	1	1.000	1.000
Codo de PVC de 1 Pulgada	1	1000	1.000
Frasco o envase plástico transparente de 3 lts.			0
mangrera flexible de 1 pulgadas (1 metros)	3	5000	15.000
manguera de polietileno de 1 pulgadas. Cantidad variable	1	32000	32.000
llave de paso de 1 pulgadas	2	6000	12.000
Plástico para construcción del techo	7	8000	56.000
niples galvanizados de diferentes medidas	1	15000	15.000
instalación	1	200000	200.000
Total			\$ 837.600

GASTOS AGRICULTOR
consecución de los materiales y transporte hasta la finca
Construcción de la sanja para el biodigestor
Construcción de la caja entrada y salida
construcción del techo