

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A TRAVÉS DE UN SISTEMA BIODIGESTOR
UTILIZANDO DESECHOS ORGÁNICOS RECOLECTADOS EN LAS PLAZAS DE
MERCADO DE LA CIUDAD DE TUNJA

MANUEL FELIPE SÁENZ MARTÍNEZ
DEINER ALEXANDER SARMIENTO SARMIENTO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2016

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A TRAVÉS DE UN SISTEMA BIODIGESTOR
UTILIZANDO DESECHOS ORGÁNICOS RECOLECTADOS EN LAS PLAZAS DE
MERCADO DE LA CIUDAD DE TUNJA

MANUEL FELIPE SÁENZ MARTÍNEZ
DEINER ALEXANDER SARMIENTO SARMIENTO

Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero Civil

Director: Pedro Mauricio Acosta Castellanos
Ingeniero

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2016

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Nota obtenida: _____

Tunja, 12 de julio de 2016

Página Dedicatoria

Este Trabajo de Grado es dedicado a Dios por brindarnos salud, sabiduría, motivación, constancia y empeño para cumplir el objetivo de ser Ingeniero Civil.

Dedico esta tesis a mi padre por sus enseñanzas, por todo su esfuerzo y por el orgullo de brindarle tener un hijo Ingeniero para ser su mano derecha y su apoyo. A mi madre por todo su esfuerzo por ayudarme y brindarme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria. A mis hermanos por su compañía y amor.

Dedico esta tesis, a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, haberme dado salud para lograr mis objetivos, por haberme presentado en mi camino grandes personas que fueron apoyo fundamental para cumplir este sueño que culmina, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, valores inculcados, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis amigos, un apoyo mutuo en nuestra formación académica, y que hasta ahora seguimos siendo amigos: MONICA LARA Y MANUEL SAENZ.

Finalmente a todos los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de mi camino universitario que fueron un apoyo incondicional para que esta meta se hiciera realidad.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres: Manuel Sáenz y Yasmith Martínez, mis hermanos, por todo el esfuerzo hecho y toda la colaboración brindada en este ciclo. A la fundación Auromira, María Alicia Ángel, por su colaboración y su apoyo constante para esta meta.

A la universidad Santo Tomas y sus Docentes por brindarnos la oportunidad de adquirir conocimientos, continuar por el camino integro, ser parte fundamental en esta etapa de nuestras vidas. Un agradecimiento especial al Ingeniero Pedro Mauricio Acosta por ser el director del trabajo de grado, por su tiempo, consejos, por su colaboración prestada.

Muchas gracias a Deiner Sarmiento por ser mi compañero de tesis, por la colaboración, amistad, paciencia y comprensión en el tiempo transcurrido a lo largo de estos años de estudio. También a mis Amigos que estuvieron presentes a lo largo de la carrera en especial a Mónica Lara, Diego Higuera y Hernán Cuadros.

Bueno primero que todo le agradezco a Dios por la vida y por todo lo que me ha brindado hasta ahora, le ha gradezco a mi director de tesis ING PEDRO MAURICIO ACOSTA por la paciencia brindada en el acompañamiento de esta investigación, y por la confianza que nos dio en todo momento.

A mis padres y a mis hermanos por el apoyo a lo largo de este sueño ya casi cumplido, a mis amigos y compañeros, que más que amigos se convirtieron en mis hermanos en mi familia con los cuales compartía el mayor de mi tiempo.

A MANUEL SAENZ por ser mi compañero mi amigo en todo este tiempo de trayectoria, cumpliendo con el objetivo de ser ingenieros, por haber tenido paciencia en todo este tiempo mil y mil gracias por haber sido un buen amigo.

RESUMEN

La presente Investigación surge a partir de la necesidad de aplicar nuevas alternativas para la producción de recursos mediante la gestión ambiental, en este caso Biogás, hace referencia a un diseño experimental a través de un sistema biodigestor utilizando desechos orgánicos recolectados en las plazas de mercado de la ciudad de Tunja. El objetivo de esta investigación es proporcionar una opción ecológica e ingenieril que sea viable económicamente y que sirva como referente para nuevas investigaciones. La metodología que se utilizará será de tipo cuantitativo-experimental. Se tomaron desechos de las plazas de mercado de Tunja comunes típicos de este tipo de establecimientos. En cuanto a la experiencia se puede concluir que se realizó el mismo procedimiento en varias ocasiones obteniendo resultados satisfactorios en cuanto a la producción de gas, lo que indica que se puede replicar en escenarios que cuenten con características similares a las expuestas en la investigación.

Palabras claves: Biogás, sistema biodigestor, desechos orgánicos, metodología experimental.

ABSTRACT

This Project arises from the need for new alternatives for the production of resources through environmental management, in this case Biogas refers to an experimental design through a Biodigestor system using organic waste collected in market places Tunja. The objective of this project is to provide an ecological and engineering option that is economically viable and serve as a reference for further research. The methodology used is quantitative-experimental type. Waste market squares typical of such establishments common Tunja were taken. As for the experience it can be concluded that the same procedure was performed on several occasions with satisfactory results in terms of gas production, indicating that can be replicated on more than one occasion in stages that have similar characteristics to those exposed in the project.

Keywords: biogás, biodigestor system, organic waste, experimental methodology

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	1
1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
<i>1.1.Descripción del problema</i>	3
<i>1.2.Preguntas de Investigación</i>	4
2.JUSTIFICACIÓN	6
3.OBJETIVOS	8
<i>3.1Objetivo General</i>	8
<i>3.2.Objetivos Específicos</i>	8
4.MARCO REFERENCIAL.	9
<i>4.1.Recuento Histórico y Evolución en la producción del Biogás</i>	9
<i>4.2. Producción de biogás en Colombia.</i>	13
5.MARCO TEORICO	15
<i>5.1.Marco conceptual</i>	15
5.1.1Biodigestor	22
5.1.2 Principales Clases de biodigestores.	16
5.1.2.1 Biodigestor tipo chino	17
5.1.2.2 Biodigestor tipo Hindú	18
5.1.2.3 Biodigestor tipo Salchicha	20
<i>5.2 Digestión Anaerobia:</i>	21
5.2.1 Proceso de digestión anaerobia	22

5.2.2 Condiciones Para La Biodigestión:	23
<i>5.3. Factores que influyen en la digestión anaerobia</i>	23
5.3.1.PH.	24
5.3.2.Temperatura.	25
5.3.3.Nutrientes.	25
5.3.4. Toxicidad.	25
<i>5.4.Elementos para el Funcionamiento del Biodigestor</i>	26
5.4.1. Cámara de digestión.	26
5.4.2.Cámara de gas o gasómetro.	26
5.4.3.Alimentación o entrada de la materia orgánica (sistema de carga).	27
5.4.4.Salida del efluente (sistema de descarga).	27
5.4.5.Sistema de purificación del biogás.	28
5.4.6.Sistema de control de presión.	29
<i>5.5.Componentes de un biodigestor</i>	29
<i>5.6.Marco legal</i>	31
6.FLUJO METODOLOGÍA	33
7.METODOLOGÍA	34
<i>7.1.Volumen del digestor</i>	36
<i>7.2.Volumen de la cámara de fermentación</i>	37
<i>7.3.Volumen de aire</i>	38
<i>7.4.Volumen total del digestor</i>	39
<i>7.5.Parámetros constructivos del biodigestor</i>	39
<i>7.6.Parámetros constructivos</i>	40
<i>7.7.Metodologías para el cálculo de la producción de biogás</i>	42
8.RESULTADOS	44
<i>8.1.Descripción</i>	44

8.1.1.Diseño del biodigestor.	44
8.1.2.Recolección de los residuos orgánicos.	46
8.1.3.Caracterización.	47
8.1.4.Humedad.	54
8.1.5.Preparación y sellamiento del biodigestor.	56
<i>8.2.Evolución y aumento de la producción de biogás</i>	<i>58</i>
<i>8.3.Resultados del primer biodigestor</i>	<i>59</i>
<i>8.4.Resultados del segundo biodigestor</i>	<i>61</i>
<i>8.5.Resultados del tercer biodigestor</i>	<i>64</i>
10.CONCLUSIONES	71
11.RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRÁFICAS	75

ILUSTRACIONES

Pág.

Ilustración 1. Planta Productora de Biogas ubicada en Könnern, Baja Sajonia, Alemania .	9
Ilustración 2. Diagrama Plantas de Biogás Relleno Doña Juana Bogotá, Colombia.	15
Ilustración 3. Ejemplo de biodigestor.	16
Ilustración 4. Principales Clases de Biodigestores.	16
Ilustración 5. Biodigestor tipo chino.	17
Ilustración 6. Diagrama biodigestor tipo chino.	18
Ilustración 7. Biodigestor tipo Hindú.	19
Ilustración 8. . Diagrama biodigestor tipo Hindú.	19
Ilustración 9. Biodigestor tipo salchicha.	20
Ilustración 10. Modelo Biodigestor tipo salchicha.	21
Ilustración 11. . Factores que influyen en la digestión anaerobia.	24
Ilustración 12. Elementos para el funcionamiento del Biodigestor.	26
Ilustración 13. Componentes de un Biodigestor.	29
Ilustración 14. Metodología.	33
Ilustración 15. Diseño biodigestor 1.	35
Ilustración 16. Descripción grafica del biodigestor.	38
Ilustración 17. Procedimiento.	44
Ilustración 18. Diseño biodigestor 2.	44
Ilustración 19. Diseño biodigestor 3.	45
Ilustración 20. . Proceso de recolección.	47
Ilustración 21. Biodigestor.	56
Ilustración 22. Biodigestor al iniciar el proceso.	57
Ilustración 23. Biodigestor al final del proceso.	57

INDICE DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Representación gráfica de la caracterización 1.	49
Gráfica 2. Representación gráfica de la caracterización 2.	51
Gráfica 3. Representación gráfica de la caracterización 3.	53
Gráfica 4. Humedades.	55
Gráfica 5. Evolución y aumento producción de gas en biodigestor 1.	58
Gráfica 6. Evolución y aumento producción de gas en biodigestor 1.	61
Gráfica 7. Evolución y aumento producción de biogás en biodigestor 2.	64
Gráfica 8. . Evolución y aumento producción de gas en biodigestor 3.	67

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Caracterización de los residuos orgánicos del prototipo 1.	48
Tabla 2. Caracterización de los residuos orgánicos del prototipo 2.	50
Tabla 3. Caracterización de los residuos orgánicos del prototipo 3.	52
Tabla 4. Calculo de la humedad de los residuos orgánicos del biodigestor 1.	54
Tabla 5. Medidas biodigestor 1.	59
Tabla 6. Cantidad de residuos orgánicos depositada.	59
Tabla 7. Cálculo de biogás producido.	59
Tabla 8. Datos producción biodigestor 1.	60
Tabla 9. Medidas biodigestor 2.	61
Tabla 10. Cantidad de residuos orgánicos depositada.	62
Tabla 11. Cálculo de biogás producido.	62
Tabla 12. Datos producción biodigestor 2.	63
Tabla 13. Medidas biodigestor 3.	64
Tabla 14. Cantidad de residuos orgánicos depositada	65
Tabla 15. Cálculo de biogás producido.	65
Tabla 16. Datos producción biodigestor 3.	66

GLOSARIO

AEROBIO: Ambiente con presencia de oxígeno. Proceso en el que interviene el oxígeno. Organismo que necesita del oxígeno para vivir.

ANAEROBIO: Proceso bioquímico o condición ambiental que sucede en ausencia de oxígeno.

BACTERIA¹: son organismos unicelulares de tipo procariota, es decir, son organismos que solo se pueden observar al microscopio, constituidos por una sola célula autónoma que además no tiene membrana celular. Las bacterias pueden ser alargadas (bacilos), esféricas (cocos) o en forma espiral (espirilos). Se pueden asociar en grupos; cuando se agrupan por parejas se llaman diplococos, cuando forman cadenas bacterianas se llaman estreptococos y cuando se agrupan en racimos se llaman estafilococos.

BIODEGRADABLE: Capaz de ser asimilado (descompuesto y metabolizado) por el ecosistema.

BIOGÁS: GAS producido por la fermentación de los residuos orgánicos, con un alto contenido de metano.

BIOMASA: Materia orgánica generada por los seres vivos. Se expresa en peso por unidad de superficie.

DEGRADABLE: Que puede ser descompuesto bajo ciertas condiciones ambientales, (por ejemplo biodegradable implica la acción de microorganismos, fotodegradable: implica la acción de la luz).

¹ Enciclopedia Salud

* Los demás Términos del Glosario Fueron tomados de Diccionario Ambientum.

DIGESTION ANAEROBIA: Es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno.

EFICACIA: extensión en la que se realizan las actividades planificadas y se alcanzan los resultados planificados.

EFICIENCIA: relación entre el resultado alcanzado y los recursos utilizados.

EFLUENTE: Descarga de desecho de naturaleza gaseosa, líquida o sólida que se libera al medio ambiente, este o no depurado.

LIXIVIADO: Agua contaminada que gotea de un material de desecho. El lixiviado de vertederos está casi siempre gravemente contaminado por materia orgánica y metales pesados.

MATERIA ORGÁNICA: Sustancia constituyente o procedente de los seres vivos

MATERIAS PRIMAS: Materia nuevas o vírgenes o material recuperado que se utiliza para la fabricación de productos.

MEDIO AMBIENTE: Conjunto constituido por los agentes físicos, químicos, biológicos, visuales y sociales que constituyen el escenario donde transcurre la existencia del ser humano.

METANO (CH₄): Hidrocarburo gaseoso, incoloro, inodoro, poco soluble e inflamable, producido por la descomposición de sustancias orgánicas, siendo uno de los componentes del gas natural.

² Word Reference

* Los demás Términos del Glosario Fueron tomados de Diccionario Ambientum.

PROCESO: Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados.

PRODUCTIVIDAD: es la relación entre la cantidad de productos obtenida y los recursos utilizados para obtener dicha producción.

RESIDUO: El remanente del metabolismo de los organismos vivos y de la utilización o descomposición de los materiales vivos o inertes y de las transformaciones de energía.

RESIDUOS SÓLIDOS³: Los residuos sólidos, constituyen aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por lo general por sí solos carecen de valor económico.

SOSTENIBILIDAD: hace referencia a algo que está en condiciones de conservarse o reproducirse por sus propias características, sin necesidad de intervención o apoyo externo.

SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL⁴: Garantía de que la productividad global del capital físico se acumule gracias a las iniciativas de desarrollo que retribuyen a la pérdida o degradación directa o indirecta del medio ambiente.

³ Diccionario Academia.

* Los demás Términos del Glosario Fueron tomados de Diccionario Ambientum.

INTRODUCCIÓN

La cantidad de residuos sólidos desechados en las plazas de mercado de la ciudad de Tunja va creciendo proporcionalmente con el paso del tiempo y con el incremento de la población. Según cifras de la empresa de servicios públicos ServiTunja, se producen mensualmente en promedio de 88 a 130 toneladas de residuos sólidos orgánicos en las dos plazas de mercado de la ciudad de Tunja. Estos residuos sólidos orgánicos son totalmente aprovechables y su único destino es el relleno sanitario de Pírgua, donde no tienen ningún tipo de tratamiento ni clasificación y su función es la disposición final, según el documento que tiene como asunto la disposición final de los residuos sólidos en el relleno sanitario de pírgua no se conoce la existencia de un proyecto concreto que contribuya con la problemática de disposición de residuos (Comunicado Tunja, 31 julio 2014).

Debido a esto se decide diseñar biodigestores que contribuyan con el manejo de los residuos orgánicos producidos en las plazas de mercado de la ciudad para exponer los beneficios económicos y ambientales a partir de la generación de biogás mediante la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas, por medio de la posterior construcción y utilización de biodigestores.

Un biodigestor es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, donde se depositan los residuos sólidos orgánicos por un lapso de tiempo para su descomposición mediante un proceso anaeróbico. El proceso anaeróbico hace que los microorganismos actúen en ausencia de oxígeno, los residuos se convierten principalmente en biogas y también se obtienen fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio. (Gualsaqui, Morales & Tocain, 2014).

Luego del diseño, el proceso comenzó con la construcción de un biodigestor anaeróbico para elaborar una línea base con el fin de realizar una comparación con otros experimentos que se desarrollaron posteriormente. La materia prima para la obtención de Biogas fue trabajada con una muestra de las plazas de mercado de aproximadamente 56 kg la cual fue

sometida a una caracterización para separar, clasificar, saber las cantidades de cada clase de residuo, tabular y tener en cuenta los pesos de cada componente y toma de humedades de la muestra. El proceso tuvo una duración mayor a 4 meses, donde la medición de la cantidad gas se realizó y se evidenció mediante el cambio de niveles de agua, tomando muestras diariamente, especialmente para conocer el momento en que se comenzó a producir biogás y se presentaron cambios de altura considerables.

El biogás obtenido en esta transformación está constituido por una mezcla de gases combustibles, su composición depende del tipo de material orgánico utilizado para su producción y de las condiciones de operación de los prototipos donde ocurre la transformación.

Con los resultados obtenidos será posible establecer un comienzo para el estudio de la digestión anaeróbica de los desechos de las plazas de mercado, además de establecer el potencial de producción del gas metano a partir de la degradación de los residuos orgánicos en la ciudad de Tunja.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El desgaste sufrido por el planeta a raíz de la explotación de los recursos naturales en pro de la obtención de energía es una de las mayores preocupaciones de este siglo. Cuando se habla de la conservación del medio ambiente, por lo general existe una tendencia a encontrar manejos inadecuados de los residuos sólidos urbanos, siendo un aspecto tan importante para el bienestar social y el desarrollo sostenible de la población.

Es por esto que, surge la necesidad de buscar alternativas para la generación y obtención de energía, que puedan sustentar el nivel de vida sin afectar el medio ambiente y que no generen costos onerosos en su obtención y explotación.

Un problema importante que conlleva a nuevas incógnitas en la actualidad, es la escasez de fuentes energéticas, en Colombia en tiempos de sequía, afectan considerablemente al país trayendo costos elevados en el servicio eléctrico, algunas veces llegando al punto de ser necesario importar energía eléctrica.

Tunja es la capital más alta de Colombia y por lo tanto una de la más frías. Su altura sobre el nivel del mar es de 2.775 metros. Su altura máxima es de 3.200 metros en límites con Cucaita y su altura mínima es de 2.400 metros sobre el nivel del mar, en límites con el municipio de Boyacá. La extensión territorial de Tunja es de 118 kilómetros cuadrados, de los cuales el 87% corresponde al área rural y el 13% al área urbana. Ubicada sobre la cordillera oriental, en una pequeña meseta rodeada por colinas en el occidente y el oriente Cuenta con una población estimada para 2016 de 191 878 habitantes. El clima es templado y cálido en Tunja. Hay precipitaciones durante todo el año en Tunja. Hasta el mes más seco aún tiene mucha lluvia. La temperatura media anual en Tunja se encuentra a 12.8 °C. La precipitación es de 917 mm al año (Medina, 2009).

La ciudad de Tunja cuenta con 2 plazas de mercado ubicadas en el Norte y en el Sur, son grandes aportantes de residuos orgánicos, resultantes de los excedentes de los productos comercializados. Actualmente el aprovechamiento de los residuos sólidos en la ciudad de Tunja, aunque existen algunas medidas es ineficiente, siendo éste, uno de los principales problemas al tener un efecto directo a la salud y al medio ambiente, disminuyendo de ésta forma la calidad de vida.

En la población Tunjana no existe una visión de reciclaje ni separación de desechos, es evidente mediante los grandes volúmenes de residuos provenientes de toda la ciudad destinados al relleno sanitario de pirgua, esto es evidenciado según las cifras de ServiTunja.

1.2. Preguntas de Investigación

¿Es posible producir biogás a través del funcionamiento de biodigestores anaeróbicos usando residuos orgánicos recolectados en las plazas de mercado de la ciudad de Tunja, mitigando parte del impacto ambiental presentado por el mal manejo que se le da a los residuos orgánicos?

¿Cuáles son los componentes de los biodigestores utilizados para la obtención de biogás?

¿Cómo se desarrolla una metodología que describa los procesos para la elaboración de un biodigestor?

¿Cómo es la metodología experimental del proceso de creación de un sistema biodigestor?

¿Cuáles son los resultados de realizar un sistema biodigestor utilizando los desechos orgánicos de las plazas de mercado de Tunja?

