

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE UN
BIODIGESTOR ANAEROBIO UTILIZANDO RESIDUOS ORGÁNICOS Y AGUAS
RESIDUALES GENERADAS EN LA CENTRAL DE ABASTOS-MERCABASTOS
DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR**



**INGRIS JOHANNA MORALES MIRANDA
MARIA ALEJANDRA VEGA OCHOA**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR-CESAR**

2019

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE UN
BIODIGESTOR ANAEROBIO UTILIZANDO RESIDUOS ORGÁNICOS Y AGUAS
RESIDUALES GENERADAS EN LA CENTRAL DE ABASTOS-MERCABASTOS
DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR**



**INGRIS JOHANNA MORALES MIRANDA
MARIA ALEJANDRA VEGA OCHOA**

**DIRECTOR DE PROYECTO
ING. ANGELICA VANEGAS PADILLA**

**PROYECTO DE GRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO.**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR**

2019

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado, primeramente, a Dios, a mi madre **NORA VEGA OCHOA**, por la comprensión, la ayuda, la confianza, el apoyo incondicional, pero ante todo el increíble amor que me ha brindado durante mi diario vivir, porque sé que, sin ella no hubiera podido llegar hasta aquí.

MARIA ALEJANDRA VEGA OCHOA

Dedico este trabajo de grado, principalmente a Dios, quien ha sido mi principal ayuda para poder culminar mi carrera, el cual, me ha da dado la sabiduría y el conocimiento necesario para poder cumplir con mi propósito. A mis padres, **URBANO MORALES BELEÑO** y **AMADA MIRANDA ARCIA**, por brindarme su apoyo incondicional, por el buen ejemplo que me han dado, por brindarme su amor y sabiduría necesaria.

INGRIS JOHANNA MORALES MIRANDA

AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan sus agradecimientos a:

A la Ing. ANGELICA VANEGAS PADILLA, por prestar el apoyo y la ayuda necesaria para la realización de este proyecto, por su dedicación y esfuerzo; ella supo cómo guiarnos en tan arduo trabajo, por eso, deseamos expresarle nuestra gratitud, éxito y el mayor de los augurios en su trayectoria profesional.

A la UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR, por brindarnos su academia y formarnos en todo el proceso del pregrado, por prestarnos su infraestructura física, equipos y demás elementos necesarios para realizar el proyecto.

A la empresa CENTRAL DE ABASTOS MERCABASTO de la ciudad de Valledupar, la cual, fue fundamental para poder ejecutar nuestro proyecto, por abrirnos las puertas y por la disposición prestada.

TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2 FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	4
2. JUSTIFICACIÓN.....	5
3. OBJETIVOS.....	7
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
4. MARCO REFERENCIAL.....	8
4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
4.2 MARCO TEÓRICO.....	11
4.2.1 Clasificación de los residuos.....	12
4.2.2 Características de los residuos vegetales.....	13
4.2.3 Descripción del proceso de biodigestión.....	13
4.2.4 Factores que influyen en la digestión anaerobia.....	15
4.2.5 Tipos de biodigestores.....	19
4.2.6 Biogás.....	21
4.2.7 Operación de un biodigestor anaerobio.....	22
4.2.8 Arranque o puesta en marcha de biodigestores.....	26
4.3 MARCO CONCEPTUAL.....	27
4.4 MARCO CONTEXTUAL.....	30
4.4.1 Reseña histórica.....	30
4.4.2 Localización.....	32
4.4.3 Actividades desarrolladas en la comercializadora mercabastos.....	33
4.5 MARCO LEGAL.....	36
4.5.1 Normatividad de residuos sólidos en Colombia.....	36
4.5.2 Normatividad de agua residual en Colombia.....	37
4.5.3 Otras leyes, decretos y resoluciones disponibles.....	38
4.6 MARCO INSTITUCIONAL.....	39

4.6.1	La naturaleza de la entidad	40
4.6.2	Misión de la entidad.....	40
4.6.3	Visión de la entidad	41
4.6.4	Objetivos institucionales	41
5.	MARCO METODOLÓGICO	41
5.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	41
5.2	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	42
5.3	POBLACIÓN OBJETO DE ESTUDIO Y MUESTRA.....	42
5.4	SELECCIÓN Y FRECUENCIA DE MUESTRA.....	42
5.4.1	Criterios de selección	43
5.5	DESARROLLO METODOLÓGICO.....	45
5.5.1	Etapa 1: caracterización de los residuos	45
5.5.1.1	Caracterización de la composición nutricional de los residuos orgánicos utilizados.....	45
5.5.1.2	Determinación de la producción de los residuos orgánicos.....	47
5.5.1.3	Caracterización física de los residuos orgánicos	47
5.5.1.4	Densidad de los residuos orgánicos recolectados.....	48
5.5.1.4.1	Densidad sin compactar	48
5.5.1.4.2	Densidad compactada	48
5.5.2	Etapa 2: caracterización fisicoquímica del agua residual	49
5.5.2.1	Ensayo demanda química de oxígeno (DQO)	49
5.5.2.2	Ensayo sólidos suspendidos totales (SST).....	50
5.5.2.3	Ensayo demanda biológica de oxígeno (DBO5)	52
5.5.3	Etapa 3: construcción del biodigestor.....	53
5.5.3.1	Tiempo de retención y carga diaria.....	55
5.5.4	Etapa 4: cantidad de biogás producido	58
5.5.5	Etapa 5: análisis de los parámetros fisicoquímicos	58
5.5.5.1	Criterio para la selección de los parámetros.....	58
5.6	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
5.6.1	Caracterización de los residuos.....	60

5.6.1.1	Características físicas de los residuos.....	61
5.6.1.1.1	Densidad de los residuos orgánicos recolectados	61
5.6.1.1.2	Humedad de los residuos orgánicos recolectados	62
5.6.2	Caracterización fisicoquímica	62
5.6.2.1	Ensayo demanda química de oxígeno (DQO)	62
5.6.2.2	Ensayo sólidos suspendidos totales (SST).....	63
5.6.2.3	Ensayo demanda biológica de oxígeno (DBO5)	64
5.6.3	Construcción del biodigestor	64
5.6.4	Cantidad de biogás producido	66
5.6.5	Control y seguimiento de los parámetros de selección	68
5.6.5.1	Control de PH	68
5.6.5.2	Control de temperatura.....	70
5.6.6	Análisis de los parámetros fisico-químicos.....	71
5.6.6.1	Comparación de parámetros evaluados con resolución 0631 de 2015.....	72
5.6.6.2	Demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	73
6.	CONCLUSIONES	73
7.	RECOMENDACIONES.....	75
8.	BIBLIOGRAFÍA	77
9.	ANEXOS.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la central de abastos – MERCABASTOS de Valledupar/Cesar	33
Figura 2. Método de cuarteo	48
Figura 3. Como hacer un biodigestor	55
Figura 4. Cantidad de residuos recolectados	60
Figura 5. Monitoreo pH	69
Figura 6. Monitoreo temperatura	70
Figura 7. Clase de microorganismos según su temperatura	70
Figura 8. Correlación entre la producción de gas metano (CH ₄) y Ph	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del biogás	11
Tabla 2. Normatividad de residuos sólidos en Colombia	36
Tabla 3. Normatividad de agua residual en Colombia	37
Tabla 4. Cálculo del tamaño de la muestra	44
Tabla 5. Composición nutricional verduras seleccionadas	46
Tabla 6. Composición nutricional frutas seleccionadas	46
Tabla 7. Tiempo de retención y carga diaria	55
Tabla 8. Criterios para la selección de los parámetros.	58
Tabla 9. Volumen de Metano desplazado en la botella 1	67
Tabla 10. Volumen de Metano desplazado en la botella 2	68
Tabla 11. Parámetros evaluados y resolución 0631 de 2015.	72
Tabla 12. Composición química de un agua residual doméstica	73

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Resultado la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5.....	80
Anexo 2: Recolección de residuos Orgánicos	81
Anexo 3: Proceso de trituración de residuos	84
Anexo 4: Cuarteo de los residuos orgánicos	85
Anexo 5: Densidad de los residuos orgánicos recolectados.....	86
Anexo 6: Recolección del agua Residual.....	86
Anexo 7: Alimentación del Biodigestor.....	87
Anexo 8: Estimación de los parámetros DQO y SST.....	88
Anexo 9: Funcionamiento del Biodigestor.....	90
Anexo 10: Estimación de los parámetros PH y Temperatura	90

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la demanda energética global es satisfecha principalmente por combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), estas fuentes de energía generan contaminación atmosférica en niveles importantes, y en un futuro tienden a desaparecer. Múltiples desarrollos tecnológicos e investigaciones desarrolladas, han conducido a una tendencia mundial en la utilización de energías alternativas (García & Gómez, 2016).

Los residuos orgánicos son un factor muy importante, porque a partir de varios procesos llegan a disminuir los impactos ambientales y económicos generados por el hombre, reduciendo los niveles de contaminación de residuos orgánicos y aprovechando el metano como fuente de energía alternativa; ya que este gas es precursor del calentamiento global. El aumento en la generación de residuos orgánicos está asociado con el crecimiento poblacional y la calidad de vida en los asentamientos urbanos, lo cual ha llevado a la aplicación de tecnologías apropiadas para la disposición final de residuos orgánicos, que permitan una reducción racional de los impactos producidos por los residuos, sin afectar el ambiente y la salud pública.

Los desechos orgánicos de origen vegetal, se pueden transformar por acción microbiana, en una mezcla de gases denominada biogás. El biogás se compone de metano y otros compuestos como dióxido de carbono, amoníaco, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno.

Con el biogás se puede generar energía eléctrica en las actividades domésticas, según la cantidad producida, además de aprovechar la energía a partir del metano, el cual es el principal componente del biogás y se puede utilizar como un generador de combustible.

En la actualidad, a partir de campañas y proyectos, han tratado de buscar soluciones para disminuir y mitigar todos los impactos ambientales generados por dichos residuos, llegando así, a una implementación de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, con el fin de separar y transformar los residuos sólidos orgánicos en materia prima y obtener así un producto final.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la central de abastos, entran diariamente diversas cantidades de alimentos que se almacenan en bodegas para luego ser distribuidas a la población. Llevar a cabo estas actividades, tiene como consecuencia la producción de grandes volúmenes de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos diariamente, que son llevados a un contenedor a espera del carro recolector por parte de la empresa prestadora del servicio (ASEO DEL NORTE S.A. E.S.P), convirtiéndose en focos contaminantes por su fácil degradación, y posteriormente, perdiendo una gran cantidad de materia prima aprovechable (Manjarrez, 2015).

Se determina que, en la producción de Biogás se pueden utilizar residuos orgánicos para producir energía a gran escala, mediante la acción de microorganismos en ausencia de aire. El producto resultante está formado por metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros gases en menor proporción que los anteriores (Empresa de Acueducto, 2006).

La producción de biogás mediante co-digestión anaerobia de residuos agroindustriales, ha comenzado su desarrollo en Colombia siguiendo los pasos de otros países europeos como Dinamarca, Alemania, Suecia o Austria, con el objetivo de apostarle a los ganaderos, industriales, entidades municipales y asociaciones que quieran aprovechar los desechos de animales, los subproductos de su industria, o los residuos de su municipio, para generar energía renovable y contribuir a la conservación del medio ambiente.

El objetivo es obtener el mayor rendimiento posible de estos productos, antes de ser considerados residuales, y valorizarlos como materias primas para la producción

de energía sostenible, utilizando la gran masa de residuos anteriormente mencionada (Hernandez, 2016).

1.2 FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué cantidad de Biogás se generaría a partir de los residuos orgánicos obtenidos en la central de abastos - MERCABASTOS de la ciudad de Valledupar, mediante un biodigestor anaerobio?

2. JUSTIFICACIÓN

La central de abastos – MERCABASTOS de la ciudad de Valledupar, se ha mantenido como una alternativa para que grandes, medianos y pequeños productores puedan comercializar y vender sus productos como frutas, tubérculos, verduras, granos y demás; como en cualquier u otra actividad estos productos son manipulados por la acción humana, creando una gran cantidad de residuos contaminantes, los cuales generarán un problema ambiental, si no se le da un adecuado manejo.

Para disminuir estos contaminantes, es necesario reducir el volumen que generan los residuos orgánicos que son recogidos y dispuestos por la empresa prestadora de servicios público de Aseo del Norte S.A. E.S.P de la ciudad de Valledupar, con el objetivo de que aumente el aprovechamiento para generar sostenibilidad (Hernandez, 2016). De igual forma, lo que se busca es mitigar los impactos generados por los residuos orgánicos, los cuales a su vez se generan por gas metano, generación de lixiviados, etc.

Producir biogás, es una alternativa para disponer de los residuos orgánicos que no son aprovechados en actividades domésticas e industriales, como una fuente para generar energía alternativa, ya que este gas es precursor del calentamiento global (Mercabasto Informe de Gestión, 2012).

Con este proyecto se busca mejorar las condiciones ambientales, con el fin de disminuir todos los impactos ocasionados y generados por los residuos orgánicos, con el propósito de mejorar y prevenir los daños pertinentes y así generar alternativas de soluciones.

Con la realización de este proyecto, se desea reducir las cantidades de RS que son llevadas como disposición final al relleno sanitario, mejorar el impacto visual de las

instalaciones; así como de mostrar una comercializadora comprometida con el cuidado del medio ambiente, de igual forma determinar las características fisicoquímicas del abono orgánico obtenido, comparando con abonos comerciales (Mercabasto Informe de Gestión, 2012).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la producción de biogás a partir de un biodigestor anaerobio, utilizando residuos orgánicos y agua residual generados en la central de abastos - MERCABASTOS de la ciudad de Valledupar.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los residuos orgánicos generados en la central de abastos - MERCABASTOS.
- Realizar caracterización físico-química del agua residual a emplear en el proyecto.
- Construir un biodigestor anaerobio para la obtención de biogás, mediante la utilización de residuos orgánicos y agua residual encontrados en la central de abastos - MERCABASTOS.
- Determinar la cantidad de biogás por medio de un biodigestor anaerobio, utilizando residuos orgánicos y agua residual (Institucional).
- Analizar los parámetros físicos químicos (PH, temperatura, humedad) del biodigestor.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS ORGÁNICOS PARA LA GENERACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS.

En El Salvador, el problema de la basura en los botaderos a cielo abierto ha sido un tema sin soluciones científicas y sostenibles. Para dar respuesta a la necesidad planteada se presenta el diseño de planta de tratamiento de desechos sólidos urbanos, que pueda ser utilizada a nivel residencial y comercial, y con escalabilidad a nivel industrial para aplicaciones municipales. La búsqueda de energías alternativas al combustible fósil necesita imaginación y técnica. La generación de biogás con biomasa de materia prima se convierte en sustituto de algunos productos derivados del petróleo y, además, permite el tratamiento de los desechos sólidos producidos por la población salvadoreña en sus actividades domésticas (Amaya & Zepeda, 2013).

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS, A PARTIR DE LAS EXCRETAS DE GANADO VACUNO EN EL RANCHO GUADALUPE, EN EL CANTÓN MOCHA PROVINCIA DE TUNGURAHUA EN EL AÑO 2015.

Se realizó el “Diseño de un biodigestor anaeróbico para la obtención de biogás, a partir de excretas de ganado vacuno en el rancho Guadalupe, en el cantón Mocha provincia de Tungurahua en el año 2015”, para aprovechar y dar un buen manejo a las excretas del ganado vacuno. Primero, se realizó el reconocimiento del sector para conocer la línea base, se tomaron datos mediante una encuesta en la que se verificó la aceptación de los moradores del lugar en ejecutar un diseño de este tipo para en un futuro implementarlo en sus propiedades, seguido a esto se obtuvieron datos mediante análisis de campo y de laboratorio para la caracterización microbiológica y fisicoquímica de las excretas del ganado, se seleccionó un

biodigestor apropiado para el rancho y finalmente se dimensionó al biodigestor tubular de flujo continuo de polietileno por ser el más apropiado a las necesidades del Rancho Guadalupe, además se elaboró un diseño de invernadero que cubrirá al biodigestor para incrementar la temperatura en las reacciones (Toscano, 2016).

APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA CENTRAL DE ABASTOS DE VALLEDUPAR - MERCABASTOS UTILIZANDO EL PROCESO DE COMPOSTAJE.

Con la realización de este proyecto, se desea reducir las cantidades de RS que son llevadas como disposición final al relleno sanitario, mejorar el impacto visual de las instalaciones; así como de mostrar una comercializadora comprometida con el cuidado del medio ambiente, de igual forma, determinar las características fisicoquímicas del abono orgánico obtenido, comparando con abonos comerciales y así poder generar compostaje, a partir de los residuos orgánicos. (Hernández & Zabaleta, 2016)

VIABILIDAD TÉCNICA PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, A PARTIR DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS – FORSU.

Este proyecto presenta tecnologías empleadas mundialmente para la gestión de los residuos sólidos urbanos y la fracción orgánica, haciendo uso de procesos termoquímicos, biológicos, bioquímicos y físicos, para la cogeneración de energía térmica con: Incineración en Parilla, Lecho Fluidizado, Circulante, Horno Rotativo, y otro sistema como la Fermentación. Así mismo, se expone como la FORSU puede ser degradada por métodos aeróbicos o anaeróbicos como el Compostaje (Rodríguez, 2014).

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, A PARTIR DE RESIDUOS VEGETALES OBTENIDOS EN LA CENTRAL DE ABASTOS DE BOGOTÁ MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA.

La presente investigación surge del interés en el aprovechamiento y caracterización de la biomasa residual principalmente residuos orgánicos, evaluando sus características químicas, fisicoquímicas y microbiológicas para darle una adecuada utilización mediante el proceso de digestión anaerobia. La primera revisión bibliográfica específica se llevó a cabo para determinar la estabilidad de los residuos a lo largo del año en la central de abastos de Bogotá, siendo la plaza de mercado más grande de Colombia, y de acuerdo a esto, se seleccionaron los residuos que presentaron mayor porcentaje de macro y micronutrientes, dentro de los cuales se encuentran tanto vegetales como frutas; para lo cual, fueron formuladas tres mezclas, una para vegetales, otra para frutas y la mezcla control con estiércol y agua. Se evaluaron variables como: la temperatura, la humedad, el pH, tiempo de retención, entre otras, que influyen directamente en la producción del biogás. También, se realizó un diagnóstico y acondicionamiento de los digestores disponibles a escala piloto en instalaciones de la central de abastos (García & Gómez, 2016).

4.2 MARCO TEÓRICO

Debido a la alta disposición de residuos orgánicos que llegan diariamente a las centrales de abastos de todo el país, y los cuales son dispuestos en rellenos sanitarios, ocasionando altos costos de transporte, así como malos olores por su descomposición; se hace necesaria una alternativa para su tratamiento, como lo es mediante digestión anaerobia, en la cual, durante un periodo de tiempo, estos residuos son degradados por microorganismos en ausencia de oxígeno, y dando como producto final el biogás, que se compone de aproximadamente 60% de metano (CH₄) y 40% de dióxido de carbono (CO₂).

El biogás, contiene mínimas cantidades de otros gases, entre ellos, ácido sulfhídrico (H₂S). Es un poco más liviano que el aire, posee una temperatura de inflamación de 700°C, su llama alcanza una temperatura de 870°C, el metano tiene un alto valor calórico (19.6 a 25 MJ/ m³). Los rangos de sus componentes principales se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del biogás

ELEMENTO	PROCENTAJE (%)
METANO	50-70
DIOXIDO DE CARBONO	30-50
NITROGENO	0,5-3
ACIDO SULFIHÍDRICO	0,1-1
VAPOR DE AGUA	TRAZAS

Fuente: Estudio sobre potencial de desarrollo de iniciativas de biogás a nivel productivo en honduras. (Hernandez et al., 2012)

4.2.1 Clasificación de los residuos

Del volumen total de residuos generados en las plazas de mercado, se obtiene una alta cantidad de residuos de verduras con un promedio de 50%, le sigue las frutas y hortalizas (Guerrero, 2014).

En Mercabastos, la descarga de frutas, verduras, hierbas, plátano y hortalizas es la actividad que genera mayor cantidad de residuos. Existen varias clasificaciones de residuos para ser aprovechados como materia prima para la producción de biogás. “La mayoría de la materia orgánica que contiene proteína, grasas, carbohidratos o de celulosa (excepto los aceites minerales y lignina) pueden ser transformados microbiológicamente en biogás”. En términos de aprovechamiento, los residuos se pueden agrupar de acuerdo con su origen, ya sea de tipo vegetal o animal, también por su capacidad de degradación, por el contenido de humedad y su tamaño promedio.

La biodegradabilidad de estos residuos está relacionada en función del contenido de biomoléculas degradables, tales como azúcares de bajo peso molecular, hemicelulosa y celulosa, y se clasifican en:

Residuos orgánicos: Estos tipos de residuos son aquellos que se descomponen naturalmente transformándose en otro tipo de materia orgánica, son biodegradables (Hernández et al., 2012).

Residuos inorgánicos: Son residuos que por sus características químicas sufren una descomposición natural lenta, algunos de ellos son de origen natural pero no son biodegradables. Estos residuos también se pueden clasificar de acuerdo con su apariencia física y a sus características cuantitativas, como el porcentaje de sólidos totales, volátiles y principalmente la demanda química de oxígeno.

4.2.2 Características de los residuos vegetales

La principal característica que presentan los residuos vegetales, y por lo que constituyen un sustrato apropiado para su utilización por medio de digestión anaerobia, es que la mayoría de estos residuos tiene un alto porcentaje de nitrógeno, y una relación C/N generalmente alta, aunque con notables diferencias según la naturaleza y composición del residuo.

4.2.3 Descripción del proceso de biodigestión

El proceso de digestión anaerobia, está dado por la descomposición microbológica de la materia orgánica o biomasa, en un entorno húmedo en ausencia de oxígeno. Dentro de este proceso la población microbiana desempeña un papel importante especialmente si se considera que disponen de un amplio rango de respuestas frente a la molécula de oxígeno. Dentro de este grupo de microorganismos, intervienen las bacterias anaerobias facultativas, quienes pueden desarrollar un metabolismo tanto respiratorio aprovechando el oxígeno, como fermentativo en ausencia de oxígeno, y las cuales utilizan en forma secuencial los productos metabólicos generados en cada etapa que interviene en el proceso (Varnero, 2011).

Etapas del proceso: El sistema de biodigestión se divide en 4 etapas fundamentales, las cuales se describen a continuación:

Hidrólisis: En esta etapa ocurre la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos a partir de la acción de bacterias hidrolíticas y fermentativas, generando productos con moléculas de bajo peso molecular como los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes, estas moléculas son transportadas a través de la membrana celular para ser fermentados a ácidos acético, fórmico, propiónico y butírico siendo estos ácidos grasos con bajo número de carbonos, así como también a compuestos reducidos como el etanol, además de hidrogeno y dióxido de carbono

(Días et al., 2002). Según diversos autores y experimentaciones la hidrólisis puede ser la etapa limitante de la velocidad del proceso, principalmente por la presencia de residuos con alto contenido de sólidos, y estos materiales están compuestos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo esta última la más resistente a la etapa del proceso depende principalmente de variables como la temperatura, del nivel de pH, de la concentración de amoníaco y de los productos de la hidrólisis, ya mencionados anteriormente, del tiempo de retención hidráulico, del porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas que contenga la biomasa, así como del tamaño de partículas la cual diversos autores recomiendan de aproximadamente 2mm, con el fin de aumentar la disponibilidad de superficie para la adsorción de las enzimas hidrolíticas, convirtiéndose en un pretratamiento fisicoquímico fundamental para el proceso aumentando la tasa de hidrólisis, y si esta fase es la limitante del proceso anaerobio, genera un beneficio produciendo menores tiempos de retención y menores tamaños de reactor.

Acidogénesis: Es la segunda etapa, y allí ocurre la formación de ácido, en donde los productos del hidrólisis se convierten en compuestos orgánicos solubles complejos y se dividen en ácidos orgánicos de cadena corta.

“Durante esta etapa se lleva a cabo la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente)”. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias radica principalmente en la producción del alimento para los grupos de bacterias que actúan en las etapas posteriores, además eliminan las trazas de oxígeno que puedan haber disuelto en el sistema, debido a que se compone de bacterias facultativas denominadas bacterias formadoras de ácidos, degradación por parte de los microorganismos anaeróbicos generando una velocidad bastante lenta para el proceso y afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros hidratos de carbono.

Acetogénesis: En esta etapa, los productos de la etapa anterior como el propionato, butirato y etanol, deben ser oxidados a acetato, anhídrido carbónico e hidrógeno, para que ocurra una metanogénesis eficiente, siendo este último un factor importante en la regulación de la degradación anaerobia de compuestos orgánicos. En la etapa acetogénica la mayoría de las bacterias anaeróbicas ya han consumido todo el alimento presente de la biomasa y los productos generados son los que las bacterias metanogénicas utilizarán como sustrato.

Metanogénesis: Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes en el proceso de digestión anaerobia, ya que como su nombre lo indica son los responsables de la formación del gas metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores. La degradación de residuos pobres en celulosa está más limitada por esta etapa que por la hidrólisis debido a que estos residuos se transforman rápidamente a ácidos grasos volátiles y pueden llegar a presentar una inhibición acidificando el medio, ya que las bacterias fermentativas producen ácido con una velocidad ocho veces más rápida comparada con la que las bacterias metanogénicas consumen estos ácidos productos de la fermentación (Días et al., 2002).

4.2.4 Factores que influyen en la digestión anaerobia

En el proceso de tratamiento anaerobio de la materia orgánica, se requiere de las siguientes condiciones:

Tipo de sustrato: Dependiendo de la biomasa a utilizar para este proceso, se puede predecir la comunidad que se desarrolla en la cámara del digestor, y el tamaño de cada grupo de organismos deberá ser proporcional al flujo del sustrato en el medio, así como la prevalencia de algunas rutas metabólicas estará determinada por la relación entre la velocidad de producción y la capacidad de

asimilación del mismo, por lo tanto, si las diferencias entre el contenido de DQO y DBO son grandes, esto indicará que existe una alta proporción de componentes no biodegradables (Días et al., 2002).

Velocidad de carga orgánica y tiempo de retención: El tiempo de retención hidráulico, es el tiempo promedio de permanencia del material orgánico o biomasa en el reactor, y la velocidad de carga orgánica es la cantidad del residuo cargado al digestor por unidad de volumen (Días et al., 2002). Este tiempo de retención está directamente relacionado con la temperatura que se da en el proceso. Varios autores han demostrado que a mayor temperatura se logran menores tiempos de retención, pero cuando esta es baja, el tiempo de retención será más largo, y para disminuir estos tiempos, diversas investigaciones muestran diversos pretratamientos, uno de ellos es recircular la materia orgánica en la fase hidrolítica y acidogénica durante dos horas, ya que según el agitar la mezcla permite que los compuestos orgánicos solubles y coloidales se degraden en primer término, con un tiempo de retención hidráulica de 12 a 24 horas y este tiempo puede variar entre 15 a 30 días para la digestión mesofílica y entre 5 a 15 días para la digestión termofílica (Varnero, 2011).

Temperatura: Como se mencionó anteriormente este factor es uno de los más importantes para que se lleve a cabo el proceso en las mejores condiciones para los microorganismos. La digestión anaerobia se puede llevar a cabo en un amplio rango de temperaturas los cuales son: psicrófilos (<20°C), mesofílicas (20-40°C), y termofílicas (45-70°C) e incluso extremos de termófilos (>60°C). En este proceso las tasas de crecimiento aumentan exponencialmente con la temperatura, de tal manera, si ocurre un aumento arbitrario de la temperatura, este alteraría las macromoléculas e impediría su metabolismo, y la tasa de crecimiento experimenta una disminución exponencial si la temperatura óptima se supera. De esta manera, para lograr un funcionamiento adecuado del proceso, la temperatura debe mantenerse estable, ya que esos cambios disminuyen la productividad en la

obtención del biogás deseado, por tanto, es preferible la digestión mesofílica, con temperatura controlada en un estado de rango medio, ya que a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias que tendrán menor actividad degraden la materia orgánica, y a mayores temperaturas el proceso es más costoso y no tan rentable (Gon, 2008).

Los rangos de temperatura de acuerdo con el tiempo de retención hidráulica son los siguientes:

Digestión Psicrófila: Los rangos de temperaturas se encuentran entre 10°C y 20°C, y la carga debe permanecer en el digestor más de 100 días.

Digestión Mesofílica: Se realiza a temperaturas entre 30°C y 35°C, se encuentra en un rango medio y de fácil control, para el proceso es preferible temperaturas más altas, pero se requieren digestores de gran tamaño, por lo que se aconseja este rango mesofílico.

Digestión Termofílica: Se realiza el proceso de digestión anaerobia a temperaturas mayores de 55°C y el tiempo de permanencia debe ser de 12 a 14 días, generando de esta manera una producción de metano más alta, así como mejor eliminación de patógenos y virus, sin embargo, requieren tecnología más costosa y consumen más energía.

pH: Es uno de los parámetros fundamentales que influyen en el proceso de digestión anaerobia, ya que determina la inhibición o toxicidad de las bacterias metanogénicas, el crecimiento óptimo de cada uno de los grupos microbianos presentes en la degradación anaeróbica va determinada y estrechamente relacionada con el pH, puesto que este impacta la actividad enzimática de los microorganismos. El rango de pH óptimo depende de cada etapa del proceso, para la etapa de hidrólisis y acidogénica el pH va de un máximo de 8 a un mínimo de 4 y

principalmente en la fase metanogénica. Este factor es de mucha importancia porque el pH no debe ser menor a 6,6, este debe mantenerse cercano a la neutralidad para no afectar el proceso.

Los valores de pH pueden ser corregidos y de esta manera mantenerlos en el rango óptimo para la fermentación, por lo tanto, cuando aumenta el pH se puede sacar frecuentemente una pequeña cantidad de efluente y a su vez agregar materia orgánica fresca en la misma proporción y cuando disminuye el pH se pueden agregar fertilizante, cenizas, o agua amoniacal diluida (Gon, 2008).

Humedad: Este factor se expresa como una relación de masa de agua por masa de materia seca. “Una materia orgánica con porcentajes de humedad superior al 50% puede ser aprovechada energéticamente mediante un proceso bioquímico como la fermentación o la digestión anaerobia” (Gon, 2008).

Macronutrientes y Micronutrientes: Estos factores son de gran importancia al momento de elegir a que residuo se le realizará un tratamiento por digestión anaerobia, debido a que el Carbono y Nitrógeno son los principales componentes que requieren los microorganismos en cantidades relevantes, ya que su base estructural está compuesta por ellos. En cuanto al carbono, la mayoría de los microorganismos son heterótrofos e implementan distintas rutas para obtenerlo, mediante sistemas enzimáticos permitiendo hidrolizarlos a compuestos orgánicos sencillos (carbohidratos, ácidos orgánicos o aminoácidos), hasta estructuras más complejas (lignina o los ácidos húmicos). Por otra parte, los microorganismos pueden utilizar cualquier compuesto de Nitrógeno, desde las formas más reducidas como NH_4^+ , aminas, amidas, nitrilos y aminoácidos, hasta las más oxidadas tales como óxidos de nitrógeno, los nitritos y nitratos. “El nitrógeno celular se encuentra en su forma más reducida, es decir, un compuesto que contenga este componente antes de asimilarlo en el interior de la célula, este deberá ser reducido, luego este

nitrógeno es utilizado para la síntesis de aminoácidos y otros compuestos orgánicos” (Manzanilla & Marban, 2012).

