



UNIVERSIDAD
Popular del Cesar



DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE FLUJO DISCONTINUO A ESCALA DE LABORATORIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MEGACOLEGIO RICARDO GONZALEZ DE VALLEDUPAR.

LAURA CARMENZA TORRES URRUTIA
RONALD FABIAN ROMERO ARRIETA

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR - CESAR

2019



UNIVERSIDAD
Popular del Cesar



DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE FLUJO DISCONTINUO A ESCALA DE LABORATORIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MEGACOLEGIO RICARDO GONZALEZ DE VALLEDUPAR.

LAURA CARMENZA TORRES URRUTIA
RONALD FABIAN ROMERO ARRIETA

DIRECTOR
WALNER LOPEZ MENA
ING. SANITARIO Y AMBIENTAL

Proyecto de grado para acceder al título de ingeniero ambiental y sanitario

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR - CESAR

2019

DEDICATORIA

Primero que todo gracias a Dios por su vital acompañamiento en este largo proceso, a mis padres y mi familia que fueron una pieza fundamental que me ayudó a seguir y perseverar hasta culminar esta carrera y de igual manera mi novia que siempre estuvo siguiendo este proceso en cada paso que daba.

RONALD FABIAN ROMERO ARRIETA.

Primero que todo darle gracias a Dios por siempre estar acompañándome, llenando de paciencia amor y sabiduría, a mi abuela Carmenza Roa que es mi polo a tierra en este mundo, a mis padres y a mi familia que siempre están para mí, a mis amigas , amigos y a mi novio que me acompañaron en este proceso. Agradezco todas las enseñanzas académicas y cotidianas que aprendí en este proceso, finalmente culmino esta meta y esperar las bendiciones que vienen con ello.

LAURA CARMENZA TORRES URRUTIA.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. OBJETIVOS	13
3.1. Objetivo General	13
3.2. Objetivos Especificos:	13
4. MARCO REFERENCIAL	14
4.1. ANTECEDENTES	14
4.2. MARCO TEÓRICO	18
4.3. MARCO CONTEXTUAL	28
Descripción Física:	28
4.4. MARCO CONCEPTUAL	30
4.5. MARCO INSTITUCIONAL	32
4.5.1. Reseña histórica.	32
4.5.2. Logo institucional.	33
4.5.3. Entidad	33
4.5.4. Misión	33
4.5.5. Visión.	33
4.6. MARCO LEGAL	35
5. METODOLOGÍA	38
5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	38
5.2. POBLACIÓN	38
5.3. MUESTRA	38
5.4. TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	39
5.4.1. Observación	39
5.5. DESARROLLO METODOLOGICO	40
5.5.1. FASE 1. Caracterización de las muestras	40



5.5.2. FASE II. Diseño y construcción del Biodigestor.	40
5.5.3. FASE III. Evaluación de la cantidad de biogás y bioabono.	44
6. RESULTADOS.....	45
6.1. FASE I. Identificación de las muestras de agua residual y residuos sólidos.	45
6.1.1. Muestreo de agua residual institucional.	45
6.1.2. análisis de parámetros fisicoquímicos del agua residual.	46
6.1.3. caracterización de residuos sólidos.	47
6.2. FASE II. Diseño del biodigestor	50
6.3. FASE III. Evaluación de la cantidad de biogás y bioabono.	56
6.3.1. producción de biogás según la composición del reactor.....	56
6.3.2. Comparación de reactores según su composición.	66
6.3.3. Producción del bioabono.....	67
7. CONCLUSIONES	70
8. RECOMENDACIONES.....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición del biogás.	23
Tabla 2. Sensibilidad y rango de temperatura de acuerdo al tipo de bacteria	26
Tabla 3. Normatividad vigente aplicable al proyecto.	35
Tabla 4. Relación de los reactores proporción masa/volumen.	42
Tabla 5. Métodos y técnicas para el análisis de los parámetros fisicoquímicos. ...	46
Tabla 6. Resultados de los análisis de laboratorio.	47
Tabla 7. Clasificación de los residuos sólidos encontrados en el comedor estudiantil.	48
Tabla 8. Producción del reactor 1 (70% agua residual/30% residuos sólidos).	56
Tabla 9. Producción del reactor 2 (70% agua residual/30% residuos sólidos).	57
Tabla 10. Producción del reactor 3 (70% agua residual/30% residuos sólidos). ...	58
Tabla 11. Producción del reactor 4 (70% residuos sólidos/30% agua residual). ...	59
Tabla 12. Producción del reactor 5 (70% residuos sólidos/30% agua residual). ...	60
Tabla 13. Producción del reactor 6 (70% residuos sólidos/30% agua residual). ...	61
Tabla 14. Producción del reactor 7 (50% residuos sólidos/50% agua residual). ...	63
Tabla 15. Producción del reactor 8 (50% residuos sólidos/50% agua residual). ...	64
Tabla 16. Producción del reactor 9 (50% residuos sólidos/50% agua residual). ...	65
Tabla 17. promedio de producción de biogás según su composición.	66
Tabla 18. Producción de bioabono por reactor.	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del departamento del cesar y el municipio de Valledupar	28
Figura 2. Mega colegio Ricardo Gonzales.	29
Figura 3. Logo institucional del mega colegio Ricardo Gonzales.....	33
Figura 4. Botellas plásticas para la construcción del reactor.	41
Figura 5. Realización de agujeros en las tapas del reactor.	41
Figura 6. Sellado con silicona de los agujeros.	42
Figura 7. Distribución de los residuos orgánicos por reactor.	42
Figura 8. Distribución de los residuos orgánicos por reactor.	43
Figura 9. Reactores con las muestras de agua residual y residuos orgánicos.	43
Figura 10. Conexión de los reactores.	44
Figura 11. Muestreo de agua residual.	45
Figura 12. Residuos sólidos orgánicos aprovechables en el proyecto.....	49
Figura 13. Reactores según su composición agua residual/residuos sólidos.	51
Figura 14. Reactores según su composición.	53

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. clasificación de los residuos encontrados en el comedor institucional. .48	48
Grafica 2. Porcentaje de residuos aprovechables para el proyecto.49	49
Grafica 3. Volumen de biogás por día en el reactor 1.....56	56
Grafica 4. Volumen de biogás por día en el reactor 2.....57	57
Grafica 5. Volumen de biogás por día en el reactor 3.....58	58
Grafica 6. Volumen de biogás por día en el reactor 4.....60	60
Grafica 7. Volumen de biogás por día en el reactor 5.....61	61
Grafica 8. Volumen de biogás por día en el reactor 6.....62	62
Grafica 9. Volumen de biogás por día en el reactor 7.....63	63
Grafica 10. Volumen de biogás por día en el reactor 8.....64	64
Grafica 11. Volumen de biogás por día en el reactor 9.....65	65
Grafica 12. Promedio de reactores según su composición.....67	67
Grafica 13. Producción de bioabono de acuerdo a la composición de los reactores.69	69



RESUMEN

En este proyecto se realizó el diseño de un biodigestor de flujo discontinuo a escala de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos en el megacolegio ricardo gonzalez de valledupar; se tuvo en cuenta, que en la institucion no se realizaba un aprovechamiento de los residuos solidos organicos y el agua residual instirucional, que puede ser utilizado para la generacion de biogas y bioabono, implementado para tener una fuente economica autosostenible en la institucion y el uso de energias renovables. Para el diseño del biodigestor, se realizaron en primera instancia, muestreo de el agua residual y los residuos solidos generados por el comedor estudiantil. Posteriormente, realizó diseño el reactor, teniendo en cuenta tres relaciones diferentes segun su composicion, que fueron: 70% agua residual/30% residuos solidos – 30% agua residual/70% residuos solidos – 50% agua residual/50% residuos solidos; realizando 3 reactores por cada composicion, siendo 9 reactores en total. Estos, se conectaron por medio de mangueras a un recipiente hermetico y a un recipiente con hidroxido de sodio; esto, con el fin de determinar la cantidad de biogas producida por el biodogestor. Se realizaron graficas para promediar la produccion de este biogas y cual de las relaciones es mas efectiva en la produccion de este, adicionalmente, se calculo el peso del bioabono generado. La finalidad del proyecto, es implemetar el uso de alternativas amigables con el ambiente, que resulten funcionales a nivel economico y socioambiental en la entidad, generando cultura y nuevos aprendizajes en la comunidad estudiantil y su cuerpo de docentes. Se recomienda que si se realiza la implementacion del proyecto, este sea supervisado por personal capacitado, que vele por el buen manejo y control del biodogestor.

INTRODUCCIÓN

El proceso de descomposición de las fracciones orgánicas genera la combustión espontánea de gases y producción de sustancias altamente nocivas para la salud y el medio ambiente, (Fernández y Sánchez, 2007). El propósito de esta investigación es la búsqueda de una solución integral y ecológica para el aprovechamiento de los residuos orgánicos e inorgánicos de la Institución Educativa Ricardo González.

Esta situación, será abordada con la finalidad de aprovechar los residuos orgánicos e inorgánicos que se producen en la escuela tales como (residuos de comida, agua residual institucional). No obstante, estos desechos actualmente son desperdiciados y botados por la empresa prestadora de servicio en la ciudad generando al momento de su descomposición emisiones de dióxido de carbono el cual afecta al ambiente.

Con esta propuesta se busca generar un impacto positivo al medio ambiente evitando que se liberen gases que afectan al ambiente y a su vez crear conciencia ambiental en todo el cuerpo estudiantil del plantel.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, las energías renovables, son vistas como una eficiente alternativa para problemáticas como el agotamiento de combustibles fósiles y el impacto ambiental ocasionado por la contaminación de los mismos. De esta forma, surge la necesidad de generar energía basada en el máximo aprovechamiento de los recursos y de los residuos generados en un proceso, y que, con la utilización apropiada de la tecnología, se asegure el suministro de combustibles accesibles, económicos, pero sobre todo aquellos residuos generados por actividades del ser humano (BECERRA, 2011) .La problemática radica en la disposición final de estos desechos orgánicos generados, que terminan en el relleno sanitario, desconociendo que pueden ser una fuente viable para la implementación de sistemas anaerobios para producir biogás y bioabono, donde el primero puede ser utilizado como fuente de energía, y el segundo como abono orgánico para la institución misma o para su uso comercial.

Bajo lo dicho anteriormente en el siguiente proyecto se pretende utilizar los desechos orgánicos y las aguas residuales producidas por la institución educativa RICARDO GONZALEZ con el propósito de evaluar si estos desechos garantizan una producción viable en materia de biogás y bioabono ya que actualmente cuenta con un numero de 1600 estudiantes a los cuales se les da almuerzo a un 90% de estos, generando diariamente una gran cantidad de desechos orgánicos que no son aprovechados de ninguna manera desperdiciando así su potencial energético, por lo tanto ¿es viable la construcción de un biodigestor con este tipo de materia prima para la producción de energía sustentable en la institución?.

2. JUSTIFICACIÓN

Con la propuesta del diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de los residuos orgánicos y el agua residual generada por el mega colegio “Ricardo González”, se busca una alternativa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos y agua residual generados en las instituciones, con el fin de que a partir de estos se puedan obtener productos como bioabono y biogás; este último es utilizado para la generación de energías renovables, puesto que estas tecnologías han tomado fuerza debido a la crisis energética que se presenta en la actualidad por el agotamiento de combustibles fósiles. (Acosta, 2011)

Por otra parte, esto no solo beneficiaría a la respectiva institución, puesto que se busca promover el uso de los biodigestores para procesar residuos sólidos orgánicos y aguas residuales en diferentes escuelas de Valledupar. Al mismo tiempo, la puesta en práctica del estudio aportará al fortalecimiento del PRAE (Proyecto ambiental Escolar) de la institución y los conocimientos de los estudiantes y comunidad educativa en general para desarrollar una conciencia ambientalista que cuide el planeta. Así mismo, metodológicamente esta investigación aportara un aprendizaje valido y confiable para todos sus actores, que además desarrollara instrumentos ajustados a la realidad estudiada para futuros trabajos relacionados a la temática.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Diseño de un biodigestor de flujo discontinuo a escala de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos en el megacolegio Ricardo Gonzalez de Valledupar.

3.2. Objetivos Especificos:

- ❖ Caracterizar los parámetros físicos, químicos y biológicos del Agua residual como DBO, DQO, solidos totales y los residuos sólidos orgánicos producidos por la institución.
- ❖ Diseñar y construir el prototipo de biodigestor de flujo discontinuo a escala de laboratorio.
- ❖ Evaluar la cantidad de biogas y bioabono producido por el biodigestor.



4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES.

Zapata O. (2015). La importancia y los beneficios del Biodigestor.

En este artículo se explica, que este es un sistema sencillo de implementar con materiales económicos y se está introduciendo en comunidades rurales aisladas y de países subdesarrollados para obtener el doble beneficio de conseguir solventar la problemática energética-ambiental, así como realizar un adecuado manejo de los residuos tanto humanos como animales. Asimismo, describe que el biodigestor cuenta con una entrada para el material orgánico, un espacio para su descomposición, una salida con válvula de control para el gas (biogás), y una salida para el material ya procesado (bioabono). Indica además que el biodigestor es un recinto cerrado donde se producen reacciones anaeróbicas (sin aire) en el que se degrada la materia orgánica disuelta en un medio acuoso, para dar como resultado metano y dióxido de carbono, trazas de hidrógeno y sulfhídrico, estos microorganismos, protozoarios hongos y bacterias que están en el interior deben ser cultivadas. Por lo tanto, el biogás no se obtiene inmediatamente, es necesario esperar que lo empiecen a producir, esto tarda unos 15 días más o menos. Así mismo, esta producción se verá afectada por la temperatura exterior, por tanto, para ver los resultados productivos se deben enterrar para que la temperatura se mantenga en unos 18 grados, no es lo mejor, pero durante el invierno se obtendrá buena producción. Finalizando, con la explicación del proceso de biodigestión; el cual se da porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos en los excrementos para este caso, que al actuar en el material orgánico produce una mezcla de gases (con alto contenido de metano) al cual se le llama biogás.