¿Qué duración tendrá el ciclo para comenzar a producir biogas con las propiedades de la ciudad de Tunja?

¿La cantidad de hierro en los residuos orgánicos influye en la producción de biogas?

¿La elaboración de biodigestores es una alternativa para reducir la cantidad de residuos orgánicos llevados al relleno sanitario?

2. JUSTIFICACIÓN

El mal uso de los residuos orgánicos generados en las plazas de mercado de la ciudad de Tunja, (Boyacá) genera un impacto ambiental en la población, causado por la contaminación visual, los malos olores y la incomodidad que genera a los usuarios de las plazas de mercado.

Por tal motivo se plantea la elaboración y el uso de biodigestores anaeróbicos, debido a que puede ser una alternativa económica viable, coopera con el desarrollo de tecnología al aplicar herramientas ingenieriles para perfeccionar su funcionamiento, debemos adaptarnos a dicha tecnología y buscar medidas para aplicar en nuestro entorno universitario. Esta propuesta consta de un proceso comparativo con diferentes muestras con respecto a la duración del ciclo y el cambio que se presenten durante el seguimiento realizado.

Por otra parte, el aprovechamiento de los residuos de sitios como las plazas de mercado, es un bien que le puede significar a la comunidad en general, un ajuste en materia ambiental y social, ya que el proceso propuesto en la investigación, surge de un proceso de reciclaje.

La investigación maneja dos temáticas importantes que constituyen problemas en la actualidad, son la exagerada acumulación de desechos responsable de numerosas enfermedades (Gutiérrez et al., 2011), además de elevar los niveles de contaminación ambiental. Es una forma viable y es una salida a los considerables costos de energía y de gas que día a día incrementan en todo el mundo, es necesario crear conciencia e implementar nuevos pensamientos, nuevos comportamientos hacia un futuro sin combustibles fósiles.

Un grave problema para la ciudad de Tunja es quizá, el mal aprovechamiento de los residuos sólidos, ya que van directamente al relleno sanitario “pirgua”. Por tanto se está generando un mayor efecto ambiental de los residuos sólidos, por medio de la

contaminación de aguas superficiales o subterráneas por el líquido producto de la descomposición de las basuras, contaminación del suelo, contaminación por infiltración de líquido, deterioro del paisaje por abandono y acumulación de basuras, contaminación del aire por descomposición de basuras que generan malos olores. La universidad Santo Tomas quiere ser pionera en tratar, desarrollar y brindar soluciones a este problema en la ciudad de Tunja, generando conciencia en la comunidad para mejorar la calidad de vida de los habitantes y evitar problemas futuros.

Los residuos Orgánicos pueden ser aprovechados a través de un proceso químico, por medio del cual se obtenga biogás, este procedimiento no sólo aporta soluciones en el sentido de la obtención del gas, sino que también es posible que reduzca en algunos puntos el impacto ambiental producido por el depósito de desechos en los rellenos sanitarios.

Por tanto es necesario buscar alternativas de comercialización y procesamiento de los residuos orgánicos generados en las plazas de mercado de la ciudad de Tunja.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Cuantificar y evaluar la producción de gas biogás mediante la utilización de biodigestores de residuos orgánicos de las plazas de mercado de la ciudad de Tunja.

3.2. Objetivos Específicos

- Describir las generalidades de los sistemas biodigestores utilizados para la obtención de biogás.
- Diseñar y construir un prototipo de Biodigestor Anaeróbico para degradar los residuos orgánicos de las plazas de mercado de la ciudad de Tunja, Boyacá.
- Realizar una caracterización, de los residuos orgánicos de las plazas de mercado de la ciudad de Tunja, para establecer los escenarios de degradación.
- Evaluar la producción de biogás en función de los parámetros físicos como: Volumen, PH, Humedad).

4. MARCO REFERENCIAL.

A lo largo de la historia investigaciones acerca del Biogas se han desarrollado en cada uno de los continentes. Sin embargo las bases de los esfuerzos encaminados a difundir y comunicar la utilización del biogás como fuente de recursos energéticos renovable se remite a Europa y Asia con fin de difundirlo a nivel mundial.

Ilustración 1. Planta Productora de Biogas ubicada en Könnern, Baja Sajonia, Alemania



Fuente: Ing. Agr. M.Sc. Mario Bragachini, INTA EEA Manfredi

Las primeras menciones sobre biogás se ejecutan en 1600, identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica.

4.1. Recuento Histórico y Evolución en la producción del Biogás

La preocupación de los seres humanos por conseguir opciones sostenibles y viables ha presentado esfuerzos por dar buen uso a los residuos producidos en los hogares, pero es en

1770 cuando el italiano Alexandro Volta, colecta gas de pantano e investiga su comportamiento obteniendo como resultado en noviembre de 1776 la publicación de la carta “*Aria inflammabile native delle paludi*”, donde indica que en el lago Como se forma un gas que es explosivo cuando se agitan los sedimentos, y además concluye que había una correlación directa entre la cantidad de material orgánico en descomposición en el fondo de la masa de agua y la cantidad de gas inflamable, por tanto indica que el principal compuesto del gas natural (gas de los pantanos) era el metano. La importancia de estos resultados se reconoció totalmente por la comunidad científica de la época (Stafford et al., 1980).

A principios del siglo XIX; en 1821 según (Zubiria, 2014) Amadeo Avogadro hace un anuncio luego de identificar por primera vez la estructura química del metano (CH_4); continuando con dichas investigaciones según (Chasnyk et al., 2015) Propoff establece que la formación del biogás se lleva a cabo bajo condiciones anaeróbicas luego de experimentar con lodos fluviales. Según (Chasnyk et al., 2015) en 1884 se adelantan investigaciones por parte de Pasteur sobre la información del biogás a partir de los desechos animales especialmente materia fecal de caballos; el propone la producción del biogás para su uso en las linternas de las calles pero dicha proposición no es tomada en cuenta hasta 1895 y 1896 en la población de Exeter Inglaterra, implementando que el alumbrado público serian alimentadas por el gas recolectado de los prototipos en funcionamiento, que fermentaba los desechos y lodos de la ciudad (Stafford et al., 1980).

Según (Arce, 2011) en el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la india, según (Bosch, 2011) en el año de 1906 en Alemania en la región del Ruhr se construye la primera planta de tratamiento anaeróbico de aguas residuales, mientras que en 1911 según (Ortiz, 2010) en Birmingham Gran Bretaña se construyen los primeros digestores para obtener biogás a partir de residuos orgánicos. Los principales avances a nivel de Europa Según (Chasnyk et al., 2015) se dan en los años 1913-1921 cuando K. Imhoff von Blunk patentó el proceso realizado para el diseño del tratamiento de lodos en la región de Essen-Ruhr. Luego en 1920 se construye la primera planta de depuración de

aguas residuales en Alemania que provee el biogás recolectado en un servicio de gas público.

Tras las guerras mundiales comienzan a difundirse en Europa las llamadas “fábricas productoras de biogás” cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época pero posteriormente cayeron en desuso (Bosch, 2011).

Durante la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia (Arce, 2011).

Según (Chasnyk et al., 2015) en 1947 en Ludwisburg Alemania se organizó el primer simposio sobre las plantas de Biogas, luego en 1950 se construyen alrededor de 50 plantas productoras de biogás, alimentadas de una mezcla de aguas residuales y desechos fecales. Problemas técnicos llevan al cierre de 48 plantas, solo quedan 2 en funcionamiento. Durante dicho periodo se presenta la primer crisis energética por tanto aumenta el desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías en la producción del biogás (Corona, 2007).

En el estudio “Historical, Technical and economical aspects of biogas development: case of Poland and Ukraine” se plantea que Francia durante la segunda guerra mundial se construyeron 1000 digestores a una micro escala de 12 (m³) basados en el diseño de Ducelier pero solo 100 funcionaban satisfactoriamente; en el periodo de 1954-1958 Ballu y Feraud trataron de restaurarlos pero sus esfuerzos no fueron satisfactorios, en el año 1980 según Brakel solo 1 de los 1000 digestores anaeróbicos seguía funcionando.

Ya en la década de los ochentas en Dinamarca se construyó la primera planta centralizada de biogás y 1 año después se instalan alrededor de 75 plantas productoras de biogás. La demanda de este nuevo recurso aumenta. (Corona, 2007).

En Dinamarca según (Chasnyk et al., 2015) las plantas de Biogas fueron consideradas como una forma de logro de la fuente más barata de energía luego de la crisis de 1973.

En 1990 Gracias a la estabilidad para la formación del biogás y el desarrollo de tecnología se comienza a usar biogas para la generación de energía eléctrica. Gracias al avance tecnológico se comienza a experimentar con diferentes tipos de sustratos para la generación del biogás y se funda la asociación de biogás alemana Fachverband biogás (Corona, 2007).

Se construyeron y se implementaron numerosas plantas para el tratamiento mecano-biológico de las basuras y en 1997 se estima que existen en Alemania más de 400 plantas agrícolas para la generación del biogás (Corona, 2007).

En 2011 en Alemania Se aceleraron las cifras de crecimiento de construcción de plantas de Biogas. En Francia para el año 2013 se encontraban trabajando 610 plantas de Biogas (Chasnyk et al., 2015).

Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Suiza, Italia, Gran Bretaña, Filipinas y Alemania, cuyas plantas de tratamiento de desechos industriales han tenido una importante evolución (Migliavacca, 2011).

A nivel de Latinoamérica, se ha desarrollado tecnología propia en la argentina para el tratamiento de vinazas, residuos de la industrialización de la caña de azúcar. En Brasil y Colombia se encuentran utilizando sistemas europeos bajo licencia.

A medida que transcurre el tiempo y la tecnología avanza se ha evolucionado tanto en un sistema de biodigestión para el clima frío que consiste en la valorización del estiércol de cerdo a través de la producción de biogás, como en el diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. El primero desarrollado por docentes de la Universidad Nacional de Colombia,

sede Medellín, en donde experimentalmente evaluaron el funcionamiento de un sistema en serie de dos biodigestores, además de encontrar los factores que determinaban el funcionamiento tales como: la producción de biogás, PH, temperaturas. El segundo, valorización del estiércol de cerdo a través de la producción de biogás, desarrollado por la asociación colombiana de porcicultores fondo nacional de la porcicultura, trabajo enfocado al aprovechamiento del estiércol generado por los porcinos a nivel de pequeñas, medianas y grandes granjas, a través de biodigestores para el tratamiento y obtención de biogás y bioabono (Arce, 2011).

4.2. Producción de biogás en Colombia.

En Colombia el potencial para el aprovechamiento de residuos orgánicos-agrícolas es muy grande; sin embargo, actualmente la producción de energía a partir del biogas se limita a producción de energía necesaria para cocción e iluminación. Así mismo, la generación de energía a partir del biogas se practica en muy pocos sitios, y la potencia generada normalmente no supera los 180 kW (Zapata, 1997).

En un país agropecuario como Colombia, que cuenta con una capacidad de crecimiento importante en esta industria, se presenta una limitante importante. Si bien se ha aumentado la producción de energía a partir del biogas, cuando se piensa en aprovechar cantidades mayores de residuos orgánicos y producir energía a gran escala se encuentra con una absoluta escasez de información y reglamentación al respecto (González et al., 2007).

El proyecto de extracción, tratamiento y aprovechamiento del biogas del relleno sanitario Doña Juana, nace como una necesidad de: Reducir las emisiones de los gases de Efecto invernadero, mitigar los impactos ambientales atribuibles a la emisión de Gases Efecto invernadero (GEI) a la atmosfera como medida preventiva del calentamiento global, generación de recursos de inversión destinados al desarrollo social de las poblaciones cercanas al relleno sanitario. Bogotá tiene uno de los mayores rellenos sanitarios de

Latinoamérica, con el cuarto proyecto más grande del mundo en materia de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, provenientes de un relleno sanitario y el número uno en Colombia. Anualmente se reducen un poco más de 700.000 toneladas de (CO_2) ,cuenta con una planta que posee un sistema de cuatro kilómetros de tubería, instalados en el relleno sanitario, que captan los gases producidos por los desechos y los separan de los lixiviados. Mientras los gases que producen los residuos sólidos se conducen a través de las tuberías a la planta y los lixiviados van dirigidos a una piscina los cuales son tratados antes de ser vertidos en el río Bogotá (Proactiva, 2016).

En la ciudad de Cartagena se encuentra la planta de biogás ENERGREENCOL SAS la cual cuenta con una producción de biogás mediante digestión anaerobia de residuos agroindustriales. Cuenta con los ganaderos, industrias, entidades municipales y asociaciones que buscan el mejor aprovechamiento de la deyección de animales y sus explotaciones, los subproductos de su industria y los residuos generados en los municipios aledaños son utilizadas para la generación de energía renovable y contribuir a la conservación del medio ambiente. (Energreencol s.a.s, 2016)

Según (SGI&C-FNCER, 2014) en la investigación “Colombia apuesta por los biodigestores para generar biogas en las áreas rurales” en muchas zonas de nuestro país se trabaja para aprovechar los residuos orgánicos para producir energía, como el jardín botánico de Bogotá, que producirá su propia energía y reciclara dos toneladas diarias de residuos en una planta de biogasificación. Medellín, por ejemplo produce biogas en la planta de tratamiento de aguas residuales san Fernando, donde se limpian las aguas del rio Medellín y también en el relleno sanitario de la pradera, encargado del tratamiento de residuos sólidos de la región.

Ilustración 2. Diagrama Plantas de Biogás Relleno Doña Juana Bogotá, Colombia.



Fuente: Biogas Doña Juana <http://biogas.com.co/>

5. MARCO TEORICO

5.1. Marco conceptual

5.1.1 Biodigestor

Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia de bacterias, para transformar residuos orgánicos en biogás y fertilizante. Es un contenedor cerrado, hermético e impermeable llamado reactor, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar como excrementos de animales y desechos vegetales (no se incluyen cítricos ya que prolongan el proceso de la producción del biogas); es disuelto con agua hasta ocupar dos tercios para que se descomponga, posteriormente inicia la producción de biogás (Martí, 2008).

Ilustración 3. Ejemplo de biodigestor.

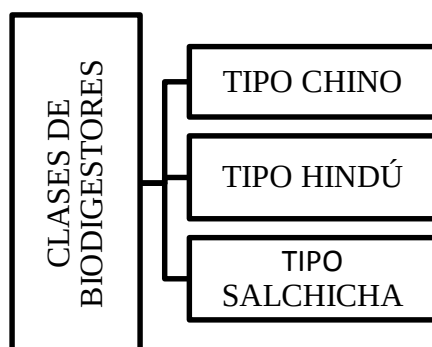


Fuente: Autores

El fenómeno de biodigestión ocurre porque existe un grupo de bacterias anaerobias presentes en la materia fecal que al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano (CH_4) llamado biogás.

5.1.2 Principales Clases de biodigestores.

Ilustración 4. Principales Clases de Biodigestores.



Fuente: Autores

5.1.2.1 Biodigestor tipo chino

Es uno de los modelos más extendidos, debido a su durabilidad, fácil manejo, funcionabilidad y seguridad. Este diseño fue concebido respetando las condiciones imperantes en su país de origen China. Se trata de una cámara cerrada con sus respectivas cámaras de carga y descarga; la estructura puede ser construida de concreto armado, ladrillos, piedra u hormigón y las paredes internas permeabilizadas con diferentes métodos (como aplicación de cemento mezclado con porcelana) para evitar fugas de líquido.

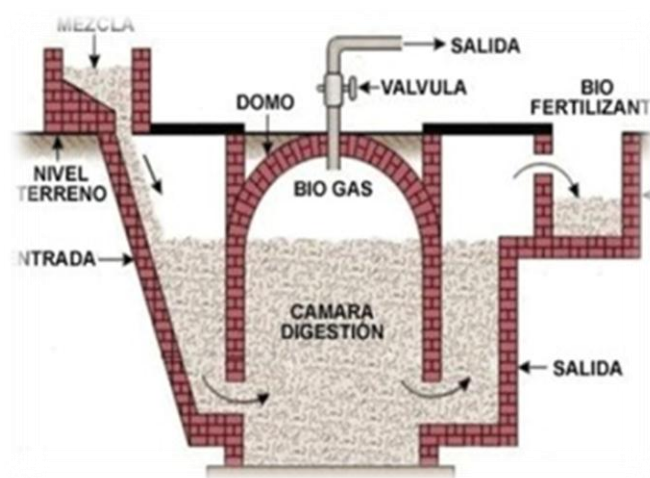
Su larga vida útil, mayor a 15 años con un buen mantenimiento a veces no compensa su relativo alto costo, es por eso que no se ha difundido fuera de china (en Latinoamérica), según (Hilbert, 2011) su diseño responde a una maximización del ahorro de material sin entrar en el cálculo de la demanda de mano de obra y su construcción es apoyada por política nacional. Esta clase de digestor (de cúpula o campana fija) almacena solamente un pequeño volumen del gas generado en el interior, por lo que necesita de un contenedor diferente construido para este gas producido (Forget 2011).

Ilustración 5. Biodigestor tipo chino.



Fuente: *BMeditores.mx*

Ilustración 6. Diagrama biodigestor tipo chino.



Fuente: Red de Multiservicios generales Perú

Por lo general el techo y el fondo son hemisféricos y las paredes rectas. La superficie interior es sellada con muchas capas delgadas de mortero para conseguir firmeza. La tubería de la entrada es recta y los extremos son nivelados. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo y dentro del domo, ello crea fuerzas bastante altas y es por ello que la estructura debe hacerse hemisférica en la base y techo, ya que esta distribuye la presión en una mayor área. Se necesita materiales de muy buena calidad y recursos humanos costosos. Solo en China existen más de 5 millones de biodigestores y han funcionado perfectamente. Volvemos a destacar la larga vida de estos biodigestores (15-20 años) claro, con una limpieza sistemática (Forget 2011).

5.1.2.2 Biodigestor tipo Hindú

Este diseño consiste en una estructura vertical que es conocida como digestor de tambor flotante.

Está fabricado por placas de hormigón o concreto, plantas de cúpula plástica flotante o movable y un sistema de domos, es de bajo costo y es alimentado con estiércol y otros residuos orgánicos. Es sin duda el más popular en el sur de India, mientras que el sistema

de domo fijo alimentado solamente con estiércol animal es más común en el norte de la india (Chasnyk et al., 2015).

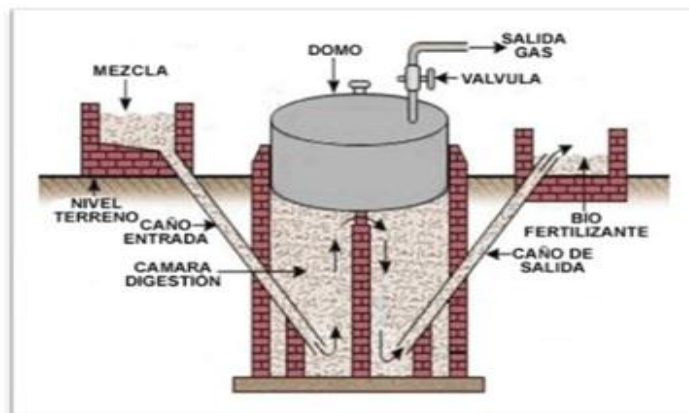
Son contruidos típicamente para convertir desechos animales en biogas para cocinar y obtener energía para la iluminación de una vivienda familiar. Típicamente el volumen promedio del digestor es de 5-7 m³ y proporciona alrededor de 0,5 m³ de biogas por unidad de volumen del digestor (Khan & Martin, 2015).

Ilustración 7. Biodigestor tipo Hindú.



Fuente: Grupo A&P 2014 México

Ilustración 8. . Diagrama biodigestor tipo Hindú.



Fuente: Red de Multiservicios generales Perú

5.1.2.3 Biodigestor tipo Salchicha

La alta inversión que pedía construir un biodigestor de estructura resultaba una grave limitante para los pequeños granjeros por sus bajos ingresos. Esto motivó a unos ingenieros Taiwanese en los años sesenta a diseñar biodigestores con materiales flexibles más baratos, locales y accesibles. Este tipo de biodigestor se caracteriza porque la carga se introduce en un extremo y el efluente se retira en otro extremo y es una construcción horizontal de desplazamiento, cuyo cuerpo se encuentra bajo el suelo con la finalidad de proporcionarle un buen aislamiento térmico. Tiene un almacenamiento primario de gas dentro del biodigestor y su geometría y forma de operación han sido diseñadas para asegurar su funcionamiento continuo (López & López, 2009).