4.2.5 Tipos de biodigestores

Los digestores son los equipos en los cuales se lleva a cabo el proceso anaeróbico y su diseño debe ser tal, que asegure homogeneidad entre los componentes del sistema y condiciones óptimas necesarias para el crecimiento microbiano y la obtención del producto deseado, de acuerdo a esto hay una gran variedad de digestores presentes en el mercado, con diferenciaciones que van desde los parámetros de volumen, hasta modelos conceptualmente diferentes, modificando el número de tanques de proceso, la orientación de los mismos, los sistemas de movilización de biomasa, entre otros.

Biodigestores de flujo discontinuo: La carga de la totalidad del material a fermentar 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 continuo: 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 movilizadora de manera mecánica y de un depósito de gas (si este no se utiliza en su totalidad de manera continua). Existen tres clases de biodigestores de flujo continuo (Biodigestor, 2010).

Biodigestores de cúpula móvil: Los biodigestores familiares de bajo costo han sido desarrollados y están ampliamente implementados en países del sureste asiático, pero en Sudamérica, solo países como Cuba, Colombia, Brasil y Costa Rica tienen desarrollada esta tecnología. Estos modelos de biodigestores familiares, contruidos a partir de mangas de polietileno tubular, se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su construcción. Por ello se consideran una ‘tecnología apropiada’.

Ventajas del biodigestor: El empleo de la digestión anaerobia mediante un sistema de biodigestión adecuado tiene varias ventajas medioambientales como:

La Reducción en la contaminación ambiental, debido a que la carga orgánica presente en el biodigestor anaerobio destruye a todos los microorganismos aerobios encontrados en las excretas, estas contienen “microorganismos patógenos, larvas, huevos, pupas de invertebrados que de otro modo podrían convertirse en plagas y enfermedades para las plantas cultivadas. Aumentando la protección del suelo, de las fuentes de agua, de la pureza del aire y del bosque”. La degradación parcial de dicha biomasa en biogás (metano y algunos subproductos) proporcionando energía a bajo costo. Mediante la utilización del efluente como bioabono se reduce el uso de fertilizantes químicos, cuya producción y aplicación tiene consecuencias negativas para el medio ambiente global y local (Universoporcino.com, 2011).

Desventajas de los biodigestores. Este tipo de sistemas presenta un factor limitante el cual es el oxígeno (abundante en la biosfera), mientras que las bacterias anoxigénicas (organismos foto autótrofos) deben controlar el pH de su medio (proceso difícil de realizar por las bacterias) y garantizar además poca presencia del oxígeno (Escuelapedia-Recursos educativos, 2011).

En la digestión aerobia se implementa varios tipos de bacterias, todas las que el sistema pueda permitir. En cambio, la digestión anaerobia precisa de bacterias

concretas (por cada fase), y muy coordinadas a condiciones de operación estrictas para evitar su inhibición.

Bacterias presentes en la última fase de dicho sistema, pueden llegar a establecer una inhibición por diferentes compuestos, ya sean de tipo orgánicos o inorgánicos. Este es uno de los factores primordiales que se debe establecer un buen control, debido a que es muy frecuente en este tipo de proceso.

Eficiencia: El proceso anaerobio supone una menor eficiencia, ya que su rendimiento ecológico es más bajo, al transformar menos materia orgánica en biomasa (remoción de MO aprox.80%). Siendo relevante para la obtención de cantidad de biogás (metano).

4.2.6 Biogás

La producción de biogás por descomposición anaerobia es una forma útil para tratar residuos biodegradables, ya que producen combustible de valor, además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono.

El biogás tiene variedad de aplicaciones en la industria y puede ser utilizado fácilmente en todas las aplicaciones diseñadas para el gas natural, tales como “combustión directa incluyendo calefacción-absorción y calefacción-refrigeración, cocción, secado, y en las turbinas de gas. También, puede utilizarse como carburante en los motores de combustión interna y celdas de combustible para la producción de trabajo mecánico y/o electricidad”.

La Biodigestión o Digestión Anaeróbica, consiste en un proceso biológico complejo, el cual es desarrollado por microorganismos anaerobios estrictos (Scragg, 2010), es decir que, trabajan en ausencia de oxígeno transformando la materia orgánica en biogás o gas biológico. Este proceso se desarrolla de manera natural en el tracto intestinal de los animales, en los pozos negros, el conocido “gas los pantanos”, en

los vertederos de RSU (residuos sólidos urbanos), en estos últimos puede obtenerse el gas producido mediante perforaciones realizadas a intervalos regulares sobre la superficie del vertedero.

4.2.7 Operación de un biodigestor anaerobio

Los principales componentes de un biodigestor anaeróbico lo constituyen un reactor o contenedor de las materias primas a digerir; un contenedor de gas, con los accesorios para salida de biogás, entrada o carga de materias orgánicas primas y salida o descarga de materias orgánicas estabilizadas.

Reactor: El reactor corresponde al dispositivo principal, donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica. Los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos. El suelo del reactor está inclinado, para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente puedan ser extraídos del tanque. Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido.

Entrada del afluente: Normalmente, el afluente se introduce por la parte superior del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado contrario.

Salida del efluente: En un biodigestor de cubierta fija puede haber de 3 a 5 tubos de sobrenadante colocados a distintos niveles, o un único tubo con válvulas a distintos niveles, para la extracción del mismo. Por regla general, se elige aquel nivel que extraiga un efluente de mejor calidad (con la menor cantidad posible de sólidos).

Extracción de lodos: Las tuberías de extracción de lodos suelen estar colocadas sobre bloques a lo largo del suelo inclinado del biodigestor. El lodo se extrae por el centro del reactor. Estas tuberías tienen, por lo general, 15 cm de diámetro o van equipadas con válvulas tapón para evitar obstrucciones, y se utilizan para llevar periódicamente el lodo del biodigestor a un sistema de evacuación de lodos.

Sistema de gas: El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia orgánica degradada, según las características del influente. El gas se compone fundamentalmente de metano y anhídrido carbónico. El contenido en metano del gas de un digestor que funcione adecuadamente variará del 65% al 70% en volumen, con una oscilación en el anhídrido carbónico del 30% al 35%. Uno o dos por ciento del gas del biodigestor se compone de otros gases.

Debido a la presencia de metano (60%), el gas del biodigestor posee un poder calorífico aproximado de 500 a 600 kilocalorías por litro. El sistema de gas lo traslada desde el biodigestor hasta los puntos de consumo o al quemador de gases en exceso. El sistema de gas se compone de las siguientes partes:

- Cúpula de gas.
- Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.
- Medidores de gas.
- Manómetros.
- Reguladores de presión.
- Almacenamiento del gas.

Cúpula de gas: Habitualmente, la parte superior del biodigestor, llamada domo o cúpula o campana de gas se utiliza para almacenar el biogás que se genera. Esta campana de almacenamiento puede ser rígida o flotante. En algunos casos, está separada del biodigestor y se le llama gasómetro. En los tanques de cubierta fija,

puede haber también un cierre de agua incorporado, para proteger la estructura del tanque del exceso de presión positiva o negativa (vacío) creada por la extracción del lodo o del gas demasiado rápidamente.

Si la presión de gas sube por encima de los 30 cm de columna de agua, se escapará a través del cierre de agua hacia la atmósfera, sin levantar la cubierta. Si se extrae el lodo o se utiliza el gas con demasiada rapidez, el vacío puede pasar de los 20 cm y romper el cierre de agua, permitiendo la entrada del aire en el tanque. Sin el cierre de agua el vacío aumentaría enormemente y destrozaría el tanque.

La tubería entre el tanque de almacenaje de gas y el biodigestor puede también proteger a éste de las pérdidas del cierre de agua, si el paso no está cortado. Cuando se introducen líquidos en el biodigestor, el gas puede salir por la tubería hacia el tanque de almacenaje y cuando se extraen del biodigestor, el gas puede volver al tanque a través de la misma conducción.

Válvulas de seguridad y rompedora de vacío: La válvula de seguridad y la rompedora de vacío van colocadas sobre la misma tubería, pero cada una trabaja independientemente.

La válvula de seguridad consta de un plato cargado con arandelas de peso calibrado. La combinación de estos pesos junto con el peso del plato debe igualar la presión de gas de proyecto del tanque (normalmente entre 15 y 20 cm de columna de agua). Si la presión de gas en el tanque excede de este límite, la válvula se abrirá y dejará escapar gas durante un par de minutos. Ello debe ocurrir antes de que se rompa el cierre de agua.

Medidores de gas: Los medidores de gas pueden ser de diversos tipos, como fuelles, diagramas de flujo en paralelo, molinetes y placas de orificios o presión de diferencial.

Manómetros: Los manómetros se instalan en varios puntos del sistema para indicar la presión del gas en centímetros de columna de agua.

Reguladores de presión: Se instalan, generalmente, antes y después del quemador de gases en exceso. Estos reguladores suelen ser del tipo diafragma y controlan la presión en todo el sistema de gas del biodigestor. Normalmente estarán a 20 cm de columna de agua, ajustando la tensión del muelle sobre el diafragma. Si la presión de gas en el sistema es inferior a 20 cm de columna de agua, no llegará gas al quemador. Cuando la presión del gas alcance los 20 cm de columna de agua, el regulador se abre ligeramente, dejando que el gas pase al quemador. Si la presión continúa aumentando, el regulador se abre aún más para compensar. Los reguladores de gas están también situados en otros puntos del sistema, para regular la presión de gas en las calderas, calentadores y motores.

Almacenamiento del gas: El gas producido en la digestión anaeróbica se puede almacenar en un gasómetro que está separado del digestor, o bien, en el mismo digestor en la parte superior de éste.

- **Gasómetros a presión:** El gas que se produce en el biodigestor es enviado por medio de compresores a depósitos donde queda almacenado a presión. Posteriormente, es extraído de estos depósitos y enviado a las instalaciones de utilización o de quemado. La presión de almacenamiento es, aproximadamente, de 3.4 atm, lo que permite disminuir el volumen de gas a una tercera parte de lo que ocupa en el digestor.
- **Gasómetros de cubierta flotante:** Almacenan el gas variando su altura. En estos gasómetros los gases se mantienen a una presión baja aproximada de 200 mm de columna de agua. Consisten en una campana flotante, similar a la cubierta flotante de un digestor primario. Una serie de ruedas permiten que la cubierta pueda

deslizarse libremente hacia arriba o hacia abajo, según la cantidad de gas almacenado. Estas ruedas deslizan sobre unos perfiles de acero que actúan como guías de la campana.

4.2.8 Arranque o puesta en marcha de biodigestores

Un primer paso en el arranque y operación del biodigestor es procurar que el ambiente sea estrictamente anaeróbico, en razón a que las bacterias metanogénicas son muy sensibles al oxígeno, revisándose entonces, que el biodigestor esté completamente sellado; cuando se tienen biodigestores que han estado en uso por más de un año, se debe realizar un chequeo y mantenimiento de fugas [Guevara 1996]. El arranque del biodigestor se realiza con el material de la carga disponible, ya sea estiércol porcino, vacuno o residuos orgánicos. El material se reúne con antelación al arranque por espacio de 20 o 30 días, y en aquellos casos, donde se utilizan excretas de aves y residuos vegetales poco degradables, se deben tratar previamente con sales; de igual manera, se debe revisar que la materia de carga no posea inhibidores (en concentración de inhibición) en su mezcla. La inoculación en el arranque se logra mediante el uso e inclusión de una cantidad de material, en porcentaje, de otro digestor, el cual ya está rico en bacterias que se encuentran en plena actividad.

Debido al lento crecimiento que presentan los microorganismos anaerobios; en especial las bacterias metanogénicas, durante el arranque de los sistemas anaerobios se suele utilizar un inóculo bacteriano. Este inóculo corresponde a un lodo, el cual ya posee una población de microorganismos capaces de iniciar el proceso de degradación anaerobio.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Según el decreto 2676 de 2000 y el decreto 838 de 2005, podemos reunir las siguientes definiciones.

Acopio: La acción tendiente a reunir residuos sólidos en un lugar determinado y apropiado para su recolección, tratamiento o disposición final.

Ambiente: Es cualquier espacio de interacción y sus consecuencias, entre la Sociedad (elementos sociales y culturales) y la Naturaleza (elementos naturales), en un lugar y momento determinados.

Aprovechamiento: Es la utilización de residuos mediante actividades, tales como separación en la fuente, recuperación, transformación y reúso de los mismos, permitiendo la reincorporación en el ciclo económico y productivo, con el fin de generar un beneficio económico y social, y de reducir los impactos ambientales y los riesgos a la salud humana asociados con la producción, manejo y disposición final de los residuos (Ministerio del medio ambiente, 2000).

Biodigestor: Es un bioreactor herméticamente cerrado, en estos equipos se realiza el proceso de cultivo, sea en estado sólido o líquido y su diseño debe ser tal que, asegure homogeneidad entre los componentes del sistema, condiciones óptimas para el crecimiento microbiano y la obtención de metano como producto deseado.

Biodegradable: Sustancia que puede ser descompuesta con cierta rapidez por organismos vivientes, los más importantes de los cuales son bacterias aerobias.

Biomasa: Es toda la materia orgánica proveniente de árboles, plantas, desechos de animales, residuos provenientes de la agricultura y los residuos urbanos, los cuales pueden ser utilizados para producir energía.

Caracterización de los residuos: Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, identificando sus contenidos y propiedades.

Comercialización: Operación de venta o transferencia de subproductos y materias o sustancias recuperadas para reincorporarlas al proceso productivo.

Digestión anaerobia: Es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno.

Disposición final. Es el proceso de aislar y confinar los residuos o desechos peligrosos, en especial los no aprovechables, en lugares especialmente seleccionados, diseñados y debidamente autorizados, para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2005).

Generador: Cualquier persona cuya actividad produzca residuos o desechos peligrosos. Si la persona es desconocida, será la persona que está en posesión de estos residuos (Ministerio del medio ambiente, 2000). El fabricante o importador de un producto o sustancia química con propiedad peligrosa, para los efectos del presente decreto se equipará a un generador, en cuanto a la responsabilidad por el manejo de los embalajes y residuos del producto o sustancia.

Lixiviado: Líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2005).

Material recuperable: Todo aquel material que puede utilizarse como materia prima y devolverse al flujo de materiales, y cuyo procesamiento puede ser económicamente viable.

Microorganismo: Es cualquier organismo vivo de tamaño microscópico, incluyendo bacterias, virus, levaduras, hongos, actinomicetos, algunas algas y protozoos.

Patógenos: Todo agente biológico externo que se aloja en un ente biológico determinado, dañando de alguna manera su anatomía, a partir de enfermedades o daños visibles o no.

Recuperación: Sustracción de un residuo a su abandono definitivo. Un residuo recuperado pierde en este proceso su carácter de "material destinado a su abandono", por lo que deja de ser un residuo propiamente dicho, y mediante su nueva valoración adquiere el carácter de "materia prima secundaria".

Residuo sólido o desecho: Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final.

Reciclaje: Proceso cuyo objetivo es convertir residuos en nuevos productos para prevenir el desuso de materia prima (Ministerio del medio ambiente, 2000).

Reutilizar: Volver a usar un producto o material varias veces sin "tratamiento", equivale a un "reciclaje directo". El relleno de envases retornables, la utilización de estivas de madera o plástico en el transporte, etc., son algunos ejemplos.

