

**Diseño de un Biodigestor para el Aprovechamiento de la Materia Orgánica Generada en la
Plaza de Mercado del Municipio de Sogamoso - Boyacá**

María Fernanda Sotaquira Medina

Universidad Nacional Abierta y A Distancia - UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA
Ingeniería Ambiental
Sogamoso
2021

**Diseño de un Biodigestor para el Aprovechamiento de la Materia Orgánica Generada en la
Plaza de Mercado del Municipio de Sogamoso - Boyacá**

María Fernanda Sotaquira Medina

Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniería Ambiental

Directora:

Biviana Esperanza Rocha

Ingeniera Sanitaria y Ambiental, Especialista en Ingeniería de Sistemas Hídricos Urbanos,
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Universidad Nacional Abierta y A Distancia - UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA
Ingeniería Ambiental
Sogamoso
2021

Página de aceptación

Nota de aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Sogamoso, 2021

Resumen

Por medio de la investigación se busca el adecuado diseño del biodigestor que cumpla con los parámetros requeridos para los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado del Municipio de Sogamoso – Boyacá, basados en el documento Actualización Del Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos - PGIRS - Del Municipio De Sogamoso - Boyacá (20 De Diciembre Del 2015).

Para la elaboración del diseño del biodigestor se llevó a cabo la ejecución del diagnóstico de la materia orgánica generada en la plaza de mercado, en primera instancia se procede a su recolección y transporte, dónde son llevados a su disposición final, los carros de la empresa encargados son llevados a la báscula para el pesaje de los residuos orgánicos e ingresan al Relleno Sanitario Regional Terrazas del Porvenir.

A partir de las visitas efectuadas a la plaza de mercado y al relleno sanitario, el análisis estadístico se adquirieron datos de los promedios generados en la semana, mes y año de residuos orgánicos de los últimos años, que permite identificar cual es el modelo apropiado del biodigestor que cumple con las características y condiciones ambientales del municipio de Sogamoso.

A través de la metodología seleccionada se encamina la investigación para el desarrollo del proyecto, esto permite analizar e identificar información a nivel internacional, nacional, regional y local.

Una vez indagado el tema, se busca cuáles son los parámetros que cumple para el diseño del biodigestor. Al implementar esta alternativa se busca lograr o alcanzar que adquiera una gran viabilidad y valorización de estos residuos para la obtención de biogás y los subproductos como lo es Biofertilizante en forma líquida y sólida.

Palabras clave: Residuos sólidos, residuos orgánicos, biodigestor, disposición final, aprovechamiento, biogás, fertilizante.

Abstract

Through research, the proper design of the biodigester is sought that meets the parameters required for organic waste generated in the market place of the municipality of sogamoso - boyacá, based on the document updating the comprehensive solid waste management plan - pgirs - from the municipality of sogamoso- boyacá (december 20, 2015).

To prepare the design of the biodigester, the diagnosis of the organic matter generated in the market place was carried out, in the first instance it is collected and transported, where the company's carts are taken to their final disposal. those in charge are taken to the scale to weigh organic waste and enter the terrazas del porvenir regional sanitary landfill.

From the visits made to the market place and the sanitary landfill, the statistical analysis acquired data of the averages generated in the week, month and year of organic waste in recent years, which allows identifying which is the appropriate model of the biodigester that meets the characteristics and environmental conditions of the municipality of sogamoso.

Through the selected methodology, the research for the development of the project is directed, this allows to analyze and identify information at the international, national, regional and local levels.

Once the issue has been investigated, it is sought what are the parameters that it meets for the design of the biodigester. by implementing this alternative, it is sought to achieve or achieve that it acquires a great viability and valorization of these wastes for obtaining biogas and by-products such as biofertilizer in liquid and solid form.

Keywords: Solid waste, organic waste, biodigester, final disposal, utilization, biogas, fertilizer.

Tabla de Contenido

Introducción	13
Planteamiento del problema.....	14
Justificación	15
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos.....	16
Marco de Referencia	17
Estado del arte	17
Marco Teórico	20
Residuos Sólidos.....	20
Biodigestor.....	23
Prototipos de Biodigestores	28
Biogás.	42
Bioabono.....	44
Marco conceptual	45
Marco legal.....	48
Marco geográfico	50
Localización Del Municipio De Sogamoso- Boyacá.	50
Aspectos Climatológicos.	50
Temperatura.....	50
Humedad Relativa	50
Brillo Solar	51
Nubosidad.....	51
Evaporación	51

Velocidad y Dirección de los Vientos	51
Población	51
Marco Institucional	54
Metodología	56
Etapas del proceso de investigación:.....	56
Herramientas para recopilación de información.	57
Unidad de análisis, Población – Muestra	57
Diagnóstico de la generación de materia orgánica generada en la plaza de mercado	59
Plan Trabajo De Campo.	64
Identificación de los diferentes tipos de biodigestores	78
Conclusiones	114
Recomendaciones	117
Referencias Bibliográficas	118