Ilustración 9. Biodigestor tipo salchicha.



Fuente: Jaime Martí herrero PhD CIMNE.

Ilustración 10. Modelo Biodigestor tipo salchicha.



Fuente: Raúl Botero Botero MVZ, Universidad EARTH, Costa Rica.

5.2 Digestión Anaerobia:

La Digestión anaerobia es un proceso biológico en el cual la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante las acciones de un grupo de bacterias específicas, se descompone en biogás (CH_4 , CO_2).

La fórmula Química del Biogas: $\text{CH}_4 + \text{O}_2$

CH_4 : Gas Metano

CO_2 : Dióxido de Carbono.

El biogás contiene un alto porcentaje de metano, CH_4 (entre 50 - 70%), por lo que es susceptible de un aprovechamiento energético mediante su combustión en motores, electricidad, calentadores, gas.

La digestión anaerobia puede aplicarse, entre otros, a residuos ganaderos, agrícolas, así como a los residuos orgánicos de la industria alimenticia.

Los beneficios asociados a la digestión anaerobia son:

Producción de biogás que sirve como combustible.

Obtención de abono orgánico.

Reducción de emisiones de gases de efectos invernadero derivadas de la reducción de emisiones incontroladas de CH_4 y CO_2 .

5.2.1 Proceso de digestión anaerobia

La digestión anaerobia es una práctica de tratamiento de residuos atractivo en el que se pueden alcanzar tanto el control de la contaminación y la recuperación de energía. Muchos residuos agrícolas e industriales son candidatos ideales para la digestión anaerobia, ya que contienen altos niveles de materiales fácilmente biodegradables. Los problemas tales como bajo rendimiento de metano y la inestabilidad del proceso se encuentran a menudo en la digestión anaeróbica, la prevención de esta técnica se aplica ampliamente. Una amplia variedad de sustancias inhibitoras son la causa principal del mal funcionamiento o el fracaso del digestor anaeróbico ya que están presentes en concentraciones sustanciales de desechos. Se han realizado considerables esfuerzos de investigación para identificar el mecanismo y los factores de control de inhibición, los inhibidores comúnmente presentes en los digestores anaerobios incluyen amoníaco, sulfuro, iones de metales ligeros, metales pesados, y los compuestos orgánicos. Debido a la diferencia en los inóculos anaeróbicos, composición de los residuos, los métodos y las condiciones experimentales, los resultados de la literatura sobre la inhibición causada por sustancias tóxicas específicas varían ampliamente (Chen et al., 2008).

Hay tres fases básicas en el proceso y tres grupos de bacterias diferentes que intervienen en cada fase. El primer grupo consiste en una mezcla de bacterias formadoras de ácidos que hidrolizan las moléculas complejas de materia orgánica para producir ácidos grasos de cadena corta y alcohol. El segundo grupo es el de las bacterias acetogénicas que producen acetato e hidrógeno. El tercer grupo es el de las bacterias metanogénicas que convierte los productos ya degradados en metano y dióxido de carbono. Para que el proceso sea exitoso se requiere un equilibrio dinámico armonioso entre los grupos (Marchaim, 1982).

Las ecuaciones estequiométricas de Buswell 1989 son aplicables a la fermentación de metano de todos los sustratos (Chen et al., 2008).

$$C_nH_aO_b = \left(n - \frac{a}{4} - \frac{b}{2}\right) H_2O + \left(\frac{n}{2} - \frac{a}{8} + \frac{b}{4}\right) CO_2 + \left(\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4}\right) CH_4$$

(Young et al., 1989).

Dónde: n, a y b son la cantidad de átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno contenidos en las moléculas de materia orgánica degradadas.

5.2.2 Condiciones Para La Biodigestión:

Según (López & López, 2009) las condiciones para lograr la obtención de metano en el digestor son las siguientes:

1. Temperatura.
2. PH (nivel de acidez/ alcalinidad).
3. Ausencia de oxígeno.
4. Gran nivel de humedad.
5. Materia orgánica.
6. Que la materia prima se encuentra en trozos lo más pequeños posible.
7. Alcalinidad
8. Equilibrio de carbono/ nitrógeno.
9. Tiempo de Retención

5.3. Factores que influyen en la digestión anaerobia

Los biodigestores o reactores anaeróbicos son los recipientes donde ocurre el proceso de transformación de los residuos sólidos, en este caso materia orgánica en biogás o gas metano, por acción de las bacterias metanogénicas, en ausencia total de oxígeno; por lo que se les debe proporcionar determinadas condiciones para su buen funcionamiento, entre las condiciones se encuentran:

Ilustración 11. . Factores que influyen en la digestión anaerobia.



Fuente: Autores

- Garantizar hermeticidad para evitar fugas de gases o líquido fermentado.
- Brindar seguridad contra fuego directo y explosiones.
- Recolectar y trasvasar los gases producidos.
- Facilitar la agitación parcial o total del sustrato en fermentación (Choy & Ortecho, 2013).

5.3.1. PH.

El valor óptimo del rango de PH está en el rango de 6.6 a 7.6. Los Ácidos Grasos de Cadena corta (AGCC.) que se producen durante el proceso de digestión anaerobia reducen el PH en la fase líquida del digestor. Si las bacterias metanogénicas no pueden convertir los AGCC a la misma velocidad que se forman por las bacterias acetogénicas, los AGCC se acumularán y causaran un descenso en el PH medio. No obstante, el equilibrio CO_2/HCO_3 en el digestor, ejerce una resistencia importante para los cambios de PH (Yongfu et al., 1989).

5.3.2. Temperatura.

La temperatura incrementa la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas. En los biodigestores el grado de temperatura debe ser tolerado por los microorganismos para que se pueda garantizar un crecimiento y ritmo óptimos dentro de los rangos de temperaturas definidos para cada bacteria (Schimid & Lipper, 1969). Una temperatura muy alta puede causar una declinación en el ritmo metabólico del proceso, debido a la degradación de las enzimas que son esenciales para la vida celular (Domínguez & Ly, 2000).

5.3.3. Nutrientes.

Los microorganismos requieren nitrógeno, fósforo y otros factores de crecimiento que originan efectos complejos, así como también una fuente de energía de carbono orgánico. El nivel de nutrimentos para la micro flora debiera ser por lo menos superior al valor óptimo de las concentraciones requeridas por las bacterias. Por lo general la deficiencia nutritiva no suele ser un problema cuando se suministran alimentos combinados a los animales ya que estos sustratos proveen suficientes nutrimentos (Yongfu et al., 1989).

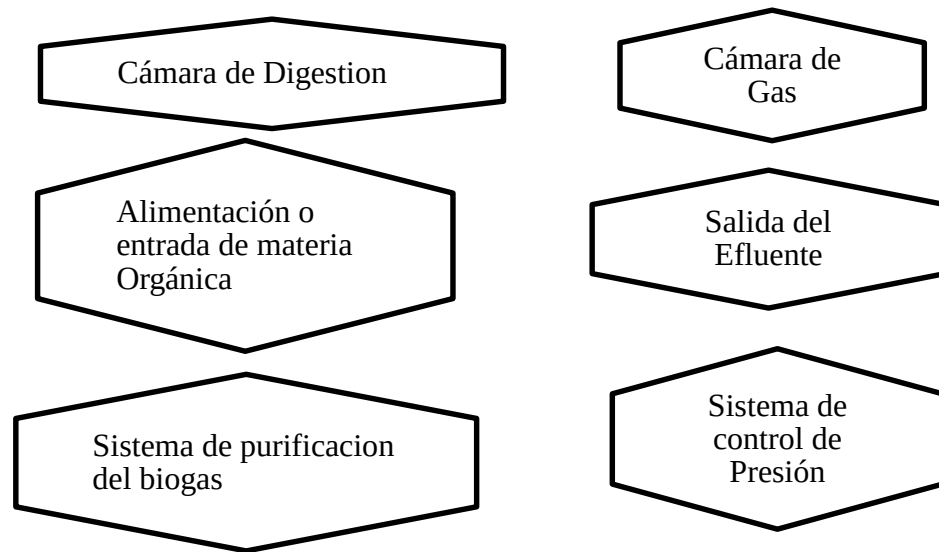
5.3.4. Toxicidad.

Los compuestos tóxicos influyen negativamente en el proceso de digestión al disminuir la velocidad del metabolismo del micro flora aún en concentraciones bajas. Los principales indicadores de que hay algún problema de toxicidad en el proceso, son la disminución de biogás y un incremento en la concentración de AGCC en el medio (Gunnerson & Stuckey, 1986).

5.4. Elementos para el Funcionamiento del Biodigestor

Los elementos comunes de los biodigestores que garantizan su correcto funcionamiento son:

Ilustración 12. Elementos para el funcionamiento del Biodigestor.



Fuente: Autores

5.4.1. Cámara de digestión.

Es la parte central del biodigestor o fermentador. Aquí ocurren los procesos bioquímicos que transforman la carga o materia orgánica alimentada en biogás. Puede ser de ladrillo, hormigón, hormigón armado, plástico u otro material que asegure las condiciones requeridas de resistencia e impermeabilidad (Choy & Ortecho, 2013).

5.4.2. Cámara de gas o gasómetro.

Es la parte del sistema donde se almacena el biogás producido durante la fermentación, por lo que debe construirse a prueba de fugas. Los gasómetros pueden ser:

- De cúpula fija. El gasómetro es parte integrante de la cámara de digestión. La presión se mantiene e incrementa por la producción de biogás durante la fermentación, con el correspondiente desplazamiento del líquido que se está fermentando hacia el sistema de salida de efluente líquido.
- De depósito flotante. El gasómetro puede estar instalado fuera del biodigestor sobre un lecho de agua, o se puede instalar directamente sobre el biodigestor. El depósito o campana flotante puede ser de hierro o de plástico rígido.
- De material plástico. El biogás se recoge en una bolsa plástica hecha de caucho, polietileno o geomembrana de PVC. Tiene el inconveniente de una presión irregular, lo cual influye negativamente sobre la utilización del biogás. Este tipo de gasómetro se puede instalar directamente sobre el biodigestor (Choy & Ortecho, 2013).

5.4.3. Alimentación o entrada de la materia orgánica (sistema de carga).

Permite la alimentación del biodigestor. En algunos casos se diseña para permitir la homogenización del material de carga, y a la vez se pueda realizar el control de sólidos totales y pH del sustrato; de lo contrario, debe contarse con un tanque de metal o de plástico de 200 litros donde se mezclará la materia orgánica con el agua, permitiendo además la eliminación de los sólidos que floten, los que pueden obstruir el tubo de entrada del biodigestor o causar problemas de funcionamiento del sistema. (Choy & Ortecho, 2013).

5.4.4. Salida del efluente (sistema de descarga).

Su función es garantizar la descarga del líquido o de los lodos digeridos para su posterior utilización como abonos orgánicos. Debe estar más abajo del nivel de carga, para facilitar su salida por diferencia de presión hidráulica (Choy & Ortecho, 2013).

5.4.5. Sistema de purificación del biogás.

Permite eliminar contaminantes del biogás para su uso como combustible.

Eliminación del sulfuro de hidrógeno: de todos los componentes del biogás, el que causa mayor problema para su utilización es el sulfuro de hidrógeno (H_2S) por su olor desagradable y alto poder corrosivo. La no eliminación provocará un deterioro rápido de todas las instalaciones, con las correspondientes pérdidas económicas. Para eliminar el sulfuro de hidrógeno se hace pasar la corriente de biogás por un cartucho relleno con limaduras, viruta de hierro o clavos. Puede instalarse un solo cartucho de forma horizontal o dividirlo en dos cartuchos verticales, siendo ésta última la mejor opción porque el biogás pasará de manera descendente por el primer cartucho y ascendente por el segundo cartucho (Choy & Ortecho, 2013).

Eliminación del dióxido de carbono. El CO_2 se puede eliminar utilizando una solución de agua de cal (1,8 kg de CaO en 1000 L de agua para eliminar 560 L de CO_2). Esta solución no es factible para ser utilizada a gran escala debido al gasto excesivo de reactivos y acumulación de subproductos. Otra vía para eliminar CO_2 , es utilizando soda cáustica (1 1,5 kg de $NaOH$ en 1000 L de agua para eliminar 3200 L de dióxido de carbono). Este proceso no es rentable por el alto valor de la soda, además puede provocar graves quemaduras en su manejo. Se utiliza a escala de laboratorio (Choy & Ortecho, 2013).

Eliminación de agua. El biogás producido puede tener vapor de agua, que por condensación forma gotas que se acumulan en los puntos más bajos de las tuberías de conducción de biogás. Con el tiempo la cantidad de agua condensada aumenta, llegando a dificultar y en ocasiones a impedir la circulación del biogás. Para eliminar esta agua condensada de las tuberías se coloca un drenaje o una trampa de agua en la parte más baja de la tubería (Choy & Ortecho, 2013).

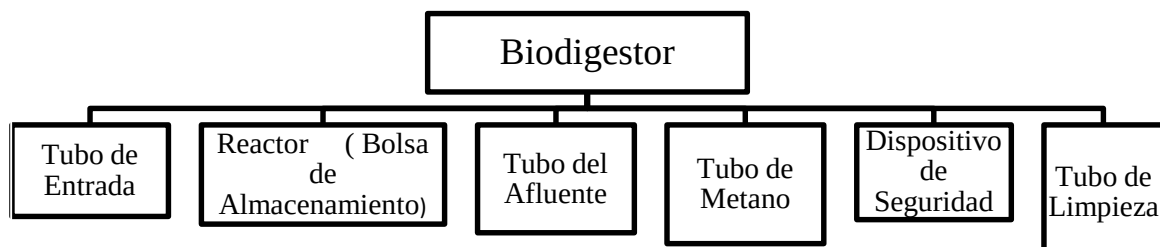
5.4.6. Sistema de control de presión.

La presión debe ser medida y controlada rigurosamente para mejorar la operación y la eficiencia de los equipos que utilicen biogás como combustible. Se emplea un manómetro de tubo de vidrio o de manguera de $\frac{1}{4}$ " en U con agua; o una botella de 1,5 L, llena con agua hasta $\frac{3}{4}$ de su volumen, en ella se introduce 15 cm de un ramal de la tubería que conduce el biogás, con ranuras cada 1 cm. En el caso del manómetro, el biogás empujará el agua de la rama desplazándola por el tubo en U, la diferencia de altura entre ambas ramas será la presión que ejerce el biogás en todo el sistema, expresada en cm de agua. Cuando se emplee la botella, se la deberá desamarrar y bajarla lentamente para que vaya saliendo el ramal introducido en el agua de la botella, en el momento en que salgan burbujas por este ramal se debe contar el número de líneas marcadas en el tubo que aún quedan sumergidas en el agua, esa será la presión en cm de agua (Choy & Ortecho, 2013).

5.5. Componentes de un biodigestor

Este biodigestor presenta los siguientes componentes:

Ilustración 13. Componentes de un Biodigestor.



Fuente: Autores

Tubo de entrada: Es un tubo de plástico, puede ser en promedio de 20 a 30cm de diámetro, es utilizado para la inserción de materia orgánica y se dirige hacia adentro del reactor a una profundidad conveniente, por lo general cerca de 15 cm.

Reactor Fermentador bolsa de almacenamiento: Es el componente donde ocurre el proceso del biodigestión, el reactor, es una bolsa en la que se almacena la materia orgánica y se dan los procesos de fermentación. Su tamaño varía dependiendo de la cantidad de material a fermentar, su tamaño no debe ser muy grande, si hay necesidad de procesar mucho material, se procederá a conectar cámaras múltiples, aunque puede resultar más costoso quitándole a este modelo su atractivo económico. Una opción para calentar el reactor es recubrir por encima de 60 cm con una estructura simple de plástico a modo de invernadero, ello prevendrá de cambios drásticos de temperatura y mantendrá el material en el nivel deseable, o también es viable semi-enterrarlo para el mismo fin, dependiendo de las condiciones del suelo. El gas producido por el digestor puede almacenarse en un espacio añadido al digestor o conducirse independientemente a otra instalación de almacenamiento, cerca de la cocina, o del calefactor a usarse (Arauz, Ulrich, 2015).

Tubo del afluente: Es un tubo de plástico, cuyo diámetro varía según el tamaño del biodigestor, debe estar localizado por debajo del tubo de entrada en el lado opuesto, generando así una pendiente que proporcione el gradiente necesario para que fluya naturalmente y con facilidad a la hora de descargar el producto digerido, también debe estar sumergido por debajo de 15 cm del fermentador, para así prevenir el escape de gas a la hora de descarga.

Tubo de metano: Este tubo, se ubica en la parte superior de la bolsa de almacenamiento o reactor donde se aloja el metano, se utiliza para transportar el biogás a su lugar de uso, el tubo debe estar conectado a una salida sumergida en agua para que absorba la humedad condensada producto de la metano génesis.

Dispositivo de seguridad: Es un mecanismo utilizado para prevenir la ruptura del fermentador que puede ser ocasionada por las presiones altas del gas generado por la fermentación anaeróbica.

Tubo de limpieza: Este tubo, es opcional, según la forma del biodigestor, su principal función es remover el lodo sedimentado, esta tubería sirve para evacuar lodos por bombeo.

5.6. Marco legal

Ley 9 del 24 de Enero de 1979. Se regulan íntegramente todos los aspectos de orden sanitario que puedan afectar la salud individual o colectiva de la comunidad como un bien de interés público e instaura disposiciones generales sobre residuos sólidos y control de descarga de los mismos que puedan afectar las condiciones sanitarias del medio ambiente.

Ley 23 de 1973: por medio de esta ley se establece el control de la contaminación del medio ambiente y se establecen alternativas y estrategias para la conservación y recuperación de los recursos naturales, para la salud y el bienestar de la población.

Ley 99 del 22 de Diciembre de 1993. Se definen los principios de la gestión ambiental del país, se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental - SINA.

Decreto 605 de 1996. Disposiciones sanitarias sobre residuos sólidos. Reglamenta las normas sanitarias aplicables para el almacenamiento, presentación, recolección, transporte y disposición de basuras.

Decreto 2811 de 1974 Código de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Control y manejo de los residuos sólidos y orgánicos. Describe una visión integral de rehúso, reciclaje, restauración de suelos y responsabilidad ambiental.

Decreto 1713 del 6 de Agosto de 2002. Orientado a reglamentar el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de los residuos sólidos ordinarios.

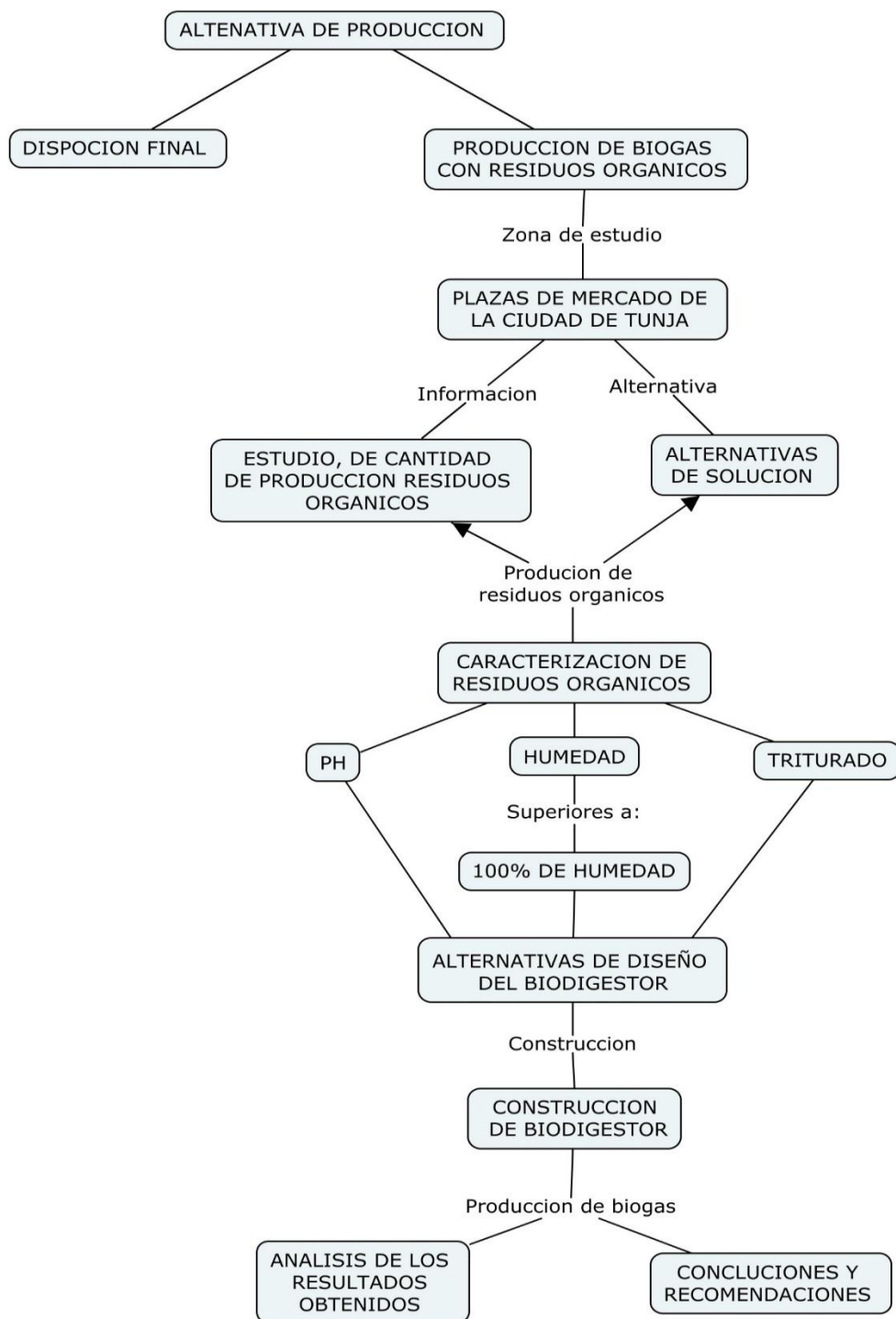
Norma técnica Colombiana NTC 40. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas Y Certificación ICONTEC. Abonos o fertilizantes y productos afines.