Varnero M., Galleguillos K., Guerrero D., Suárez J. (2014). Producción de Biogás y Enmiendas Orgánicas a Partir del Residuo Olivícola (Alperujo).

En este estudio se desarrolló un sistema combinado de digestión anaeróbica-aeróbica para optimizar la producción de biogás e integrar la estabilización del



digestato. En digestores tipo batch, a 30°C, se usaron mezclas de residuos de "alperujo" y de hortalizas para establecer relaciones C/N de 30/1; con y sin inclusión de inoculantes metanogénicos. Después de 72 días, el sistema sin inoculantes, produce biogás de baja calidad que no supera el 13% de metano (CH₄), 60% de dióxido de carbono (CO₂) y un 8% de gases traza. En cambio, con inoculantes, se obtiene biogás con un 69% de CH₄; 26% de CO₂ y un 3% de gases traza, e inicio de la metanogénesis de 20 días, favoreciendo la producción de metano. Concluyendo, que el período de estabilización del digestato mediante compostaje es menor que la muestra de control, obteniéndose un producto con óptimos estándares para uso agrícola.

Cendales Ladino, Edwin Darío (2011). Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable.

En esta investigación se llevó a cabo el montaje de los ensayos de biodegradabilidad anaeróbica de la mezcla homogeneizada de estiércol bovino y residuos cítricos. Por su parte, durante el desarrollo de la etapa experimental se realizaron mediciones periódicas de las variables de control tales como pH, alcalinidad, demanda química de oxígeno (total y soluble), entre otras, con el fin de establecer los parámetros de desempeño del proceso. Adicionalmente se realizó la simulación del proceso de digestión anaeróbica bajo condiciones similares a las establecidas durante los ensayos experimentales, mediante la implementación del modelo ADM-1. Con base en los resultados obtenidos mediante las mediciones experimentales y las simulaciones, se evaluó la precisión del modelo respecto a los valores de las mediciones experimentales. Finalmente se implementó un modelo simplificado para la evaluación de la energía producida por una instalación a escala piloto que realiza el tratamiento anaeróbico del residuo orgánico bajo estudio.



González David (2011). Diseño y fabricación de un prototipo para la obtención de biogás.

Este proyecto, tuvo el propósito de dar un paso más allá de la diferencia entre los distintos sectores de la población, dando paso a una nueva ideología de compromiso, haciendo un bien común para todos, y todos en el sistema terrestre; el cual incluye a los seres humanos, plantas, animales, medio ambiente, ríos, lagos, entre otros. La idea del diseño, es aprovechar la reutilización de los desechos orgánicos, producidos en el hogar tales como sobras de comida, productos en descomposición, hojas verdes, eses de mascotas, etc., es posible, así mismo, si la ubicación lo permite, la utilización de estiércol de animales de granja como son: cerdos, vacas, borregos, conejos, gallinas, etc., son una parte importante para lograr convertir lo que antes parecía un desperdicio en una fuente de energía. la metodología del proyecto se fundamentó a través de un proyecto factible, correspondiente al enfoque cualitativo. Asimismo, luego de los resultados obtenidos se concluyó que el diseño del biodigestor es una buena opción para la ayuda económica y ecológica de los seres vivos, ya que el prototipo está diseñado para ser empleado en diferentes áreas y regiones, haciendo algunas modificaciones en materiales y equipo, ya que el biogás puede servir para: vender a empresas de distribución domiciliaria, generar vapor en una caldera de gas, y electricidad con una turbina (24 horas al día, 365 días al año), generar agua caliente para precalentar el agua de las calderas y además generar electricidad en motores de gas o turbinas de gas.

Coss J., y Monterde L., Ilhuicamina C., Moreno M., Loza Llamas, Durand Moreno, Montero Curiel, López Alcoser (2015). Tratamiento de sustrato de bovino y producción de biogás en un biodigestor continuo con lombricultura.

El objetivo principal de este proyecto, fue estudiar el Tratamiento de Sustrato de Bovino y Producción de Biogás en un Biodigestor Continúo con lombricultura. El presente estudio se realizó en la planta de lombricultura del Centro Universitario



de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, con un procedimiento metodológico de medición del pH con el fin de obtener un alimento de forma anaerobia apto para la lombriz, así como la producción de biogás para observar el comportamiento de las bacterias en conjunto al conteo de microorganismos de bacterias, hongos y actinomicetos. Se mantuvieron las mismas condiciones climáticas en dos biodigestores tipo salchicha de 5 metros de largo a temperatura ambiente y humedad interna de 75%, base húmeda para garantizar las mismas condiciones. Con 100 kg de estiércol bovino y mezclados con 300L de agua cada uno, se preparó una población de 1 kg de lombriz en un metro cuadrado de tierra como población inicial. En los resultados obtenidos se observó que el estiércol precompostado en el biodigestor fue apto para que la lombriz se alimentara, puesto que se detectó crecimiento de la población de lombriz, igualmente se encontró producción de biogás en el contenedor de control, utilizando el hydrogen sulfide meter- modelo z-900 xp en dicho tanque, además se detectó la generación de bacterias metanogénicas y termófilas por el aumento de temperatura y diferencias en el tiempo de incubación en la siembra de bacterias, de igual forma se exhibe un suelo fértil al ser rico en hongos, bacterias y actinomicetos.

Alexander Hernando Tobón Abello. Evaluación del impacto ambiental en biodigestores anaeróbicos en el SENA, regional cesar.

Menciona que la generación de residuos agroindustriales corresponde a uno de los problemas fundamentales en las actividades económicas del hombre, especialmente en el sector agropecuario, debido a los residuos orgánicos de los restos de las cosechas y a las heces generadas en actividades pecuarias, los grandes aspectos e impactos que ocasionan al medio ambiente de forma natural como la contaminación de cuerpos de aguas y las respectivas emisiones que se generan en el proceso de degradación de la materia orgánica, generándose gases como el CO₂ y CH₄, exacerbando los problemas medio ambientales. Por intermedio de estas tecnologías de biodigestión las organizaciones pueden



aprovechar y tratar estos desechos y generar fuentes de energía renovables en áreas rurales, por lo tanto conocer de una manera detallada los procesos que se generan en la Biodigestión anaerobia, implica la mejora y eficiencia tecnológica de este proceso en establecer la cantidad de sustrato versus la cantidad de gas generado en relación a la temperatura y el DQO, propuesto en la cinética de la biodigestión y en la temperatura del proceso.

Andrés Saíd Díaz López. Diseño de un biodigestor en la producción de gas para cocinas ecológicas, a partir de desechos orgánicos producidos por animales de granja porcina, en el corregimiento de guaimaral municipio de curumaní cesar.

El proyecto contempla el diseño de un sistema fermentador anaerobio, por medio de un biodigestor para la producción de biogás, y otros factores como bioabono fertilizante y la cría de cerdos dentro de un galpón, que sirven como medio para el desarrollo de proyectos productivos y agroindustriales, en el corregimiento de guaimaral municipio de curumaní cesar; con el desarrollo de este tipo de proyectos se logra que las energías renovables tengan una mayor participación en la satisfacción de las necesidades energéticas del mismo, contribuyendo así a su desarrollo sostenible, la reducción del incremento de los gases de efecto invernadero y la mitigación de los efectos adversos del cambio climático mundial.

4.2. MARCO TEÓRICO

BIODIGESTOR

Zapata O. (2015) plantea que los biodigestores fueron considerados, principalmente, como una manera de producir gas combustible a partir de desechos orgánicos. Sin embargo, al ser integrados a un sistema de agricultura ecológica los biodigestores pueden brindar muchos otros beneficios, en articular el reciclado de nutrientes para la obtención de fertilizantes de alta calidad.

En ese sentido, un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor),



dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales donde no se incluyen cítricos ya que acidifican entre otros) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaeróbica se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos.

Por otro lado, este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidrogenación y pos tratamiento (filtro y piedras, de algas, secado, entre otros) a la salida del reactor. Por lo tanto, el fenómeno de indigestible ocurre porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en el material fecal que, al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano (CH_4) llamada biogás, que es utilizado como combustible. La situación descrita, da como resultado de este proceso la generación de residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica (ideales como fertilizante s) que pueden ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de moscas.

Clases de biodigestores.

- ❖ **Biodigestores de Flujo Discontinuo:** La carga de la totalidad del material a fermentar de acuerdo con Zapata (2015) se hace al inicio del proceso y la descarga del efluente se hace al finalizar el proceso; por lo general requieren de mayor mano de obra y de un espacio para almacenar la materia prima si esta se produce continuamente y de un depósito de gas (debido a la gran variación en la cantidad de gas producido durante el proceso, teniendo su pico en la fase media de este) o fuentes alternativas para suplirlo.

- ❖ **Biodigestores de flujo semicontinuo:** para este tipo de Biodigestor según Zapata (2015) la carga del material a fermentar y la descarga del efluente se realiza de manera continua o por pequeños baches (ej. una vez al día, cada 12 horas) durante el proceso, que se extiende indefinidamente a través del tiempo; por lo general requieren de menos mano de obra, pero de una mezcla más fluida o movilizada de manera mecánica y de un depósito de gas (si este no se utiliza en su totalidad de manera continua).

- ❖ **Biodigestores de flujo continuo:** sirven para purificar el agua contaminada por diferentes fosas. Existen tres clases de biodigestores de flujo continuo:
 - ✓ De cúpula fija (chino).
 - ✓ De cúpula móvil o flotante (hindú).
 - ✓ De salchicha, tubular, Taiwan, CIPAV o biodigestores familiares de bajo costo.

Estructura de un biodigestor.

De acuerdo con el mismo autor antes señalado, existen muchas variaciones en el diseño del biodigestor. Algunos elementos que comúnmente se incorporan son:

- ❖ **Cámara de fermentación:** El espacio donde se almacena la biomasa durante el proceso de descomposición.
- ❖ **Cámara de almacén de gas:** El espacio donde se acumula el biogás antes de ser extraído.
- ❖ **Pila de carga:** La entrada donde se coloca la biomasa.
- ❖ **Pila de descarga:** La salida, sirve para retirar los residuos que están gastados y ya no son útiles para el biogás, pero que se pueden utilizar como abono (bioabono).



- ❖ **Agitador:** Desplaza los residuos que están en el fondo hacia arriba del biodigestor para aprovechar toda la biomasa.
- ❖ **Tubería de gas:** La salida del biogás. Se puede conectar directamente a una estufa o se puede transportar por medio de la misma tubería a su lugar de aprovechamiento.

Fundamentos de la digestión anaeróbica: el proceso global de digestión anaeróbica para Zapata (2015) ocurre mediante la acción conjunta (sintrófica) de varias poblaciones de microorganismos; las cuales realizan la conversión de la materia orgánica mediante una serie de etapas que transcurren tanto en paralelo como en serie. Durante millones de años los microorganismos anaeróbicos se han adaptado para transformar la materia orgánica biodegradable en biomasa celular, subproductos de las fermentaciones anaeróbicas o metabolitos, y una mezcla de compuestos gaseosos tales como metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), y trazas de ácido sulfhídrico (H_2S), entre otros.

Este proceso biológico también conocido como respiración anaeróbica o fermentación anaeróbica se desarrolla naturalmente tanto en ecosistemas formados por la naturaleza como pantanos, lagos, manglares, lechos de los ríos; así como en ecosistemas formados por el hombre como los rellenos sanitarios, pozos sépticos, cultivos de arroz, lagunas anaeróbicas para la acumulación de residuos ganaderos y biodigestores.

Biodegradabilidad anaeróbica del residuo orgánico: Zapata (2015) plantea que la biodegradabilidad anaeróbica de un residuo orgánico representa el grado de variación de la estructura molecular y de las características fisicoquímicas de este residuo debido a la degradación en condiciones anaeróbicas por parte de los microorganismos. En ese sentido, la misma depende de factores tales como su composición química (carbohidratos, proteínas, lípidos, aminoácidos, ácidos grasos volátiles, entre otros.), el tipo de población microbiana utilizada como



inoculo y las condiciones fisicoquímicas durante el desarrollo del proceso de digestión anaeróbica.

Por lo tanto, se han establecido algunos métodos para la determinación de la biodegradabilidad anaeróbica de un compuesto o residuo orgánico a partir de la medición de las concentraciones de los metabolitos que se generan en el proceso o la cantidad de productos finales de la transformación bioquímica como el biogás y el gas metano.

Volumen y peso máximo de la carga del biodigestor.

Se presentan los cálculos para determinar el volumen y peso máximo de la biomasa que soportará el Biodigestor en una escala de laboratorio. Para calcular el volumen, se tiene la ecuación:

$$V_{\max} = \pi r^2 h$$

Por ejemplo: De la ecuación tenemos, sustituyendo valores:

$$V_{\max} = \pi [(0.3)^2 (0.8)]$$

$$V_{\max} = 0.22 \text{ [m}^3\text{]}$$

Ahora para determinar el peso máximo, se utiliza la ecuación:

$$m_{\max} = V_{\max} \rho_m$$

Sustituyendo valores de V_{\max} y ρ_m , en la ecuación, se tiene:

$$m_{\max} = (0.22 \text{ [m}^3\text{]}) (162.5 \text{ [Kg m}^3\text{]})$$

$$m_{\max} = 233.75 \text{ [Kg]}$$



BIOGÁS.

Es una mezcla de gases que se generan en dispositivos llamados biodigestores o en medios naturales, resultante de la descomposición de la materia orgánica realizada por un grupo de microorganismos en condiciones anaeróbicas (ausencia de aire). La producción de biogás depende del tipo, características y cantidad de materia orgánica utilizada.

En el entorno se encuentra diversidad de desechos orgánicos desde los cuales se puede obtener el biogás, entre ellos se encuentra el estiércol proveniente de animales domésticos como vacas, cerdos y aves, residuos vegetales como pastos, hojas secas y desperdicios domésticos.