Índice de Tablas

Tabla 1 Esquema de clasificación Residuos Sólidos.....	21
Tabla 2. Temperatura de Operación.....	24
Tabla 3 Tiempos de retención de materia orgánica	25
Tabla 4 Regímenes de alimentación	35
Tabla 5 Ventajas - Desventajas Biodigestores.....	41
Tabla 6 . Características y propiedades del biogás	42
Tabla 7 Diferentes aplicaciones del biogás.....	44
Tabla 8 Marco legal.	48
Tabla 9 Distribución Por Sectores plaza de mercado Municipio Sogamoso - Boyacá.....	60
Tabla 10 Inicio de la comercialización frutas y verduras	62
Tabla 11 Generación de Residuos Orgánicos Año 2015	71
Tabla 12 Principales Residuos Sólidos Municipio Sogamoso años 2016 y 2017	72
Tabla 13 Principales Residuos Sólidos Municipio Sogamoso años 2018 y 2019	72
Tabla 14 Generación Residuos Orgánicos Año 2020.	74
Tabla 15 Resultados Caracterización plaza de Mercado (2015 -2020)	75
Tabla 16 Resultados Caracterización plaza de Mercado Enero – Febrero – Marzo Año 2021	76
Tabla 17 Análisis de Alternativas para el proceso de la Materia Orgánica por medio de biodigestion.....	79
Tabla 18 Tipos de Biodigestores.....	80
Tabla 19 Análisis Estadístico – Mediana.....	85
Tabla 20 Valores de Diseño	89
Tabla 21 Cálculo de cantidad Agua a adicionar	90
Tabla 22 Frutas y Verduras humedad - poder calorífico	92
Tabla 23 Relación Carbono – Nitrógeno	94
Tabla 24 Producción de biogás a partir de residuos vegetales.....	95
Tabla 25 Prototipo de Diseño Biodigestor - Planta generadora de Biogás.....	106
Tabla 26 Estructura Costos Biodigestor Tipo Industrial Mezcla completa de alta tecnología ...	110
Tabla 27 Costos de Capital	111
Tabla 28 Balance de personal operativo	112
Tabla 29 Elementos de protección personal	113

Tabla 30 Total de costos - Biodigestor Tipo Industrial Mezcla completa de alta tecnología.....	113
--	-----

Índice de Graficas

Gráfica. 1 Comportamiento de la generación de Residuos Sólidos Años 2018-2019 -----	73
Gráfica. 2 Comportamiento de la generación de Residuos Orgánicos Año 2020 -----	74
Gráfica. 3 Materia Orgánica originada en la Plaza de Mercado Sogamoso – Boyacá (2015 - 2020) -----	75
Gráfica. 4 Materia Orgánica producida en la Plaza Mercado Sogamoso – Boyacá Meses Enero – Febrero - Marzo (Año 2021) -----	77

Índice de Figuras

Figura 1 Residuos Sólidos.-----	20
Figura 2 Etapas Gestión de Residuos.-----	22
Figura 3 Biodigestor tipo Taiwanés o tubular-----	29
Figura 4 Biodigestor de "domo flotante" -----	30
Figura 5 Biodigestor de "domo fijo" o biodigestor Chino-----	31
Figura 6 Biodigestor de estructura flexible o de Manga. -----	32
Figura 7 Biodigestor de "tanque tradicional" y cúpula de polietileno -----	33
Figura 8 Digestor Tercera Generación -----	34
Figura 9 Digestores industriales-----	35
Figura 10 Biodigestores de laguna cubierta de media-baja tecnología -----	36
Figura 11 Biodigestores de mezcla completa de alta tecnología. -----	37
Figura 12 Biodigestores semicontinuos o continuos húmedos en dos etapas-----	38
Figura 13 Biodigestores semicontinuos o continuos secos sin manejo del sustrato -----	40
Figura 14 Interior de un digestor de hormigón con protección epoxi en la parte superior -----	40
Figura 15 Vista interna de agitadores verticales de acero inoxidable-----	41
Figura 16 Usos del Biogás -----	43
Figura 17 Sogamoso Boyacá -----	52
Figura 18 Plaza de Mercado Sogamoso – Boyacá-----	53
Figura 19 Plano de la Plaza de mercado -----	59
Figura 20 Relleno Sanitario Terrazas Del Porvenir. -----	87
Figura 21 Localización Prototipo Biodigestor -----	88
Figura 22 Prototipo de Diseño Biodigestor-----	99
Figura 23 Quemadores-----	101

Simbología

Símbolo	Significado.
PH	Potencial Hidrogeno
C-N	Relación Carbono – Nitrógeno.
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
MS	Masa seca
FORSU	Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos; los residuos de comedor entran en esta categoría.
FAO	La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
DQO	Demanda Química Oxígeno

Introducción

Este proyecto va enfocado a implementar prácticas de responsabilidad ambiental, por medio del adecuado tratamiento que requiere la materia orgánica que se produce en las plazas de mercado, buscando mejorar las problemáticas ambientales con nuevas alternativas que generen energías sostenibles y subproductos aprovechando diferentes tipos de la biomasa. Con el apropiado aprovechamiento de los diferentes componentes orgánicos a través del proceso biodigestión, de forma sostenible es de gran importancia para generar una fuente de ingresos donde estos serán transformados en biogás y biofertilizante.