Norma técnica Colombiana NTC 1927. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas Y Certificación ICONTEC. Tercera edición. Fertilizantes y acondicionadores de suelos, definiciones y clasificación.

Norma técnica Colombiana NTC 5167 y resolución 00150 de 2003. Límites permisibles de parámetros físico-químicos y microbiológicos del compost para ser utilizado como acondicionador del suelo.

6. FLUJO DE LA METODOLOGÍA

Ilustración 14. Metodología.



7. METODOLOGÍA

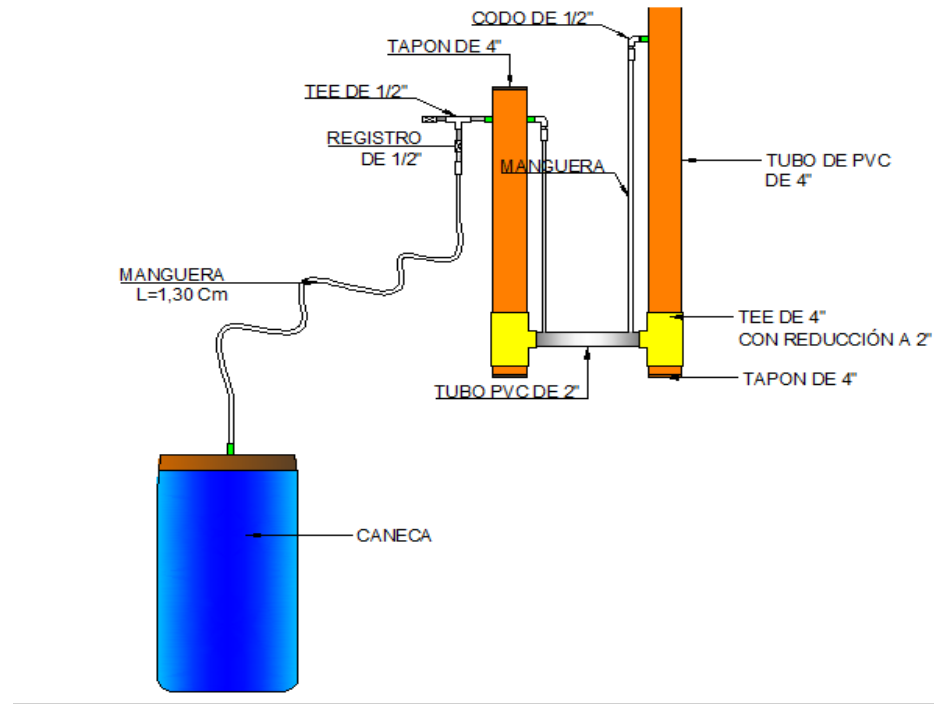
En el proyecto se utilizaron diversas metodologías para llevar a cabo el procedimiento, se inició de una manera investigativa acerca de los biodigestores para hacer un recuento histórico y tener unas bases más detalladas en pro del desarrollo del proyecto, así mismo se investigó acerca de la cantidad de residuos orgánicos que se producen en las plazas de mercado de la ciudad de Tunja; tanto plaza del sur como plaza del norte, se eligió el diseño del biodigestor para comenzar con la parte experimental del proyecto, luego de construir el biodigestor se realizaron diferentes pruebas para analizar su estado y observar que no existiera ninguna fuga, el siguiente paso fue la recolección de residuos sólidos de las plazas de mercado, a dichos residuos se les realizó una caracterización para separar los residuos según su clase para tomar sus diferentes pesos dependiendo de la cantidad, de igual manera se tomó una muestra de cada clase de residuo para hacerle una prueba de humedad en el laboratorio de la universidad, dentro de la parte descriptiva se observó el mal uso que se da a los desechos en las plazas de mercado, generando mal aspecto, malos olores debido a productos que vienen deteriorados de los cultivos pero que pueden ser provechosos en otros estudios. Luego de establecer los parámetros físicos de los residuos se procede a realizar un proceso de triturado para reducir el tiempo en el ciclo de degradación que realizan las bacterias metanogénicas. Luego de realizar esta parte del proceso, el paso a seguir es sellar completamente la caneca que contiene los desechos triturados y tomar mediciones diariamente observando el cambio en los niveles de agua establecidos.

Dentro de la metodología adoptada por el grupo investigador se decide aplicar el uso de normas APA versión 2016 en el desarrollo del trabajo de grado.

El biodigestor inicialmente se debe llenar con la mezcla preparada de la materia orgánica hasta el punto de dejar más o menos un tercera parte libre, este procedimiento de llenado de la caneca se debe efectuar en pocos días para evitar que se liberen olores de forma excesiva.

Luego de llenar y de sellar la caneca no se puede adicionar más mezcla, hasta que comience con la producción de biogás y mantenerlo por varios días completamente sellado.

Ilustración 15. Diseño biodigestor 1.



Fuente: Autores

El tubo de salida del biodigestor es el rebosadero por donde saldrá el efluente líquido o biogás que se produce.

El biodigestor inicial, fue construido para la toma de muestras y análisis de resultados luego de un proceso anaeróbico que tuvo duración de 4 meses y 25 días, en los dos siguientes procesos anaerobios tuvo una duración de 4 meses y 4 días.

El biodigestor diseñado cuenta con una caneca de 90 cm de altura con un diámetro de 40 cm para una capacidad de 114 lt, conectada con una manguera de niveles utilizada para el desplazamiento y almacenamiento del biogás producido, dicha manguera es unida al

sistema construido en tubería PVC. Además el sistema cuenta con 2 tubos de PVC de 4" en posición vertical, uno de 90 cm de altura y el otro de 60 cm de altura unidos por un tubo de 2 "de 50 cm de longitud en posición horizontal, para dicha unión se utilizaron 2 té de reducción de 4" a 2" produciéndose un puente en la estructura de PVC en donde el tubo de menor longitud se encuentra totalmente sellado por medio de un tapón de 4", el tubo de 90 cm de longitud no cuenta con ningún tipo de sellamiento y en él se alberga una cantidad de agua determinada para poder medir la presencia y cantidad de biogás mediante el cambio de nivel en la cantidad de agua. Es esencial que no haya ningún tipo de fuga en ninguna de las partes del sistema ya que al añadir aire, la materia prima presenta cambios y se produce hongo que forma una capa en la parte superior y hace más lento el proceso.

Para llevar a cabo la explicación de los componentes de los sistemas biodigestores tenemos que apelar a las propiedades que son expuestas a continuación:

7.1.Volumen del digestor

- a) Conociendo la cantidad de materia orgánica que se puede recoger diariamente para alimentar el biodigestor, el volumen del digestor V_d se calcula mediante la expresión (1).

$$V_d = (kg_{(excreta)} + kg_{agua})T_r$$

Dónde:

V_d : volumen del digestor.

Kg (agua): peso en kg de la cantidad de agua utilizada.

Kg (excreta): peso en kg de la cantidad de residuos recopilados.

T_r : Tiempo de retención (tiempo que requieren las bacterias para degradar la materia orgánica).

El tiempo de retención varía entre 20 y 55 días, en dependencia de la categorías de animales (cerdos, caballos, vacunos, etc.), ya que se usan diferentes proporciones entre las cantidades de excrementos y agua.

b) Conociendo el requerimiento de biogás diario ($\text{m}^3/\text{día}$), se emplea la expresión (2):

$$V_d = C_g / \eta_d$$

Dónde:

V_d : volumen del digestor.

C_g : Necesidad de gas.

η_d : Eficiencia del biodigestor

c) Para determinar la necesidad de gas en dependencia de la cantidad de personas que lo utilizan para fines domésticos, se utiliza la expresión (3):

$$V_d = 0,35 \cdot C_p / \eta_d$$

Dónde:

V_d : volumen del digestor.

C_p : Cantidad de personas

η_d : Eficiencia del biodigestor

Se considera que el gas producido es utilizado con fines familiares para la elaboración de los alimentos tres veces al día y que una persona para satisfacer la necesidad de elaboración de sus alimentos consume 0,35 m^3 de gas diario.

7.2.Volumen de la cámara de fermentación

El volumen de la cámara de fermentación V_{cf} constituye entre un 75% ~ 80% del volumen del digestor, por lo cual (4):

$$V_{cf} = V_d(0,75 \sim 0,80), m^3$$

Dónde:

V_{cf} : Volumen de la cámara de fermentación.

V_d : volumen del digestor.

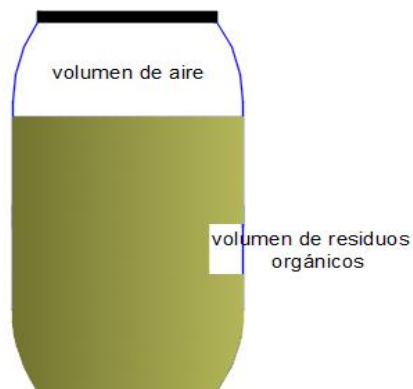
Considerando el ejemplo anterior en que el volumen del digestor es $V_d = 8 m^3$, aplicándolo a la expresión (4), se tendrá que:

$$V_{cf} = 8 (0,75 \sim 0,80)$$

$$V_{cf} = (6,0 \sim 6,4)m^3$$

7.3.Volumen de aire

Ilustración 16. Descripción grafica del biodigestor.



Fuente: Autores

La parte superior de la caneca es un segmento de una esfera y su volumen V_a está en el rango de 20% ~ 25% del volumen digestor, cuando él mismo tiene un fin doméstico, por tanto se tendrá la expresión:

$$V_a = V_d \cdot (0,20 \sim 0,25)$$

Dónde:

V_a : Volumen del aire, m^3 .

V_d : volumen del digestor.

Sustituyendo (1) en (5), en el ejemplo1 se tendrá que:

$$V_a = (1,6 \sim 2)m^3$$

7.4.Volumen total del digestor

De lo anteriormente planteado se tendrá que el volumen total del digestor V_d es la suma del volumen de la cámara de fermentación V_{cf} más el volumen de aire V_a :

$$V_d = V_{cf} + V_a$$

Dónde:

V_{cf} : Volumen de la cámara de fermentación.

V_a : Volumen del aire, m^3 .

V_d : volumen del digestor.

7.5.Parámetros constructivos del biodigestor

Una de las razones constructivas que han provocado que las plantas de biogás con fines domésticos no funcionen con eficiencia, es la inadecuada relación entre el volumen del digestor, el volumen de la cámara de fermentación y el volumen del aire. En forma general para uso en iluminación y cocción de alimentos se deben contar con un volumen de aire capaz de almacenar el 60% de la producción diaria de biogás.

7.6. Parámetros constructivos

Los principales parámetros constructivos del biodigestor son:

V_d : Volumen del digestor

V_{cf} : Volumen de la cámara de fermentación

h_{cf} : Altura de la cámara de fermentación

d_{cf} : Diámetro de la cámara de fermentación

r_{cf} : Radio de la cámara de fermentación

r_c : Radio del espacio que ocupa el volumen de aire.

h_c : Altura del espacio que ocupa el volumen de aire.

V_a : Volumen del aire.

Las operaciones de cálculo contemplan la determinación de los parámetros constructivos que determinan la geometría de la cámara de fermentación y el espacio del aire. Concluida esa etapa se pasa a establecer la relación entre el digestor y el tanque de fermentación para que responda a las condiciones preestablecidas. El cálculo se basa en determinar los valores del diámetro d_{cf} y la altura h_{cf} de la cámara de fermentación y el volumen del aire V_a . Calculando el volumen del biodigestor (V_d) mediante alguna de las expresiones (1), (2) ó 3, y recordando que el volumen de la cámara de fermentación (V_{cf}) representa entre un 75% ~ 80% y el espacio que ocupa el aire en la parte superior de la caneca debe estar entre un 25% ~ 20% del digestor, se emplea la expresión del volumen de un cilindro:

$$V_{cf} = \pi \frac{d_{cf}^2 h_{cf}}{4}$$

Donde:

V_{cf} : Volumen de la cámara de fermentación.

d_{cf} : Diámetro de la cámara de fermentación

h_{cf} : Altura de la cámara de fermentación

Pero esta es una ecuación con dos incógnitas, por lo que no se puede resolver todavía la misma, pues no se tienen los valores del diámetro y la altura de la cámara.

Se asume la relación d/h como un valor conocido, es decir:

$$X = d_{cf}/h_{cf}$$

Dónde:

d_{cf} : Diámetro de la cámara de fermentación

h_{cf} : Altura de la cámara de fermentación

Despejando d_{cf} en la expresión (8) se tendrá $d_{cf} = X h_{cf}$

Entonces, sustituyendo en (7) se tiene que

$$V_{cf} = \eta (X h_{cf})^2 \frac{h_{cf}}{4} = \eta X^2 h_{cf}^3 / 4$$

Dónde:

V_{cf} : Volumen de la cámara de fermentación.

h_{cf} : Altura de la cámara de fermentación

Despejando h_{cf} y sustituyendo en la expresión (7) se obtienen valores de la altura y el diámetro de la cámara.

$$h_{cf} = \sqrt[3]{\frac{4V_{cf}}{\pi X^2}} \quad d_{cf} = \sqrt{\frac{4V_{cf}}{\pi h_{cf}}} r_{cf} = \frac{d_{cf}}{2}$$

Dónde:

V_{cf} : Volumen de la cámara de fermentación.

h_{cf} : Altura de la cámara de fermentación

d_{cf} : Diámetro de la cámara de fermentación

Cálculo del resto de los parámetros

$$r_c = \sqrt{h_{cf}^2 + r_{cf}^2} h_c = r_c - h_{cf} V_c = \pi h_c \left(\frac{d_{cf}^2}{8} + \frac{h_c^2}{6} \right)$$

Dónde:

h_{cf} : Altura de la cámara de fermentación

d_{cf} : Diámetro de la cámara de fermentación

h_c : Altura del espacio que ocupa el volumen de aire.

r_{cf} : Radio de la cámara de fermentación

r_c : Radio del espacio que ocupa el volumen de aire.

Teniendo estas expresiones, se le dan valores a X y así se determinan los parámetros constructivos del digestor. Para determinar cuáles son los valores óptimos de los parámetros para la construcción del digestor se busca la interrelación entre el digestor, la cámara de fermentación y el aire que ocupa en la parte superior de la caneca, según las condiciones preestablecidas.

Dónde:

$$V_{cf} = (0,75 \sim 0,80)V_d$$

$$V_c = (0,25 \sim 0,20)V_d$$

Dónde:

V_{cf} : Volumen de la cámara de fermentación.

V_d : Volumen del digestor

7.7. Metodologías para el cálculo de la producción de biogás

De manera general, para determinar la producción de biogás, se podrá utilizar la siguiente ecuación.

$$Y_v = \left(\frac{B_o * V_s}{R} \right) \left(1 - \left(\frac{K}{RM - 1 + K} \right) \right)$$

Dónde:

Y_v : Producción diaria de metano por volumen de influente l/l.

VS. Concentración de Sólidos Volátiles Totales (TVS) en g/l de influente por día.

Bo: Ultimo rendimiento de metano, l/g de TVS en %

R: Tiempo de retención en días.

M: Velocidad máxima de crecimiento microbiano t^{-1} (μ_{max}).

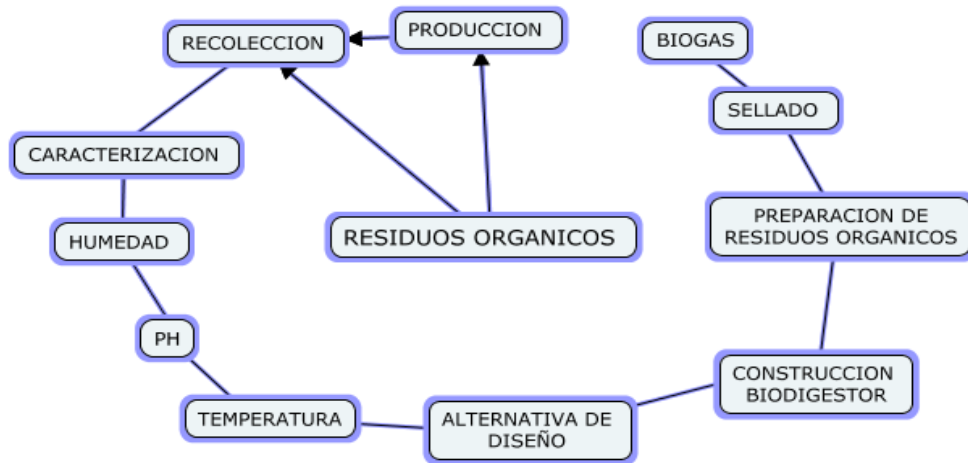
K: Parámetro cinético relacionado al consumo de sustrato (adimensional).

(DAMAS,M.R., 2000)

8. RESULTADOS

8.1. Descripción

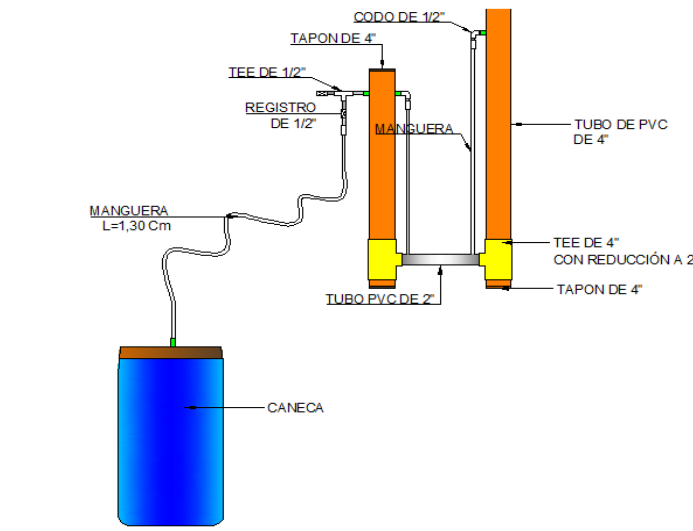
Ilustración 17. Procedimiento.



Fuente: Autores

8.1.1. Diseño del biodigestor.

Ilustración 18. Diseño biodigestor 2.