Composición del biogás: el biogás es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 700° C. la temperatura de la llama alcanza 870° C. El biogás está compuesto por alrededor de 60% de metano (CH₄) y 40% de Dióxido de carbono (CO₂). El biogás contiene mínimas cantidades de otros gases. (COLMENARES, W., SANTOS, K, 2007).

Tabla 1. Composición del biogás.

GAS	%
Metano	50-80
Dióxido de carbono	30-50
Hidrogeno	0-2
Nitrógeno	0-1
Sulfuro de hidrogeno	100-7000ppm
Vapor de agua	Saturación
Amoniaco	Trazas
Oxigeno	0-1
Orgánicos	Trazas

Fuente: Wheatley A, Anaerobic Digestion: A waste Treatment Technology.

El metano es más ligero que el aire, es incoloro, sin olor e inflamable, su combustión produce una llama azul y productos no contaminantes. Es el principal componente del biogás y el que le confiere características combustibles al mismo. El valor energético del biogás por lo tanto estará determinado por la concentración de metano alrededor de 20-25 MJ/m³, comparado con 33-38 MJ/m³ para el gas natural.

Producción del biogás: el biogás se produce mediante el proceso de fermentación o descomposición de la materia orgánica en ausencia de aire, quedando como residuo el bioabono, un magnifico fertilizante que puede ser utilizado en diferentes cultivos agrícolas como fuente nutrimental.

El biogás se produce en un recipiente cerrado o tanque denominado biodigestor el cual puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y cemento, metal o plástico. El biodigestor, de forma cilíndrica o esférica posee un ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica en forma conjunta con agua, y un ducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor. Los materiales ingresan y abandonan el biodigestor se denomina afluente y efluente respectivamente. El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás.

El proceso de fermentación o descomposición de la materia orgánica se da en tres fases importantes:

- ❖ **Fase de hidrólisis:** Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono. Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos.



- ❖ **Fase de acidificación:** Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético $\text{CH}_3\text{-COOH}$ y liberando como productos Hidrógeno y Dióxido de carbono. Esta reacción es endoenergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que substraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético.
- ❖ **Fase metanogénica:** Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cual, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre.

Factores que afectan la producción de biogás: entre los factores más importantes que afectan la producción del biogás se encuentran tipo de sustrato (materia orgánica), la temperatura del sustrato, el tiempo de retención, el pH y relación carbono nitrógeno.

Tipo de sustrato: el proceso microbiológico que se realiza dentro del biodigestor no solo requiere fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fosforo, potasio, calcio, manganeso, hierro, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). Normalmente orgánicos como los estiércoles presentan estos en proporciones apropiadas. (HILBERT, 2003)

Temperatura del sustrato

Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° a 5° C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70°C . Se realiza



generalmente una diferenciación en tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas.

Tabla 2. Sensibilidad y rango de temperatura de acuerdo al tipo de bacteria

BACTERIAS	RANGO DE TEMPERATURAS	SENSIBILIDAD
Psicrofílicas	menos de 20°C	± 2°C/hora
Mesofílicas	entre 20°C y 40°C	± 1°C/hora
Termofílicas	más de 40°C	± 0,5°C/hora

Fuente: Manual para la producción de biogás.

Tiempo de retención: El tiempo de retención es el número de días que una cantidad de desechos dada debe permanecer dentro del digestor. Este factor está correlacionado con la temperatura ambiente promedio del sitio, de manera que cuando esa es alta se puede aplicar un tiempo de retención corto, y cuando es baja se fijan tiempos de retención más largos. Durante este tiempo, la cantidad de desechos debe haber liberado todo el biogás que potencialmente puede liberar, de tal forma que terminan totalmente digerida.

Una vez estabilizado el proceso fermentativo el pH se mantiene en valores que oscilan entre 7 y 8,5. Debido a los efectos buffer que producen los compuestos bicarbonato-dióxido de carbono (CO_2 - HCO_3) y Amonio -Amoníaco (NH_4 - NH_3) el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada. (HILBERT, 2003)

Relación carbono/nitrógeno: El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango 30:1 hasta 20:1.



Métodos de purificación del biogás: El biogás está compuesto en su mayoría por metano, que le otorga el valor energético a este gas. La capacidad calorífica depende de la concentración de metano, la cual se puede aumentar si se realiza un buen proceso de purificación.

Esta práctica consiste en la eliminación del CO_2 y H_2S presentes en el gas. El dióxido de carbono es eliminado para aumentar el valor como combustible del biogás. El sulfuro de hidrogeno se elimina para disminuir el efecto de corrosión de los metales que estén en contacto con el biogás, también nombrado ácido sulfhídrico, que al reaccionar con agua se convierte en ácido sulfúrico.

Usos del biogás: en principio el biogás puede ser utilizado en cualquier equipo diseñado para uso con gas natural. Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, los quemadores de gas convencionales se pueden adaptar fácilmente para operar con biogás, simplemente cambiando la relación aire-gas. El requerimiento de calidad del biogás para quemadores es bajo. Se necesita alcanzar una presión de gas de 8 a 25 mbar y mantener niveles de H_2S inferiores a 100 ppm para conseguir un punto de rocío de 150°C . La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisorio e interesante su utilización a gran escala.

Para la cuantificación del metano para medir el metano generado en el tratamiento de aguas residuales o el generado en las minas, se han desarrollado tres métodos: el método volumétrico, indicador de combustión de gases y análisis cromatográfico. (ROSSUM, y otros, 1950).

Método volumétrico: fue desarrollado tanto por la compañía Macmillan en Nueva York, (DENNIS, NICHOLS, 1992), como por la compañía Charles Griffin en Londres, (HALDANE, GRAHAM, 1935); este método se basa en cuantificar el volumen de metano producido mediante el uso de una sustancia desplazante (NaOH , KOH entre otros) en un rango de 15-20g/L (Field, 1987), gracias a su propiedad de reacción con el CO_2 presente en el biogás, el procedimiento consiste

en pasar el gas por una solución desplazante, para así, medir de forma volumétrica el metano (comparando el volumen inicial con el final). Se recomienda chequear que el pH del NaOH sea superior a 12 unidades para garantizar que este secuestre el CO₂ producido.

4.3. MARCO CONTEXTUAL.

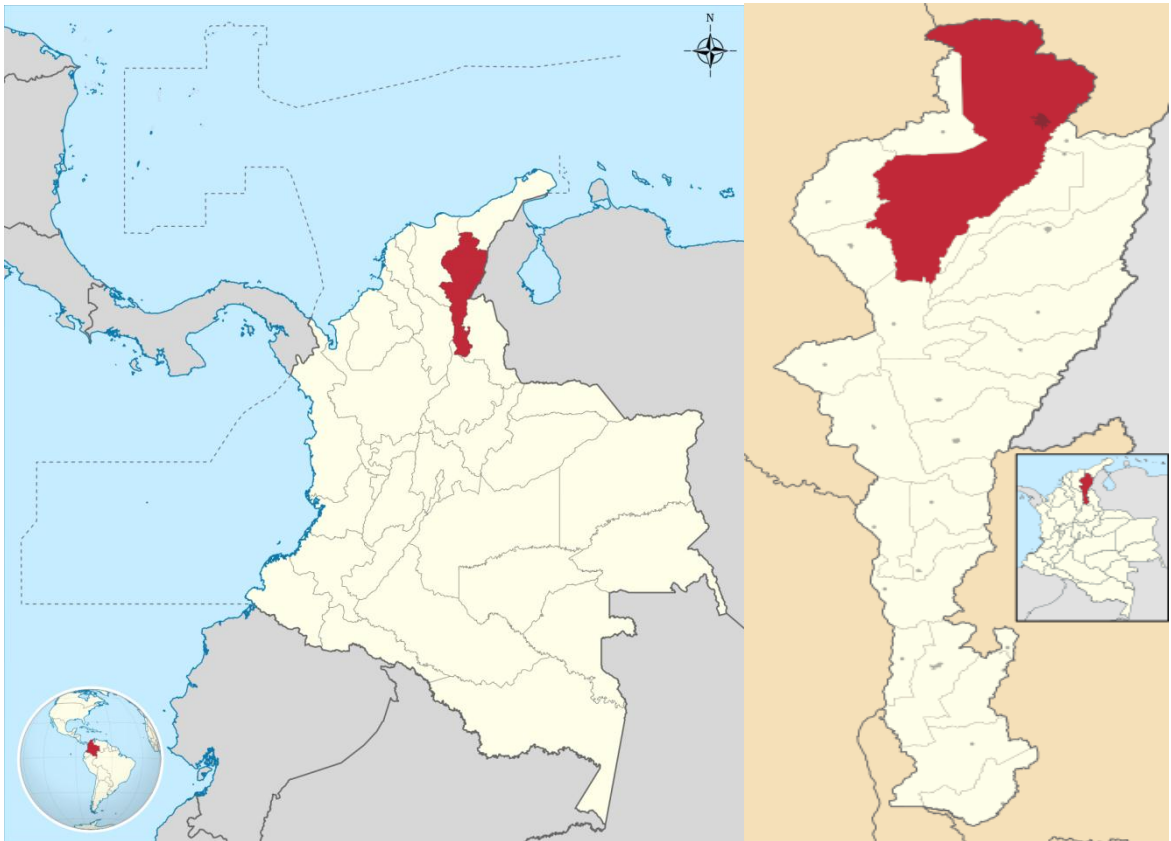


Figura 1. Ubicación del departamento del Cesar y el municipio de Valledupar

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Valledupar>

Descripción Física: Valledupar es la capital del departamento del Cesar, Colombia. Está ubicada al nororiente de la costa caribe colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar, formado por la Sierra Nevada de Santa Marta al occidente y la Serranía del Perijá al oriente.

Su territorio es llano y basculado hacia el sureste mediante una leve pendiente. La ciudad se encuentra a una altitud que oscila entre los 220 m al norte y 150 m a sur, siendo la altitud media de 168 m. Además de las enormes estructuras montañosas que la rodean (Pico Bolívar 5.775 m) sobresalen en inmediaciones de la ciudad dos cerros, al nororiente el "DPA" con 330 m.s.n.m. y el de "la Popa" con 310 m.s.n.m.



Figura 2. Mega colegio Ricardo Gonzales.

Fuente: google maps, 2019.

A continuación, se describe el ámbito de estudio, el cual se llevará a cabo en el mega colegio Ricardo Gonzalez en la ciudad de Valledupar, Departamento del Cesar.

Ubicación: El mega colegio Ricardo Gonzalez, se encuentra en el noroccidente del municipio de Valledupar departamento del Cesar en el barrio La Nevada.

Límites: El contexto de investigación limita al norte con los barrios La Nevada, Bella Vista, Ciudad Tayrona y la invasión Los Guasimales.



Ambiente: el clima presentado es a una temperatura moderada entre los 34° a 38° centígrados, está rodeada en una parte de un gran lote de vegetación y casas de urbanizaciones y barrios.

Problemáticas: se observan algunas situaciones perjudiciales al ambiente en cuanto a los desechos sólidos y desagües de aguas residuales institucionales.

Población: el mega colegio es administrado por la diócesis de Valledupar por ende en cuanto a la religión que se presenta es la católica también se localiza muy cerca la iglesia “El Señor De Los Milagros” de la Nevada, y en cuanto a el estrato social que rodea la institución varía entre 1y 2, aunque también a sus cercanías se encuentra una invasión.

Ámbito Comunitario: tiene a su alrededor las comunidades de: la nevada, bella vista, villa Tayrona y una invasión conformados por casas, urbanizaciones y casuchas.

Ámbito Económico: en los alrededores están presentes residencias y urbanizaciones, no presenta empresas ni comercio.

4.4. MARCO CONCEPTUAL

A continuacion se plantean los conceptos fundamentales para la investigacion sustentado por Vermero (2011).

Biodigestor:en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales donde no se incluyen cítricos ya que acidifican entre otros) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaeróbica se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos.



Biogás: es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable.

Bioabono: las características del bioabono, dependen en gran medida del tipo de tecnología y de las materias primas utilizadas para la digestión. Durante el proceso anaeróbico, parte de la materia orgánica se transforma en metano, por lo que el contenido en materia orgánica es menor al de las materias primas.

Procesos de Biodigestión: El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado. El reciclaje de materia orgánica ha recibido un fuerte impulso con el alto costo de los fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, la necesidad de vías de descontaminación y eliminación de residuos.

Digestión aeróbica: consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular.

Digestión anaeróbica: es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (e.g. H_2 O_2). Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos,



residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles.

Fermentación anaeróbica: En una fermentación anaeróbica, la materia orgánica es catalizada en ausencia de un aceptor de electrones externo mediante microorganismos anaeróbicos estrictos o facultativos a través de reacciones de oxidación-reducción bajo condiciones de oscuridad. El producto generado durante el proceso acepta los electrones liberados durante la descomposición de la materia orgánica. Por lo tanto, la materia orgánica actúa como dador y aceptor de electrones. En la fermentación, el sustrato es parcialmente oxidado y, por lo tanto, sólo una pequeña cantidad de la energía contenida en el sustrato se conserva.

Respiración anaeróbica: es un proceso biológico de óxido-reducción de monosacáridos y otros compuestos en el que el aceptor terminal de electrones es una molécula inorgánica distinta del oxígeno, y más raramente una molécula orgánica. La realizan exclusivamente algunos grupos de bacterias y para ello utilizan una cadena transportadora de electrones análoga a la de las mitocondrias en la respiración aeróbica.

4.5. MARCO INSTITUCIONAL.

4.5.1. Reseña histórica.

Conocido como el Mega Colegio la Nevada, La institución educativa “Ricardo González”, nació en febrero del año 2014 por iniciativa del Ministerio de Educación Nacional, quien abrió licitación para que varias entidades competentes presentaran sus proyectos y en la cual participó la Diócesis de Valledupar, que por su amplia experiencia en el aspecto educativo y la formación de la niñez y la juventud obtuvo el mayor puntaje quedando a cargo de esta.