Lo que se busca es el estudio de la producción de la biomasa residual que se origina en las plazas de mercado de cada país, departamento o grandes ciudades, ya que estas biomásas poseen particulares muy provechosas para obtener diferentes clases de energías, en Colombia existen variedad de cultivos con propiedades para producir bioenergía y biocombustibles. (FAO)

“En la actualidad se encuentran diferentes tipos de Biomasa resultante de cultivos agrícolas, desechos orgánicos, residuos agropecuarios, aguas residuales y desechos provenientes de la parte Industrial, por medio de estas biomásas se consigue la disposición de nuevas tecnologías como lo son los Biocombustibles orgánicos que dan como resultado un nuevo nacimiento de energías Limpias” (Gutiérrez et al., 2012).

Con la elaboración del proyecto se busca enseñar y promocionar estas nuevas tecnologías a nivel rural, urbano, en el departamento y a nivel nacional con el fin de implementar iniciativas de desarrollo en la parte de la materia Orgánica, que se origina por la comercialización de las plazas de mercado de cada municipio por medio de la descomposición biológica o nuevos procedimientos buscando mejorar un nivel de vida donde satisfaga sus necesidades y se brinde defensa al medio ambiente.

Es de gran importancia integrar estrategias novedosas como la economía circular para cerrar el ciclo de la materia orgánica generada.

Planteamiento del problema

El municipio de Sogamoso – Boyacá cuenta con una plaza de mercado minorista, en este sitio se comercializa diariamente gran variedad de productos agrícolas (verduras –frutas), donde estos dejan grandes montos de desechos orgánicos, y debido a esto se forman diversidad de problemas ambientales tales como malos olores y afectación a la salubridad de los habitantes a su alrededor, lo que se busca es la implementación de nuevos procesos como la Biodigestion, ya que esta técnica ofrece beneficios en la parte socio económico y ambiental.

La materia orgánica es un gran inconveniente, ya que por la cantidad que regularmente se origina y el sitio para su disposición temporal no tiene la suficiente capacidad lo que esto ocasiona es gran dificultades al ambiente, la idea es aprovechar los desechos orgánicos para la producción de biogás y nuevos fertilizantes ecológicos.

“Uno de los métodos que se pueden aplicar para el tratamiento de la materia orgánica para darle el mejor procedimiento para la obtención de energía es la biodigestion anaerobia, ya que por media de esta busca la disminución de residuos y su almacenamiento” (Forero, M y Sánchez A, 2017).

Por medio de las estadísticas se obtuvieron sobre la materia orgánica a través de la empresa encargada COSERVICIOS S.A ESP de la recolección en el municipio de Sogamoso, se puede observar que cantidad de desechos orgánicos se generan habitualmente y como es su pesaje anteriormente de su disposición final.

Con el adecuado proceso a la biomasa residual se adquieren varios beneficios atmosféricos tales como la reducción de gases de efecto invernadero y los diferentes contaminantes que afectan de una u otra forma a los ecosistemas y busca implementar repares a daños causados por las actividades de los humanos.

Justificación

Por medio de la implementación de biodigestores para el aprovechamiento de materia orgánica que se genera en la plaza de mercado del Municipio, esta es una de las alternativas más viables brindando energía y fertilizante orgánico. (Gómez et al., 2017)

Con la ejecución de este proyecto se busca obtener beneficios a los habitantes cercados donde se ubicara el biodigestor; en la parte económica, ya que a través de los productos generados se economiza parte de energía ya sea utilizada en viviendas o para actividades de trabajo y adquirirá una valorización de la materia orgánica; en la parte social lo que se busca es mostrar diversidad de tecnologías para que nuevas generaciones y Municipios se interesen por implementar; en la parte ambiental disminuir la contaminación ambiental, olores desagradables y vectores que afectan a los habitantes cercanos al sitio donde son arrojados estos residuos. (Gómez et al., 2017)

Lo que se busca con la culminación de los biodigestores en ciertas áreas es contribuir a grupos de personas que se encuentran en la parte rural, debido a que en el Municipio de Sogamoso en diferentes veredas por su ubicación no se puede realizar la adecuada instalación a gas natural y el transporte de cilindro de gas propano.

Con el estudio de los temas de la investigación es de sobresaltar la importancia de la ejecución de Biodigestores para darle soluciones a las problemáticas donde interviene material orgánico.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada en la plaza mercado Municipio Sogamoso- Boyacá.

Objetivos Específicos

Realizar el diagnóstico de la generación de Residuos orgánicos en la plaza de mercado.

Identificar cual es el tipo de biodigestor requerido según los residuos generados por medio de un análisis de alternativas.

Establecer los parámetros para el diseño del biodigestor seleccionado.

Identificar los posibles sub productos obtenidos en el biodigestor y como se pueden aprovechar.