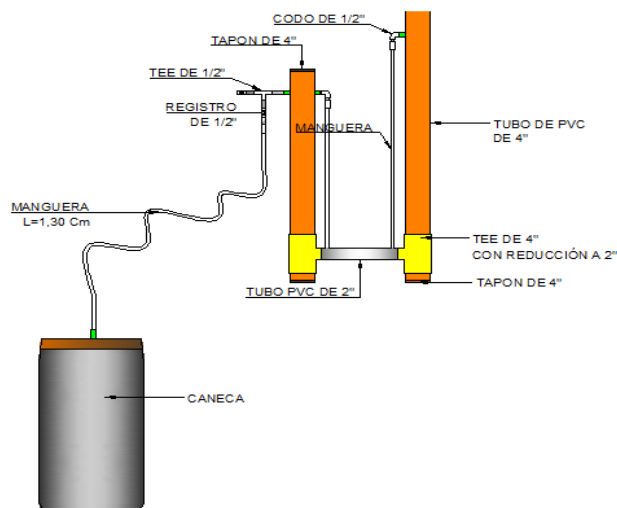


Fuente: Autores

En las ilustraciones 18 y 19 se observan los biodigestores utilizados en la investigación, están conformados por una caneca con una capacidad de 114 litros; lo suficientemente grande para la producción de biogás, la caneca está conectada con una manguera de $\frac{3}{4}$ " por donde se va a evacuar el biogás producido llegando al prototipo diseñado para medir la cantidad de biogás producido con la diferencia de alturas gracias a la presión que va ejerciendo.

El prototipo diseñado para medir la producción de biogás está construido con dos tubos PVC de 4" uno pequeño y uno grande los cuales están conectados a un tubo PVC de 2", el tubo pequeño de 4" está conectado a la caneca de 114 litros; con una tee de $\frac{3}{4}$ " la cual hace distribuir el biogás producido al tubo más pequeño de 4" o a la salida total del biogás, los dos tubos de 4" y el tubo de 2" formando una U la cual debe estar llena de agua a un término medio para que a medida que pasa el tiempo y el biodigestor está produciendo biogás, este se transporta por la manguera y llega al tubo más pequeño de 4" que se encuentra completamente sellado con un tapón, al estar sellado el tubo de 4" se ejerce una presión el cual ayuda a que el agua disminuya y valla aumentando el tubo más grande de 4" este tubo debe estar sin tapón para dejar que el agua se desplace libre mente.

Ilustración 19. Diseño biodigestor 3.



Fuente: Autores

Las mangueras que se ven conectadas a los tubos de 4" en las ilustraciones 18 y 19, ayudan a medir el desplazamiento de agua para así poder calcular el biogás que se produce diariamente o semanalmente según cuando se empieza a observar la diferencia de altura entre los dos tubos de 4".

8.1.2. Recolección de los residuos orgánicos.

Los residuos orgánicos fueron recogidos de la plaza de mercado del sur de la ciudad de Tunja para realizar la mezcla del biodigestor, en la plaza de mercado se localizaron los lugares en donde se encontraba los puntos o lugares de agrupación de todos los residuos orgánicos recaudados de la plaza de mercado en los días de mercado, para el primer biotipo de estudio se recolectaron 55 kg de residuos orgánicos, utilizando menos del 1% de los desechos orgánicos producidos diariamente cuando hay mercado en la plaza de mercado, al terminar de seleccionar y recolectar los residuos orgánicos en la plaza de mercado del sur y la plaza de mercado del Norte de la ciudad de Tunja, se transportaron dichos residuos hasta el laboratorio de la universidad Santo Tomas para luego proceder a realizar la caracterización para determinar la cantidad de residuos y su peso determinado, además se toman muestras para determinar las humedades de cada uno de los residuos orgánicos recolectados.

Para el segundo y tercer biotipo de estudio se realizó el mismo procedimiento del primer biotipo, pero ya en esta recopilación de residuos orgánicos se tenía previsto que se iba a utilizar, después de una investigación que se realizó a cada uno de los residuos orgánicos utilizados en el primer biotipo, buscando sus propiedades químicas para analizar cuál era su cantidad de hierro, ya que el hierro es una de las principales propiedades para la producción de biogás al acelerar la producción de biogás, por tanto se recorrió toda la plaza de mercado para encontrar los residuos orgánicos que se requerían para los dos prototipos de estudio, se recolectaron 73 kg de residuos orgánicos, se transportaron al laboratorio de la universidad para realizar su respectiva caracterización para determinar la cantidad de cada residuo.

Adicional a esto se le añadieron 10 kg de materia fecal de cerdo para ayudar aún más en la producción de biogás.

Ilustración 20. . Proceso de recolección.



Fuente: Autores

8.1.3. Caracterización.

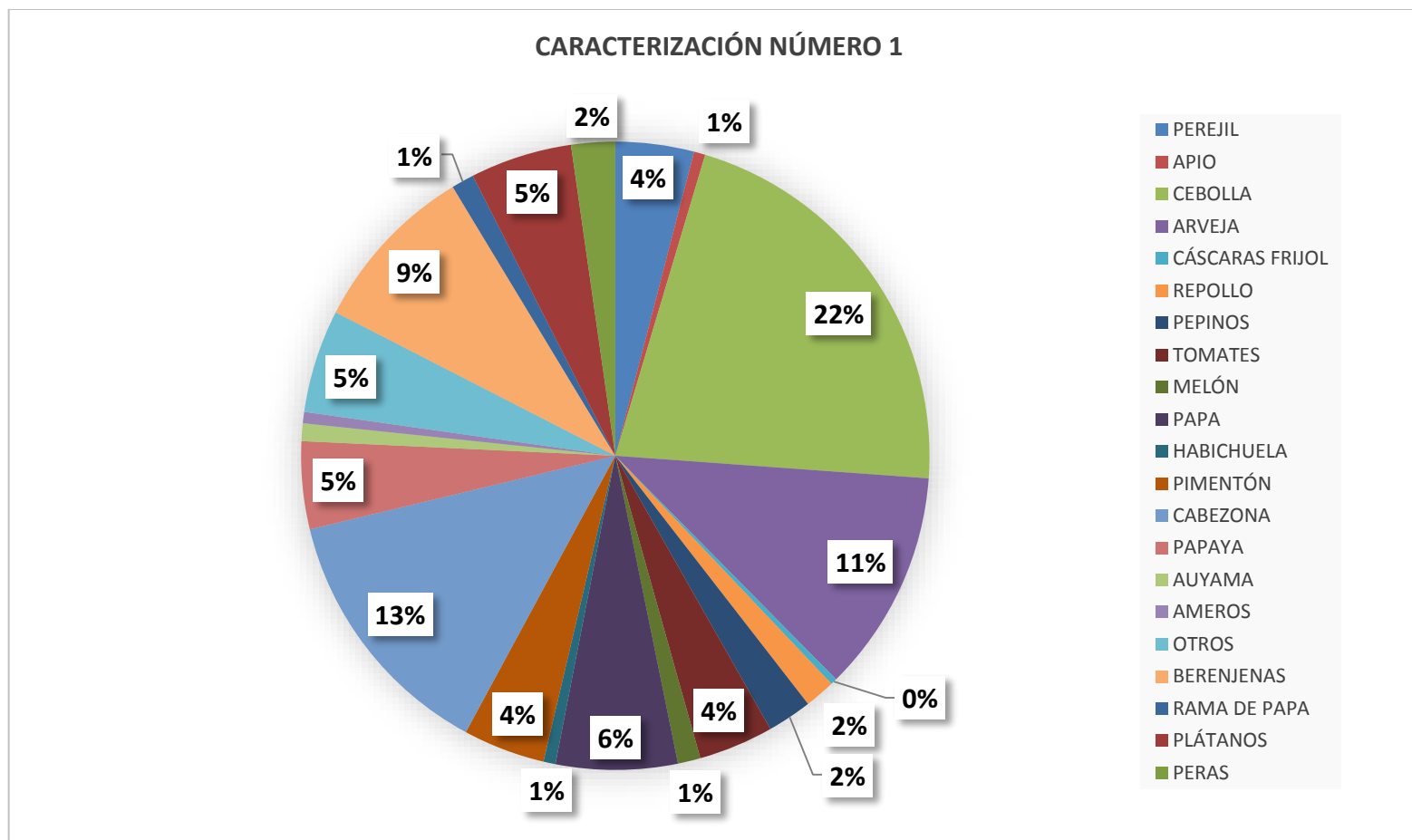
En los siguientes gráficos se muestran las listas de residuos orgánicos utilizados en el primer, segundo y tercer biodigestor realizados como estudio para la producción de biogás, se muestra el peso utilizado en cada uno de los biodigestores elaborados (caracterización).

Tabla 1. Caracterización de los residuos orgánicos del prototipo 1.

RESIDUOS	TOTAL		%
	Kg	Gr	
PEREJIL	2.22	2220	4%
APIO	0.32	320	1%
CEBOLLA	11.84	11840	22%
ARVEJA	6.3	6300	11%
CÁSCARAS FRIJOL	0.18	180	0%
REPOLLO	0.86	860	2%
PEPINOS	1.26	1260	2%
TOMATES	2.12	2120	4%
MELÓN	0.64	640	1%
PAPA	3.44	3440	6%
HABICHUELA	0.34	340	1%
PIMENTÓN	2.32	2320	4%
CABEZONA	7.34	7340	13%
PAPAYA	2.48	2480	5%
AUYAMA	0.5	500	1%
AMEROS	0.32	320	1%
OTROS	2.92	2920	5%
BERENJENAS	4.84	4840	9%
RAMA DE PAPA	0.64	640	1%
PLÁTANOS	2.88	2880	5%
PERAS	1.24	1240	2%

Fuente: Autores

En la tabla 1. Se muestra la lista de los residuos orgánicos utilizados en el primer biodigestor



Gráfica 1. Representación gráfica de la caracterización 1

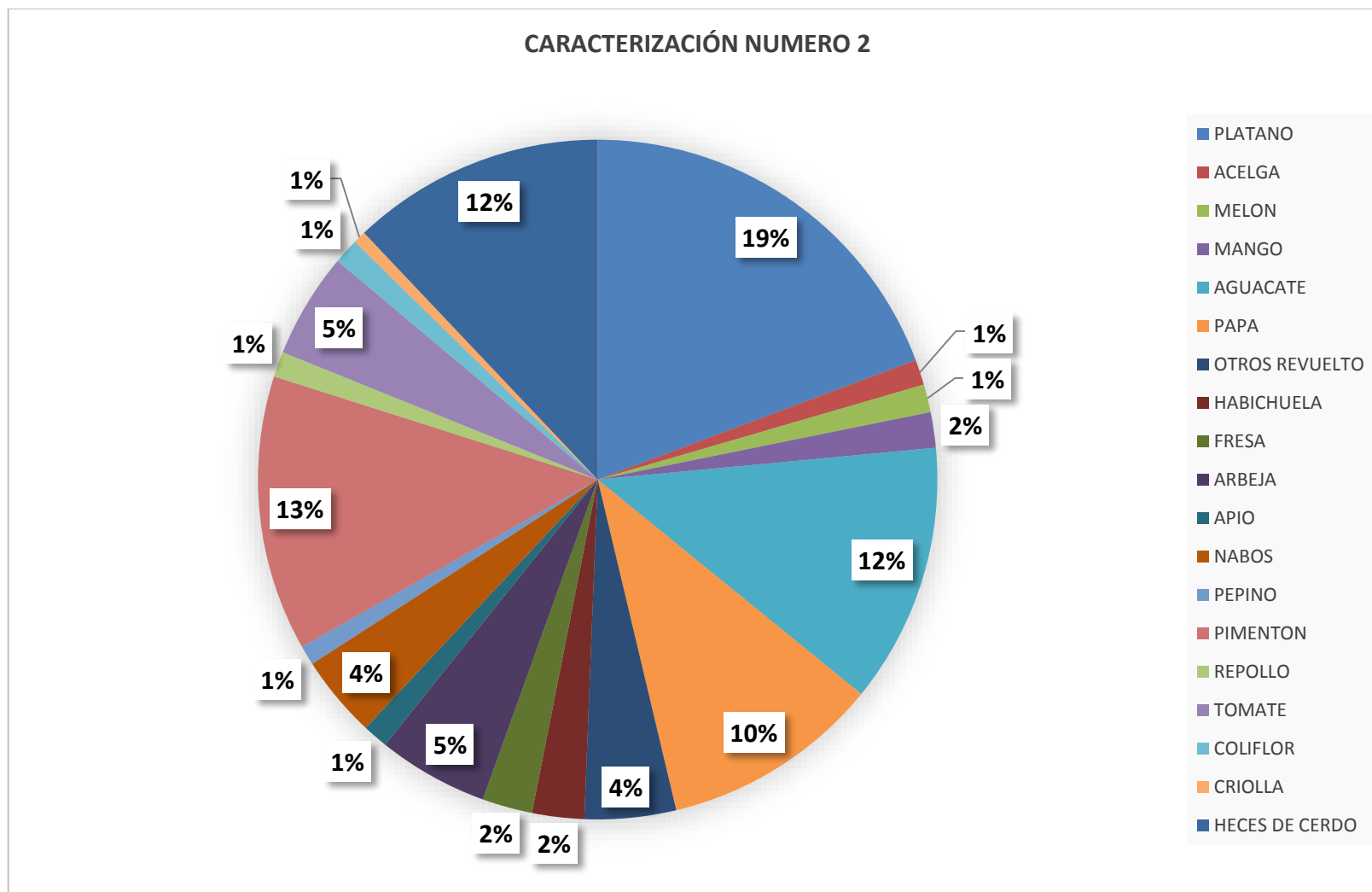
En la gráfica 1 se muestra la caracterización 1 en donde se observa los residuos orgánicos con su respectivo porcentaje, en el cual se ilustra que se utilizó un 22 % de cebolla, un 13 % de cebolla cabezona, un 11% de arveja, 9% de berenjenas, 6% de papa, 5% de papaya y plátano, 4% de perejil, tomates y pimentón, 2% de repollo, pepino y peras, con el 1% está el apio, melón, habichuela, auyama, ameros y rama de papa.

Tabla 2. Caracterización de los residuos orgánicos del prototipo 2.

RESIDUOS	TOTAL		%
	Kg	Gr	
PLATANO	15.98	15980	19%
ACELGA	1	1000	1%
MELON	1.1	1100	1%
MANGO	1.4	1400	2%
AGUACATE	10.24	10240	12%
PAPA	8.63	8630	10%
OTROS REVUELTO	3.6	3600	4%
HABICHUELA	2.05	2050	2%
FRESA	1.98	1980	2%
ARBEJA	4.36	4360	5%
APIO	1	1000	1%
NABOS	3.25	3250	4%
PEPINO	0.77	770	1%
PIMENTON	10.85	10850	13%
REPOLLO	1	1000	1%
TOMATE	4.15	4150	5%
COLIFLOR	1	1000	1%
CRIOLLA	0.5	500	1%
HECES DE CERDO	10	10000	12%

Fuente: Autor

En la tabla 2. Se muestra la lista de los residuos orgánicos utilizados en el segundo biodigestor.



Gráfica 1. Representación gráfica de la caracterización 2.

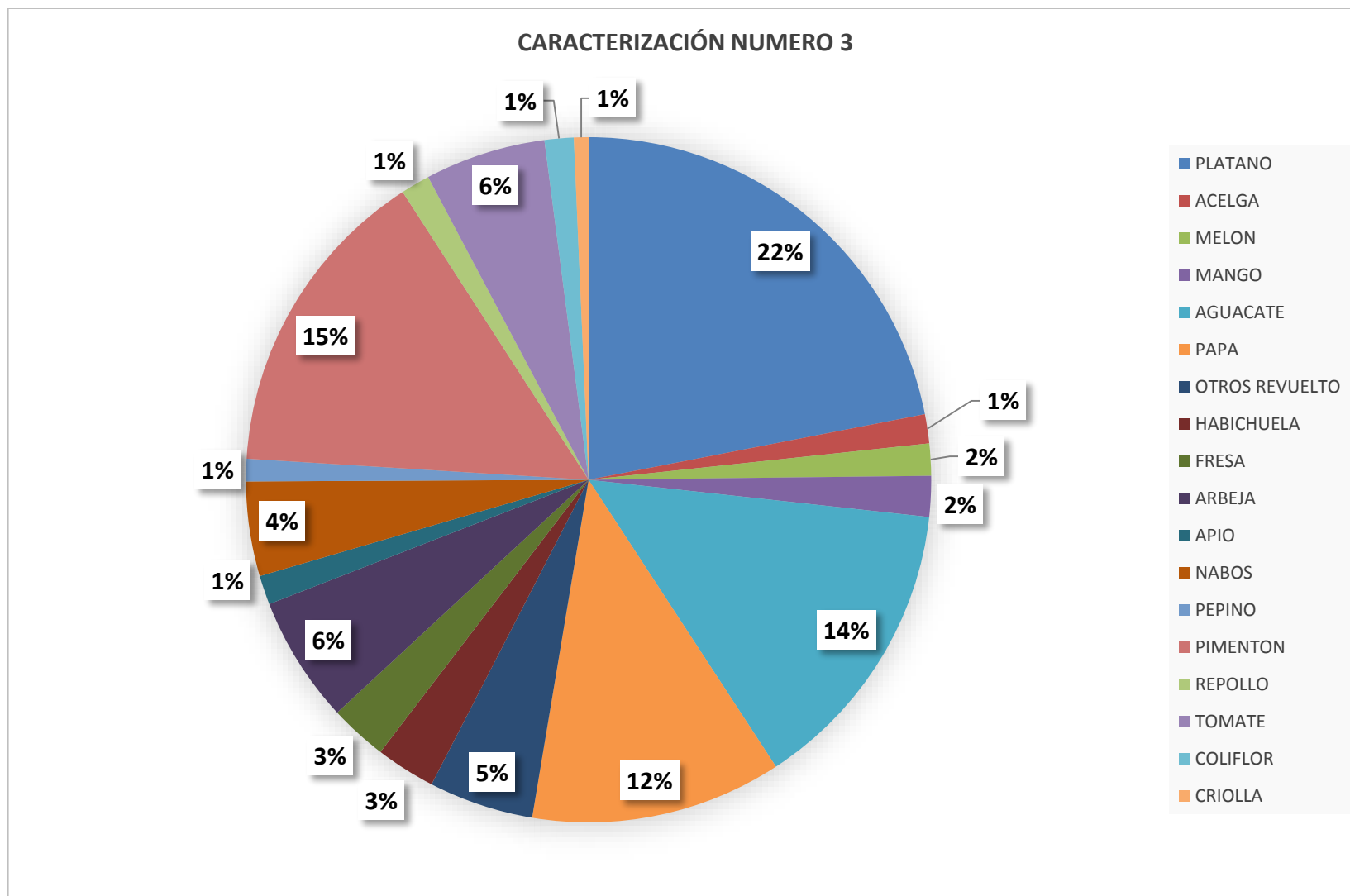
En la gráfica 2 se muestra la caracterización 2 en donde se observa los residuos orgánicos con su respectivo porcentaje, en el cual los resultados arrojan que hubo un 19 % de plátano, un 13% de pimentón, un 12 % de aguacate, materia fecal de cerdo, un 10% de papa, un 10% de metería fecal, un 5% de arveja, tomate, 4% de nabos, un 2% de mango, habichuela, fresa, y con un 1% está la acelga, melón, apio, pepino, repollo, coliflor y papa criolla.

Tabla 3. Caracterización de los residuos orgánicos del prototipo 3.

RESIDUOS	TOTAL		%
	Kg	Gr	
PLATANO	15.98	15980	19%
ACELGA	1	1000	1%
MELON	1.1	1100	1%
MANGO	1.4	1400	2%
AGUACATE	10.24	10240	12%
PAPA	8.63	8630	10%
OTROS REVUELTO	3.6	3600	4%
HABICHUELA	2.05	2050	2%
FRESA	1.98	1980	2%
ARBEJA	4.36	4360	5%
APIO	1	1000	1%
NABOS	3.25	3250	4%
PEPINO	0.77	770	1%
PIMENTON	10.85	10850	13%
REPOLLO	1	1000	1%
TOMATE	4.15	4150	5%
COLIFLOR	1	1000	1%
CRIOLLA	0.5	500	1%

Fuente: Autores

En la tabla 3. Se muestra la lista de los residuos orgánicos utilizados en el tercer biodigestor.



Gráfica 2. Representación gráfica de la caracterización 3.

En la gráfica 3 se muestra la caracterización 3 en donde se observa los residuos orgánicos con su respectivo porcentaje, los resultados arrojan que hubo un 19 % de plátano, un 13% de pimentón, un 12 % de aguacate, materia fecal de cerdo, un 10% de papa, un 5% de arveja, tomate, 4% de nabos, un 2% de mango, habichuela, fresa, y con un 1% está la acelga, melón, apio, pepino, repollo, coliflor y papa criolla.

8.1.4. Humedad.

Tabla 4. Calculo de la humedad de los residuos orgánicos del biodigestor 1.