Separación: Segregación de las sustancias, materiales y residuos peligrosos de iguales características cuando presentan un riesgo.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es "la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua". La DQO se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): Es "la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: Pseudomonas, Escherichia, Aerobacter, Bacillus), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra". La DBO se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro.

Sólidos suspendidos totales (SST): Se entiende por Total de sólidos en suspensión o TSS a un parámetro utilizado en la calificación de la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales (Total de sólidos en suspensión, 2009).

4.4 MARCO CONTEXTUAL

4.4.1 Reseña histórica

La Ciudad de los Reyes del Valle de Upar, nombre original con el cual se conoció desde sus orígenes, fue fundada inicialmente el 1 de octubre de 1544, por el Capitán Francisco Salguero, quien sin mandato oficial alguno, decidió establecer a orillas del río Guatapurí, en las tierras de los indios Eupari, parcialidad perteneciente a la tribu Chimila, una población que sirviera de enlace en la ruta que de Santa Marta, seguía hacia el Río Grande de la Magdalena, por la vía de La Ramada y Río del hacha.

Valledupar es un municipio colombiano, capital del Departamento del Cesar. Es la cabecera del municipio homónimo, el cual tiene una extensión de 4493 km², 443.414 habitantes y junto a su área metropolitana reúne 662 9413 habitantes; está conformado por 25 corregimientos y 102 veredas. El casco urbano tiene una longitud norte-sur de 8.3 km y este-oeste de 6.2 km, 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 (Información general, 2013)

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 y la serranía del Perijá. El municipio de Valledupar, limita por el Norte con los Departamentos de Magdalena y la Guajira, por el Sur con los municipios de San Diego, La Paz y el Paso, por el Este con la Guajira y los municipios de San Diego y la Paz y por el Oeste con el Magdalena y los municipios de Bosconia y el Copey.

Está conformado por 6 zonas geográficas: Zona Norte: consta de 5 corregimientos y 42 veredas. Corregimientos: Atanquez, Guatapurí, Chemesquemena, La Mina, Los Haticos. Zona Nororiental: 10 corregimientos y 4 veredas. Corregimientos: Guacoche, Guacocho, La Vega arriba, Los Corazones, El Jabo, Las Raices, El Alto la Vuelta, Badillo, Patillal y Rio Seco. Zona Suroriental: 2 corregimientos y 13 veredas. Corregimientos: Aguas Blancas y Valencia de Jesús. Zona Sur: 4 corregimientos y 15 veredas. Corregimientos: Guaimaral, Caracolí, Los Venados, El Perro. Zona Suroccidental: 2 corregimientos y 30 veredas. Corregimientos: Mariangola y Villa Germania y Zona Noroccidental: 2 corregimientos y 21 veredas. Corregimientos: Sabana Crespo y Azúcar Buena (Información general, 2013).

La central de abastos de Valledupar, abrió sus puertas en el año de 1998, bajo la alcaldía de Johnny Pérez Oñate, tras gestionar un impulso al sector de la economía, fue diseñada para organizar el mercado mayorista en Valledupar y despejar el Mercado Nuevo, que diariamente permanece congestionado por el estacionamiento

de los camiones que traen los productos de víveres y abarrotes (El Tiempo, 1998). Cuyo objetivo surge, ante primera necesidad en beneficio de los productores, comercializadores, expendedores y consumidores.

La Comercializadora MERCABASTOS, tiene bajo su responsabilidad la administración de bodegas y locales comerciales ubicados en la Central de Abastos de Valledupar “MERCABASTOS”, Mesas y chazas del Pabellón del Pescado, Locales Comerciales Ubicados en el Primer Piso del Centro Artesanal Calle Grande y la antigua bodega del IDEMA (Cedida a través de Comodato). La Central de Abastos de Valledupar “MERCABASTOS” cuenta con 136 locales comerciales, Área administrativa 17 locales, Granos y abarrotes II: 24 bodegas incluidos 2 restaurante, Perecederos I: 32 bodegas y Perecederos II: 39 bodegas (Mercabastos Informe de Gestión, 2012).

4.4.2 Localización

La central de abastos – MERCABASTOS de la ciudad de Valledupar, está ubicado en el costado Norte de la vía, que de Valledupar conduce a Bosconia, aproximadamente 500 metros del obelisco a la Vía.



Figura 1. Ubicación de la central de abastos – MERCABASTOS de Valledupar/Cesar.

Fuente. Google Maps.

4.4.3 Actividades desarrolladas en la comercializadora mercabastos

Según Comercializadora Mercabastos (2010). Las principales actividades que se realizan en la central de abastos del municipio de Valledupar son: la recepción, exhibición y almacenamiento especializado, así como la venta de productos.

Debido a que la central de abasto de Valledupar atiende la demanda de productos alimenticios de las poblaciones y localidades del municipio, constituye un importante instrumento de regulación de la oferta y demanda de productos, que a su vez influye en la formación de los precios, considerando que la función básica de la central de abasto es proveer productos alimenticios a los mercados y a la población.

Las principales ventajas de la central de abasto son las siguientes:

- Permite un mayor acercamiento de los productores con los comerciantes de productos alimenticios.
- Propicia la organización y coordinación de los particulares en la comercialización entre productores, transportistas, distribuidores y consumidores.
- Disminuye la intermediación excesiva en el intercambio y el manejo inadecuado de productos.

Las funciones de la central de abasto, como instrumento moderno para la comercialización de alimentos, son:

- Almacenar de la mejor manera los productos para su adecuada conservación y aprovechamiento.
- Abastecer a los comerciantes mayoristas.
- Surtir en cantidades suficientes productos perecederos a comerciantes.

A su vez, la **COMERCIALIZADORA MERCABASTOS**, tendrá por objeto social las siguientes actividades empresariales.

1. La central de abastos de Valledupar - MERCABASTOS, tiene como objeto abastecer con productos alimenticios a la población del municipio de Valledupar, el Departamento del Cesar y su zona de influencia. La central de abastos, comercializa productos tales como, perecederos, víveres, granos, abarrotos, lácteos, productos orgánicos, cárnicos y demás, y a su vez facilita el proceso de modernización de la

comercialización, mediante el mejoramiento de las técnicas de manejo de los productos y las prácticas de mercadeo.

2. La venta al público de las áreas privadas y comunes que tomen parte de la construcción que se ha edificado en el lote de terreno denominado Villa Miriam, ubicado en el costado norte de la vía, que de Valledupar conduce a Bosconia, aproximadamente 500 metros del Obelisco a la Vida. Dichas ventas, deberán someterse a lo dispuesto en el reglamento de copropiedad, que para el caso se elabore.
3. La puesta en marcha de la central de abastos de Valledupar “MERCABASTOS” y sus servicios complementarios, en desarrollo del objeto social, la empresa podrá celebrar toda clase de actos, negocios jurídicos y contratos que guarden relación directa o indirecta con el objeto social, adquirir, gravar, limitar, tomar en arrendamiento o en concesiones bienes muebles e inmuebles, hipotecar inmuebles de su propiedad, dar en prenda con o sin tenencia de acreedor los muebles que formen parte de su patrimonio, enajenarlos, arrendarlos, adquirir concesiones, licencias, patentes, marcas de fábrica, nombres comerciales u otros derechos constitutivos de la propiedad industrial y comercial, celebrar todas las operaciones de crédito que le permitan obtener los fondos y cualquier otro activo que se requiera para el desarrollo de su empresa social y negocios; y en general, celebrar todos aquellos contratos que tengan como finalidad ejercer derechos o contraer las obligaciones legales o convencionalmente derivadas del hecho de tener la personalidad jurídica y capacidad para comparecer en el mundo de los negocios.

Para el desarrollo de su objeto, la empresa con sujeción a las normas legales y estatutarias podrá realizar las siguientes actividades:

4. Organizar, dirigir, y administrar la central de abastos de Valledupar “MERCABASTOS”

5. Realizar directamente o a través de entes, que constituya con entidades públicas o privadas, operaciones industriales o comerciales de cualquier índole, con el fin de incrementar el producto de sus ingresos dentro del límite establecido por la ley.
6. Enajenar bienes muebles o inmuebles de propiedad de la central de abastos de Valledupar “MERCABASTOS”.

4.5 MARCO LEGAL

4.5.1 Normatividad de residuos sólidos en Colombia

Tabla 2. Normatividad de residuos sólidos en Colombia

Ley 09 de 1979	Medidas sanitarias sobre manejo de residuos sólidos
----------------	---

Ley 142 de 1994	Dicta el régimen de servicios públicos domiciliarios
Ley 430 de 1998	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones
Decreto Reglamentario 2462 de 1989	Reglamenta los procedimientos sobre explotación de materiales de construcción.
Decreto 605 de 1996	Reglamenta la ley 142 de 1994. En cuanto al manejo, transporte y disposición final de residuos sólidos
Resolución 541 de 1994	Reglamenta el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales concreto y agregados sueltos de Construcción.
Documento CONPES 2750 de 1994	Políticas sobre manejo de residuos sólidos

4.5.2 Normatividad de agua residual en Colombia

Tabla 3. Normatividad de agua residual en Colombia

SECTOR SALUD	
Ley 9 de 1979	Código sanitario nacional.
Decreto 2811 de 1974	Código nacional de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente

Decreto 1594 de 1984	Uso del agua y vertimientos.
Decreto 3930 de 2010	"Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11-Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones"
SECTOR SANEAMIENTO BASICO	
Ley 142 de 1994	Régimen de los servicios públicos domiciliarios.
MEDIO AMBIENTE	
Ley 99 de 1993	Organiza el SINA y crea el ministerio del medio ambiente.
Decreto 155 de 2004	Tasa por utilización del agua
Decreto 2667 de 2012	Tasas retributivas
Decreto 2041 de 2014	Licencias ambientales

4.5.3 Otras leyes, decretos y resoluciones disponibles

Decreto 2981 de 2013. Que la Ley 142 de 1994 establece el régimen general de los servicios públicos domiciliarios, incluido el servicio público de aseo: "Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Resolución 1045 de 2003. Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones.

Resolución 0631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Resolución 330 de 2017. por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) y se derogan las resoluciones números 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.

4.6 MARCO INSTITUCIONAL

De acuerdo a la Comercializadora Mercabastos (2010), se presenta el "Manual Específico de Funciones, Requisitos Mínimos y Competencias Laborales", de los Servidores Públicos de la entidad, el cual se ha adecuado a la estructura actual determinada por el Decreto 000135 de 1998, a la Planta de Personal y la nomenclatura de los cargos indicada en los Decretos 1227, 2539, 785 de 2005 y 871 de 2006, que establecen las funciones generales, para los diferentes empleos públicos de las entidades del territorio.

Constituye una herramienta importante en cuanto permite verificar a cada servidor público, lo que debe hacer, según el grado salarial y el Nivel Jerárquico en que se encuentra ubicado dentro de la organización. Pretende mejorar la calidad, eficacia y productividad del talento humano de la Comercializadora MERCABASTOS y su principal objetivo es propiciar en la entidad la dinámica del cambio tendiente al logro de la competitividad.

El Manual Específico de Funciones, Requisitos Mínimos y Competencias Laborales de los Empleados Públicos de la Comercializadora, se enmarca dentro de la naturaleza, la misión, los objetivos y las funciones determinadas en el Decreto 000135 de 1998, las cuales se relacionan a continuación:

4.6.1 La naturaleza de la entidad

Mediante la Escritura Pública No 1597 del 26 de noviembre de 1998, se protocoliza en la Notaría Tercera, la otorgación del Municipio de Valledupar, a favor de la Comercializadora MERCABASTOS, con el Decreto No 000135 de fecha 25 de noviembre de 1998, por la cual, se crea la Comercializadora MERCABASTOS, como una empresa industrial y comercial del estado del origen municipal, con autonomía administrativa, patrimonio propio y personería jurídica, y se regirá por las disposiciones legales que, para este tipo de entes están vigentes a nivel nacional, las que se promulguen en el futuro, y por el estatuto orgánico.

4.6.2 Misión de la entidad

La Comercializadora MERCABASTOS, tiene como misión ofrecer su Infraestructura Comercial, a fin de garantizar a la población de manera permanente, eficiente y transparente el suministro de una oferta de productos, con economía, calidad y oportunidad; con un talento humano calificado, tecnología de punta, alianzas estratégicas y soporte externo.

4.6.3 Visión de la entidad

La Comercializadora MERCABASTOS, tiene como visión ser una empresa líder en la comercialización de locales y bodegas, mejorando continuamente su organización e infraestructura, en procura de brindar servicios eficientes y competitivos a la comunidad.

4.6.4 Objetivos institucionales

1. Prestar servicio de arrendamiento de la infraestructura comercial de la Central de Abastos de Valledupar MERCABASTOS, Centro Artesanal Calle Grande y Pabellón del Pescado.
2. Enajenar bienes e inmuebles de la Central de Abastos de Valledupar.
3. Mejorar continuamente los procesos internos.
4. Establecer relaciones institucionales.
5. Apoyar a los procesos misionales.

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta, que este es un proyecto, el cual busca utilizar los residuos sólidos de procesos efectuados eventualmente en una central de abastos, se enmarca en un tipo de PROYECTO TÉCNICO, en donde se busca realizar un biodigestor escala piloto, para buscar el aprovechamiento de residuos sólidos y obtener la respectiva producción de energía renovable en la central de abastos MERCABASTOS, ubicado en la ciudad de Valledupar; en busca de crear una alternativa optima de aprovechamiento y reducción de RS para posteriormente

generar una fuente de energía renovable, un beneficio para la población que labora en la central, la disminución de generación de RS y los ecosistemas que hacen parte de esta.

5.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Tratamiento de residuos sólidos y líquidos.

5.3 POBLACIÓN OBJETO DE ESTUDIO Y MUESTRA

Este estudio fue realizado en la Central De Abastos - MERCABASTOS de la ciudad de Valledupar, donde las muestras que utilizamos fueron los residuos orgánicos que se generan en los diferentes locales. Posterior a esto, el agua residual a utilizar se obtuvo también de la central de abastos - MERCABASTOS.

La población de esta investigación, está constituida por los locales de la central de abastos - MERCABASTOS, del municipio de Valledupar; lo cual están constituido por 137 locales en total y de estos locales, la muestra a utilizar fueron 42 locales que se dedican a vender productos perecederos (frutas y verduras).

5.4 SELECCIÓN Y FRECUENCIA DE MUESTRA

El proyecto lo efectuamos en varias etapas, los cuales son la caracterización de los residuos disponibles en la central de abastos - MERCABASTOS, debido a que esta empresa, a pesar de la manipulación de residuos sólidos, eventualmente no posee un plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS). Seguidamente a esto, el diagnóstico y montaje de los equipos para el diseño del biodigestor anaerobio fue a escala piloto, el agua residual la utilizamos para optimizar los procesos y hacer un seguimiento del control y monitoreo del proceso, y por último, el análisis y selección de la mezcla con mejores resultados en la obtención del biogás.

Se trabajó con una muestra conformada por un número seleccionado de locales por muestreo aleatorio simple, mediante la siguiente fórmula estadística:

$$n = \frac{0.25 N}{\left(\frac{\alpha}{Z}\right)^2 (N - 1) + 0.25}$$

Dónde:

n: es el tamaño de la muestra.

N: es el tamaño de la población.

0.25: es el valor de p^2 que produce el máximo valor de error estándar, esto es $p=0.5$.

El valor para el error alfa (α): es del 5% (0.05) con un nivel de confianza de 95% (0.95) lo que equivale a un valor de Z de 1.96.

5.4.1 Criterios de selección

Criterios de Inclusión.

- Locales que solo se dedican a comercializar frutas y verduras.

Criterios de Exclusión.

- Locales que comercializan frutas, verduras y productos no perecederos.