4.5.2. Logo institucional.



Figura 3. Logo institucional del mega colegio Ricardo Gonzales.

Fuente: <http://www.iericardogonzalez.edu.co/index.html>

4.5.3. Entidad.

Es una institución educativa en concesión, administrada por la Diócesis de Valledupar, que ofrece el servicio educativo en jornada única, legalmente reconocido por las autoridades del país, de confesión católica y que atiende la educación formal en los niveles de transición, básica y media. La institución cuenta con un personal de talento humano capacitado continuamente con espíritu de enseñanza, que buscan el mejoramiento continuo de los procesos académicos.

4.5.4. Misión.

Teniendo en cuenta la calidad de la educación que deseamos ofrecer, centrada en los valores que buscan el respeto a la persona humana, la convivencia fraterna, la justicia, la solidaridad, la responsabilidad y el diálogo, tendientes a formar una verdadera comunidad educativa, con la participación de las familias de los educandos, que han de comprometerse con los criterios, filosofía y misión de la institución.

4.5.5. Visión.

La institución educativa ofrece una educación de calidad y una promoción integral de la persona, centrada en los principios cristianos-católicos (respetando la



libertad de cultos) para formar ciudadanos que se destaquen en las distintas áreas del conocimiento, se desempeñe con calidad en su profesión y realicen aportes significativos para la convivencia, la paz y el desarrollo.

El personal directivo del I.E. Ricardo González está conformado por el siguiente personal bajo el lema “Orgullosamente Ricardistas, Vivimos para servir”.

- ❖ Mons. Oscar José Vélez Isaza, Obispo Diócesis de Valledupar.
- ❖ Miguel Suárez Colmenares, Rector de la I.E. Ricardo González.
- ❖ Celso Fernández, Coordinador de Convivencia.
- ❖ Ana Luisa González, Coordinadora Académica.

El cuerpo docente formado por personas idóneas con mucha vocación para el ejercicio de la docencia.

- ✓ Grado Transición: Solfanys Galindo y Alicia Sepúlveda.
- ✓ Grado Primero: Lida Rivera y Lillys Barrios.
- ✓ Grado Segundo: Alfonso Zuleta y Arelis Barrios.
- ✓ Grado Tercero: Howard Echavez y Ruth Bonet.
- ✓ Grado Cuarto: Yuleidis Martínez y Jhon Barbosa.
- ✓ Grado Quinto: Celia Izeda.
- ✓ Grado Sexto: Nereida Calvo.
- ✓ Grado Séptimo: Victoria Pulgar.
- ✓ Grado Octavo: Gladis Osuna.
- ✓ Grado Noveno: Jose Jaime Saavedra.
- ✓ Docentes de Inglés: Lic. Ana Luisa González, Leonid Martínez y Oscar Jiménez.
- ✓ Docente de Religión: Geomar Córdoba Vega.
- ✓ Docente de Informática: Javier Rubio.
- ✓ docente de educación física: elkis de la rosa



4.6. MARCO LEGAL

Tabla 3. Normatividad vigente aplicable al proyecto.

NORMATIVA	OBJETO
<p>Constitución Política de Colombia (1991)</p>	<p>Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.</p>
<p>LEY 99 DE 1973. Ley del Medio Ambiente</p>	<p>Artículo 3: Del Concepto de Desarrollo Sostenible. Se entiende por desarrollo sostenible el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.</p>



Constitución política de 1991 capitulo 5 en el título XII	Los servicios públicos son finalidad del estado. El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del estado.
Resolución 0631 de 2015 Norma de Vertimientos	Se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cueros de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
ley 09 de 1979, 142 de 1994, 430 de 1998, Documento CONPES 2750 de 1994, los decretos 2462 de 1989, 605 de 1996 y Decreto 2981 de 2013	Reglamenta la prestación del servicio público de aseo, que incluye la actividad de recolección y transporte de residuos aprovechables, y prevé la formulación de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Pgirs).
Decreto 3075 de 1997. Por el cual se reglamenta parcialmente la ley 09 de 1979.	Artículo 1. Regula todas las actividades que puedan generar factores de riesgo por el consumo de alimentos, y se aplicarán.



<p>Decreto número 1505 de 2003. PGIRS. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002</p>	<p>Artículo 1. Aprovechamiento en el marco de la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos.</p>
--	--

Fuente: autores, 2019

5. METODOLOGÍA

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Para dar cumplimiento con los objetivos planteados, se desarrolló una metodología cuantitativa. Según Tamayo (2007) “la metodología cuantitativa consiste en el contraste de métodos ya existentes a partir de una serie de hipótesis obtenidas de la misma, por lo tanto, al momento de realizar estos estudios cuantitativos se deben tener unos lineamientos básicos ya constituidos, dado que el método científico para esta investigación es de carácter deductivo”. Esta investigación de tipo experimental, permitió diseñar un biodigestor a escala de laboratorio utilizando los residuos orgánicos y aguas residuales de la institución Ricardo González.

Para llevar a cabo el procedimiento, se evaluarán factores como la cantidad de residuos orgánicos de la institución, el diseño adecuado para el biodigestor y la producción de bioabono y biogás.

5.2. POBLACIÓN.

Se tomará como población, los residuos sólidos orgánicos producidos por el comedor estudiantil y las aguas residuales generadas por el mega colegio Ricardo González a partir de la caja de inspección de la institución.

5.3. MUESTRA.

Las muestras compuestas de agua residual y residuos sólidos orgánicos serán tomadas teniendo en cuenta el volumen de los recipientes en donde se realizará el biodigestor, con 9 reactores de tres tipos de relación agua residual/residuo sólido orgánico de diferentes porcentajes. Se establecerá el muestreo de la siguiente manera:

- El volumen de agua residual institucional para realizar el biodigestor será proveniente de la caja de inspección, utilizando el método de muestreo simple donde se recolectaran 20 litros de los cuales se utilizarán 6.750 ml

para la realización del montaje.

- Se dispondrá de una parte de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos generados en 5 días de jornada estudiantil, de los cuales se dispondrá únicamente de los residuos orgánicos, separándolos a partir del método de cuarteo para tomar 5.715 gr para el montaje.

5.4. TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.

En el desarrollo del estudio se aplicaron técnicas y procedimientos para la recolección de la información y el logro de los objetivos planteados, para Hernández et al (2016), recolectar los datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que conduzcan a reunir los mismos con un propósito específico. Por su parte, para Hurtado (2010), se refiere a donde y cuando se recopila la información, así como la amplitud de la información a recopilar, de modo que se pueda dar respuesta a la pregunta de investigación de la forma más idónea posible técnicas tales como el diario de campo y la encuesta para recoger la información de toda la comunidad educativa y se plasmen las observaciones realizadas para luego realizar el análisis de los datos.

5.4.1. Observación.

Para obtener la información primaria se recogieron los datos pertinentes a los residuos sólidos mediante las observaciones y el planteamiento de la contaminación que estos generan dentro de la institución, por lo tanto, se entrevistara al personal directivo y se recogerán muestras del área a estudiar. Asimismo, se revisará documentación bibliográfica como antecedentes de estudios relacionados a esta temática.

5.5. DESARROLLO METODOLOGICO

Para el diseño del Biodigestor en la Institucion Educativa Ricardo Gonzalez, se establecieron 3 fases para el desarrollo del proyecto.

5.5.1. FASE 1. Caracterización de las muestras.

En esta fase se busca:

- Caracterizar los residuos aprovechables realizando un muestreo a partir del método de cuarteo, donde se separarán los residuos orgánicos de los inorgánicos, debido a que estos son los necesarios para la realización del Biodigestor.
- Determinar parámetros físicos, químicos y biológicos en las aguas residuales institucionales, tales como: PH, color, temperatura, sólidos totales, DBO y DQO, mediante pruebas de laboratorio.

5.5.2. FASE II. Diseño y construcción del Biodigestor.

Se realizó una revisión bibliográfica sobre diseños de Biodigestor de flujo discontinuo a escala de laboratorio, y así escoger el modelo más adecuado y modificado por los mismos en el transcurso del desarrollo del proyecto. Como se muestra en la figura 3, los reactores fueron construidos con botellas plásticas claras tapa rosca de 1500ml.



Figura 4. Botellas plásticas para la construcción del reactor.

Se realizaron agujeros en la parte superior de las tapas (figura 4), para la conexión por medio de mangueras (figura 5).



Figura 5. Realización de agujeros en las tapas del reactor.



Figura 6. Sellado con silicona de los agujeros.

Se llevó a cabo el montaje de 9 muestras con las siguientes relaciones de proporción masa/volumen:

Tabla 4. Relación de los reactores proporción masa/volumen.

Reactores (tres replicas)	Porcentaje de muestra	
	% Agua residual	% Residuos orgánicos
1	50	50
2	70	30
3	30	70

Fuente: autores.



Figura 7. Distribución de los residuos orgánicos por reactor.



Figura 8. Distribución de los residuos orgánicos por reactor.



Figura 9. Reactores con las muestras de agua residual y residuos orgánicos.

Posteriormente se realizó la conexión de las mangueras al recipiente con el hidróxido de sodio, esto con el fin de determinar la cantidad de biogás que se genera.

Finalmente se realizó la conexión al recipiente sellado al vacío (con silicona líquida) asegurando que no se presenten fugas, para la respectiva cuantificación del bioabono y el biogás producido. Para estudio se tomará un tiempo aproximado de 6 semanas.



Figura 10. Conexión de los reactores.

5.5.3. FASE III. Evaluación de la cantidad de biogás y bioabono.

Para determinar la eficiencia de la producción de biogás y bioabono, se realizará la evaluación de tres muestras con distintas proporciones de residuos sólidos y líquidos las cuales serán analizadas mediante mediciones manuales en un periodo de tiempo determinado de 6 semanas.

6. RESULTADOS

6.1. FASE I. Identificación de las muestras de agua residual y residuos sólidos.

Para esta fase, se realizaron visitas de campo en la institución, en donde se llevaron a cabo la ejecución de instrumentos de recolección de información específicos según la muestra a identificar. A continuación, se observan los procedimientos realizados para el muestreo de agua residual y residuos sólidos orgánicos.

6.1.1. Muestreo de agua residual institucional.

Se realizó un muestreo simple, tomando la muestra del pozo de inspección, localizado dentro de las instalaciones de la institución educativa RICARDO GONZALEZ, obteniendo un volumen de muestra que fuese suficiente para la realización de los 9 reactores. En el procedimiento de muestreo realizado, se ató una cuerda a un recipiente para la recolección del agua residual, llenando un recipiente de un volumen de 20 litros.



Figura 11. Muestreo de agua residual.

Fuente: autores, 2019.

6.1.2. Análisis de parámetros fisicoquímicos del agua residual.

Posterior a la toma de la muestra, esta fue vertida en recipientes y almacenada en una cava con hielo, para que se encontrara en óptimas condiciones y luego ser llevada al laboratorio Nancy flores de la ciudad de Valledupar, Cesar. Los parámetros analizados fueron: DBO, DQO, pH, temperatura, solidos totales. En la siguiente tabla se pueden observar los métodos implementados para el análisis de los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 5. Métodos y técnicas para el análisis de los parámetros fisicoquímicos.

PARAMETROS	METODO - TECNICA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	SM 5210 B / EPA 360.3 – incubación de 5 días
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SM 5220 C – Reflujo cerrado - Volumétrico
pH	SM 4500-H+ B – Electrométrico
Solidos Totales	SM 2540 B – Gravimétrico
Temperatura	SM 2550 B – Electrométrico

Fuente: laboratorio Nancy flores, 2019.

En la siguiente tabla se encuentran los resultados obtenidos en cada uno de los análisis

Tabla 6. Resultados de los análisis de laboratorio.

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	5826
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	6471
pH		4,49
Solidos Totales mg/L	mg/L	15020
Temperatura	°C	26,2

Fuente: laboratorio Nancy flores, 2019.

6.1.3. Caracterización de residuos sólidos.

El muestreo de los residuos sólidos en la institución se realizó un día viernes, para tomar los residuos que se acumularon durante la jornada semanal. Estos residuos, fueron identificados mediante el método de cuarteo, en donde se dividió la muestra en diferentes proporciones, para identificar y seleccionar, los residuos sólidos orgánicos que serán aprovechados para la realización del biodigestor.

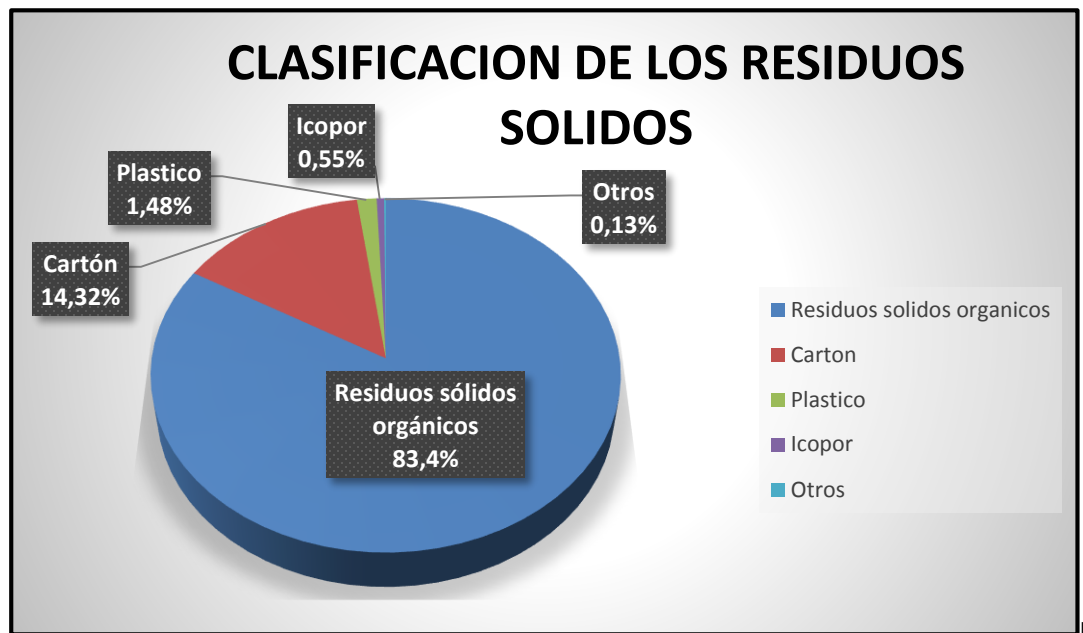
En la siguiente tabla se pueden observar, los tipos de residuos sólidos identificados en el punto de acopio del comedor:

Tabla 7. Clasificación de los residuos sólidos encontrados en el comedor estudiantil.