	TOTAL		HUMEDAD
	Kg	gr	%
PEREJIL	2.22	2220	441.67
APIO	0.32	320	1383.33
CEBOLLA	11.84	11840	966.66
ARVEJA	6.3	6300	423.80
CASCARAS DE FRIJOL	0.18	180	104.76
REPOLLO	0.86	860	1118.18
PEPINOS	1.26	1260	1611.11
TOMATES	2.12	2120	2022.22
MELON	0.64	640	1600
PAPA	3.44	3440	342.85
HABICHUELA	0.34	340	1193.33
PIMENTON	2.32	2320	1191.66
CABEZONA	7.34	7340	1520
PAPAYA	2.48	2480	1955.55
AUYAMA	0.5	500	987.09
AMEROS	0.32	320	33.33
OTROS	2.92	2920	

BERENJENAS	4.84	4840	1437.03
RAMA DE PAPA	0.64	640	315.38
PLATANOS	2.88	2880	654.34
PERAS	1.24	1240	952.63

Fuente: Autores

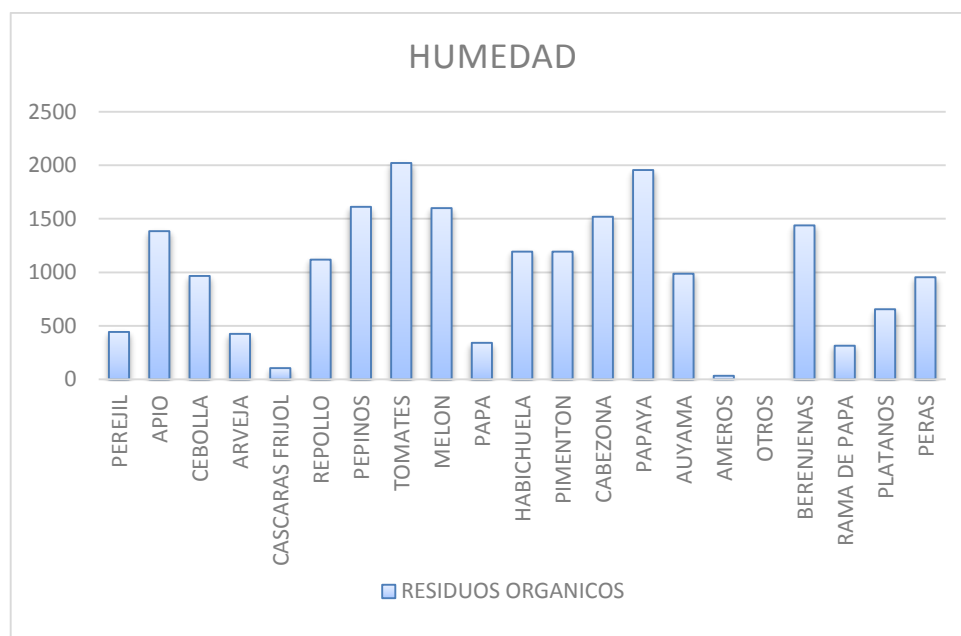
La tabla 4 muestra la humedad de cada uno de los residuos orgánicos en porcentaje.

$$W = \frac{(Mh - Ms)}{(Ms - Mr)} * 100$$

Mh peso recipiente más la muestra de residuo orgánico húmedo gr.

Ms peso recipiente más la muestra de residuo orgánico seco gr.

Mr peso del recipiente gr.



Gráfica 3. Humedades.

8.1.5. Preparación y sellamiento del biodigestor.

Para la preparación de la mezcla de los tres (3) biodigestores se manejó el mismo procedimiento: una vez realizada la caracterización, calculada la humedad de los residuos orgánicos se procedió con la trituración de los 55 kg para el primer biodigestor y 73 kg para el segundo y tercer biodigestor, de residuos orgánicos recolectados en las plazas de mercado de la ciudad de Tunja.

La relación que se manejaba para el proceso de triturado de los residuos orgánicos era de 2:3 residuos, agua, más cantidad de agua para ayudar a que los residuos tuvieran mucha más humedad y se cumpliera con el proceso de producción.

Ilustración 21. Biodigestor.



Fuente: Autores

Al culminar con el proceso de trituración se realiza uno de los procedimientos más importantes que es el sellado del biodigestor en el cual hay que ser rigurosos para que quede bien sellado y no se presente ninguna fuga de aire, ya que tiene que cumplir con el

proceso anaeróbico esto igual con los otros dos biodigestores, en uno de los biodigestores se le agrego heces de cerdo para ayudar con el proceso de producción de biogás.

Ilustración 22. Biodigestor al iniciar el proceso.



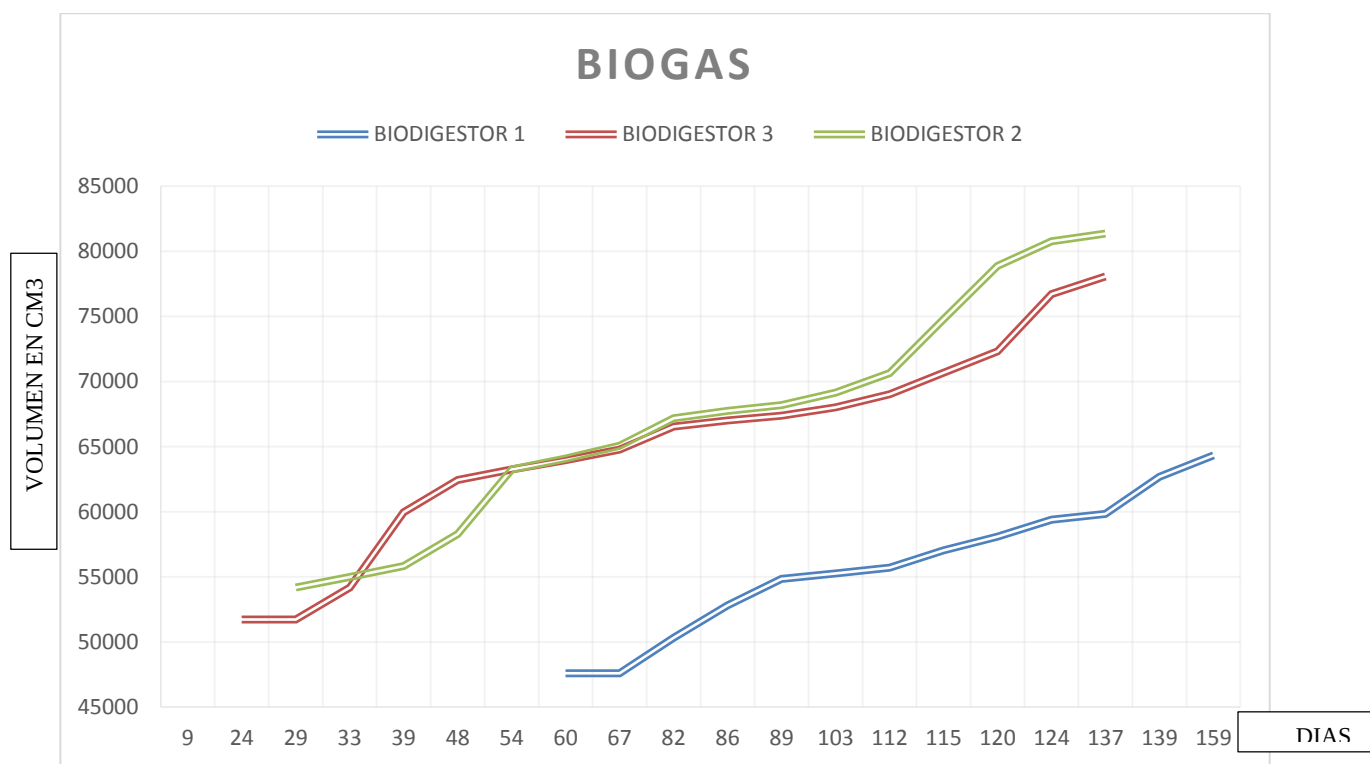
Fuente: Autores

Ilustración 23. Biodigestor al final del proceso.



Fuente: Autores

8.2. Evolución y aumento de la producción de biogás



Gráfica 4. Evolución y aumento producción de gas en biodigestor 1.

En la gráfica 5 se observan los resultados de los tres experimentos realizados en la investigación, se muestra cómo va ascendiendo la producción de gas metano en relación al tiempo. Se ve que la línea azul es el primer biodigestor empezando a mostrar resultados de la producción de biogás en el día 67 produciendo 47610.23 cm³ de biogás, culminando con una producción de 64335.38 cm³ de biogás.

La línea verde muestra el biodigestor numero 2 al cual se le adiciono materia fecal de cerdo y seleccionando todos los residuos orgánicos con más hierro en sus propiedades químicas se ve el aumento notorio con respecto a la gráfica roja que solo tiene los residuos orgánicos con más hierro, se observa que tardo más tiempo en comenzar a producir biogás pero termino con mayor producción con respecto a los 2 otros biodigestores.

8.3. Resultados del primer biodigestor

Tabla 5. Medidas biodigestor 1.

DATOS DE LA CANECA	
DIAMETRO (cm)	45.72
ALTURA (cm)	80

Fuente: Autores.

En la tabla 5. Se observan las medidas de la caneca utilizada en el primer biodigestor.

Tabla 6. Cantidad de residuos orgánicos depositada.

LLENADO DE LA CANECA		
	ALTURA DE LLENADO	VOLUMEN (cm3)
INICIO (cm)	51	83728.34
FIN (cm)	51	83728.34

Fuente: Autores.

En la tabla 6. Se encuentra la altura de llenado de la caneca, antes de ser llenada y la altura que se encontró a la hora de destapar la caneca con su respectivo volumen ocupado por los residuos orgánicos triturados.

Tabla 7. Cálculo de biogás producido.

PROTOTIPO/GAS METANO					
	LONGITUD (cm)	DIAMETRO (")	DIAMETRO (cm)	AREA (cm2)	VOLUMEN (cm3)
MANGUERA	138	1/2"	1.27	1.26	174.81
TUBO PVC	25	1/2"	1.27	1.26	31.66
REGISTRO PVC	25	1/2"	1.27	1.26	31.66
TEE PVC	25	1/2"	1.27	1.26	31.66
TUBO PVC	30	4"	10.16	81.07	2432.19
MANGUERA	20	1/2"	1.27	1.26	25.33
CANECA	29		45.72	1641.73	47610.23

Fuente: Autores

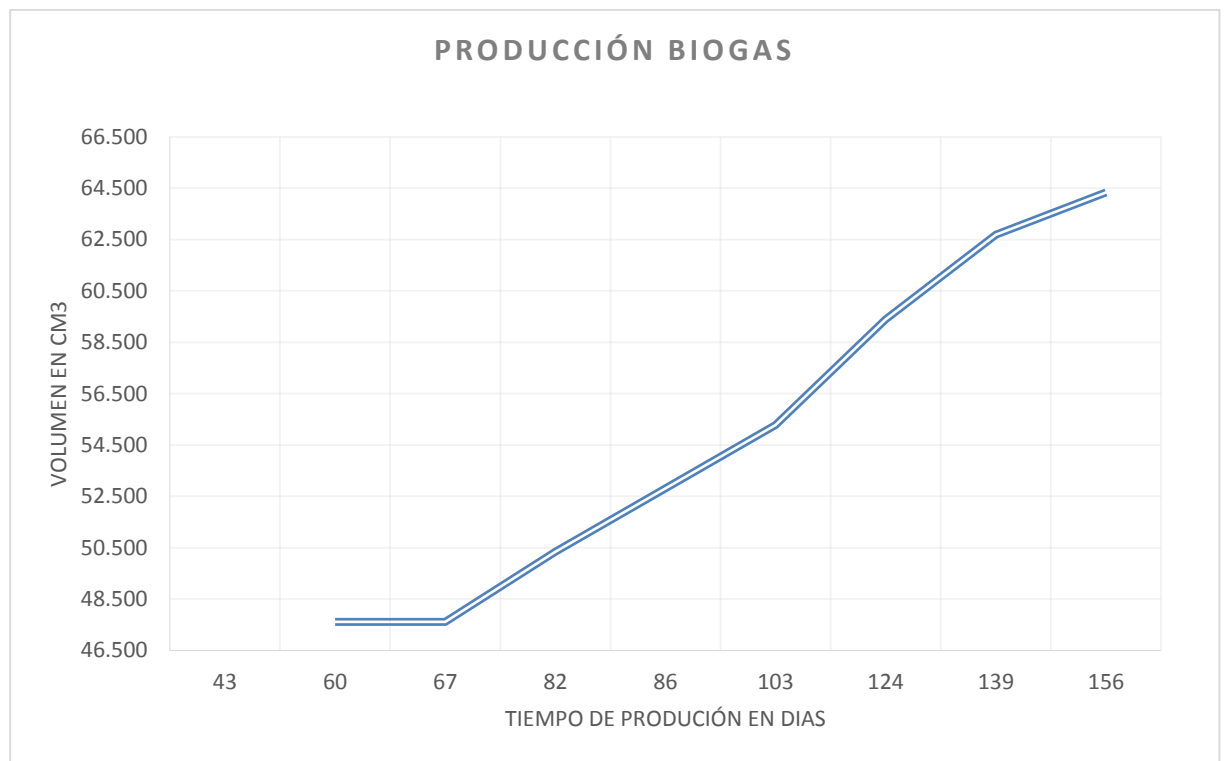
En la tabla 7. Se muestra el cálculo del área y el volumen de cada accesorio utilizado para el almacenamiento de biogás producido.

Tabla 8. Datos producción biodigestor 1.

CUADRO TOMA DE DATOS MODELO 1 BIODIGESTOR				
FECHA	NIVEL TUBO 1	NIVEL TUBO 2	DIFERENCIA	PRODUCCION cm3
15 DE MAYO	60	60	0	
26 DE MAYO	59.9	59.9	0	
10 DE JUNIO	59.7	59.7	0	
17 DE JUNIO	59.6	59.6	0	
24 DE JUNIO	59.4	59.4	0	
10 DE JULIO	59.4	59.4	0	47610.23
16 DE JULIO	59.9	59.9	0	47610.23
30 DE JULIO	59	59	0	50337.58
3 DE AGOSTO	58.8	59.1	30	52807.78
19 DE AGOSTO	58.7	59.3	60	55277.98
9 DE SEPTIEMBRE	58.4	59.5	110	59394.98
23 DE SEPTIEMBRE	58.2	59.7	150	62688.58
09 DE OCTUBRE	58.1	59.8	170	64335.38

Fuente: Autores

En la tabla 8. Se muestran los datos obtenidos en los cuatro meses y 25 días que duró en funcionamiento el biodigestor con los datos del prototipo construido para determinar la cantidad de biogás con su respectiva cantidad producida en cm3.



Gráfica 5. Evolución y aumento producción de gas en biodigestor 1.

En la gráfica 6 se observa la producción de biogás, volumen de producción vs tiempo de producción, después de 60 días del proceso de digestión anaeróbica se empieza a producir biogás, al finalizar con el proceso después de 4 meses y 25 días se produjeron 64335.38 cm³ de biogás.

8.4. Resultados del segundo biodigestor

Tabla 9. Medidas biodigestor 2.

DATOS DE LA CANECA	
DIAMETRO (cm)	45.72
ALTURA (cm)	80

Fuente: Autores

En la tabla 9. Se observan las medidas de la caneca utilizada en el segundo biodigestor.

Tabla 10. Cantidad de residuos orgánicos depositada.

LLENADO DE LA CANECA		
	ALTURA DE LLENADO	VOLUMEN (cm3)
INICIO (cm)	48	78803.14
FIN (cm)	48	78803.14

Fuente: Autores

En la tabla 10. Se encuentra la altura de llenado de la caneca antes de ser llenada y la altura que se encontró a la hora de destapar la caneca con su respectivo volumen ocupado por los residuos orgánicos triturados.

Tabla 11. Cálculo de biogás producido.

PROTOTIPO/GAS METANO					
	LONGITUD (cm)	DIAMETRO (")	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm2)	VOLUMEN (cm3)
MANGUERA	138	1/2"	1.27	1.26	174.81
TUBO PVC	25	1/2"	1.27	1.26	31.66
REGISTRO PVC	25	1/2"	1.27	1.26	31.66
TEE PVC	25	1/2"	1.27	1.26	31.66
TUBO PVC	30	4"	10.16	81.07	2432.19
MANGERA	20	1/2"	1.27	1.26	25.33
CANECA	32		45.72	1641.73	52535.43

Fuente: Autores

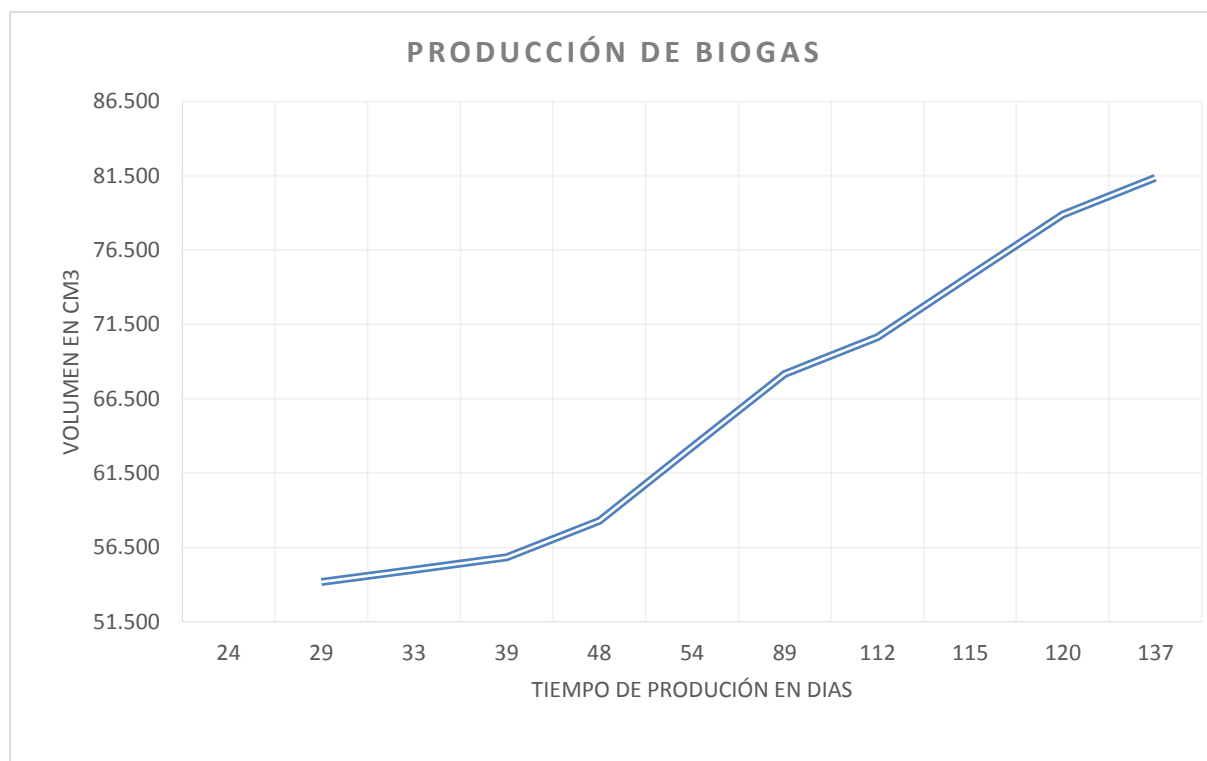
En la tabla 11. Se muestra el cálculo del área y el volumen de cada accesorio utilizado para el almacenamiento de biogás producido.

Tabla 12. Datos producción biodigestor 2.

CUADRO TOMA DE DATOS MODELO 2 BIODIGESTOR				
FECHA	NIVEL TUBO 1	NIVEL TUBO 2	DIFERENCIA	PRODUCCIÓN cm ³
30 DE OCTUBRE	60	60	0	
3 DE NOVIEMBRE	60	60	0	
5 DE NOVIEMBRE	59.8	59.8	0	
6 DE NOVIEMBRE	59	59	0	
20 DE NOVIEMBRE	58	58.3	30	52535.43
24 DE NOVIEMBRE	57.8	58.3	50	54182.23
27 DE NOVIEMBRE	55.8	56.4	60	55005.63
2 DE DICIEMBRE	55.5	56.2	70	55829.03
10 DE DICIEMBRE	54.8	55.8	100	58299.22
15 DE DICIEMBRE	54.2	55.8	160	63239.62
19 DE ENERO	49.8	52	220	68180.02
11 DE FEBRERO	48.6	51.1	250	70650.22
13 DE FEBRERO	47.6	50.6	300	74767.22
17 DE FEBRERO	46	49.5	350	78884.22
3 DE MARZO	45.5	49.3	380	81354.41

Fuente: Autores

En la tabla 12. Se muestran los datos obtenidos en los cuatro meses y 4 días que duró en funcionamiento el biodigestor con los datos del prototipo construido para determinar la cantidad de biogás, con su respectiva cantidad producida en cm³.