Marco de Referencia

Estado del arte

Biodigestores Progreso Histórico Internacional

En 1776 volta descubres el metano (CH_4) en el gas de los pantanos; en 1869 por primera vez utiliza el biogás (metano) en un hospital de Bombay. En india, en el continente asiático se construyeron 120.000 biodigestores sin calefacción y en china 7 millones, en Europa país Alemania entre 1973 y 1985 sucedió una gran crisis energética, la idea era la protección al medio ambiente, estas plantas tenia tanques para realizar el debido proceso con contenedores de ($16,000 \text{ m}^3$). (Infantes, P, p.6)

“Los biodigestores de bajo costo se han implementado en países en desarrollo desde la década de los 80. Debido a su diseño simple y construcción con materiales fácilmente disponibles, se considera una tecnología apropiada. El "red mud PVC" una bolsa diseñada en Taiwán fue la semilla para el desarrollo de esta técnica. Un mayor desarrollo se llevó a cabo principalmente por Preston en Etiopía, por Botero en Colombia y por Bui Xuan An en Vietnam” (Herrero, M. 2011)

“En 1960 se realizó el análisis de cómo inventar energía con residuos biológicos humanos, ya que la NASA necesitaba una forma de manejar los residuos generados durante los vuelos espaciales, por ello se interesó en la implementación de las celdas de combustible microbiano, para obtener energía eléctrica mediante el almacenamiento de los residuos y los microorganismos presentes en ellos” (Del Duca, 1967).

“En todos los casos los digestores fueron adaptados para el clima tropical. En el altiplano de Bolivia en el 2003, se adaptó el diseño de Botero a los climas fríos (Martí Herrero, 2007 y 2008). Poggio, en Perú, Poggio propuso que se agregue al modelo de Bolivia un sencillo sistema de calefacción solar, para aprovechar los biodigestores en climas fríos. La tecnología ha sido promovida en varios países en desarrollo como Colombia, Etiopía, Tanzania, Vietnam, Camboya, China, Costa Rica, Bolivia, Perú, Ecuador, Argentina, Chile, México” (Herrero, M. 2011).

“En la ciudad de Salta en el país de Argentina, se efectuó un estudio para la posibilidad de producir Biogás a través de los residuos sólidos que se producían en la ciudad, esto se determinó por medio de la cantidad y composición de residuos que se obtienen en el relleno sanitario (BID, 2017). La finalidad de estos proyectos es obtener impactos reales en la parte socio-económico y ambiental, también por medio de variedad de procesos se implementaron los biocombustibles teniendo en cuenta particulares o parámetros como la temperatura, humedad y tipo de residuos a utilizar, con la implementación de proyectos que se promueva el biogás se busca reducir las emisiones de gas de efecto invernadero” (BID, 2017).

En Cuba se le ha dado más provecho a las compañías agropecuarias por medio de los biodigestores, para reducir las cargas contaminantes y se busca promover nuevos fertilizantes, aislar malos olores, estas energías se utilizan frecuentemente para la generación de energía, para la cocina y calentadores a gas. (Campos, 2011).

En la Unión Europea, en Suecia se produce el biogás a partir de las grandes recolectas y excrementos de variedad de animales, se realiza investigaciones con diferentes tipos de sustratos y materia seca, realizando similares modelos de estadísticas agrícolas para obtener los mejores resultados así que tener en cuenta la clase de cultivos y la densidad de población del ganado. (Einarsson & Persson, 2017).

Desarrollo Histórico Nacional.

“En Colombia particularmente no existen instalaciones para la generación masiva de energía a partir de biogás y los escasos sistemas de tratamiento se desarrollan a escala de pequeñas granjas por iniciativa de los propietarios minoristas y fundaciones de cooperación internacional” (Ladino, 2011, pág. 7).

Se realizaron nuevas pruebas en los biodigestores con espuma de poliuretano para mejorar su estructura térmica, también su elaboración y construcción es de bajo precio, lo que revelan las pruebas físico - químicas del laboratorio es la obtención de la cantidad de metano con el nuevo modelo buscando seguridad y constancia en la temperatura. (Rodríguez, C. 2017)

En Colombia se han ejecutado investigaciones para obtener compostaje y biogás por medio de los residuos orgánicos, buscando el adecuado proceso de alternativas que a través nuevos diseños de transformación e implementar distintos productos para ser autorizados y ser comercializados. (Baltierra et ál., 2012).

Desarrollo Histórico Departamental

En el municipio de Paipa, Boyacá se localiza la propiedad “VILLA ITALIA”, lo que se busca es que sea auto sostenible y producción limpia, por medio de los desechos de las actividades de animales como caballos y vacas, una de las elecciones es realizar una mezcla entre los excrementos bovinos y equinos ya que por desintegración de estos residuos se produce gas metano y biogás. (Hernández y Ramírez 2019).

Marco Teórico

Residuos Sólidos

Los residuos sólidos son también conocido como un desecho, basura o residuo estos poseen variedad de propiedades que los permiten cambiar de carácter y de cuerpo, los residuos líquidos y gaseosos tienen características inversas. (Pinto y Suarez 2016, p.18)

Clasificación de los residuos sólidos.

Figura 1 Residuos Sólidos.



Clasificación de Residuos Sólidos

De acuerdo con el Título F del Reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, se establece el esquema de clasificación para los residuos sólidos, en el cual se clasifican según su composición física, según su procedencia, según su factibilidad de manejo y disposición y según su grado de peligrosidad.