Para el cálculo de la muestra, se procedió a realizar la estimación de la población objeto de estudio, teniendo en cuenta los criterios de inclusión entre los locales que solo comercializan frutas y verduras.

Para el cálculo del tamaño de la muestra, cuando el universo es finito, es decir, contable y la variable de tipo categórica, primero se debe conocer "N", ósea el número total de locales que comercializan frutas y verduras en la central de abastos-MERCABASTOS.

La población objeto de estudio fue finita, es decir, se conoció el total de locales que solo comercializan frutas y verduras y se deseó saber cuántos en total tendríamos que estudiar, por lo tanto, la fórmula utilizada es la siguiente:

Dónde:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

- N = Total de locales que comercializan solo frutas y verduras.
- Z_{α} = 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)
- p = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05)
- q = 1 – p (en este caso 1-0.05 = 0.95)
- d = precisión (en la investigación se usó un 5%).

Teniendo en cuenta el cumplimiento de los criterios de inclusión establecidos en la metodología de trabajo, cabe indicar que se trabajó con una población N=37 locales que solo comercializan frutas y verduras de la central de abastos-MERCABASTOS. Se procedió a calcular el valor n, el tamaño de la muestra de la siguiente manera:

Tabla 4. Cálculo del tamaño de la muestra

CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA				
Población		37	lo vamos a llamar	N
Al redondear el interés por participar nos da		0,5	lo vamos a llamar	p
El interés en no participar es 1 menos 0,86 y nos da		0,5	lo vamos a llamar	q
La confiabilidad es del 95%; es decir, hay un 5% de error				

Entonces vamos a llamar B a la probabilidad de error					
y se expresa en decimales		0,05	lo vamos a llamar	B	Cálculo de D
Al elevar B al cuadrado y al dividir sobre 4 generamos el valor D			lo vamos a llamar	D	0,000625
Fórmula de tamaño de muestra (n)					
$n = (N \cdot p \cdot q) / ((N-1) \cdot D + p \cdot q)$					
			0,25		
n=	33,94495413				
n redondeado	34				

Fuente: Autores, 2019

Después de haber remplazado los datos en la fórmula, se obtuvo que el tamaño de la muestra equivale a 34 locales, valor que se tomó como referencia para la producción de residuos orgánicos.

5.5 DESARROLLO METODOLÓGICO

5.5.1 Etapa 1: caracterización de los residuos

5.5.1.1 *Caracterización de la composición nutricional de los residuos orgánicos utilizados*

Para caracterizar los residuos orgánicos, primero determinamos la producción de residuos orgánicos y a su vez, la caracterización física de los residuos.

Para la caracterización de los residuos orgánicos, clasificamos los residuos en frutas y verduras para determinar la composición nutricional de cada residuo orgánico. La composición y propiedades físicas de los residuos orgánicos que utilizamos, son las

siguientes y están en base al aporte nutricional por cada 100g de porción comestible.

Tabla 5. Composición nutricional verduras seleccionadas

COMPOSICIÓN NUTRICIONAL VERDURAS SELECCIONADAS						
NUTRIENTES	RESIDUOS ORGÁNICOS					
	TOMATE	CEBOLLÍN	PIMENTÓN	APIO	ZANAHORIA	LECHUGA
CARBONO	3,5 g	3,26 g	3,8 g	2,4 g	6,9 g	1,5 g
POTASIO	258 mg	267 mg	186 mg	320 mg	321 mg	220 mg
FOSFORO	27 mg	48 mg	25 mg	24 mg	19 mg	28 mg

Fuente: Autores, 2019

Tabla 6. Composición nutricional frutas seleccionadas

COMPOSICIÓN NUTRICIONAL FRUTAS SELECCIONADAS					
NUTRIENTES	RESIDUOS ORGÁNICOS				
	PIÑA	PATILLA	GUAYABA	MARACUYA	MORA
CARBONO	11,5 g	7,5 g	5,8 g	9,5 g	9,8 g
POTASIO	175 mg	158 mg	290 mg	267 mg	190 mg
FOSFORO	10 mg	9 mg	31 mg	57 mg	30 g

Fuente: Autores, 2019

5.5.1.2 *Determinación de la producción de los residuos orgánicos*

Para determinar la producción de los residuos orgánicos, se tomó la muestra calculada para realizar la recolección durante un día, estos residuos se recolectaron en bolsas y se pesaron para determinar la cantidad de residuos que se produce en cada bloque.

Se tomó un espacio libre, en donde fue el punto de recolección de las bolsas hasta obtener la cantidad necesaria de residuos para la producción del biogás.

5.5.1.3 *Caracterización física de los residuos orgánicos*

Para determinar la composición física de los RS, utilizamos la metodología de cuarteo y se realizaron las siguientes tareas. Luego de conseguir la cantidad de RS producidos en MERCABASTOS, se trasladaron las bolsas a un sitio adecuado, dichas bolsas se rasgaron, se vaciaron y se mezclaron, con el fin de conseguir una mezcla homogénea, teniendo en cuenta que el tamaño de las partículas no supere la medida de 15 cm por 15 cm o menos; seguidamente se efectuó el cuarteo que tiene como función dividir la muestra en cuatro (4) partes iguales, de las cuales se escogieron dos opuestas para formar otra muestra representativa. La muestra menor se volvió a mezclar y se dividió nuevamente en cuatro partes, por último, se escogieron dos opuestas y se formó otra muestra. Esta operación, se repitió hasta obtener una muestra con un valor aproximado de 16 Kg. Para finalizar, se clasificaron los RS de acuerdo al tipo de residuo.

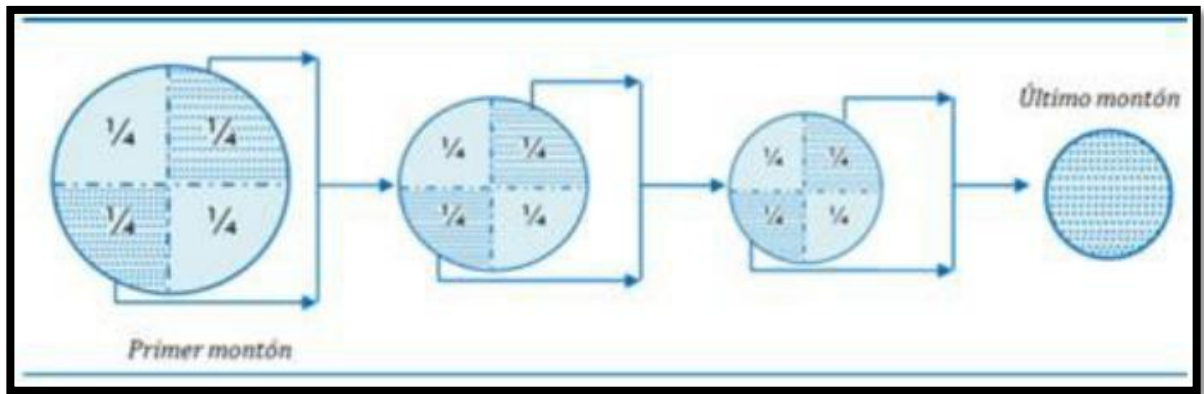


Figura 2. Método de cuarteo.

Fuente. Sakurai, 1983.

5.5.1.4 Densidad de los residuos orgánicos recolectados

5.5.1.4.1 Densidad sin compactar

Se determinó el peso volumétrico de los residuos. Los residuos eliminados en el cuarteo se depositaron en el contenedor hasta que éste se llenó. Una vez que el contenedor estuvo listo para pesarse, se colocó en una balanza electrónica y se anotó su valor en peso. El valor neto de los residuos, se obtuvo restando la tara al valor medido en la balanza, este peso se dividió entre el volumen del recipiente para obtener el peso volumétrico de los residuos sin compactar. La siguiente fue empleada para el cálculo del peso volumétrico.

$$\text{residuos sin compactar} = \frac{\text{Masa de residuos (Kg)}}{\text{Volumen de contenedor (m}^3\text{)}}$$

5.5.1.4.2 Densidad compactada

Se determinó el peso volumétrico de los residuos. Los residuos eliminados en el cuarteo se depositaron en el contenedor hasta que éste se llenó. Posteriormente, el recipiente fue golpeado contra el suelo tres veces desde una altura no superior a

los 10 centímetros. Nuevamente se vertieron los residuos al contenedor hasta llenarlo, haciendo presión para compactar los residuos hasta llenar el recipiente. Una vez que el contenedor estuvo listo para pesarse, se colocó en una balanza electrónica y se anotó su valor en peso. El valor neto de los residuos se obtuvo restando la tara al valor medido en la balanza, este peso se dividió entre el volumen del recipiente para obtener el peso volumétrico de los residuos compactados. La siguiente fue empleada para el cálculo del peso volumétrico.

$$\text{residuos compactados} = \frac{\text{Masa de residuos (Kg)}}{\text{Volumen de contenedor (m3)}}$$

5.5.2 Etapa 2: caracterización fisicoquímica del agua residual

Para la caracterización del agua residual, primero determinamos el punto de la caja de registro en donde llegan todas las aguas residuales de la central de abastos MERCABASTOS, luego tomamos la cantidad de agua necesaria para determinar los parámetros químicos (DQO, DBO y SST), posterior a la toma del agua residual refrigeramos la muestra durante 24 h.

A continuación, describimos el procedimiento del ensayo de DQO, DBO₅ y SST.

5.5.2.1 Ensayo demanda química de oxígeno (DQO)

Se tomaron 4 tubos de ensayo de 16x100mm, 2 tubos para la muestra. Diluimos el agua residual al 2%, 50 ml de agua residual y 50 ml de agua destilada para completar un volumen de 100 ml de muestra, luego agregamos 2,5 ml de muestra (AR) en el tubo 1, 1,5 ml de solución de digestión y 3,5 ml de reactivo ácido sulfúrico, para completar 7,5 ml de volumen final. Para el montaje del blanco, tomamos 2

tubos a los que se le agregaron 2,5 ml de agua destilada, 1,5 ml de solución de digestión y 3,5 ml de reactivo ácido sulfúrico, hasta completar un volumen de 7,5 ml. Luego, agitamos rápidamente los tubos, lo dejamos reposar y posteriormente lo llevamos al termo reactor a 150°C por 2 horas. Una vez completadas las 2 horas, sacamos los tubos y lo dejamos reposar 10 minutos. Posteriormente, agregamos el contenido de los tubos al matraz Erlenmeyer y le adicionamos a cada uno de 4 gotas de indicador de ferroína; agitamos rápidamente hasta alcanzar una coloración verde. Posterior a eso, titulamos con FAS (50 ml) las muestras y anotamos el volumen consumido de FAS para alcanzar una coloración rojiza tanto en el blanco, como en la muestra.

$$DQO = \frac{V_B - V_M}{2,5} * 8000 * 0,1 * FD$$

$$FD = \frac{V}{V_{UTIL}}$$

Dónde:

V_B = Promedio de mL de FAS utilizado para los blancos digeridos

V_M =mL de FAS utilizado para la muestra

FD: Factor de dilución

V: Volumen total de la muestra

5.5.2.2 *Ensayo sólidos suspendidos totales (SST)*

Primero, marcamos cada cápsula de aluminio con un número, de forma consecutiva para identificar cada cápsula de aluminio, luego colocamos el disco sobre el soporte, con el lado rugoso hacia arriba, aplicando vacío. Posterior a esto, lavamos el disco con tres porciones sucesivas de 20 ml de agua destilada, medidos con probeta. Dejamos al vacío durante 1 minuto adicional para secar el disco.

Cuidadosamente y con la ayuda de unas pinzas, retiramos el disco y lo colocamos dentro de la cápsula de aluminio correspondiente. Luego, secamos el conjunto (cápsula de aluminio + disco) en el Horno precalentado a 105°C por 1h, de ahí llevamos el conjunto a un desecador y lo dejamos enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente y registramos el peso de conjunto (peso 1). Repetimos el ciclo de secado, enfriado, pesado y registramos el nuevo peso (peso 2).

Procesamiento de la muestra: Sacamos del desecador el conjunto correspondiente a la muestra que se procesó, instalamos el disco en el equipo de filtración; se hizo vacío en el sistema y se fijó el disco con una pequeña cantidad de agua destilada, agitamos invirtiendo el recipiente de la muestra varias veces. De la muestra recién agitada, tomamos tres porciones sucesivas de 20 ml de la muestra (agua residual) medidas con una probeta, transferimos cuantitativamente al filtro, dejamos al vacío por un minuto más para retirar el exceso de humedad del filtro. Retiramos cuidadosamente el disco con ayuda de una microespátula y lo colocamos en la cápsula de aluminio correspondiente; luego, llevamos el conjunto al horno a 105°C, durante 1 hora. Llevamos el conjunto a un desecador y dejamos enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente. Pesamos y registramos el peso del conjunto (peso 1). Repetimos el ciclo de secado, enfriado, pesado y registramos el nuevo peso (peso 2).

$$SST = \frac{(A - B) * 1000}{V_m \text{ ml}}$$

Donde:

A: Peso del filtro + residuo seco, mg

B: Peso del filtro, mg

1000: Factor de conversión a mg

V_m= Volumen de la muestra

5.5.2.3 *Ensayo demanda biológica de oxígeno (DBO5)*

- ❖ Después de establecer la cantidad de muestra que se necesita, de acuerdo a las diluciones a realizar, agite la muestra para homogenización completa y sirva en un vaso de precipitados la muestra, ajuste el pH de la muestra entre 6,5 y 7,5 con ácido sulfúrico 1 M o hidróxido de sodio 1 M, según sea el caso, dosificando estos reactivos con una pipeta Pasteur que dosifique gotas muy pequeñas. (Punta en buen estado).
- ❖ Aliste cuatro botellas Winkler.
- ❖ Rotule las botellas con el número de muestra, la dilución correspondiente y la fecha de análisis. Para determinar la dilución aproximada siga los criterios de dilución de muestras.
- ❖ Registre en el formato TF 0025 el volumen real de la botella Winkler impreso en la botella usada.
- ❖ Adicione a cada botella la cantidad de muestra que se ha establecido, si se requiere hacer dilución realícela en un balón aforado clase A ó B agite y sirva en la botella la cantidad requerida.
- ❖ Adicione 2 mL de cepa.
- ❖ Adicione agua solamente hasta la mitad del cuello de la botella, para que al introducir el electrodo no haya pérdida de muestra.
- ❖ Lea el oxígeno inicial de las cuatro botellas de muestra, llene totalmente dejando el sello hidráulico (pequeña película de agua para impedir el intercambio de oxígeno entre la botella y el ambiente)
- ❖ Si al medir el oxígeno disuelto inicial, ha descendido a menor de 6, preparar otra botella utilizando un volumen de muestra menor.
- ❖ Registre los datos en el formato TF 0025 e incube a $20^{\circ} \pm 3$ °C por cinco días. Al quinto día lea el Oxígeno disuelto residual
- ❖ Calcule la DBO5 con los resultados obtenidos.

5.5.3 Etapa 3: construcción del biodigestor

Para el diseño se construyó un biodigestor hermético a escala piloto para la evaluación del aprovechamiento de la producción de biogás. Simultáneamente, su procedimiento comenzó en cuantificar los residuos orgánicos para luego ser llevado al biodigestor anaerobio, donde al ser mezclados con el agua residual institucional después fueron transportados de la cámara de entrada hacia el reactor; luego comenzó su actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradaron la materia orgánica y se desarrollaron en forma interactiva, comenzando una fase de separación biológicamente activo en el reactor.

Técnicamente, este tipo de reactor reside en un dispositivo situado en la parte superior del reactor que permitió separar internamente la biomasa, el efluente tratado y el biogás.

El gas que provino del Biodigestor se almacenó en un depósito muy simple y seguro. Aquí el gas quedó almacenado entre el agua y el contendor.