Gráfica 6. Evolución y aumento producción de biogás en biodigestor 2.

En la gráfica 7 se observa la gráfica de producción de biogás, volumen de producción vs tiempo de producción. Después de 29 días del proceso de digestión anaerobia se empieza a producir biogás, al finalizar con el proceso después de 4 meses y 4 días se produjeron 81354.42 cm³ de biogás.

8.5. Resultados del tercer biodigestor

Tabla 13. Medidas biodigestor 3.

DATOS DE LA CANECA	
DIAMETRO (cm)	45.72
ALTURA (cm)	80

Fuente: Autores

En la tabla 13. Se observan las medidas de la caneca utilizada en el tercer biodigestor.

Tabla 14. Cantidad de residuos orgánicos depositada

LLENADO DE LA CANECA		
	ALTURA DE LLENADO	VOLUMEN (cm3)
INICIO (cm)	51	83728.34
FIN (cm)	51	83728.34

Fuente: Autores

En la tabla 14. Se encuentra la altura de llenado de la caneca antes de ser sellada y la altura que se encontró a la hora de destapar la caneca con su respectivo volumen ocupado por los residuos orgánicos triturados.

Tabla 15. Cálculo de biogás producido.

PROTOTIPO/GAS METANO					
	LONGITUD (cm)	DIAMETRO (")	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm2)	VOLUMEN (cm3)
MANGUERA	118	1/2"	1.27	1.26	149.47
TUBO PVC	25	1/2"	1.27	1.26	31.66
REGISTRO PVC	25	1/2"	1.27	1.26	31.66
TEE PVC	25	1/2"	1.27	1.26	31.66
TUBO PVC	30	4"	10.16	81.0	2432.19
MANGUERA	20	1/2"	1.27	1.26	25.33
CANECA	29		45.72	1641.73	47610.23

Fuente: Autores

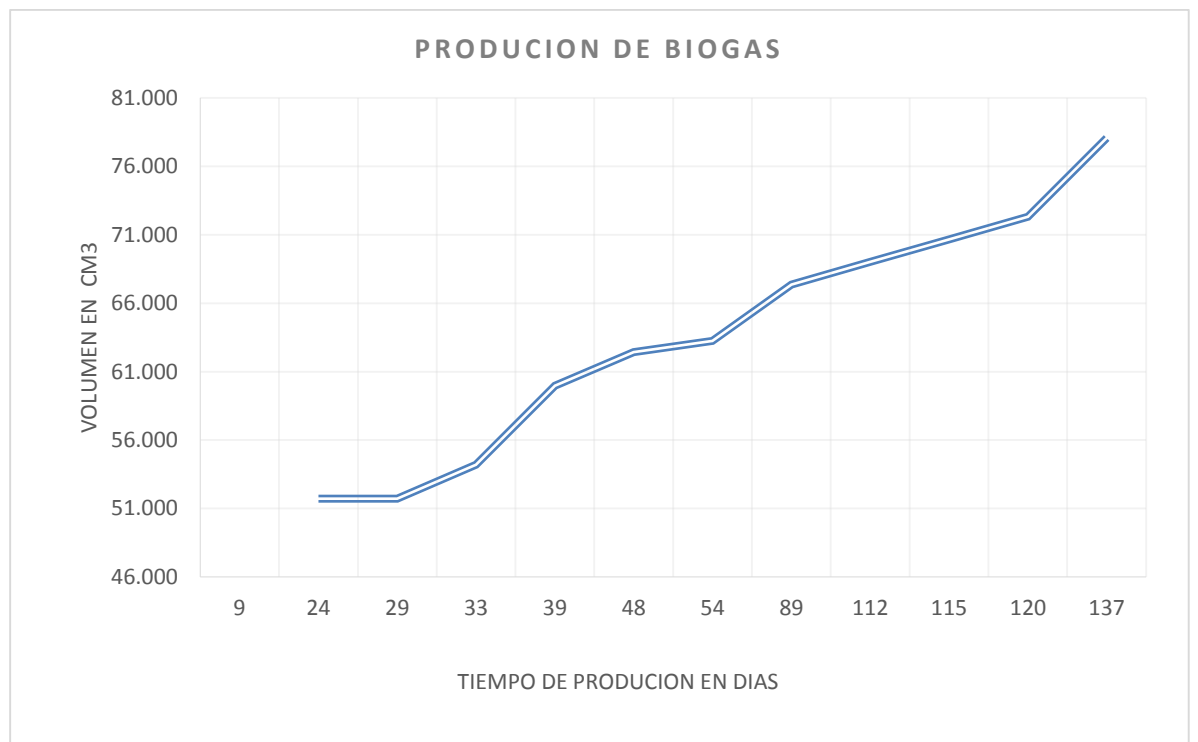
En la tabla 15. Se muestra el cálculo del área y el volumen de cada accesorio utilizado para el almacenamiento de biogás producido.

Tabla 16. Datos producción biodigestor 3.

CUADRO TOMA DE DATOS MODELO 3 BIODIGESTOR				
FECHA	NIVEL TUBO 1	NIVEL TUBO 2	DIFERENCIA	PRODUCCIÓN cm3
30 DE OCTUBRE	52	52	0	
3 DE NOVIEMBRE	51.5	51.5	0	
5 DE NOVIEMBRE	50.5	50.5	0	
6 DE NOVIEMBRE	51	51	0	47610.23
20 DE NOVIEMBRE	51	51.5	50	51727.23
24 DE NOVIEMBRE	51	51.5	50	51727.23
27 DE NOVIEMBRE	50.5	51.3	80	54197.43
2 DE DICIEMBRE	50	51.5	150	59961.22
10 DE DICIEMBRE	49	50.8	180	62431.42
15 DE DICIEMBRE	48.5	50.4	190	63254.82
19 DE ENERO	48.5	50.9	240	67371.82
11 DE FEBRERO	46.8	49.4	260	69018.62
13 DE FEBRERO	45.4	48.2	280	70665.42
17 DE FEBRERO	44.6	47.6	300	72312.22
3 DE MARZO	44	47.7	370	78076.02

Fuente: Autores

En la tabla 16. Se muestran los datos obtenidos en los cuatro meses y 4 días que duró en funcionamiento el biodigestor con los datos del prototipo construido para determinar la cantidad de biogás con su respectiva cantidad producida en cm3.



Gráfica 7. . Evolución y aumento producción de gas en biodigestor 3.

En la gráfica 8 se observa la gráfica de producción de biogás, volumen de producción vs tiempo de producción. Después de 24 días del proceso de digestión anaeróbica se empieza a producir biogás, al finalizar con el proceso después de 4 meses y 4 días se produjeron 78076.02 cm³ de biogás.

9. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados del Biodigestor 1 indican que se produjeron 64335.38 cm³ de biogas en un periodo de tiempo de 4 meses y 25 días, la producción de biogas se empezó a evidenciar a partir del día 60 del ciclo, durante el día 60 al día 67 se mantuvo la tendencia de aumento de la producción de biogas, pero a partir del día 67 la tendencia tuvo un cambio y la producción se incrementó notablemente hasta terminar con más de 62500 cm³ de biogas; en tanto que el biodigestor 2 los resultados indican que se produjeron 82354.42 cm³ de biogas en un ciclo que tuvo una duración de 4 meses y 4 días, se comenzó a evidenciar la producción de biogas a partir del día 29 mediante el cambio del nivel del agua, y es a partir del día 112 que se evidencia una tendencia de incremento hacia el mayor punto de producción del biogas que finalmente se presenta el día 137 con más de 81500 cm³ de biogas producido.

Los resultados del biodigestor 3 indican que se produjeron 78076 cm³ en un ciclo de 4 meses y 4 días, se comenzó a evidenciar la producción de biogas después del día 24, la tendencia es irregular y se producen cambios notables en la producción, pero es en los últimos 10 días que se presenta un incremento notable para superar los 76000 cm³.

El biodigestor 1 tuvo un ciclo con una duración de tiempo de 4 meses y 25 días, tiempo superior al ciclo 2 y 3 que tuvo una duración de 4 meses y 4 días ya que luego de realizar el procedimiento con el biodigestor 1 se continuo la investigación y se aplicaron varios correctivos e incentivos para los biodigestores 2 y 3 como fueron el uso de solo residuos orgánicos que presentaran cantidades de hierro en sus componentes, el proceso biodigestor 1 fue realizado en el laboratorio de la universidad con una temperatura ambiente, en cambio los biodigestores 2 y 3 fueron llevados a espacio abierto de la universidad donde se encontraba un invernadero utilizado en área ambiental, esto produjo mayores temperaturas y una presunta aceleración del proceso así como una mayor cantidad de biogas producido.

El biodigestor 2 fue realizado con la misma cantidad de residuos del biodigestor 3 pero se agregaron 10 kg de heces de cerdo con el fin de comprobar el comportamiento respecto a los otros 2 biodigestores que hacían parte de la investigación arrojando como resultado una mayor cantidad de producción de biogas.

El diseño del biodigestor utilizado en el proyecto fue escogido luego de investigaciones, principalmente en la “metodología de bajo costo para la cuantificación de biogas en biodigestores de laboratorio” (Menna et al., 2007); debido a su forma de medir la producción del biogas por medio del cambio de niveles de agua, con la diferencia que el modelo presentado en el proyecto fue construido con materiales de bajo costo totalmente reutilizables y fáciles de conseguir en nuestro medio ingenieril.

En la caracterización realizada para el primer prototipo se clasificaron los residuos obteniendo como resultado la presencia de perejil, apio, cebolla larga, arveja, cascaras de frijol, repollo, pepino, tomate, melón, papa, habichuela, pimentón, cebolla cabezona, papaya, auyama, ameros de mazorca, ramas de papa, plátanos y peras. De estos residuos como característica se encontró que el melón, papaya, tomate, auyama, plátanos, peras y pimentones presentan un estado de madurez avanzado llegando al estado de putrefacción lo cual pudo ser favorable para el proceso en el biodigestor, en cambio los ameros de mazorca, las ramas de papa, la cebolla larga y las cascaras de arveja no servían debido a que su contextura no permitía su fácil trituración y por ende es más demorado el proceso que tienen que hacer las bacterias para poder procesar dichos residuos, se toma la decisión de no utilizar varios de los residuos en los siguientes prototipos debido a que podrían hacer más largo el proceso de producción de biogas. Para el prototipo 2 los residuos encontrados en la caracterización fueron: plátano, acelga, melón, mango, aguacate, papa, habichuela, fresa, arveja, apio, nabos, pepino, pimentón, repollo tomate, coliflor, papa criolla, un total de 73 kg. Todos los residuos fueron escogidos con el fin de que en sus propiedades tuvieran una cantidad de hierro por ser una propiedad que puede inferir en el proceso de producción de biogas, además a este prototipo se le agregaron 10 kg de heces fecales de cerdo con el fin de comparar su ciclo de producción de biogas con el prototipo 3.

Para el prototipo 3 los residuos encontrados en la caracterización fueron: plátano, acelga, melón, mango, aguacate, papa, habichuela, fresa, arveja, apio, nabos, pepino, pimentón, repollo tomate, coliflor, papa criolla, un total de 73 kg. Todos los residuos fueron escogidos con el fin de que en sus propiedades tuvieran una cantidad de hierro por ser una propiedad que puede inferir en el proceso de producción de biogas, en este prototipo no se agregó ningún otro componente aparte de los residuos triturados.

Para el parámetro de Humedades se tomaron muestras de cada uno de los residuos, en los cuales se toma el peso inicial de la muestra, se deja la muestra en el horno de laboratorio con una temperatura superior a 110° C por un tiempo mínimo de 24 horas, luego se saca la muestra y se pesa nuevamente para luego hacer el cálculo y determinar las humedades de los residuos utilizados. Los tomates fueron los residuos que mayor humedad presentaron con un valor de 2022.22%, los pepinos con 1611.11% el melón con 1600%, mientras que los de menor humedad fueron las cascara de frijol con 104.76%.

10. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en el Biodigestor 2 y 3 son evidentes en cuanto a que hubo mayor producción que el biodigestor 1, por tanto las causas pudieron ser el uso de un invernadero para aumentar la temperatura, la utilización de heces de cerdo y los residuos utilizados con mayor cantidad de hierro.
- Con base a la caracterización realizada, se concluyó que en las plazas de mercado de Tunja no hacen ningún tratamiento ni buen manejo a los residuos orgánicos producidos diariamente en la plaza de mercado, se evidencia que así como es recolectado. es transportado al relleno sanitario incluyendo otros desechos, disminuyendo la posibilidad de poder reutilizarlo.
- La utilización de los prototipos “biodigestores” presenta grandes ventajas para la utilización y tratamiento de los desechos orgánicos, además ayuda a disminuir la contaminación que se presenta los días de mercado en las plazas de mercado de la ciudad de Tunja.
- Otra evidencia de la producción de biogas fue el olor característico a putrefacción
- Al implementar la construcción de biodigestores para el manejo de los residuos orgánicos se convierte en un proyecto ventajoso para la biodiversidad y la sostenibilidad de la misma.
- Como se puede apreciar en la gráfica 30 de la investigación se evidencia un aumento exponencial en la producción de biogás en el experimento 2 en el cual se adiciono materia fecal de cerdo.

- Comparando los dispositivos experimentales utilizados en este proyecto, el biodigestor 1 nos sirvió como estudio para el mejoramiento de los otros dos biodigestores realizados sacando el mejor provecho del primero.
- Si bien el instrumento y metodología usados en el desarrollo del proyecto han estado limitados en cuanto a tiempo y cuestiones financieras, se puede concluir la investigación como satisfactoria ya que se ha cumplido con su cometido inicial que es la producción de biogás por medio de biodigestores.
- En este punto es también necesario exponer que, el aprovechamiento de los residuos orgánicos producidos en las plazas de mercado de Tunja, y su posterior proceso, son una opción viable ya que, en la investigación se demuestra que es posible el aprovechamiento de estos residuos, y por ende, es una alternativa a la disposición final de los mismos y sirve como coadyuvante en pos de generar procesos que mitiguen el impacto ambiental, y sean de utilidad para la comunidad en general.
- El diseño de Biodigestor implementado en la investigación es útil, toda vez que se cumpla con satisfacción el proceso de transformación de los residuos orgánicos.
- La producción de biogás también es un modelo de energía alternativa que ofrece beneficios adicionales ya que continúa con el ciclo de reutilización total de la materia inicial utilizada, el ciclo puede continuar con la utilización del material producido como abono.
- Esta investigación puede ser el inicio de posteriores investigaciones, acerca de diversos temas afines a la producción de biogás a partir de residuos orgánicos.

- Como conclusión de la investigación damos como efectiva la producción de biogás mediante la utilización de materia fecal de cerdo, por los resultados obtenidos durante el tiempo que duro en producción el biodigestor.

11. RECOMENDACIONES

- Una opción de beneficio al medio ambiente es reutilizar la mayor cantidad de materiales como tubos, canecas, mangueras y accesorios posibles para la construcción de biodigestores.
- Es importante realizar un estudio de la mezcla, con el fin de diseñar un sistema de agitación para realizar comparaciones en la duración del proceso y si es pertinente aplicarlas para mejorar la producción de biogás.
- Se recomienda hacer un estudio de la variación de temperatura para poder identificar a que temperaturas se produce mayor cantidad de biogás.
- De la alternativa analizada en el caso de la poca disponibilidad de heces, se recomienda hacer algunas pruebas en distintos prototipos de biodigestores, variando la cantidad, para determinar las concentraciones optimas de producción de biogás.
- Como un alto porcentaje de los residuos generados de las plazas de mercado son orgánicos, se recomienda utilizar este potencial para la elaboración de compost y humus luego del proceso de digestión, luego de culminar el ciclo de producción de biogas.
- Diseñar campañas de concientización de los actores sociales en la plaza de mercado que permitan una recolección adecuada y eficaz de los residuos orgánicos.
- Es importante dar a conocer los sistemas de tratamiento de residuos orgánicos y de la materia fecal de los animales utilizando biodigestores, ya que en nuestro país se conoce muy poco de los beneficios que tiene el tratar adecuadamente los excrementos y en especial los residuos orgánicos, reduciendo niveles de contaminación y generando fuentes de energía alternativa.

BIBLIOGRÁFICAS

- Arauz, Jeremías. Ulrich, Pablo. (2015). Biodigestores. Universidad Nacional Rio Negro.
- Arce, Jimmy. (2011). Diseño de un Biodigestor para generar Biogas y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del Litoral. Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil. Ecuador.
- Bosch, Adrià. (2011). Estudio de Viabilidad de la instalación de una planta de metanización en un buque crucero. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Bragachini, Mario. (2013). Capacitación técnica a Alemania y visita a una planta de Biogas. Producción Agroindustrial del INTA.
- Chasnyk, O. Solowski, G. Shkarupa, O. (2015). Historical, technical and economic aspects of biogas development: Case of Poland and Ukraine. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Chen, Y. Cheng, JJ. Creamer, Ks. (2007). Inhibition of Anaerobic Digestion Process. Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University.
- Chen, JL. Ortiz, R. Steele, TW. Stuckey, DC. (2014). Toxicants Inhibiting Anaerobic Digestion: a Review. US National Library of Medicine National Institutes Of Health
- Choy, Maximiliano. Ortecho, Ronald. (2013). Biogas y Bioabonos producidos en biodigestores tubulares. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Corona, Iván. (2007). Biodigestores. Universidad autónoma de Hidalgo. México.
- DAMAS, M. R.: Plantas de biogás de pequeñas dimensiones para comunidades rurales, Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba, (plegable), 2000.
- Domínguez, Pedro. Ly, Julio. (2000). Biodigestores como componentes de sistemas agropecuarios integrados. Instituto de Investigaciones Porcinas. La Habana Cuba.
- Energías Renovables en Colombia. ENERGREENCOL s.a.s. (2016).
- Forget, Astrid. (2011). Manual de diseño y de difusión de biodigestores familiares, con enfoque en biodigestores tubulares.
- EGGLESTOR, S.: Directrices del IIPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernaderos, IIPCC, Japón, 2006

GIL, E. E.: Energía y biofertilizantes, Manual de producción y utilización, Buenos Aires, Argentina, 1983.

González, Juan. Duque, Carlos. Galeano, Carlos. (2007). Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogas utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. Revista Ingeniería e investigación.

González, María. Pérez, Sergio. Wong, Arnoldo. Bello, Ricardo. Yáñez, Gustavo. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. Revista Argentina de Microbiología.

GRUNDEY, K.: Tratamiento de los residuos agrícolas y ganaderos, Editorial GEA, Barcelona, España, 1982.

Gualsaqui, Juan. Morales, Angélica. Tocain, Diego. (2014). Producción de Biogas.

Gunnerson, Charles. Stuckey, David. (1986). Anaerobic Digestión. Principles and practices for Biogas Systems.

Gutiérrez, Jhimy. Reginaldo, Edwin. Rojas, Liz. Vega, Luis. (2013). Prototipo de un generador de energía eléctrica mediante el movimiento de una turbina impulsada por gas. Universidad Nacional del centro del Perú.

Hilbert, Jorge A. (2011). Manual para la producción de Biogas Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A-Castelar.

Khan, Ershad. Martin, Andrew. (2016). Review of biogas digester technology in rural Bangladesh. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

López, Claudia. López, Omar. (2009). Diseño, construcción y puesta en operación de un biodigestor anaeróbico continuo para el laboratorio de ingeniería química de la facultad de ciencias químicas de la universidad veracruzana. Universidad Veracruzana.

Manual granja Integral Autosuficiente. (2004). Bogotá D.C Colombia. Editorial San pablo.

Marchaim, Uri. (1992). Technological Centre Kiryat Shmona, Israel Rome.

Martí, Jaime. (2008). Biodigestores Familiares. Guía de diseño de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano. Bolivia

MARTÍNEZ, C. J. A.: Desarrollo de una nueva familia de biodigestores y de una tecnología mecanizada para la producción de fertilizantes, Proyecto de investigación, etapa 01, La Habana, Cuba, 2003.