Residuo solido	Peso (kg)
Residuos sólidos orgánicos	14,75
Cartón	2,53
Plástico	0,262
Icopor	0,098
Otros (aluminio, servilletas, vidrio.)	0,023
Total	17,663

Fuente: autores, 2019

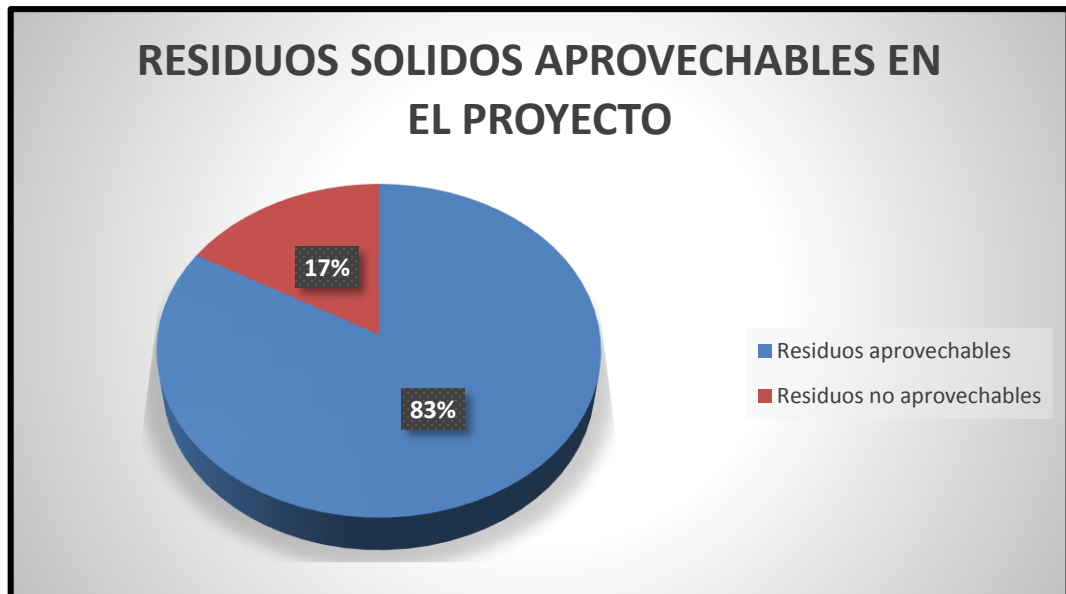
En el grafico 1, se puede observar el porcentaje de los residuos encontrados en el comedor institucional. Posteriormente en el grafico 2, se encuentra el porcentaje de residuos aprovechables para el biodigestor.



Grafica 1. Clasificación de los residuos encontrados en el comedor institucional.

Fuente: autores, 2019.

Para la realización del biodigestor, solo se utilizaron únicamente los residuos sólidos orgánicos generados por el comedor institucional, en el siguiente grafico se pueden observar los residuos aprovechables para el proyecto.



Grafica 2. Porcentaje de residuos aprovechables para el proyecto.

Fuente: autores, 2019.



Figura 12. Residuos sólidos orgánicos aprovechables en el proyecto.

Fuente: autores, 2019.

6.2. FASE II. Diseño del biodigestor

De acuerdo al análisis de la información de las fuentes bibliográficas que son las bases de esta investigación, se escogió la metodología de diseño de un biodigestor de zapata (2015).este autor afirma que la creación de un biodigestor contribuirá a la producción de biogás, siendo este un biocombustible económico que aprovecha diferentes fuentes de desechos orgánicos como la materia orgánica y el agua residual producidas en la institución educativa RICARDO GONZALES DEL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR, contribuyendo así a la reducción de la contaminación y a la disminución del uso de las fuentes productoras de energía convencionales. La energía proporcionada por el biogás es utilizada para fines térmicos en instalaciones domesticas como estufas.

Para el desarrollo de este proyecto tomamos como materia prima los residuos sólidos orgánicos producidos por el comedor de la institución educativa RICARDO GONZALES y el agua residual producida por la misma, se tomaron proporciones variadas para cada uno de los reactores en proporciones variadas y se hicieron réplicas del mismo para su posterior análisis de comportamiento. Para el biodigestor se realizaron 3 réplicas según su composición agua residual/residuos sólidos, tomando las siguientes proporciones:



Figura 13. Reactores según su composición agua residual/residuos sólidos.

Fuente: autores, 2019.

- a. REACTORES (3 REPLICAS) COMPOSICION: 70% AGUA RESIDUAL/30% RESIDUOS ORGANICOS.** El cálculo para determinar las proporciones en gramos y ml que llevaran cada una de las réplicas fue determinada mediante un cálculo en relación masa/ volumen. Cabe resaltar que conocemos el volumen del recipiente para calcular la cantidad de residuos orgánicos y la cantidad de agua residual. Tomamos el volumen del recipiente para determinar la cantidad de agua residual que se necesita para el primer experimento.

$$\text{Vol de agua residual} = \% \text{ agua residual} * \text{vol del recipiente}$$

$$\text{Vol de agua residual} = 70\% * 1500 \text{ ml}$$

$$\text{Vol de agua residual} = 1050 \text{ ml agua residual}$$

Para el cálculo de la masa utilizaremos una proporción masa volumen teniendo en cuenta que el 30% restante corresponde a la masa que se necesita para completar el volumen del recipiente.

$$\% \frac{m}{v} = \frac{\text{gr soluto}}{\text{ml de solución}} * 100$$

$$= 30\% \frac{X}{1050 \text{ ML}} * 100$$

$$0.3 \text{ gramos/ml} * 1050 \text{ ml} = X$$

$$X = 315 \text{ gramos de materia orgánica}$$

Una vez obtenidas las proporciones se realizó el montaje como se muestra en la figura, el reactor fue construido con un frasco tapa rosca de plástico claro de 1500mL (1), conectado por medio de una manguera a un recipiente que contenía NaOH y este a su vez a un recipiente sellado al vacío. La medición del volumen de gas generado se realiza midiendo el consumo de hidróxido de sodio. Antes de realizar cualquier llenado, fue esencial sellar el montaje con silicona líquida industrial ya que hay que asegurar que no se presenten fugas. Fueron necesarias seis semanas para el diseño y montaje del prototipo inicial.



Figura 14. Reactores según su composición.

Fuente: autores, 2019.

b. REACTORES (3 REPLICAS) COMPOSICION: 30% AGUA RESIDUAL/70% RESIDUOS ORGANICOS. El cálculo para determinar las proporciones en gramos y ml que llevaran cada una de las réplicas fue determinada mediante un cálculo en relación masa/ volumen. Cabe resaltar que conocemos el volumen del recipiente para calcular la cantidad de residuos orgánicos y la cantidad de agua residual. Tomamos el volumen del recipiente para determinar la cantidad de agua residual que se necesita para el segundo experimento.

$$\text{Vol de agua residual} = \% \text{ agua residual} * \text{vol del recipiente}$$

$$\text{Vol de agua residual} = 30\% * 1500 \text{ ml}$$

Vol de agua residual = 450 ml agua residual

Para el cálculo de la masa utilizaremos una proporción masa volumen teniendo en cuenta que el 70% restante corresponde a la masa que se necesita para completar el volumen del recipiente.

$$\% \frac{m}{v} = \frac{\text{gr soluto}}{\text{ml de solución}} * 100$$

$$= 70\% \frac{X}{450 \text{ ML}} * 100$$

$$0.7 \text{ gramos/ml} * 1050 \text{ ml} = X$$

1050 - 135 gramos (equivalen al espacio de no llenado)

$$X = 915 \text{ gramos de materia orgánica}$$

Una vez obtenidas las proporciones se realizó el montaje como se muestra en la figura, el reactor fue construido con un frasco tapa rosca de plástico claro de 1500mL (1), conectado por medio de una manguera a un recipiente que contenía NaOH y este a su vez a un recipiente sellado al vacío. La medición del volumen de gas generado se realiza midiendo el consumo de hidróxido de sodio. Antes de realizar cualquier llenado, fue esencial sellar el montaje con silicona líquida industrial ya que hay que asegurar que no se presenten fugas. Fueron necesarias seis semanas para el diseño y montaje del prototipo inicial.

c. REACTORES (3 REPLICAS) COMPOSICION: 50% AGUA RESIDUAL/50% RESIDUOS ORGANICOS. El cálculo para determinar las proporciones en gramos y ml que llevaran cada una de las réplicas fue determinada mediante un cálculo en relación masa/ volumen. Cabe resaltar que conocemos el volumen



del recipiente para calcular la cantidad de residuos orgánicos y la cantidad de agua residual. Tomamos el volumen del recipiente para determinar la cantidad de agua residual que se necesita para el segundo experimento.

$$\text{Vol de agua residual} = \% \text{ agua residual} * \text{vol del recipiente}$$

$$\text{Vol de agua residual} = 50\% * 1500 \text{ ml}$$

$$\text{Vol de agua residual} = 750 \text{ ml agua residual}$$

Para el cálculo de la masa utilizaremos una proporción masa volumen teniendo en cuenta que el 70% restante corresponde a la masa que se necesita para completar el volumen del recipiente.

$$\% \frac{m}{v} = \frac{\text{gr soluto}}{\text{ml de solución}} * 100$$

$$= 50\% \frac{X}{750 \text{ ML}} * 100$$

$$0.5 \text{ gramos/ml} * 1050 \text{ ml} = X$$

$$X = 615 \text{ gramos de materia orgánica}$$

Una vez obtenidas las proporciones se realizó el montaje como se muestra en la figura, el reactor fue construido con un frasco tapa rosca de plástico claro de 1500mL (1), conectado por medio de una manguera a un recipiente que contenía NaOH y este a su vez a un recipiente sellado al vacío. La medición del volumen de gas generado se realiza midiendo el consumo de hidróxido de sodio. Antes de realizar cualquier llenado, fue esencial sellar el montaje con silicona líquida

industrial ya que hay que asegurar que no se presenten fugas. Fueron necesarias seis semanas para el diseño y montaje del prototipo inicial.

6.3. FASE III. Evaluación de la cantidad de biogás y bioabono.

Para el desarrollo de las pruebas se tomaron 6 semanas de medición de la cantidad de biogás por días para analizar el comportamiento de cada uno de los reactores.

6.3.1. producción de biogás según la composición del reactor.

a. Relación 70% agua residual y 30% residuos sólidos.

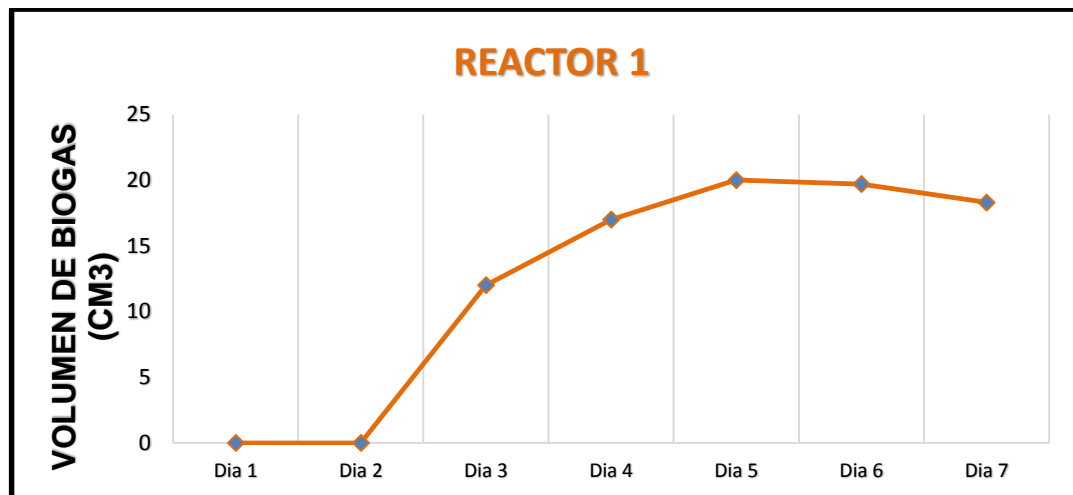
Para las tres réplicas de los reactores con relación 70% agua residual y 30% residuos sólidos, se obtuvieron los siguientes resultados en periodos de 7 días

- REACTOR 1.

Tabla 8. Producción del reactor 1 (70% agua residual/30% residuos sólidos).

REACTOR 1							
Día	1	2	3	4	5	6	7
Biogás (cm ³)	0	0	12	17	20	19,7	18,3

Fuente: autores, 2019.



Grafica 3. Volumen de biogás por día en el reactor 1.

Fuente: autores, 2019.