Es importante que haya agua ya que cumple varias funciones, la más importante es la de permitir escapar el gas cuando está en exceso, y también permite que salga el oxígeno.

Posteriormente, los materiales que utilizamos para este diseño fueron:

- **El reactor y materiales:**
 - Tanque de 60 litros de capacidad. Generalmente son azules con tapa de cierre hermético.
 - Tapón de limpieza sanitario (4"): Es una especie de adaptador con tapón enroscable.

- **Para la salida del efluente:**
 - Llaves de paso (2").

- Tubo PVC (2") para la tubería de salida del efluente.
- 2 Codos PVC (2").

- **Para la salida del biogás:**

- Llaves para gas (2").
- Te de galva (2").
- Adaptador para manquera.
- Manguera.
- Manguera para gas.

Al tanque se le realizaron dos agujeros laterales y dos en la tapa. Uno en la parte lateral-inferior para la válvula de 2 pulgada, otro en la parte media para la salida de efluente. En la tapa uno será para la entrada del material y el otro para la salida del biogás, siempre del diámetro de la pieza que lo atraviesa.

Para almacenar el biogás: La manguera que viene del digestor se introdujo al recipiente de vidrio de tal forma que el gas suba y quede atrapado en la parte superior del recipiente, el cual tiene una válvula para la salida del gas con una manguera que estará conectada a un depósito de campana flotante, muy fácil de construir donde se almacenara el biogás obtenido.

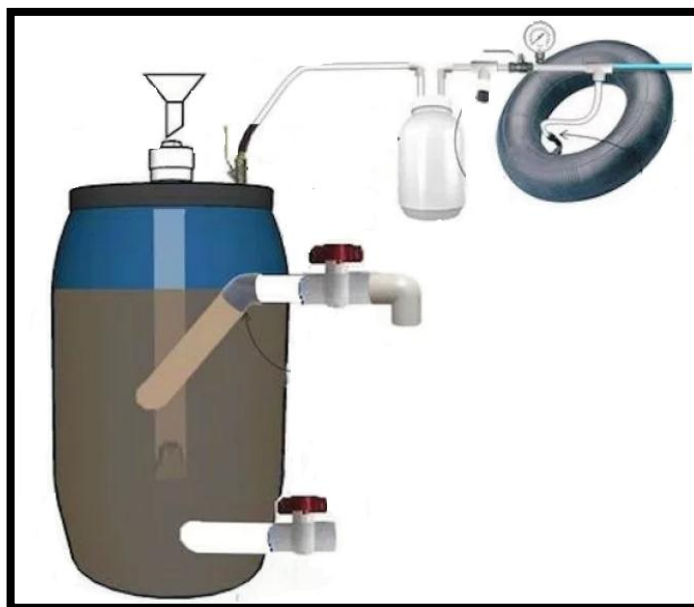


Figura 3. Cómo hacer un biodigestor

Fuente. EcolInventos, 2017.

Para el funcionamiento del biodigestor es necesario la relación 1:2 que, por cada 1 kilogramo de residuos orgánicos, se necesitan 2 litros de agua residual para agilizar el proceso de fermentación. (Olaya, 2009).

La parte inferior del sistema, tiene una salida para el efluente líquido y la parte superior una salida para el biogás producido.

5.5.3.1 *Tiempo de retención y carga diaria*

De acuerdo con la temperatura ambiental, así será el tiempo de retención de los materiales añadidos al biodigestor. En la siguiente tabla indicaremos el tiempo de retención de acuerdo con la temperatura.

Tabla 7. Tiempo de retención y carga diaria

Ambiente	Tiempo de retención [días]
Psicrofilico	> 40
Mesofilico	10 – 40
Termofilico	< 10

Fuente: Olaya, 2006

Temperatura y tiempo de retención: El rango de temperatura y el período de retención dentro del biodigestor, clasifican la fermentación de la siguiente manera (Alcayaga et al., 1999).

- **Fermentación psicrófila**, para un rango de temperatura entre 10 y 20°C y más de 100 días de retención.
- **Fermentación mesofílica**, para un rango de temperatura entre 20 y 35°C y aproximadamente 30 a 40 días de retención.
- **Fermentación termofílica**, para un rango de temperatura entre 50 y 60°C y más de 8 días de retención. Este tipo de fermentación no es apropiada para plantas sencillas.

Donde posteriormente se dejó un espacio de “aire” en el biodigestor que fue aproximado del 20%, es decir, un $\frac{1}{4}$ del tanque, por lo que solo utilizamos un 80% de la capacidad, al cual llamaremos **VOLUMEN DE TRABAJO (VT)**.

La carga de mezcla que se adicionó diariamente, se calculó como indica la ecuación:

$$VT = CCT \times 0.75$$

$$CD = \frac{VT}{TR}$$

Donde:

VT: Volumen de trabajo en litros.

CCT: Capacidad total del tanque en litros.

CD: Carga diaria de mezcla que se debe añadir.

TR: Tiempo de retención en días.

Los principales componentes del biodigestor anaeróbico fueron: un reactor de las materias primas a digerir, un contenedor de gas con los accesorios para salida de biogás, entrada o carga de materias orgánicas primas y salida o descarga de materias orgánicas estabilizadas.

Reactor: El reactor conto con un dispositivo principal donde ocurre el proceso de degradación de la materia orgánica, la cual tiene forma cilíndrica. El suelo del reactor estuvo inclinado para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente pudiesen ser extraídos del tanque, también tuvo una cubierta fija, cuya misión es impedir que se escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido.

Entrada del afluente: El afluente se introdujo por la parte superior del biodigestor.

Salida del efluente: Solo tuvo un único tubo de salida con válvula, para la extracción del mismo.

Extracción de lodos: La tubería de extracción de lodos estuvo puesta sobre la parte frontal de tanque del biodigestor. El lodo se extrajo por dicha parte.

Sistema de gas: El sistema de gas estuvo compuesto de las siguientes partes:

- Cúpula de gas.
- Válvulas de seguridad.
- Manómetros.
- Almacenamiento del gas.

Cúpula de gas: Esta se utilizó para almacenar el biogás que se generó. Esta campana de almacenamiento estuvo flotante y separada del biodigestor.

Válvulas de seguridad: La válvula de seguridad irán puestas sobre la misma tubería, normalmente entre 15 y 20 cm. Si la presión de gas en el tanque excede de este límite, la válvula se abrirá y dejará escapar el gas durante un par de minutos.

Manómetros: EL manómetro se instaló en un punto del sistema para indicar la presión del gas en centímetros de columna de agua.

Almacenamiento del gas: El gas producido en la digestión anaeróbica se almaceno en un neumático que estuvo separado del digestor.

5.5.4 Etapa 4: cantidad de biogás producido

Esta composición es un aspecto importante a considerar al momento de seleccionar los residuos para su aprovechamiento mediante un proceso determinado, en este caso digestión anaerobia. Por lo tanto, las principales propiedades que se tienen en cuenta son la humedad, el pH, y la temperatura, ya que el proceso de conversión energética de la biomasa se ve afectado por estas variables.

5.5.5 Etapa 5: análisis de los parámetros fisicoquímicos

Se realizó un análisis estadístico entre la relación directa del gas metano (CH₄) y el PH. Así mismo, se analizaron los resultados obtenidos de DQO, SST, DBO₅ y la relación de esos valores con literatura científica.

5.5.5.1 *Criterio para la selección de los parámetros*

Tabla 8. Criterios para la selección de los parámetros.

PARÁMETRO	CRITERIO
-----------	----------

PH	Se notará si el biodigestor se encuentra dentro de las condiciones óptimas de crecimiento de las bacterias metanogénicas, además de que este tiene influencia en la actividad enzimática.
TEMPERATURA	Denotará si la temperatura se encontrará dentro de los intervalos de crecimiento de las bacterias metanogénicas.
HUMEDAD	Se detonará si la humedad se encuentra dentro de los rangos óptimos.

Fuente. De la Merced, 2012.

La manera en la que se describen los parámetros se describe a continuación:

- **pH y Temperatura:** Para la evaluación y control del pH en el sistema, cada semana se midió el Ph con tiras reactivas de un rango de (0-14). La temperatura se midió con un termómetro y se reportaron datos durante todo el proceso para observar el cambio del mismo y tener un control en cada etapa del proceso.
- **Humedad:** Para la determinación de la humedad en el proceso, se utilizó un método empírico denominado la prueba de puño (Avendaño, 2003), este método consiste en exprimir una cantidad del material en la palma de la mano, y de acuerdo a los siguientes parámetros determinar un porcentaje de humedad aproximado. Si sale un hilo de agua continuo del material, la humedad será > 40%, si no se produce un hilo continuo de agua y el material gotea intermitentemente, entonces estará cercano al 40%. Si el material no gotea, y cuando se abre el puño de la mano permanece moldeado, la humedad estará entre un rango de 20 a 30% y si se abre el puño y el material se desintegra será < 20%⁵⁹.

5.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.6.1 Caracterización de los residuos

El objetivo de la caracterización fue realizar un estudio que permita identificar las principales características (componentes, propiedades y producciones) de los residuos sólidos para poder definir, planificar y/o implementar mejoras y acciones de los sistemas de manejo de residuos sólidos. (López, 2009).

Los residuos orgánicos se tomaron por los bloques en donde están ubicados los locales (Perecedero I, Perecedero II y Grana y abarrotes II). De acuerdo a las muestras que tomamos de residuo en cada bloque obtuvimos los siguientes resultados.

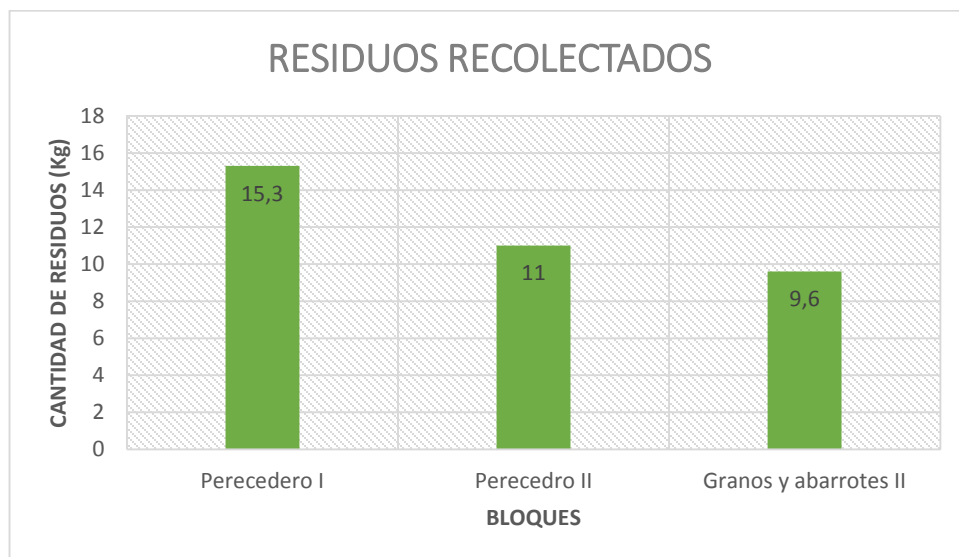


Figura 4. Cantidad de residuos recolectados.

Fuente: Autoras, 2019

El bloque que corresponde a perecedero 1 es el bloque más grande, ya que posee el mayor número de locales dedicados a la comercialización de frutas y verduras. De esta manera, el bloque de perecederos 1, se convierte en el de mayor

producción de residuos orgánicos de la central de abastos. Así se muestra en la **Figura 4. Cantidad de residuos recolectados**, que corresponde a la cantidad de residuos recolectados en kg, por cada bloque respectivamente. Los residuos recolectados principalmente, corresponden a restos de verduras y frutas tales como: tomate, pimentón, cebollín, guayaba, entre otros.

5.6.1.1 Características físicas de los residuos

5.6.1.1.1 Densidad de los residuos orgánicos recolectados

La densidad de los residuos, se estimó mediante la siguiente ecuación:

$$\rho_{residuos} = \frac{\text{Masa de residuos (Kg)}}{\text{Volumen de contenedor (m3)}}$$

Se estima el volumen del contenedor, así:

$$V = A \times h \text{ donde:}$$

$$V = \text{Volumen del contenedor en (m3)}$$

$$A = \text{Área en (m2)}$$

$$h = \text{Altura en (m)}$$

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$V = \pi \times 12cm^2 \times 30cm$$

$$V = 13571,7 \text{ cm}^3 \times \left(\frac{1m}{100cm}\right)^3 = 0,0135m^3$$

Se obtuvo la masa de residuos compactada y sin compactar

Masa de residuos sólidos orgánicos	Unidad (Kg)
Masa de residuos sin compactar	7,6
Masa de residuos compactada	9,9

Obtenido el volumen del contenedor y la masa de residuos sin compactar y compactada, se calcula la densidad de residuos sin compactar y compactada, respectivamente:

$$\rho_{\text{residuos sin compactar}} = \frac{7,6\text{Kg}}{0,0135\text{m}^3} = 562,96 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{\text{residuos compactados}} = \frac{9,9 \text{ Kg}}{0,0135\text{m}^3} = 733,33 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

Los cálculos muestran que la densidad de residuos compactados es cerca de un 23% mayor que la densidad de residuos sin compactar, ya que la compactación disminuye los espacios o vacíos de los residuos en el contenedor, admitiendo mayor cantidad de residuos.

5.6.1.1.2 Humedad de los residuos orgánicos recolectados

Usando el método empírico denominado la prueba de puño, nos dio como resultado al realizarla, un hilo de agua continuo del material. Comprobamos que la humedad con la que trabajamos es >40%, lo que quiere decir que, con la humedad que trabajamos es esencial para realizarse la actividad biológica. **Figura 4. Cantidad de residuos recolectados.**

5.6.2 Caracterización fisicoquímica

5.6.2.1 Ensayo demanda química de oxígeno (DQO)

Para realizar el ensayo de la demanda química de oxígeno (DQO), se tomaron 3 muestras de agua residual y 2 blancos. La estimación de la DQO, se realizó mediante la siguiente expresión:

$$DQO \left(\frac{mg O_2}{L} \right) = \frac{A-B}{ml \text{ de muestra}} \times 8000 \times N \times FD ; \text{ Donde:}$$

A= Promedio de ml de FAS gastado para los blancos digeridos

B= Promedio de ml de FAS gastado para las muestras digeridas

N= Normalidad del FAS

FD= Factor de dilución (adimensional)

8000= Miliequivalentes de oxígeno

Calculamos el factor de dilución FD

$$FD = \frac{Vmuestra}{Vútil \text{ de trabajo}} ; Vútil \text{ de trabajo} = \frac{Vmuestra}{FD}$$

$$Vútil \text{ de trabajo} = \frac{100ml}{2} = 50ml$$

Calculamos la demanda química de oxígeno

$$DQO \left(\frac{mg O_2}{L} \right) = \frac{7ml - 5,5ml}{2,5ml} \times 8000 \times 0,1 \times 2$$

$$DQO = 960 mgO_2/L$$

El valor de la DQO, indica que la calidad del agua en cuanto a índice de contaminación, es media.

5.6.2.2 Ensayo sólidos suspendidos totales (SST)

Para el cálculo de los sólidos suspendidos totales (SST), se usó la siguiente ecuación:

$$\text{Sólidos suspendidos totales} = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

Donde:

A= Peso del filtro + residuo seco (mg)

B= Peso del filtro (mg)

V= Volumen de muestra (ml)

$$\text{Sólidos suspendidos totales} = \frac{(99\text{mg} - 93\text{mg}) * 1000}{60\text{ml}} = 100 \text{ mg/L}$$

5.6.2.3 **Ensayo demanda biológica de oxígeno (DBO5)**

Para la estimación de la demanda biológica de oxígeno (DBO5), se contrató al laboratorio Nancy Flórez García S.A.S para tal fin. El resultado de la prueba, por parte del laboratorio, se muestra en el Anexo 1.