Medina, Juan. (2009).Tunja, Ciudad que emerge. Revista Credencial Historia.

Menna, M. Branda, J. Murcia, G. Garín, E. Belliski, G. Moschione, E. (2007). Metodología de bajo costo para la cuantificación de Biogas en biodigestores de laboratorio. Grupo de estudio de energías alternativas y ambiente (GEEAA) Universidad Nacional de Mar del Plata.

Migliavacca, Julieta. (2011). Tratamiento Anaeróbico de Efluentes Cítricos con Captación de Biogas para la reducción de Gases de Efecto Invernadero. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Tucumán.

OBERG, E. and D. JONES: Manual universal de la técnica mecánica, Barcelona, España, 1979.

Ortiz, Alfonso. (2010). Estudio para el aprovechamiento del Biogas como fuente de Energía renovable para la generación de electricidad en una granja. Universidad Veracruzana, Xalapa.

Proactiva Medio Ambiente Colombia Relleno Sanitario Doña Juana S.A E.S.P. (2016).

SÁNCHEZ, E. J. V.: Introducción a la producción de biogás, Cárdenas, Matanzas, Cuba, (inédito) 2005.

Schimid, La. Lipper, Rz. (1969). Proc conf. On agric

SGI&C-FNCER. (2014). Sistema de Gestión de información y conocimiento en fuentes no convencionales de energía renovable en Colombia.

Stafford, D.A. Hawkes, Dennis. Horton, Rex. (1980). Methane Production From waste Organic Matter.

Yongfu, Y. Yibo, Q. Yunxuan, G. Hui, Z. Yuansheng, X. Chenyong, X. Guoyuan, F. Jienquan, X. (1989). The biogas technology in China. Agricultural Publishing House.

Zapata, Álvaro. (1997). Utilización del Biogas para generación de electricidad.

Zubiria, Felipe. (2014). Codigestió anaerobia de microalgues I fangs primaris de depuradora. Escola de Camins.

(Comunicado, 31 De Julio de 2014). Disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario Pirgua. Alcaldía mayor de la ciudad de Tunja.

**ANEXO 1. RESIDUOS SOLIDOS PRODUCIDOS EN TUNJA, INFORMACION
BRINDADA POR SERVITUNJA**

SERVITUNJA S.A. E.S.P.
Nit. 900.159.283-6
Vigilado por la Superintendencia de Servicios Públicos



ST.10
Tunja, 08 de Abril de 2015

Doctora
NINI JOHANA JIMENEZ NEIRA
Administradora
PLAZAS DE MERCADO DE TUNJA
Ciudad

Asunto: Respuesta solicitud información.

Respetada Doctora Nini Johana,

Reciba un cordial saludo y los mejores deseos de parte de **SERVITUNJA S.A. E.S.P.**

De acuerdo a su requerimiento, **SERVITUNJA S.A. E.S.P.**, se permite dar respuesta al mismo remitiendo la información solicitada en cuanto a la cantidad de residuos sólidos recolectados en la Plaza del sur durante el año 2014.

Esperamos de esta manera a ver dado respuesta a su requerimiento.

Cordialmente,

JORGE HUMBERTO GONZALEZ ORDUZ
Gerente

Proyectó: Dilla G.

RELACION RESIDUOS SOLIDOS GENERADOS

RUTA 802			
Meses 2014	Valores		Viajes
	Ton. Plaza Sar		
ENE	122.46		18
FEB	103.46		16
MAR	115.09		19
ABR	82.96		14
MAY	128.59		19
JUN	102.83		16
JUL	122.60		18
AGO	107.66		17
SEP	88.33		15
OCT	109.01		17
NOV	103.77		20
DIC	110.44		18
Total general	1,297.28		207



JORGE HUMBERTO GONZALEZ ORDUZ
 Gerente
 SERVITUNJA S.A. E.S.P.

ANEXO 2. DOCUMENTO DE COMUNICACIÓN ACERCA DEL RELLENO SANITARIO DE PIRGUA- ALCALDIA DE TUNJA.



Tunja, 31 de julio 2014

SEÑORES ALCALDES Y/O EMPRESAS DE SERVICIOS PÚBLICOS QUE DISPONEN RESIDUOS EN EL RELLENO SANITARIO PIRGUA

Asunto: Disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario Pírgua

Cordial saludo:

Por medio de la presente, la Alcaldía Mayor de Tunja, como titular de la licencia ambiental No. 2752 de 2010, se permite comunicar a los señores Alcaldes, Alcaldesas y Gerentes de las Empresas de Servicios Públicos que disponen residuos sólidos en el relleno sanitario de Pírgua, así como a la opinión pública, las siguientes determinaciones:

CONSIDERACIONES PREVIAS

1. El Municipio de Tunja atraviesa una difícil situación, por cuenta del lleno de la capacidad total del actual relleno, situación que limita la vida útil del mismo hasta el mes de Abril de 2015, según se contempla en el documento técnico presentado por la empresa SERVITUNJA S.A.E.S.P. en meses anteriores, ante CORPOBOYACÁ y el Municipio de Tunja.
2. El Alcalde Municipal de la ciudad de Tunja, tiene el deber de raigambre Constitucional de asegurar la prestación de servicios públicos a su cargo, propendiendo por el bienestar general de la comunidad de Tunja. En igual sentido, la ley 142 de 1994, en sus artículos 5 y 6, enfatiza la responsabilidad de la administración municipal sobre la prestación adecuada del servicio público de aseo en su componente de disposición final, bajo el interés particular de su comunidad, situación ésta que hasta el momento se ha cumplido, irradiando un beneficio complementario a las 64 administraciones municipales que han dispuesto sus residuos sólidos por espacio de 7 años, sin que a la fecha las mismas, hayan previsto alternativas de solución definitiva a sus casos particulares, tal como lo establecieron en su momento el Decreto 1713 de 2002, la Resolución 1045 de 2003, el Decreto 838 de 2005, ratificado a través del Decreto 2981 de 2013, situación que impide al Municipio de Tunja mantener el principio de solidaridad en las actuales condiciones para este componente del servicio, evitando poner en riesgo la comunidad Tunjana.
3. Considerando que se trata de un impedimento de carácter técnico, por cuanto la necesidad de ampliación del actual relleno pasa por tener primero el cambio en el uso del suelo en las zonas potenciales, el Municipio de Tunja ha adelantado todas las gestiones técnicas y administrativas tendientes a lograr las apropiaciones presupuestales necesarias para resolver esta problemática, como en efecto, suscribió el convenio interadministrativo N° 039 con el Instituto de Estudios Urbanos de la Universidad Nacional de Colombia, el pasado 28 de Septiembre de 2012 con el objeto de "AUNAR ESFUERZOS PARA EL PROCESO DE AJUSTE Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE TUNJA", con un plazo de ejecución de siete (7) meses.



Cl. 19 No 9 - 95 Edificio Municipal Tunja - Boyacá

Conn. 157 BI 7405770 Ext. 1304 - 1305 - 1306 / E-mail: desarrollo@tunja.gov.co



4. Así mismo, el Municipio de Tunja suscribió el convenio Interadministrativo N° 060 de 2013, con el Instituto de Estudios Urbanos de la Universidad Nacional de Colombia, con el objetivo de "Aunar esfuerzos técnicos, administrativos y financieros entre el Municipio de Tunja y la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Instituto de Estudios Urbanos (Acuerdo 12 de 2005 del consejo superior universitario) para la actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS de Tunja en armonía con la revisión del POT Municipal". Como producto del convenio de actualización del PGIRS, se generó el anexo I denominado identificación de áreas potenciales para la ubicación del sistema de disposición final de residuos sólidos del Municipio de Tunja.
5. Sustentado en los informes y productos generados en base a los convenios interadministrativos antes citados, se presentó, en fecha 02 de Diciembre de 2013, la exposición de motivos para modificar excepcionalmente el Plan de Ordenamiento Territorial adoptado mediante Acuerdo Municipal 0014 de 2001.
6. La Corporación edilicia aprobó el proyecto de Acuerdo Municipal para Modificar Excepcionalmente el Plan de Ordenamiento Municipal hoy vigente, el cual fue aprobado por el Honorable Concejo Municipal (Mediante Acuerdo Municipal No. 008 de 2014) y que resulta de vital trascendencia para el asunto aquí tratado porque se constituye en la solución a la situación que hoy en día atraviesa el Relleno Sanitario Pírgua.
7. No obstante, es necesario aclarar que los predios en los cuales se proyecta hacer la ampliación del relleno sanitario de Pírgua, no son propiedad del Municipio, situación que exige el cumplimiento de trámites legales para su adquisición, posteriormente, cuando los predios se hayan adquirido, se debe realizar la modificación de los estudios presentados ante CORPOBOYACÁ, para ampliación de la licencia ambiental del relleno sanitario, para luego proceder a hacer la adecuación del terreno y poner en operación, lo que significa un tiempo mínimo que oscila entre 10 y 12 meses.
8. Resulta entonces evidente, que aún con todo el esfuerzo que ha desplegado la Administración Municipal de la ciudad de Tunja, el tiempo requerido para adecuar las nuevas instalaciones de ampliación del relleno de pírgua, es superior al tiempo estimado para el cierre definitivo del actual relleno, por lo que NO podemos seguir operando con el ritmo actual de disposición, más aún cuando hay muchos municipios que no evidencian procesos de reducción de residuos en el sitio de origen y menos aún, vislumbran soluciones regionales de fondo.
9. Aunque la Empresa Departamental de Servicios Públicos, así como CORPOCHIVOR Y CORPOBOYACÁ, han estado pendientes del proceso, adquiriendo el compromiso de gestionar proyectos regionales de disposición de residuos, en los términos de su competencia legal, pues a la fecha no se conoce la existencia de un proyecto concreto que resuelva esta problemática.
10. A pesar de que el Plan de Desarrollo Departamental de Boyacá, contempla el Programa estratégico 1.3 "Manejo integral de residuos sólidos" cuyo objetivo es "Promover y apoyar las actividades conducentes a garantizar el manejo adecuado de los residuos sólidos, desde su generación hasta su eliminación, teniendo en cuenta las actividades de separación en la fuente, recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento" y el subprograma 1.3.1.1. "Aprovechamiento y disposición final de residuos sólidos" cuyo objeto es "Definición y conformación de nodos regionales que permitan facilitar técnica y financieramente el manejo de los residuos sólidos municipales, mediante la integración de municipios aledaños", no se ha logrado disminuir la presión del relleno sanitario Pírgua, pues no se ha dado apertura a otras celdas regionales para la disposición final de residuos sólidos.



RESULTADOS DE LA EVALUACION DE DISPOSICIÓN POR MUNICIPIO

Después de haber realizado un seguimiento continuo a cada uno de los municipios que disponen sus residuos sólidos en el relleno sanitario de Tunja, se observó que existen municipios que no han mostrado interés alguno en reducir el volumen generado por sus municipios y que son dispuestos en el relleno sanitario de Tunja. Sin embargo, otros han realizado una tarea juiciosa con los habitantes de sus municipios y han reflejado esto en la disminución del volumen que disponen mensualmente.

A continuación se presentan estos resultados:

MUNICIPIOS CON MAYOR COMPROMISO DE REDUCCION

	PROMEDIO 2012	PROMEDIO 2014	REDUCCION	% +/-
ALBANIA	10,40	4,54	-5,86	-56,34
CAMPO HERMOSO	9,81	5,61	-4,20	-42,82
CHIQUEZA	2,31	1,36	-0,96	-41,30
CUCAITA	12,49	6,30	-6,19	-49,55
GUAYATA	17,65	8,25	-9,39	-53,23
LA CAPILLA	6,07	2,07	-4,00	-65,90
MARIPI	12,98	4,98	-8,00	-61,63
NUEVO COLON	14,12	7,22	-6,89	-48,83
PAEZ	16,70	7,87	-8,83	-52,87
PACHAVITA	3,68	2,15	-1,53	-41,57
SAN EDUARDO	6,27	3,61	-2,66	-42,47
SERVIMARQUEZ - BOYACA	5,41	3,00	-2,41	-44,47
SERVIMARQUEZ - TIBANA	34,91	19,49	-15,42	-44,16
SIACHOQUE	15,71	8,13	-7,59	-48,28
SOMONDOCO	19,11	10,41	-8,70	-45,53
TENZA	20,41	10,86	-9,55	-46,80
TURMEQUE	32,24	10,80	-21,43	-66,48
VIRACACHA	4,95	2,25	-2,70	-54,49

MUNICIPIOS QUE NO HAN MOSTRADO REDUCCIÓN EN LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS, DE ACUERDO CON LOS COMPROMISOS ESTABLECIDOS

MUNICIPIO
BARBOSA - REGION LIMPIA
MONQUIRA
VILLA DE LEYVA - ESVILLA
VELEZ
GUATEQUE
SAMACA
MIRAFLORES
TOCA
PUENTE NACIONAL - ACUAPUENTE
VENTAQUEMADA
TUTA
SUTAMARCHAN
SANTANA
PAUNA
SACHICA

DETERMINACIONES

Así las cosas y atendiendo a las consideraciones técnicas y jurídicas explicadas ampliamente, el Municipio de Tunja, a través de la Secretaría de Desarrollo, con el fin de tomar medidas preventivas que eviten cualquier tipo de crisis o emergencia ambiental a los habitantes de Tunja y buscando preservar sus derechos a gozar de un ambiente sano, pero garantizando igualmente, en la medida de las posibilidades de carácter técnico, administrativo y económico, preservar el principio de solidaridad con los demás municipios que disponen sus residuos en el relleno Pírgua, comunica las siguientes determinaciones:

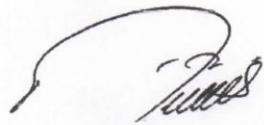
1. El Municipio de Tunja, a través de SERVITUNJA, recibirá en el relleno sanitario de Pírgua, los residuos sólidos provenientes de los municipios que a la fecha están disponiendo, siempre y cuando cumplan las restricciones de volumen señaladas en la tabla adjunta, que van del 10 al 30% mínimo de reducción de residuos en un tiempo límite de 60 días.

2. La Secretaría de Desarrollo de la ciudad de Tunja, directamente o por medio de quien delegue para tal fin, realizará monitoreo semanal a la disposición de cada Municipio o Empresa de Servicios Públicos que dispone residuos en el relleno Pírgua, con el fin de evidenciar la reducción exigida.
3. Los Municipios y Empresas de servicios públicos que disponen en el relleno Pírgua, tienen un tiempo máximo de 60 Días, para lograr el porcentaje de reducción exigido, contado a partir del primero (1) de Agosto de 2014, lo que significa que, de no lograr tal reducción, no podrá seguir disponiendo a partir del primero (1) de octubre del presente año. Así mismo, la reducción exigida debe permanecer durante todo el tiempo de disposición o mientras persistan las actuales condiciones.
4. Además de la reducción exigida, cada Municipio que dispone residuos sólidos en el relleno Pírgua, deberá presentar su plan de reducción de residuos sólidos, acorde con lo estipulado en el PGIRS y POT o EOT de cada localidad, antes del 30 de septiembre de 2014, como requisito indispensable para seguir disponiendo en las condiciones expresadas.
5. El Municipio de Tunja, solicita de una manera atenta y respetuosa a los entes de control y Corporaciones Autónomas, requerir a los municipios que disponen sus residuos sólidos en el Municipio de Tunja, para que presenten su PGIRS actualizado, así como el POT o EOT, en los cuales se evidencie cuales son las estrategias de manejo y disposición de los residuos sólidos en el corto, mediano y largo plazo, así como las zonas potenciales para disposición final, ya que debido a las circunstancias aquí señaladas, el Municipio de Tunja no podrá mantener el principio de solidaridad por mucho tiempo. Esto, teniendo en cuenta que desde el año 2012 se ha venido comunicando la situación por la que atraviesa el Municipio de Tunja, la cual es de conocimiento de los entes de control y de la ciudadanía, sin que los demás municipios hayan mostrado soluciones reales y de fondo, para la disposición de sus residuos sólidos.
6. Las determinaciones aquí expresadas y comunicadas están sujetas en el corto y mediano plazo, a lo que disponga el PGIRS de la ciudad de Tunja, que se encuentra en evaluación y ajuste normativo.
7. El Municipio de Tunja, solicita de una manera atenta y respetuosa, a la Procuraduría General de la Nación, Superintendencia de Servicios Públicos y demás entes de control, así como a las Corporaciones Autónomas en cuya jurisdicción existan Municipios que estén disponiendo sus residuos sólidos en el relleno de Pírgua, efectuar el seguimiento permanente para que las decisiones aquí estipuladas tengan cabal cumplimiento por parte de los usuarios del relleno.

**TABLA DE CONTROL PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS
EN EL RELLENO SANITARIO DE PIRGUA**

REDUCCION EN 2 MESES	MUNICIPIO	PROMEDIO 2014	TONELADAS TOTAL
-10%	ALBANIA	4,5	4,09
	CAMPO HERMOSO	5,6	5,05
	CHIQUEZA	1,4	1,22
	CUCAITA	6,3	5,67
	GUAYATA	8,3	7,43
	LA CAPILLA	2,1	1,86
	MARIPI	5,0	4,48
	NUEVO COLON	7,2	6,50
	PAEZ	7,9	7,08
	PACHAVITA	2,2	1,94
	SAN EDUARDO	3,6	3,25
	SERVIMARQUEZ - TIBANA	19,5	17,54
	SERVIMARQUEZ - UMBITA	7,6	6,82
	SIACHOQUE	8,1	7,31
	SOMONDOCO	10,4	9,37
	TENZA	10,9	9,77
-20%	TURMEQUE	10,8	9,72
	VIRACACHA	2,3	2,03
	AGUAS DE TOGÜI S.A.E.S.P	7,3	5,86
	ARCABUCO	20,0	16,02
	BERBEO	2,5	1,98
	BRICEÑO	4,9	3,94
	CHITARAQUE	15,5	12,42
	CHIVATA	2,6	2,12
	COMBITA	17,3	13,81
	GACHANTIVA	7,3	5,85
	JENESANO	23,0	18,38
	MACANAL	12,4	9,88
	MOTAVITA	5,0	3,97
	RAMIRIQUI	49,0	39,19
	RONDON	5,7	4,52
	SAN JOSE DE PARE	8,9	7,12
-30%	SANTA SOFIA	13,9	11,10
	SERVIMARQUEZ - BOYACA	3,0	2,40
	SERVIMARQUEZ - CIENEGA	9,1	7,25
	SORA	3,8	3,00
	SORACA	12,3	9,84
	SOTAQUIRA - EMSOTAQUIRA	13,8	11,00
	TINJACA	10,7	8,59
	BARBOSA - REGION LIMPIA	524,4	367,11
	MONQUIRA	236,4	165,45
	VILLA DE LEYVA - ESVILLA	232,8	162,99
	VELEZ	148,1	103,66
	GUATEQUE	126,0	88,22
	SAMACA	120,9	84,60
	MIRAFLORES	80,8	56,57
	TOCA	59,0	41,33
	PUENTE NACIONAL - ACUAPUENTE	54,8	38,39
	VENTAQUEMADA	39,9	27,90
	TUTA	39,5	27,66
	SUTAMARCHAN	38,9	27,25
	SANTANA	37,9	26,50
	PAUNA	26,8	18,76
	SACHICA	21,9	15,35

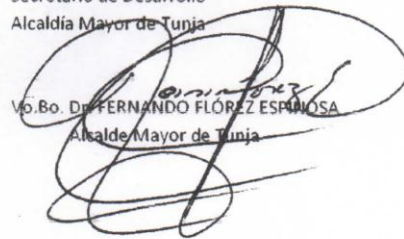
Dado en Tunja, el primero (1) de Agosto de 2014.



LUIS GERARDO ARIAS ROJAS

Secretario de Desarrollo

Alcaldía Mayor de Tunja



Vo.Bo. Dr. FERNANDO FLÓREZ ESPINOSA

Alcalde Mayor de Tunja

ANEXO 3. RECOLECCION DE RESIDUOS ORGANICOS







ANEXO 4. HUMEDAD





ANEXO 5. CONSTRUCCION DE BIODIGESTOR







ANEXO 6. TRITURADOS



ANEXO 7. LLENADO Y SELLADO



ANEXO 8. FIN DEL PROCESO







ANEXO 8. TOMA DEMUESTRA