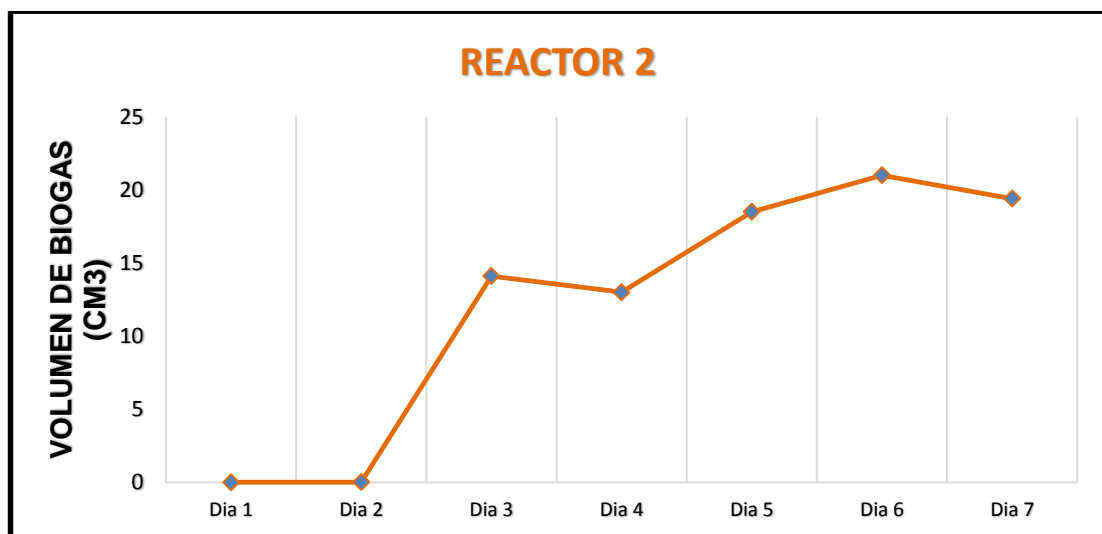
Según los datos de la **gráfica 1** para el reactor 1 se evidencia que durante el periodo de 7 días se generó un promedio de biogás de 12,43 cm³, además se evidencia que en los primeros días y debido a condiciones de temperatura el reactor no generó biogás, ya para los días 3 y 4 en condiciones de PH neutral y temperaturas entre 25 y 36 grados(días bastantes calurosos) se generaron entre 12 y 17 cm³ de biogás, esto denota que las bacterias presentes en el reactor llevan a cabo un proceso correcto de digestión anaerobia alcanzando los resultados deseados y desarrollando la etapa metanogénica para la producción del biogás, además para los días 5,6 y 7 las bacterias alcanzan un proceso de aclimatación lo cual se ve reflejado en el estado estacionario del reactor manteniendo una producción de biogás que oscila entre los 20 y los 18,3 cm³.

- **REACTOR 2.**

Tabla 9. Producción del reactor 2 (70% agua residual/30% residuos sólidos).

REACTOR 2							
Día	1	2	3	4	5	6	7
Biogás (cm ³)	0	0,02	14,1	13	18,5	21	19,4

Fuente: autores, 2019.



Grafica 4. Volumen de biogás por día en el reactor 2.

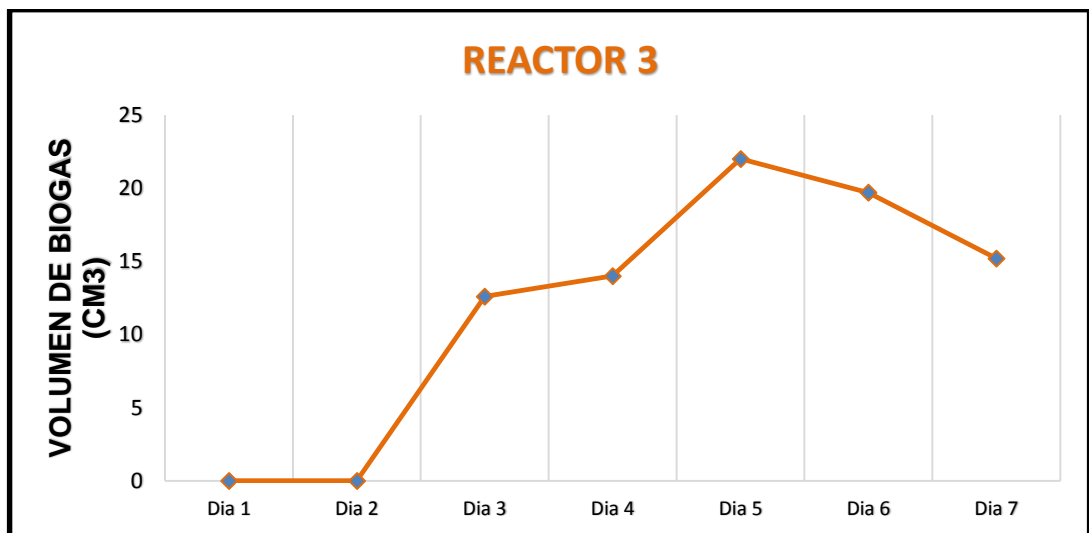
Fuente: autores, 2019.

En la **gráfica 2** se evidencia un comportamiento similar entre el reactor 1 debido a que en los primeros días no se genera producción significativa de biogás, pero en el día 3 se evidencia una producción considerable de biogás que va a los 15 cm³ en condiciones de temperatura entre los 25 y 36 grados con condiciones de pH neutrales, se observa un desnivel en la producción de biogás en el día 4 debido a las condiciones de temperatura lo que provoca una disminución no considerable de 13 cm³ que nos permite deducir que algunas bacterias hidrolíticas estaban por fuera del pH recomendado, sin embargo esto no afecto la producción de biogás debido a que las bacterias metanogénicas tienen un campo más amplio para su desarrollo, para los días 5,6 y 7 la producción de biogás oscilo entre los 18, 5 cm³ y los 18, 4 cm³. Esta semana arrojó un promedio de producción de biogás de 12, 28 cm³.

Tabla 10. Producción del reactor 3 (70% agua residual/30% residuos sólidos).

REACTOR 3							
Día	1	2	3	4	5	6	7
Biogás (cm ³)	0	0	12,6	14	22	19,7	15,2

Fuente: autores, 2019.



Grafica 5. Volumen de biogás por día en el reactor 3.

Fuente: autores, 2019.

La grafica 3 evidencio el mismo comportamiento de los dos reactores anteriores donde en los primeros días no se genera una producción significativa de biogás, para los días 3 y 4 la producción de biogás esta entre 12,6 cm³ y 14 cm³ y para el día 5 se alcanza una producción significativa de biogás de 22 cm³ siendo esta la producción de biogás más elevada en el experimento 1, deduciendo así una correcta digestión anaerobia por parte de las bacterias presentes en el reactor, pero en los días 5, 6 y 7 se observa un comportamiento opuesto debido a que la producción de biogás disminuye de 22cm³ a 15cm³ lo que nos muestra un cambio en las condiciones estándares de temperatura y pH para el desarrollo de las bacterias presentes en el reactor. Para esta semana la producción promedio de biogás fue de 11,92 cm³.

Teniendo en cuenta la relación 70% agua residual/30% residuos sólidos y los promedios obtenidos en cada uno de los reactores se evidencio que el reactor que tuvo un mejor comportamiento en los días de prueba fue el reactor 1 con 12,43 cm³ de producción de biogás esto denoto un acoplamiento de los componentes del reactor, así como la correcta degradación de la materia orgánica presente en el reactor y la digestión correcta por parte de las bacterias presentes en la muestra.

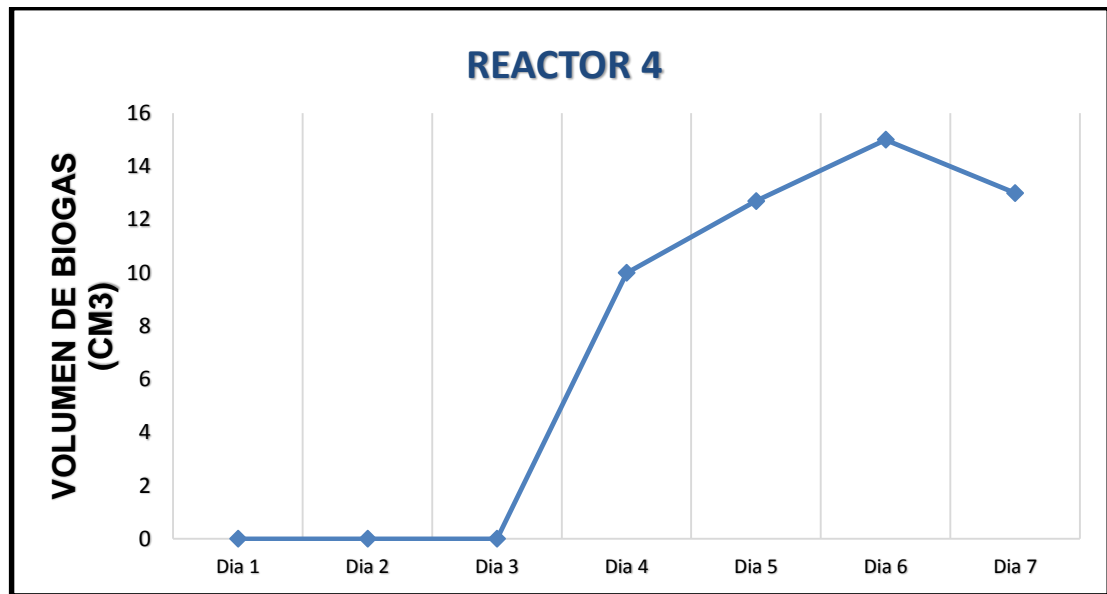
b. Relación 70% residuos sólidos y 30% agua residual. En las siguientes tablas y gráficas, podemos observar la producción de los reactores, con una relación 70% residuos sólidos/30% agua residual en un periodo de 7 días.

- **REACTOR 4.**

Tabla 11. Producción del reactor 4 (70% residuos sólidos/30% agua residual).

REACTOR 4							
Día	1	2	3	4	5	6	7
Biogás (cm ³)	0	0	0	10	12,7	15	13

Fuente: autores, 2019.



Grafica 6. Volumen de biogás por día en el reactor 4.

Fuente: autores, 2019.

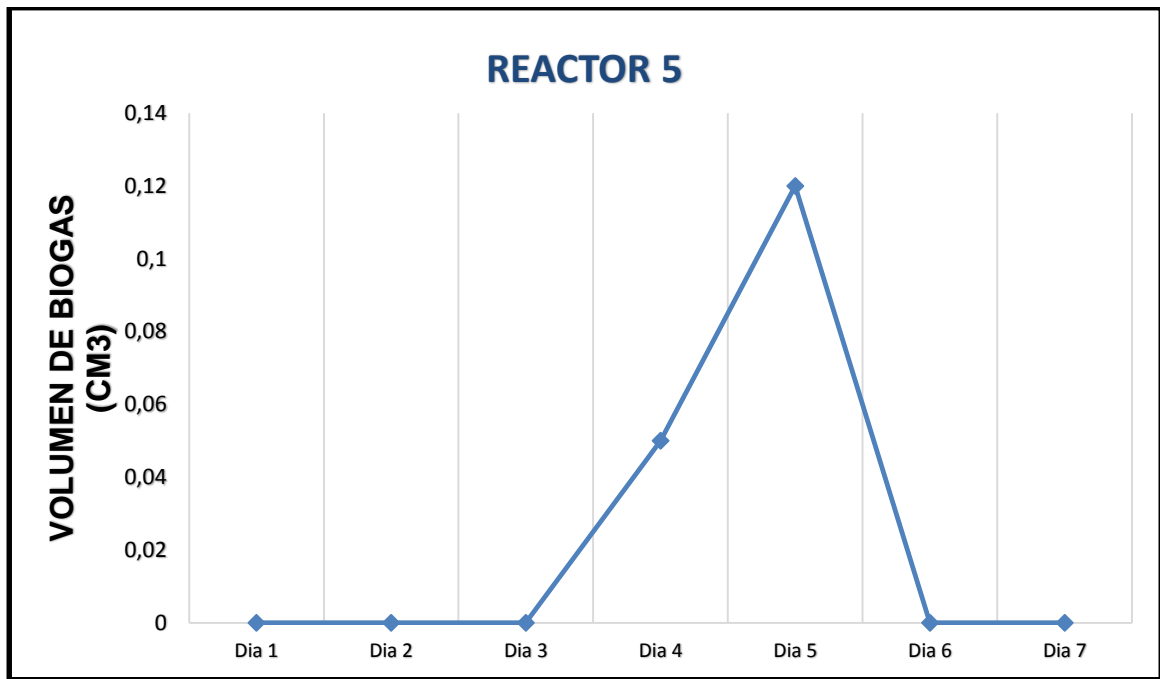
En la **gráfica 4** se observó que en los primeros 3 días el reactor no muestra una producción significativa de biogás, para los días 4, 5 y 6 la producción de biogás oscila entre los 10cm³ y los 15 cm³ y que para el séptimo día la producción de biogás disminuyó a 13cm³ lo que denota que en más días de investigación por condiciones de temperatura se dejara de producir biogás. El promedio semanal de producción de biogás fue de 7,24 cm³ lo que denota una disminución en la producción de biogás con respecto al experimento 1.

- **REACTOR 5.**

Tabla 12. Producción del reactor 5 (70% residuos sólidos/30% agua residual).

REACTOR 5							
Día	1	2	3	4	5	6	7
Biogás (cm ³)	0	0	0	0,05	0,12	0	0

Fuente: autores, 2019.



Grafica 7. Volumen de biogás por día en el reactor 5.

Fuente: autores, 2019.