Tabla 1 Esquema de clasificación Residuos Sólidos.

ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN	
CLASIFICACIÓN SEGÚN COMPOSICIÓN FÍSICA	Residuos de comida y Jardín
	Productos de Papel
	Productos de Cartón
	Plástico
	Caucho y Cuero
	Textiles
	Madera
	Productos Metálicos
	Vidrio
	Productos cerámicos, ceniza, rocas y escombros
	Huesos
	Otros
CLASIFICACIÓN SEGÚN PROCEDENCIA	Residenciales
	Industriales
	Institucionales
	Hospitalarios
	De barrido
CLASIFICACIÓN SEGÚN FACTIBILIDAD DE MANEJO Y DISPOSICIÓN	Comunes
	Especiales
CLASIFICACIÓN SEGÚN GRADO DE PELIGROSIDAD	Comunes
	Peligrosos

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, Título F.1.4.4

Aprovechamiento de los Residuos Orgánicos

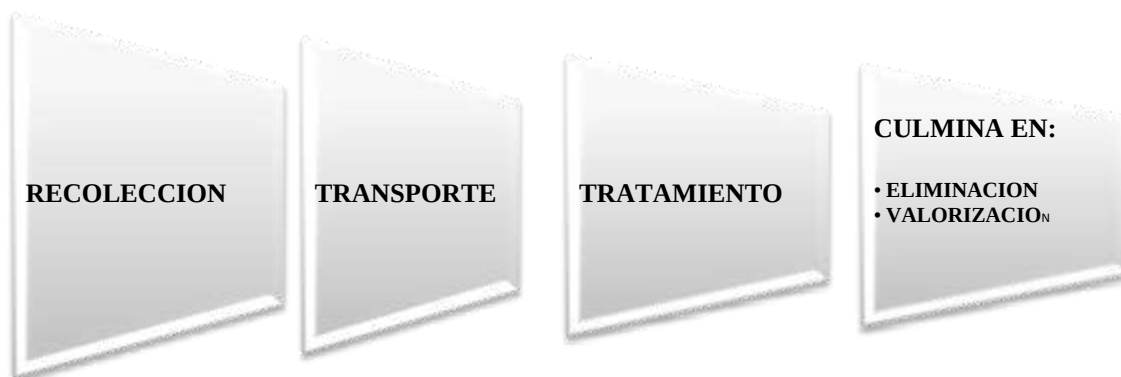
“La finalidad del aprovechamiento de los residuos orgánicos es disminuir el consumo de los recursos naturales, la idea es transformar los residuos o desechos anteriormente a que alcancen su disposición final y buscar que no se provoquen ningún tipo de impacto negativo hacia el medio ambiente”(Pinto y Suarez 2016).

Hay que relacionar y diferenciar los tipos de residuos para no mezclar residuos peligrosos, metales pesados, para evitar que no se deteriore el proceso para su aprovechamiento, para estos métodos hay que distinguir algunos principios los cuales pueden alterar el paso como es la humedad, temperatura, tamaño de partículas, para implementar las alternativas hay que verificar el entorno donde se valla a realizar para que no afecte al medio ambiente. (Pinto y Suarez 2016).

Etapas de Gestión de Residuos.

Los principales propósitos es buscar un beneficio económico en el tratamiento de los residuos, estos están divididos en 3 partes fundamentales según corresponda:

Figura 2 Etapas Gestión de Residuos.



Recolección

En esta parte se realiza la recolección desde su origen para ser transportados al establecimiento donde recibirán su adecuado tratamiento y le destinaran a cada residuo si es de valorización o de eliminación, esto se realiza según el municipio donde se haga el adecuado proceso se clasifica en:

Recolección no diferenciada:

Posteriormente de la recolección se debe hacer la debida clasificación para su aprovechamiento, esto se consigue por medio de maquinaria o manual. (Metodología de formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de valorización de residuos municipales– Ministerio Desarrollo Social. 2013).

Recolección diferenciada o selectiva

Esta recolección se realiza desde un punto de origen o desde cada residencia del municipio y es transportada para seguir con el tratamiento adecuado.

Transporte

En esta parte lo realiza la empresa encargada por el Municipio de su disposición intermedia y final.

Tratamiento

Ya una vez realizado cada paso el residuo se delimita si es descartado o brinda algún tipo de beneficio, aquí intervienen diferentes figuras que desempeñan una función para cada proceso entre ellos están: Generador, Reciclador de base, Municipalidad y Productores (Metodología de formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de valorización de residuos municipales– Ministerio Desarrollo Social. 2013).

Biodigestor

“Es un procedimiento que realiza por medio de la ausencia de oxígeno para transformarlos en productos como el biogás, fertilizantes ecológicos líquidos y sólidos, por medio de diversidad de bacterias, uno de los principales usos para el biogás es para generar electricidad, cocinas y maquinarias, por otra parte los fertilizantes son utilizados para mejorar las partes destinadas para la agricultura” (Herrero, J. 2008).

Factores - Eficiencia de la fermentación en biodigestores.