5.6.3 **Construcción del biodigestor**

Para la construcción del biodigestor, se usó la relación 1:2 que por cada 1 kilogramo de residuos orgánicos se necesitan 2 litros de agua residual para agilizar el proceso de fermentación.

La parte inferior del sistema tiene una salida para el efluente líquido y la parte superior una salida para el biogás producido.

El biodigestor se diseñó con las siguientes características:

Características	Valor	Unidad
Volumen total	60	Litros
Altura total	62	cm

Calculamos el volumen útil

Volumen = 60 Litros

Volumen 80% = 60 Litros * 80 % = 48 Litros

48 Litros * 1 m³ /1000 Litros = 0.048 m³

Calculamos la altura útil

La caneca se llenó hasta el 80% con residuos orgánicos y agua residual (Institucional).

Altura de la caneca: 62 cm

Altura 80%: 62 cm * 80 % = 49,6 cm

La caneca se llenó hasta alcanzar una altura de 49,6 cm.

Para saber la cantidad de residuos orgánicos y agua residual que fueron depositados en el biodigestor se realizaron los siguientes cálculos:

Volumen = 60 Litros

Volumen 80% = 60 Litros * 80 % = 48 Litros en total de A.R y R.O

Como tenemos una relación de 1:2; entonces por cada 1Kg de R.O necesitamos 2 litros de A.R. Calculamos la carga diaria así:

$$CD = \frac{VT}{TR} = \frac{48 \text{ Litros}}{40 \text{ Dias}} = 1,2 \text{ L/Dia}$$

Dónde:

VT: Volumen de trabajo en litros.

TR: Tiempo de retención en días.

Como nos encontramos en la ciudad de Valledupar, la temperatura oscila entre 25C° a 35C°, entonces, el tiempo de retención está entre 30 y 40 días, por lo cual utilizamos un tiempo de retención de 40 días.

Relación 1:2

$$\frac{1,2 \text{ L/Día}}{3} = 0,4 \text{ Litros de residuo} \approx 400 \text{ gramos de R.O/Día}$$

$$1,2 - 0,4 = 0,8 \text{ Litros A.R / Día} \approx 800 \text{ ml A.R}$$

Como la recolección se hizo en un solo día para llenar el total de biodigestor, tenemos que:

$$400 \text{ gramos de R.O/Día} * 40 \text{ Días} = 16.000 \text{ gr} \approx 16 \text{ Kg de R.O}$$

$$800 \text{ ml A.R/Día} * 40 \text{ Días} = 32.000 \text{ ml} \approx 32 \text{ Litros de A.R}$$

5.6.4 Cantidad de biogás producido

La cantidad de metano producido, se midió por desplazamiento de solución de NaOH de concentración al 3%. El método utilizado es la botella de mariotte, la cual contiene la solución de NaOH por el cual pasa el gas, capturando el CO₂ y convirtiéndolo en carbonato. El metano pasa a través de la solución y el volumen equivalente de metano almacenado, es expulsado de la botella.

Se estimó la concentración al 3% de NaOH así:

$$\%P/V = \frac{\text{gr soluto}}{1000 \text{ ml solución}} \times 100$$

Se calculó la cantidad de NaOH (soluto), por cada 1000 ml de solución:

$$\text{gr soluto (NaOH)} = \frac{3 \frac{\text{gr}}{\text{ml}} * 1000 \text{ ml}}{100} = 30 \text{ gr NaOH}$$

Se puede calcular el volumen de metano producido, cuando se requiere reemplazar la solución alcalina, así:

$$[\text{Vol min} * \text{Conc NaOH}] * \frac{0,7}{2,0} = \text{Vol CH}_4 ; \text{ donde:}$$

Vol min = El mínimo tolerado de solución alcalina dentro de la botella de Mariotte.
(ml)

Conc NaOH = La concentración de NaOH de la solución alcalina, cuando se preparó. (g/ml)

Vol CH4 = Volumen de metano medido en la botella de Mariotte, cuando es tiempo de reemplazar la solución alcalina.

Reemplazando valores y calculando para la primera botella de solución de NaOH:

$$\left[0,41L * 3 \frac{gr}{L}\right] * \frac{0,7}{2,0} = 0,43L \text{ de } CH_4$$

Reemplazando valores y calculando para la segunda botella de solución de NaOH:

$$\left[0,355L * 3 \frac{gr}{L}\right] * \frac{0,7}{2,0} = 0,372L \text{ de } CH_4$$

Cabe destacar que los volúmenes estimados de CH₄ para cada botella es muy similar a los obtenidos medidos directamente por desplazamiento, tal y como se ilustra en la **Tabla 9** y **Tabla 10**.

Tabla 9. Volumen de Metano desplazado en la botella 1

VOLUMEN DE METANO MEDDO POR DESPLAZAMIENTO

Lectura	Volumen desplazado en (ml)
1	200
2	135
3	100
Total	435

Fuente: Autoras, 2019

Tabla 10. Volumen de Metano desplazado en la botella 2

VOLUMEN DE METANO MEDDO POR DESPLAZAMIENTO	
Lectura	Volumen desplazado en (ml)
4	150
5	150
6	75
Total	375

Fuente: Autoras, 2019

5.6.5 Control y seguimiento de los parámetros de selección

5.6.5.1 Control de PH

De acuerdo a los criterios de selección para el control del seguimiento del monitoreo de pH, se tomaron 4 mediciones durante 1 mes, una por semana, durante el tiempo estipulado no se presentó ningún cambio en el indicador de pH, como se observa en la **figura 5**.

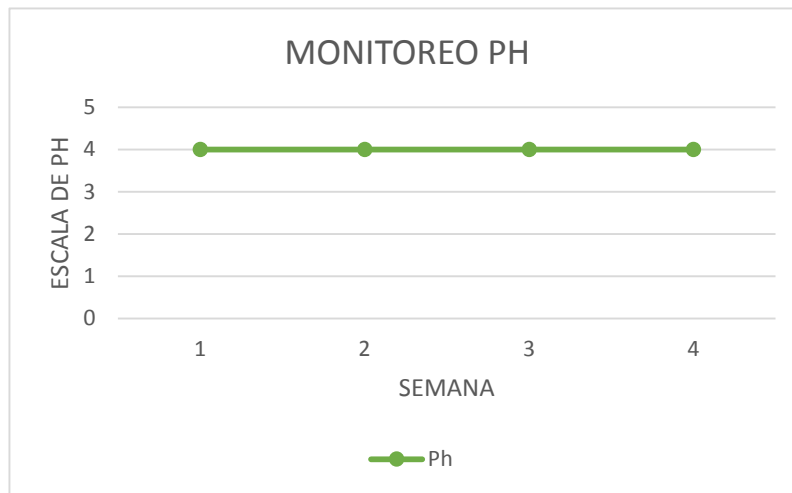


Figura 5. Monitoreo pH.

Fuente: Autoras, 2019

Se puede apreciar en la **Figura 5**, que el pH se mantuvo en 4, lo que indica que este es ácido e inhibe la actividad metanogénica y por ende no se produce biogás. Para ajustar el pH en el biodigestor, se hizo necesario utilizar óxido de calcio (CaO), a fin de obtener un pH neutro y óptimo para el crecimiento de microorganismos metanogénicos. La solución de CaO, se preparó a una concentración del 5%, así:

$$\%P/V = \frac{gr\ soluto}{100\ ml\ solución} \times 100$$

$$5\% = \frac{gr\ soluto}{100\ ml\ solución} \times 100, \text{ despejando gr de soluto}$$

$$gr\ soluto = 5gr\ de\ CaO$$

Con la solución de CaO concentrada al 5%, se logró llevar el pH de 4 a 7,2; lo que proporciona el crecimiento de los microorganismos encargados de la actividad metanogénica.

5.6.5.2 Control de temperatura

El seguimiento a la temperatura, se realizó por treinta días, de donde se tomaron 4 mediciones, tomando una por semana. Durante todo este tiempo, la temperatura no varió, se mantuvo a temperatura ambiente sin presentar ningún cambio. Los resultados se pueden apreciar en la **Figura 6**.

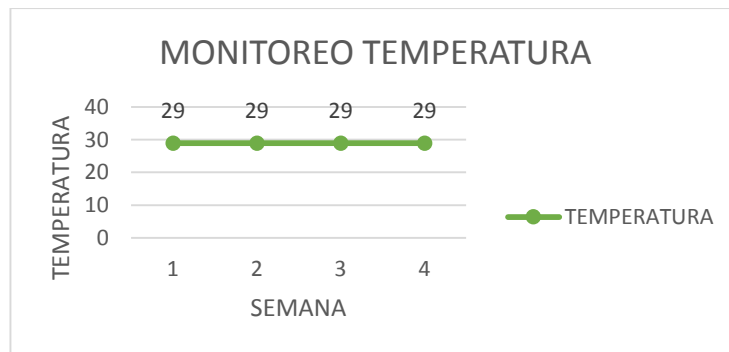


Figura 6. Monitoreo temperatura.

Fuente: Autoras, 2019

Teniendo en cuenta la **Tabla 7**, los microorganismos presentes en el biodigestor, fueron microorganismos mesófilos, los cuales, son microorganismos que su temperatura oscila entre 15°C – 45°C.

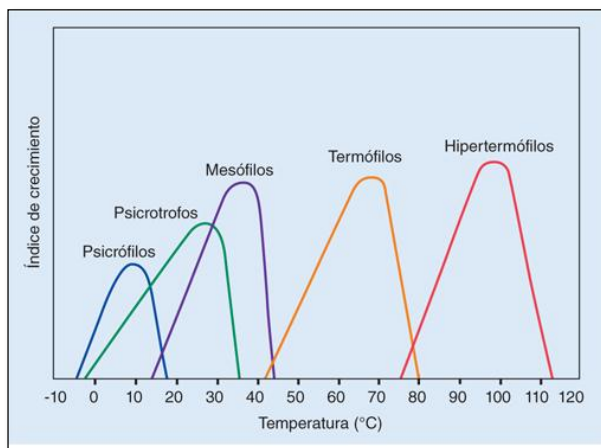


Figura 7. Clase de microorganismos según su temperatura.

Fuente: Geo.F.Brooks, Karen C. Carroll, Janet S. Butel, Stephen A. Morse, Timothy A.

5.6.6 Análisis de los parámetros fisico-químicos

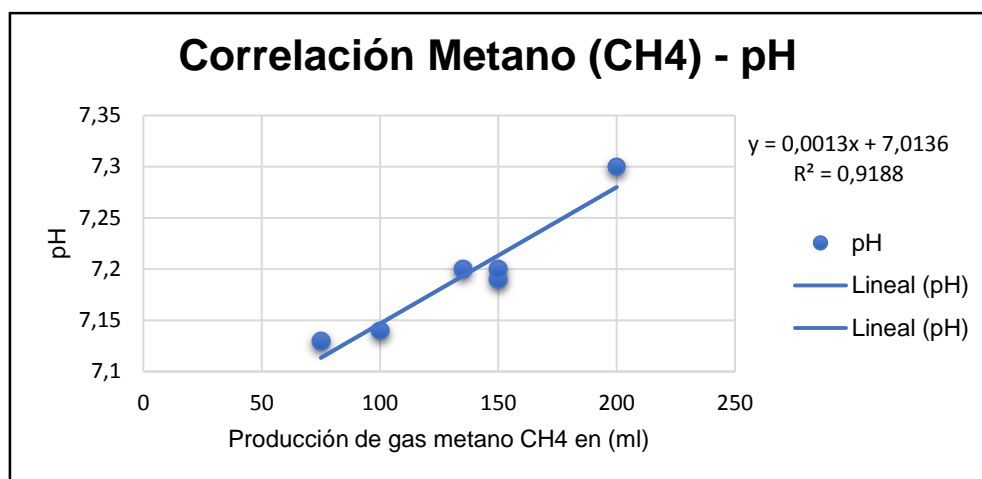


Figura 8: Correlación entre la producción de gas metano (CH₄) y Ph.

Fuente: Autoras, 2019

Los resultados mostrados en el gráfico, evidencian una correlación directa entre la producción de metano (CH₄) y el pH. Los resultados, arrojaron una *correlación de Pearson (r)* de 0,96; lo que indica una correlación fuerte positiva, ya que el valor de r es mayor a cero: $r > 0$; es decir $0,96 > 0$. Esto indica que la dependencia de las dos variables es directamente proporcional.

Lo que significa que a medida que el pH se mantiene en un rango neutro, existe una máxima producción de metano (CH₄). Así mismo, cuando el pH disminuye, la producción de gas cae.

5.6.6.1 Comparación de parámetros evaluados con resolución 0631 de 2015

Tabla 11. Parámetros evaluados y resolución 0631 de 2015.

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	UNIDADES	VALOR EN EL AFLUENTE O ENTRADA	VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES SEGÚN RESOLUCIÓN 0631 DE 2015 ART 16 (ART 15)	OBSERVACIÓN
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	960	225	No Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	105	75	No cumple
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	100	75	No cumple
pH	Unidades de pH	7,2	5,00 a 9,00	Cumple

Fuente: Autoras, 2019

La tabla muestra los valores obtenidos en la caracterización de los parámetros DQO, DBO5, sólidos suspendidos totales y pH. Estos parámetros fueron comparados con los de la resolución 0631 de 2015. Notamos que ningún parámetro cumple con los valores máximos permisibles según la resolución, a excepción del pH que se encuentra dentro del rango 5 a 9.

5.6.6.2 Demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

La demanda química de oxígeno (DQO), arrojó un valor de 960 mg O₂/L; los sólidos suspendidos totales, arrojó un valor de 100mg/L y la DBO₅, un valor de 105 mg O₂/L. Al comparar estos valores con la **Tabla 12**, notamos que la DQO del efluente utilizado, es de una concentración alta. El resultado de la prueba para sólidos suspendidos totales, demuestra que el agua residual posee una concentración baja.

Para el caso de la DBO₅, el valor obtenido, comparándolo con los valores de la tabla, notamos que este parámetro es de una concentración baja en el efluente utilizado para el montaje del biodigestor.

Tabla 12. Composición química de un agua residual doméstica

PARÁMETRO	ALTA	MEDIA	BAJA
DQO (mgO ₂ /L)	= / >1000	500	250
SST (mg/L)	= / >350	220	100
DBO ₅ (mg/L)	= / >400	220	110

Fuente: Metcalf-Eddy,1991

6. CONCLUSIONES

Se construyó un biodigestor para la obtención de metano (CH₄), a partir de residuos orgánicos de fruta y verdura de la central de abastos de Valledupar (MERCABASTOS), con una capacidad de 60 L, una altura total de 62cm y una altura útil de 49,6cm.

El biodigestor fue alimentado durante 40 días, con una carga diaria (CD) de 1,2 L/día, a una relación 1:2. El biodigestor se sometió a un periodo de adaptación de 7 días, en el que se esperó que los microorganismos se aclimataran. Inicialmente, durante el periodo de adaptación, se tomaron lecturas de pH y temperatura. El pH mostró un comportamiento ácido durante esta etapa, con lecturas de 4. Para neutralizar el pH y permitir que la actividad metanogénica se efectuara, se agregó una solución de CaO al 5%.

Las aguas residuales se caracterizaron a fin de obtener una relación de metano producido, en función de la materia orgánica descompuesta. Los resultados obtenidos de DQO, SST y DBO₅ fueron de 960 mg O₂/L, 100 mg O₂/L y 105 mg O₂/L, respectivamente. Los residuos sólidos usados en la alimentación diaria del biodigestor, fueron tomados del bloque de pencederos 1, estos residuos son principalmente de tomate, pimentón, cebollín, guayaba, entre otros.