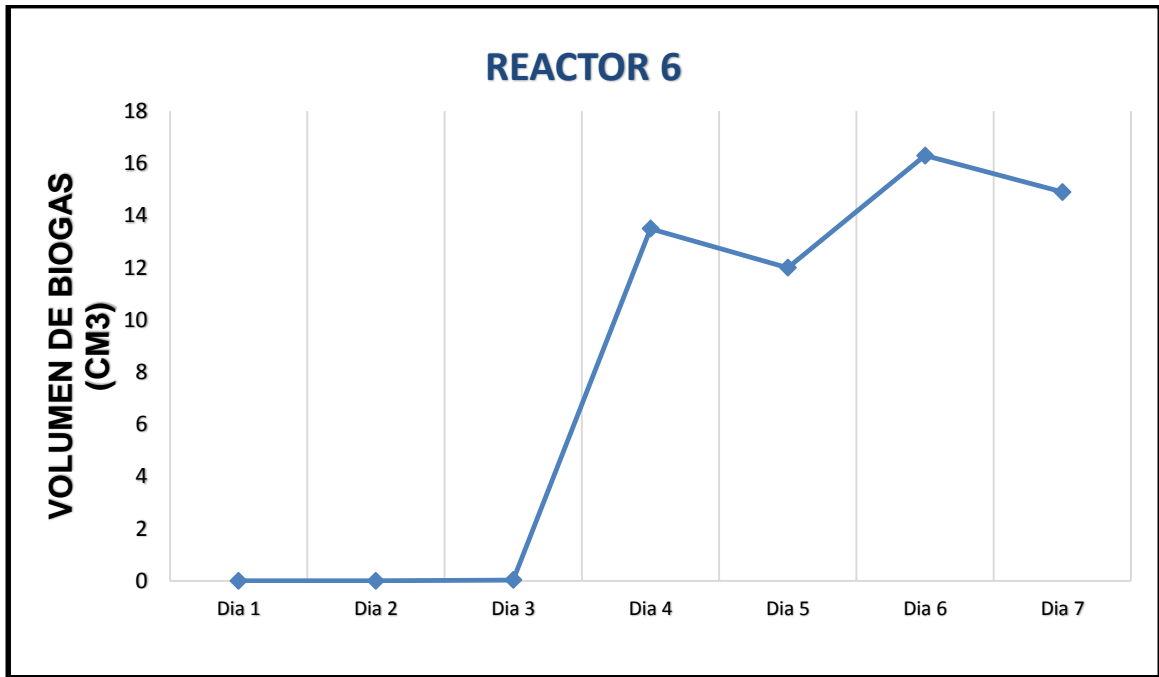
La grafica 5 muestra que en los primeros 3 días el reactor no mostro una producción significativa de biogás marcando una tendencia similar con respecto al reactor 4, para los días 4 y 5 la producción de biogás fue muy baja al no alcanzar ni siquiera 1cm³ lo que evidencia que el reactor no fue sellado de la mejor manera y el biogás se filtró arrojando resultados negativos en la medición de biogás con respecto a las proporciones establecidas para este reactor. El promedio de producción de biogás para esta semana fue de 0.02 cm³ dato que evidencia el promedio más bajo en comparación con los reactores ya explicados.

- **REACTOR 6.**

Tabla 13. Producción del reactor 6 (70% residuos sólidos/30% agua residual).

REACTOR 6							
Día	1	2	3	4	5	6	7
Biogás (cm ³)	0	0	0,03	13,5	12	16,3	14,9

Fuente: autores, 2019.



Grafica 8. Volumen de biogás por día en el reactor 6.

Fuente: autores, 2019.

En la **gráfica 6** se observó la tendencia a la no producción de biogás de los primeros 3 días, para el día 4 se evidencio que en condiciones de altas temperaturas entre los 30 y 37 grados se generó una producción de biogás de 13,5 cm³ denotando las condiciones óptimas de digestión y desarrollo de las bacterias anaerobias, el día 5 presento una fluctuación no considerable de disminución de producción de biogás de 12,5 cm³, para el día 6 se mantuvo la tendencia de aumento de la producción de biogás a 16,3 cm³, para el día 7 se presentó una disminución en la producción de biogás de 1,4 cm³, el promedio de producción de biogás para esta semana fue de 8,10 cm³.

De acuerdo a los promedios obtenidos en la relación 30% agua residual/70% residuos sólidos, se evidencio que la producción de biogás para estos tres reactores fue baja alcanzando valores de 8,10 cm³ teniendo en cuenta la fuga en uno de los reactores del biogás, se denoto una mala producción de biogás y el no

procesamiento de los componentes del reactor con respecto a la materia orgánica presente.

c. Relación 50% residuos sólidos y 50% agua residual.

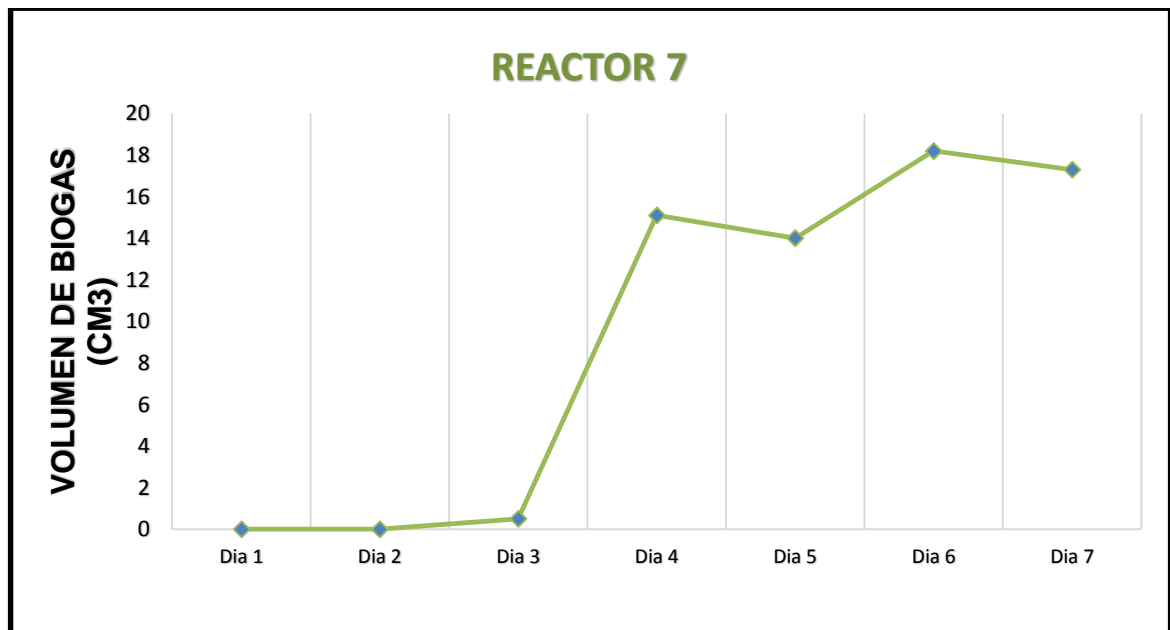
En las siguientes tablas y gráficas, podemos observar la producción de los reactores, con una relación 50% residuos sólidos/50% agua residual en un periodo de 7 días.

- **REACTOR 7.**

Tabla 14. Producción del reactor 7 (50% residuos sólidos/50% agua residual).

REACTOR 7							
Día	1	2	3	4	5	6	7
Biogás (cm³)	0	0	0,5	15,1	14	18,2	17,3

Fuente: autores, 2019.



Grafica 9. Volumen de biogás por día en el reactor 7.

Fuente: autores, 2019.

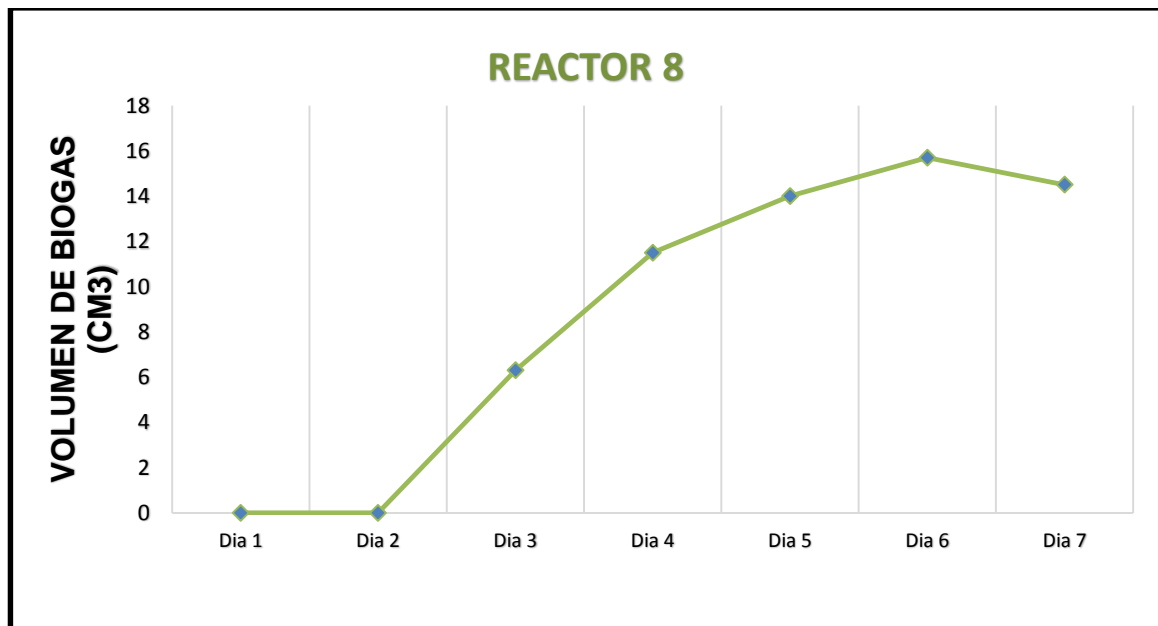
La grafica 7 evidencio que en los primeros días y debido a las condiciones climáticas de temperatura no se generó una producción de biogás, ya para los días 3 y 4 la producción de biogás oscilo entre los 0,5 cm³ y los 15cm³ lo que denoto un crecimiento exponencial lo que denoto una producción significativa de biogás, los días 5, 6 y 7 marcaron una tendencia de estado estacionario de biogás oscilando entre los 17,3 cm³ y los 18,2 cm³. La producción promedio de biogás de esta semana fue de 9.3 cm³.

- REACTOR 8.

Tabla 15. Producción del reactor 8 (50% residuos sólidos/50% agua residual).

REACTOR 8							
Día	1	2	3	4	5	6	7
Biogás (cm ³)	0	0	6,3	11,5	14	15,7	14,5

Fuente: autores, 2019.



Grafica 10. Volumen de biogás por día en el reactor 8.

Fuente: autores, 2019.

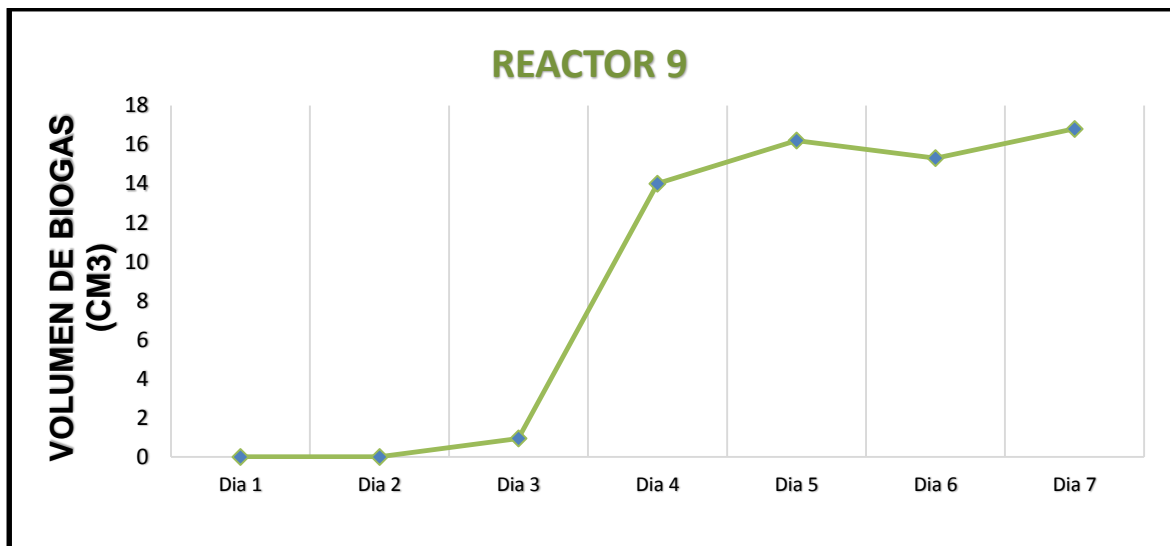
La **grafica 8** evidencio que se mantiene la tendencia de todos los reactores anteriores de no marcar una producción de biogás en los primeros 2 días, a partir del día 3 en adelante se logró evidenciar un crecimiento exponencial en la producción de biogás que oscilo entre los 6,3 cm³ y los 15,7 cm³ lo que denoto que en condiciones de temperaturas optimas se pudo lograr mantener un crecimiento sucesivo en la producción de biogás y un funcionamiento correcto de los componentes del reactor en condiciones óptimas de pH óptimos para el desarrollo de las bacterias metanogénicas. La producción de biogás para esta semana fue de 8.85 cm³.

- **REACTOR 9.**

Tabla 16. Producción del reactor 9 (50% residuos sólidos/50% agua residual).

REACTOR 9							
Día	1	2	3	4	5	6	7
Biogás (cm ³)	0	0	0,94	14	16,2	15,3	16,8

Fuente: autores, 2019.



Grafica 11. Volumen de biogás por día en el reactor 9.

Fuente: autores, 2019.