El proceso de digestión y su eficiencia están determinados por los siguientes factores:

Temperatura

“La temperatura determina el tiempo de retención para la digestión y degradación de la materia orgánica dentro del digestor, la degradación se incrementa en forma geométrica con los aumentos de la temperatura de trabajo, además se incrementa la producción de biogás. Puesto que la digestión es un proceso tan lento, con frecuencia es necesario aplicar calor para acelerar las reacciones bioquímicas implicadas. La mayoría de los digestores convencionales funcionan en la gama mesofílica, es decir, entre 12 y 35° C, optimizándose el proceso entre los 29 y 33°C”. (Bautista, A, 2010).

Intervalos de temperatura en los cuales las bacterias anaeróbicas realizan:

Tabla 2. Temperatura de Operación.

Temperaturas superiores a 35°C	Termofílico
Entre 15°C y 35°C	Mesofílico
Entre 0°C y 15°C	Psicrofílico

Fuente: Hartz K, 1.981

El tiempo de retención.

El tiempo de retención es de gran importancia ya que depende de la temperatura que se manejó en el espacio o terreno donde se va a realizar el proceso, entre más sea elevada la temperatura el tiempo será más corto y obtener los productos esperados. (López, G, 2003).

La obtención de metano y el poder calorífico depende del tiempo de retención de la materia orgánica entre más largo sea en el interior del biodigestor mayor será su producción (Hartz, 1981).

Tabla 3 Tiempos de retención de materia orgánica

Temperatura (°C)	Tiempo retención (días)
10 y 20 °C	100
20 y 35 °C	30 a 40
50 y 60 °C	8 a 20

Fuente: Alcayaga et al. 1999

Valor de PH

Las bacterias que realizan el proceso en los biodigestores se desempeñan entre un rango de 6 y 8, asumiendo que el punto recomendable es un pH de 7, ya que estas son altamente perceptivas, se debe tener en cuenta generación de gases. (House D, 1978).

Contenido de Humedad

“Es otro factor que afecta el tiempo de fermentación (Noriega, 1989). Unas temperaturas altas y constantes (por ejemplo más de 33°C), unos tiempos largos de retención (por ejemplo 100 o más días) y un buen mezclado de materia orgánica, influyen positivamente en la producción de gas. Temperaturas bajas y oscilantes (15-25°C), tiempos de retención cortos (p.ej. menos de 30 días) y un mal mezclado de la materia orgánica influyen negativamente en la producción de gas” (Chaur, J. 1982).

El factor de mezclado

“Por medio de este paso en el interior del biodigestor se ejecuta variedad de movimientos de abajo hacia arriba buscando el proceso de denominado digestión de lata carga, a través de este transcurso se reducirá el tiempo de transformación de la materia orgánica” (Bautista, A, 2010)

Digestión Anaerobia

Los excrementos que se originan de diferentes especies animales y materias orgánicas estas son aprovechados a través de procesos para obtener metano y mezcla de gases, esto es conocido como proceso biológico, con esto se aprovechara la biomasa para producir productos como biogás, fertilizantes líquidos y sólidos. (Hernández, B y Ramírez, N. 2019).

Microorganismos Implicados en el proceso.

Grupos principales en el proceso:

“Grupo I: bacterias hidrolíticas y fermentativas. Estas inician el proceso aportando las enzimas extracelulares necesarias para que ocurra la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos, esto da por consecuencia moléculas que tienen bajo peso molecular, las cuales son azúcares, aminoácidos, ácidos grasos y alcoholes. Estas moléculas son transportadas a través de la membrana celular para ser fermentadas a ácidos grasos con un número bajo” (Hernández, B y Ramírez, N.2019).

“Grupo II: bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno. Estas bacterias se encargan de convertir los productos que se obtuvieron en la fermentación ya mencionada en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono” (Hernández, B y Ramírez, N.2019).

“Grupo III: bacterias metano génicas. Este grupo de bacterias convierten el acetato obtenido por las bacterias acetogénicas a metano y dióxido de carbono; además; pueden reducir el dióxido de carbono a metano” (Hernández, B y Ramírez, N.2019).

Fases del proceso.

Para la obtención de biogás existe una serie de alternativas bioquímicas, las cuales se desenvuelven en cuatro fases principales:

“Hidrólisis. En esta primera etapa del proceso los sustratos complejos (celulosa, lípidos, proteínas) son hidrolizados para ser convertidos en compuestos solubles (grasas, aminoácidos, azúcares) por medio de la acción de enzimas extracelulares de las bacterias” (Hernández, B y Ramírez, N.2019).

“Acidogénesis. En la etapa de acidogénesis, también conocida como fermentativa, los compuestos solubles son fermentados hasta convertirse en ácidos grasos volátiles (butírico, acético, propiónico), dióxido de carbón, alcoholes e hidrógeno. En esta etapa el pH se encuentra entre 5.1 y 6.8, es decir en una zona ácida” (Hernández, B y Ramírez, N.2019).

“Acetanogénesis. En esta etapa se oxida el ácido propiónico y el butírico para obtener acético e hidrógeno por medio de las bacterias acetogénesis. También se produce ácido sulfhídrico, el cual es un contaminante indeseado. Esta etapa cuenta con valores de pH entre 6.6 y 6.8” (Hernández, B y Ramírez, N.2019).