La producción de gas metano, se efectuó desde el día 9 obteniéndose un desplazamiento máximo de 200 ml al día 14. La producción total de metano fue de 0,802 L, medido por desplazamiento o botella de mariotte con contenido de solución de NaOH al 3%, con el fin de eliminar el CO₂ producido en la descomposición de la materia orgánica.

Se estimó una correlación de Pearson entre la producción de metano (CH₄) y el pH, obteniéndose una correlación de 0,96, lo que indica una correlación fuerte positiva entre las variables, indicando que hay una relación directamente proporcional entre las mismas.

7. RECOMENDACIONES

- Se debe realizar un monitoreo periódico de pH, a fin de garantizar que se lleve a cabo la actividad metanogénica a un pH neutro.
- Realizar mediciones de metano por lo menos cada 12 horas al día, a fin de identificar la variación de metano en función de la temperatura, entendiendo que, a temperaturas cálidas, hay una mayor producción de metano (CH₄).
- Cuantificar la relación C/N en la caracterización de residuos sólidos, ya que esta influye en la producción de gas. Una relación de 20:1 hasta 30:1, es aceptable.
- Estimar niveles de amoníaco, cuando se utilizan algunos residuos como estiércol de aves. Se recomienda que los niveles dentro de los biodigestores, ronde sobre 2000 mg/L.
- Realizar caracterizaciones de DQO, SST, DBO₅ a la entrada y salida del biodigestor, a fin de evidenciar la conversión de materia orgánica en metano (CH₄).
- Caracterizar el gas metano, con el fin de estimar el poder calorífico del mismo y su aprovechamiento.

8. BIBLIOGRAFÍA

Avendaño, D. (2003). El proceso de compostaje. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Biodigestores, T. and H, W. (2019). Tipos de biodigestores. Kbiodigestor.blogspot.com. Disponible en: <http://kbiodigestor.blogspot.com/2010/10/tipos-de-biodigestores.html>.

Como hacer un biodigestor casero. (2017). Disponible en: <https://ecoinventos.com/biodigestor-casero/>

De la Merced, D. (2012). Evaluación de los parámetros de un biodigestor anaerobio tipo continuo (p. 42). Veracruz.

Días, M., Espitia, S. and Molina, F. (2002). digestión anaerobia.

El Tiempo. (1998). Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-853012>

Escuelapedia - Recursos educativos. (2010). Las ventajas y desventajas del biogas - Escuelapedia - Recursos Educativos. Disponible en: <http://www.escuelapedia.com/las-ventajas-y-desventajas-del-biogas/>

Gon, I. (2008). Guía para proyectos de biodigestión en establecimientos agropecuarios. Argentina.

Guerrero, C. (2014). Alternativa Ambiental En El Manejo De Residuos Para Su Uso Como Energético Sustentable.

- Hernández, D. (2016). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en la central de abastos de Valledupar Mercabastos, utilizando el proceso de compostaje. Valledupar.
- Hernández, E., Samayoas, V., Álvarez, E. and Talavera, C. (2012). Estudio sobre potencial de desarrollo de iniciativas de biogás a nivel productivo en honduras. pp.21-188.
- Manzanilla-López, R. and Marbán Mendoza, N. (2012). Practical plant nematology. Montecillo, México: Editorial Colegio de Postgraduados.
- Mercabasto Informe de Gestión. (2012). Disponible en: <http://valledupar.cesar.gov.co>.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2015), Resolución 0631.
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Decreto 838 de 2005. (2005). p.capitulo I.
- Ministerio del medio ambiente, Decreto 2676 de 2000. (2000). p.capitulo II.
- Olaya, Y. (2009). Fundamentos para el diseño de biodigestores (p. 11). Palmira.
- Quiénes somos - Comercializadora Mercabastos. (2010). Disponible en: <https://www.comercabastos.gov.co/quienes-somos/>
- Scragg, A. (2010). Biotecnología para ingenieros. México, D. F.: Noriega editores, p.capitulo 6.

Total de sólidos en suspensión. (2019). Disponible en:
https://es.wikipedia.org/wiki/Total_de_s%C3%B3lidos_en_suspensi%C3%3n.

Universoporcino.com. (2011). Beneficios en el uso de Biodigestores. Disponible en: http://www.universoporcino.com/articulos/internacionales_porcinas_01_2011_beneficios_en_el_uso_de_biodigestores.html.


Valledupar, Cesar, Colombia: Información General. (2013). Disponible en: <http://www.colombiamania.com/ciudades/valledupar.html>

Varnero, M. (2011). Manual de Biogás, Ministerio de Energía, Programa de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32, pp.19-22.


Vigencia Expresa de Leyes. Disponible en:
<http://www.secretariasenado.gov.co/index.php/vigencia-expresa-y-sentencias-de-constitucionalidad>.

9. ANEXOS

Anexo 1: Resultado la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5



Laboratorios
Nancy Flórez García S.A.S
Confiable en toda prueba
NIT: 824.008.568-0



IDEAM
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA
METEOROLOGÍA
Y ESTUDIOS AMBIENTALES

COD: RO-104 Ver: 08 del 17 de Agosto de 2018

CERTIFICADO DE ANALISIS
N° 24038

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

EMPRESA : MARIA ALEJANDRA VEGA OCHOA
DIRECCIÓN : TV 24A # 16B BIS-21 EL CERRITO
CONTACTO : MARIA ALEJANDRA VEGA OCHOA
CARGO : ESTUDIANTE

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

NOMBRE : AGUA RESIDUAL NO DOMESTICA
LUGAR DE MUESTREO : MERCABASTOS
PUNTO DE MUESTREO : CAJA DE REGISTRO
TIPO DE MUESTRA : SIMPLE
PLAN DE MUESTREO : N.S
PROC. DE MUESTREO : N.S

NIT : 1062402465
CIUDAD : VALLEDUPAR
TELÉFONO : 3016731945

HORA MUESTRA : 15:00
MUESTREO : 2019/05/13
RECEPCIÓN : 2019/05/14
INICIO ENSAYOS : 2019/05/14
FINAL ENSAYOS : 2019/05/24
INFORME : 2019/05/27

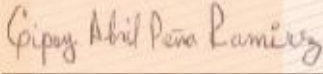
CODIGO : 190548092
LOTE : N.A
REGISTRO INVIMA : N.A

Fisicoquímico				
ANÁLISIS	MÉTODO - TÉCNICA	LCM	FECHA ANALISIS	RESULTADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg O2/L (A)	SM 5210 B / EPA 360.3 - Incubación 5 días	2,00	2019/05/14	105

NOTA :
Muestra tomada y traída al laboratorio por el cliente.

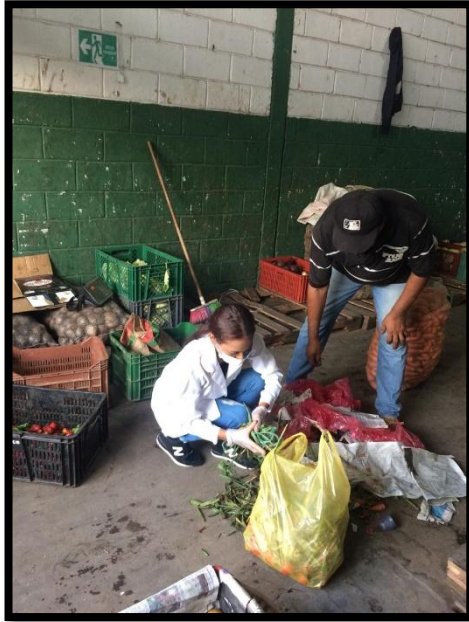
N.A: No Aplica N.S: No Suministrado
(A): Acreditado (S): Subcontratado (LCM): Limite de cuantificación del método
Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.
Resultado no controlado una vez entregado al cliente.
El resultado aplica unicamente a la muestra recibida y analizada.
No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.
Cuando se coloque la sigla N.S en la Fecha de Análisis, indica que el Laboratorio Subcontratado no la ha suministrado en el certificado de análisis entregado
Para los ensayos microbiológicos y DBO, la fecha de análisis corresponde a la fecha de inicio de los mismos. La fecha de finalización cumplen en cada caso los tiempos establecidos en el método.
Laboratorio Acreditado por el IDEAM según Resolución No. 1658 del 12 de julio de 2011. Resolución de Renovación - Extensión No. 1927 del 29 de julio de 2014. Resolución de Extensión No 1326 del 23 de junio de 2017. Resolución de Extensión No. 0099 del 9 de enero de 2018.

APROBÓ



GIPSY PFENA
TP: PQ-06476
Jefe Fisicoquímica
Fin de Informe

Anexo 2: Recolección de residuos Orgánicos



ACOPIO DE RESIDUOS
ORGANICOS



SELECCION DE LOS
RESIDUOS ORGANICOS



GRAMAJE DE LOS
RESIDUOS ORGANICOS



PERECEDERO I



PERECEDERO I



PERECEDERO II



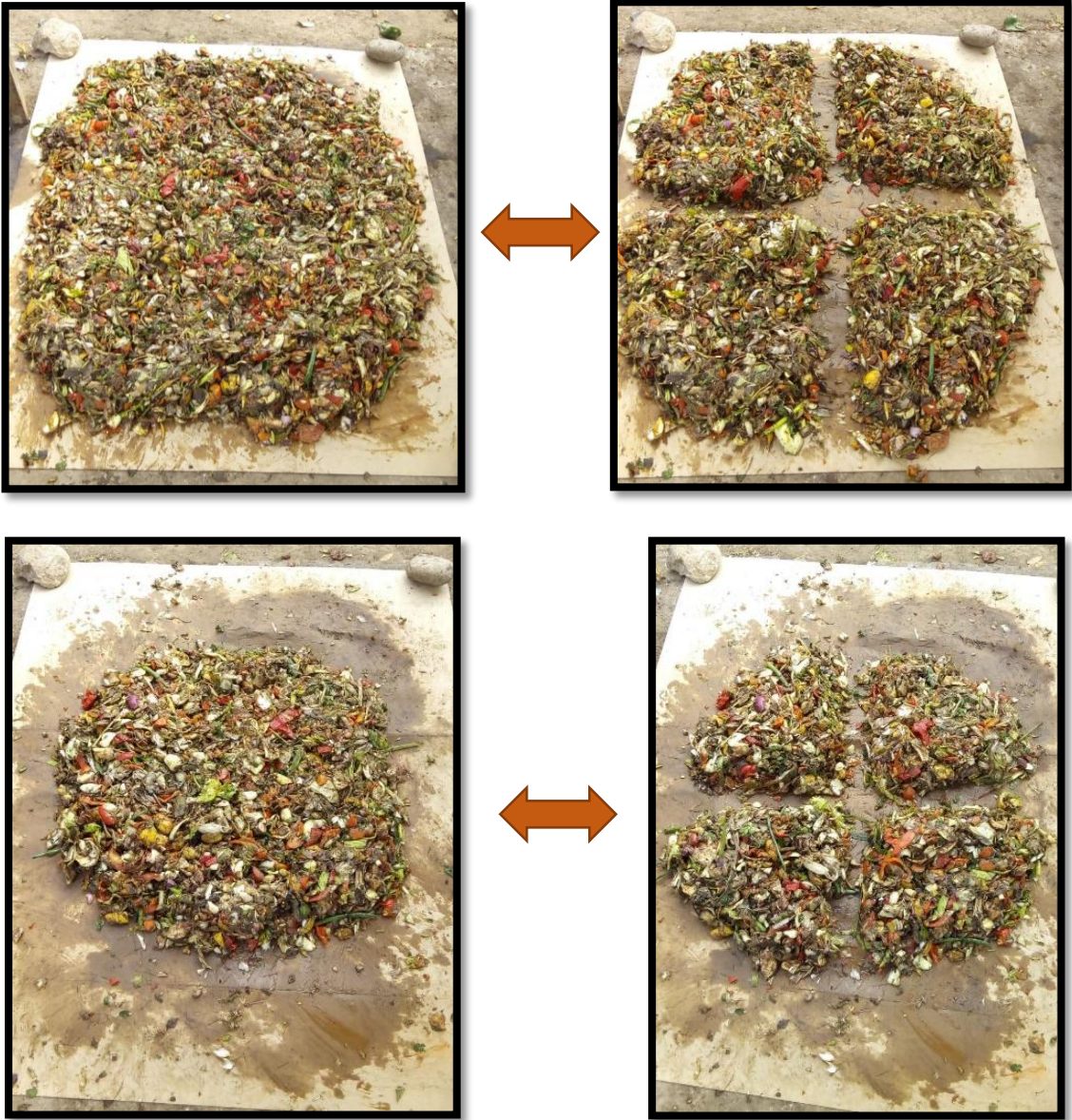
GRANOS Y ABARROTES II



Anexo 3: Proceso de trituración de residuos



Anexo 4: Cuarteo de los residuos orgánicos



Anexo 5: Densidad de los residuos orgánicos recolectados

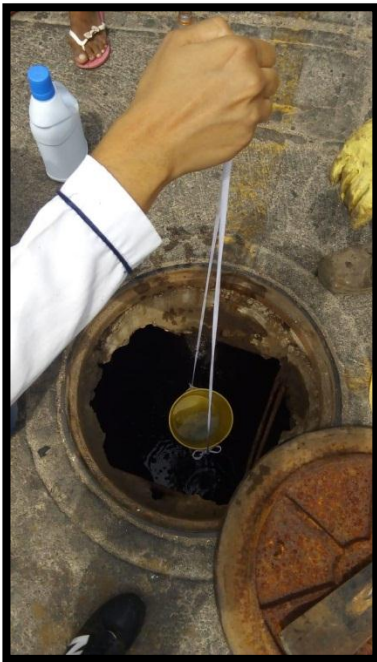


Densidad compactada



Densidad sin compactar

Anexo 6: Recolección del agua Residual

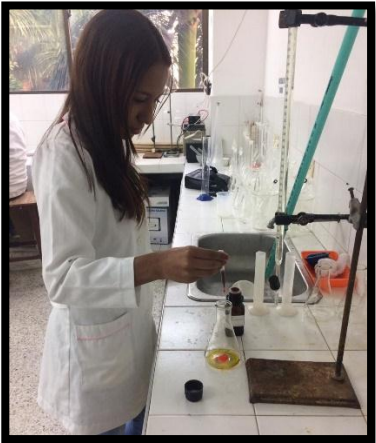


Anexo 7: Alimentación del Biodigestor



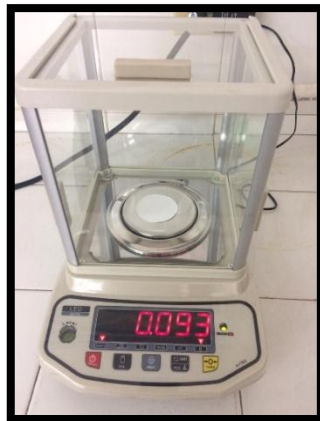
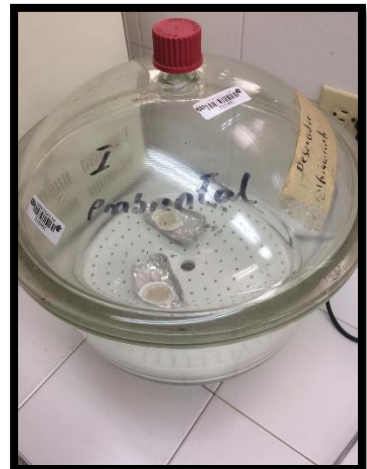
Anexo 8: Estimación de los parámetros DQO y SST

❖ DQO





❖ SST



Anexo 9: Funcionamiento del Biodigestor



Anexo 10: Estimación de los parámetros PH y Temperatura