En la **gráfica 9** se evidencio que en los dos primeros días de evaluación del reactor no se generó biogás, ya para los días 3 y 4 se evidencio la producción de biogás que estuvo entre 0,94 cm³ y 14cm³ lo que mostro el correcto funcionamiento del reactor, además se evidencio que la producción de biogás se mantuvo entre los días 5 y 6 entre los 15,5 cm³ de promedio y que para el día 6 hubo un aumento de producción de biogás por encima de los 1,63 cm³ en comparación con los días 4 y 5. La producción de biogás promedio para esta semana fue de 10.06 cm³

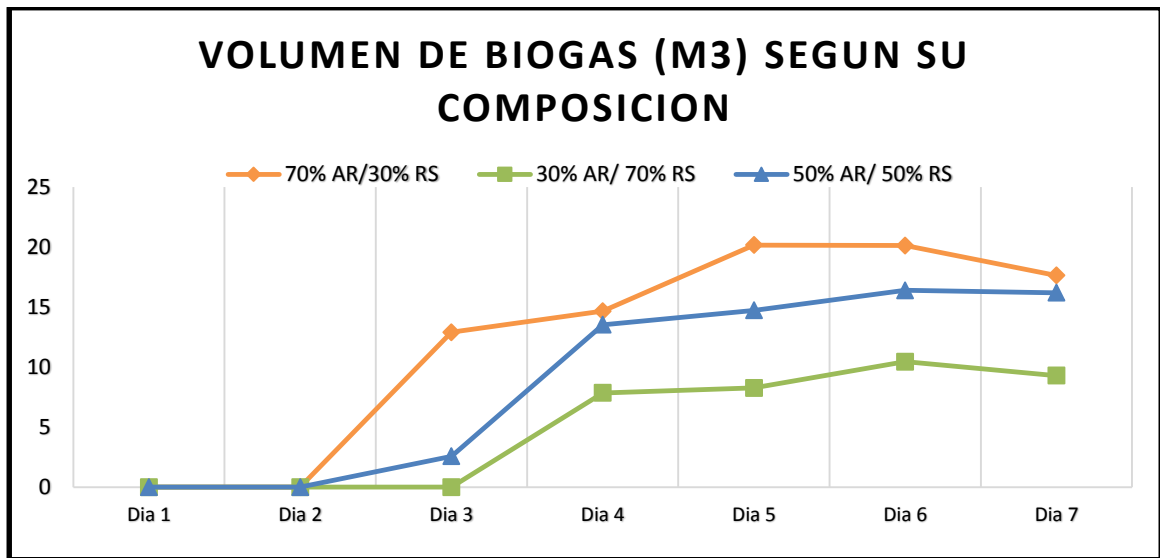
6.3.2. Comparación de reactores según su composición.

En la siguiente tabla podemos observar el promedio de las 9 réplicas, promediando los reactores de igual composición, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 17. Promedio de producción de biogás según su composición.

Reactores según su composición	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
70% agua residual/30% residuos solidos	0	0,0067	12,9	14,67	20,17	20,13	17,63
30% agua residual/70% residuos solidos	0	0	0,01	7,85	8,27	10,43	9,3
50% agua residual/50% residuos solidos	0	0	2,58	13,53	14,73	16,4	16,2

Fuente: autores, 2019.



Grafica 12. Promedio de reactores según su composición.

Fuente: autores, 2019.

En la gráfica 10 se observó que los reactores de relación 70% de agua residual y 30% materia orgánica, presentó un mejor comportamiento en cuanto a la producción de biogás, seguido del experimento 2 que tenía en sus componentes 50% de agua residual y 50% de residuos sólidos, estos dos experimentos mostraron una producción de biogás similar pero el experimento 1 arrojó los mejores resultados manteniendo un promedio de producción de biogás de 12.21 cm³ arrojando resultados prometedores para la implementación de estos biodigestores para la producción de energías a escalas reales para la institución educativa.

6.3.3. Producción del bioabono

Además del biogás en el proceso de fermentación anaerobia de la materia orgánica del biodigestor se obtienen productos derivados como el abono de excelentes propiedades, según THOMAS (1987) la composición del bioabono en promedio tiene 8,5 % de materia orgánica, 2,6% de nitrógeno, 1,5% de nitrógeno y un pH de 7,5. El bioabono sólido o líquido no posee mal olor y puede ser aplicado

al campo en los suelos para su proceso de recuperación, además de aportar una gran cantidad de nutrientes para mejorar la calidad del suelo y ser una alternativa viable en comparación con los abonos o fertilizantes industriales.

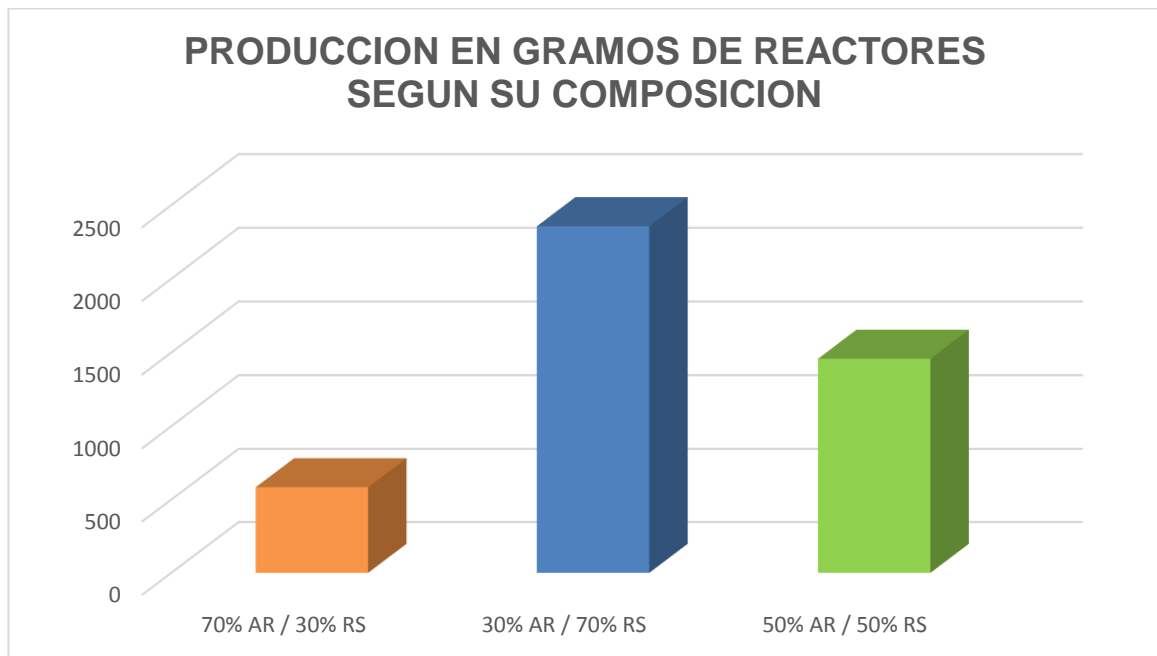
Terminado el tiempo de la reacción de cada uno de los reactores de la investigación, se procedió a abrir el sistema y a pesar la cantidad de biomasa contenida en cada uno de los reactores tabla la cual fue puesta a secar en un horno a temperaturas entre 50 y 70 °C para garantizar la eliminación de olores, pero no la pérdida de nutrientes. En la tabla 16, podemos observar el peso en gramos del bioabono generado por el biodigestor.

Tabla 18. Producción de bioabono por reactor.

Reactores composición 70% AR / 30% RSO	Peso de biomasa húmeda (gramos)	Peso de biomasa seca (gramos)
1	315	187,5
2	315	193,7
3	315	203
subtotal		584,2
Reactores composición 30% AR / 70% RSO	Peso de biomasa húmeda (gramos)	Peso de biomasa seca (gramos)
4	915	783,4
5	915	787,5
6	915	785, 2
subtotal		2356,1
Reactores composición 50% AR / 50% RSO	Peso de biomasa húmeda (gramos)	Peso de biomasa seca (gramos)
7	615	486
8	615	482

9	615	489
subtotal		1457
Total reactores		4.397,3 gramos

Fuente: autores, 2019.



Grafica 13. Producción de bioabono de acuerdo a la composición de los reactores.

Fuente: autores, 2019

En la gráfica 13, se observó que la producción de bioabono es mayor en el reactor que posee la mayor cantidad en proporción de materia orgánica, en donde se evidenció una producción promedio de bioabono de 2,36 kg, mientras que en los reactores que no contienen una proporción elevada de materia orgánica solo se obtuvieron 0.58 kg de bioabono y para los reactores con igual proporción de materia orgánica y agua residual, se obtuvo una producción de 1,48 kg. Se obtuvo un total de producción de 4,39 kg aproximadamente, que teniendo en cuenta la materia prima utilizada, contiene nutrientes que pueden ser utilizados para la recuperación de suelos y en operaciones de siembra de cultivos.



7. CONCLUSIONES

En el desarrollo de este proyecto de investigación, se logró dar cumplimiento al objetivo general planteando, realizando el “diseño de un biodigestor de flujo discontinuo a escala de laboratorio utilizando el agua residual y los residuos sólidos de la institución educativa Ricardo González de Valledupar”.

De la misma forma, se realizó el muestreo de las aguas residuales, siendo tomadas directamente del pozo de inspección perteneciente a la institución; además de realizar el cuarteo de residuos sólidos generados por el comedor estudiantil, el cual permitió determinar los residuos aprovechables para la realización del biodigestor.

A su vez, se buscó aprovechar los recursos de la institución para la producción de biogás y bioabono que puedan ser utilizados por la misma en la generación de energías renovables. El biogás obtenido por los reactores 1,2 y 3 resulta atractivo para establecer un modelo de biodigestor utilizando las proporciones 70% agua residual y 30% residuos sólidos, debido a que estos presentaron el mayor porcentaje en la producción de biogás. Teniendo en cuenta que, en esta primera composición de los reactores, se evidenció que el reactor que tuvo un mejor comportamiento en los días de prueba fue el reactor 1 con 12,43 cm³ de producción de biogás. Esto, denota un acoplamiento de los componentes del reactor, así como la correcta degradación de la materia orgánica presente y la digestión correcta por parte de las bacterias presentes en la muestra. La tendencia en la producción del biogás se mantuvo en rangos de 10 a 22 cm³ siendo este último valor el más alto en cuanto a producción de biogás, corrigiendo los factores ambientales que inciden en la formación de las bacterias que actúan en la digestión anaerobia del biodigestor.

En los reactores con composición 70 % agua residual / 30% residuos sólidos y 50% agua residual / 50 % residuos sólidos se observa la tendencia de producción



de biogás estuvo entre los 12, 3 cm³ y los 10.8 cm³ lo que marca una eficiencia del biodigestor de 25% y de igual manera impulsa a mejorar el diseño para buscar el aumento en la eficiencia de producción de biogás. Lo anteriormente planteado indica que, al existir mayor volumen de agua residual en el reactor, la producción de biogás se ve incrementada.

Se obtuvo una producción de bioabono de alrededor de 4397 gramos, con un aporte de nutrientes claves para la utilización en terrenos que necesiten una recuperación y un gran aporte de nutrientes. El bioabono producido por los residuos sólidos orgánicos marca la tendencia de los nutrientes obtenidos en la fermentación anaerobia y será materia de investigación para ser utilizado en los suelos. Se pudo observar, que los reactores con composición 70% residuos sólidos / 30% agua residual, existe mayor producción de bioabono.

8. RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar la construcción de un biodigestor a escala real en la institución educativa Ricardo Gonzales que pueda ser utilizado para obtener energía renovable aplicada a la institución.
- ✓ es necesario llevar a cabo un programa de control y seguimiento a la hora de diseñar y poner en marcha este tipo de biodigestores con la finalidad de evitar fugas y filtraciones que afecten a los resultados esperados.
- ✓ Evaluar otros parámetros importantes en el diseño tales como PH, temperatura y comportamiento del reactor.
- ✓ Es necesaria la evaluación de los componentes que conforman el bioabono y buscar la relación idónea de nutrientes y su aporte en las propiedades del suelo.
- ✓ Mejorar el sistema de recolección de biogás utilizando bolsas de muestreo especializadas para gases con el fin de facilitar el análisis de composición.
- ✓ Utilizar los recursos existentes para impulsar la producción de estas alternativas renovables en las instituciones educativas de la ciudad de Valledupar.
- ✓ Incentivar al personal de las instituciones en el estudio de alternativas de energías renovables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F (2012) El proyecto de investigación; introducción a la metodología científica. Caracas, Venezuela.
- Cendales E. (2011). Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable. Trabajo de Maestría en Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional de Colombia(Bogotá).
- Cifuentes, R. (2011). Diseño de proyectos de investigación cualitativa. Buenos Aires. Argentina: Noveduc.
- Coss (2015). Tratamiento de sustrato de bovino y producción de biogás en un biodigestor continuo con lombricultura. E-gnosis. 13. Universidad de Guadalajara Guadalajara, México
- Fernández, A. Sánchez, M. 2007. Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Recuperado de: http://www.unido.org/fileadmin/import/72852_Gua_Gestin_Integral_de_RSU.pdf. (18/07/08)
- González (2011). Diseño y fabricación de un prototipo para la obtención de biogás. Proyecto de tesis Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2281/Tesis.pdf?sequence=1> consultado el 15-10-2017
- Hernández Sampieri, Roberto / Fernández Collado, Carlos / Baptista Lucio, Pilar. (2010); Metodología de la investigación, 5ta. Ed. México.McGraw-Hill Interamericana.

- Hurtado J. (2010). El proyecto de investigación. Comprensión holística de la metodología de y la investigación. Edit. Sypal 6ta. Edición. Caracas.
- Ruiz A (2010). Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante un sistema de biodigestión y manejo integral de residuos sólidos y líquidos, Centro Instituto Químico de Sarria de la Universidad Ramón Llull. España.
- Tamayo, M. (2012). El Proceso de la Investigación Científica. México: Limusa.
- Varnero M. (2011). Manual del Biogás. Ministerio de energía. Gobierno de Chile. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- Varnero et al (2014). Producción de biogás y enmiendas orgánicas a partir del residuo olivícola (alperujo). Inf. tecnol. 25 (5). Recuperado de: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000500011
- Zapata O. (2015). Los Biodigestores importancia y beneficios. Artículo del blog de Civilgeeks Ingeniería y Construcción. Recuperado de: <http://civilgeeks.com/2015/05/27/los-biodigestores-importancia-y-beneficios/>
- Hilbert, Jorge Antonio. Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar. Castelar, Buenos Aires. AR. 2003. P.54
- Colmenares, W., Santos, K. Generacion y manejo de gases en sitio de disposición final. 2007. P.11