“Metanogénesis. En esta última etapa se obtiene el metano y dióxido de carbono a partir de los compuestos obtenidos en la etapa acetanogénesis. Aquí se encuentra el pH entre valores de 6.9 y 7.4” (Hernández, B y Ramírez, N.2019).

Partes de un biodigestor.

La operación de un biodigestor de tipo doméstico es relativamente simple, aunque esto varía del modelo y los materiales a emplear. De acuerdo con Rosas (2007) lo primero que se debe hacer entonces es conocer sus partes o elementos principales.

“El tanque o reactor: es donde se produce la descomposición de la materia prima, puede estar construido con diferentes materiales, algunos de ellos flexibles, como las bolsas plásticas tubulares, y otros de tipo fijo como cemento o tanques plásticos. Su tamaño y volumen, se relaciona con la cantidad de biogás que podemos obtener y almacenar; así como la materia prima que necesitamos para alimentarlo” (Rodríguez, C.2017).

“Sistema de alimentación: es un dispositivo por el cual ingresa el material que se va a emplear durante el proceso, impidiendo el escape del biogás. De ser necesario deberá permitir que la materia prima sea triturada antes de ser procesada, y si está muy seca, se tendrá que agregar agua, por lo tanto será necesario instalar un conducto adicional” (Rodríguez, C.2017).

“Control de presión: permite al usuario conocer en todo momento cuál es la acumulación de gases en el interior del tanque, y liberarla en caso necesario. En los biodigestores domésticos, el sistema de control puede ser un manómetro y una válvula manual para emergencias; mientras que en los biodigestores industriales el proceso puede ser más complejo y automático, permitiendo en algunos casos vigilar y liberar la presión a distancia” (Rodríguez, C.2017).

Válvula de seguridad: es una medida de control adicional. Permite soltar los gases de forma automática cuando el usuario no está vigilando, y se diseña para activarse al alcanzar una presión máxima (Rodríguez, C.2017).

Sistema de salida de gas: consta de una válvula de control que permite regular el caudal del biogás que sale.

Filtro de gases: tiene como función eliminar los gases no deseados (ejemplo el sulfuro de hidrógeno), para lo cual se debe incorporar un dispositivo de tratamiento, llamado filtro.

Sistema de purga: este mecanismo facilita la extracción de los restos del material digerido, los cuales se acumulan en forma de lodo, y contienen los nutrientes de la materia prima original, permitiendo que se pueda utilizar como fertilizante. (Rodríguez, C.2017)

Prototipos de Biodigestores

Dependiendo la cantidad de materia orgánica a tratar y la cantidad, se pueden implementar diferentes biodigestores como:

Biodigestores Domésticos

“son construidos en las fincas o en propiedades donde se manejan diversidad de procesos para alimentos, los desechos orgánicos tales como restos de cosecha y deyecciones animales, estos biodigestores son de bajo precio, sencillos de manipular, el gas obtenido es utilizado para generar electricidad, cocina, calefacción, este proporciona la cantidad para suplir las necesidades cotidianas de una familia campestre” (Rodrigo et al 2008)

Biodigestores de tipo Comunitario

Son utilizados por pequeñas poblaciones, instituciones educativas, hospitales, etc. En corregimientos de menor tamaño y áreas rurales es habitual que se ubiquen entre varias viviendas cercanas, las cuales generalmente combinan sus residuos para obtener una mayor eficiencia. (Rodríguez, C. 2017)

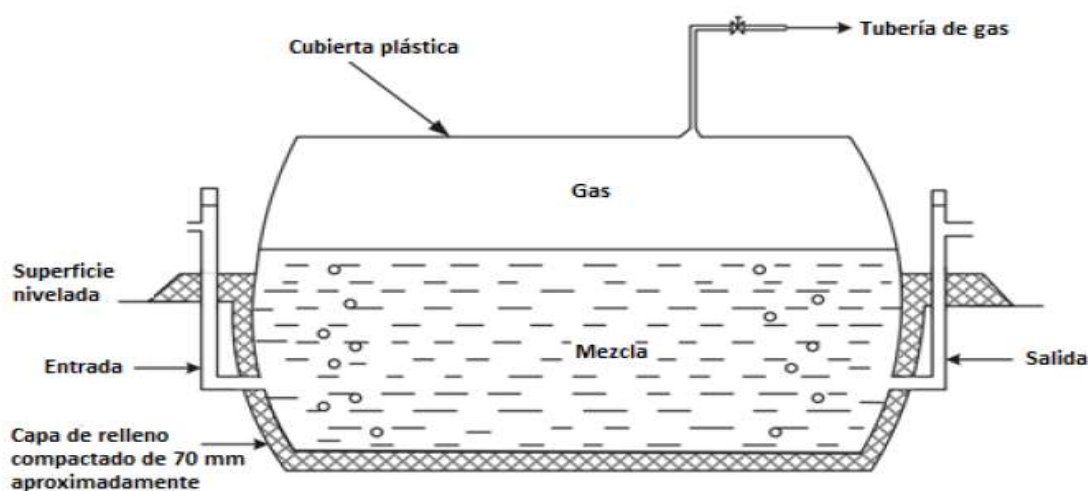
Biodigestores Industriales

Son utilizados en procedimientos a gran escala, es la combinación de calor y electricidad o combustible para transporte, estos mecanismos se manejan en rellenos sanitarios, plantas de agua residual e industrias de alimentos, lo que se busca con estas alternativas es buscar la disminución de gases de efecto invernadero. (Rodríguez, C. 2017)

Biodigestor tipo Taiwanés o tubular

“Este tipo de digestor (digestor de bolsa, balón o tubular) fue introducido en Taiwán en 1960. Está hecho de plástico inflable y es especialmente popular en China. Estos digestores vienen en volúmenes desde 2.2 a 13.5 m³, siendo los de 6 m³ los utilizados comúnmente” (García, R., Alamo, M., Aldana M. 2007).

Figura 3 Biodigestor tipo Taiwanés o tubular



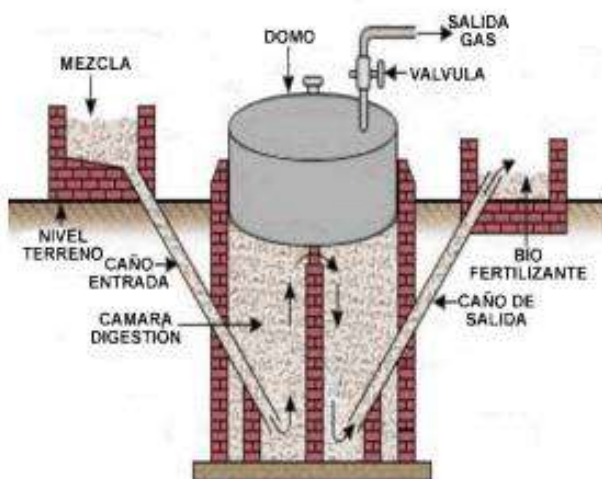
Fuente: Mazumdar, 1982

Biodigestor Domo Flotante o Biodigestor Indio

“Este tipo de biodigestor tiene una cámara de bio-digestión que se fabrica con concreto o mampostería y un depósito de gas móvil que tiene forma de campana, este depósito de gas puede flotar en la masa que se está fermentando o en un anillo de agua, dependiendo de la forma en que se esté produciendo el biogás. Este digestor debe tener una guía que le permita el movimiento vertical, su altura dependerá del volumen del gas almacenado. Es el único biodigestor que tiene depósito de biogás interior” (Hernández Rueda, 2018.p.8).

“Presenta como ventaja que al ser construido con mampostería tienen una larga vida útil, aunque la campana o domo flotante, se debe proteger de posible corrosión a causa de la materia orgánica y el gas. Y como desventaja se encuentra que tiene un alto costo debido a la campana en donde se almacena el gas ya que está construida con metal” (Hernández Rueda, 2018.p.8).

Figura 4 Biodigestor de "domo flotante"



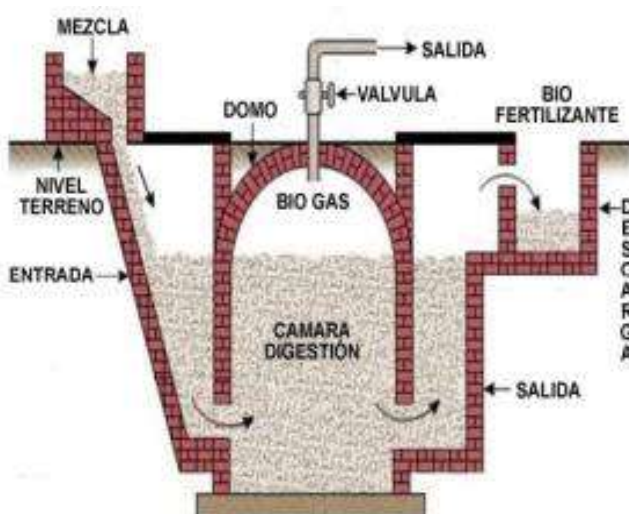
Fuente: Hernández Rueda, 2018.p.8.

Biodigestor de Domo Fijo o Biodigestor Chino

“Este tipo de biodigestor, se estructura por una cámara de digestión que se construye a partir de mampostería y un domo inmóvil, fijo y cerrado donde se deposita el biogás. Mientras se produce el gas, la masa de fermentación se dirige al tanque de compensación y cuando se extrae el gas, la masa vuelve al biodigestor. La capa flotante se logra evitar al generarse oscilaciones constantes de la masa de fermentación en la parte superior del domo” (Hernández Rueda, 2018.p.8).

“presenta como ventaja una vida útil de alrededor de 20 años, ya que no tiene partes metálicas que puedan oxidarse pero de desventaja se tiene que la presión de gas dentro de este no es constante y esto requiere de que la cúpula de este debe ser sellada de la forma correcta e impermeabilizada para poder evitar las porosidades y grietas por las cuales se puede escapar el gas” (Hernández Rueda, 2018.p.8).

Figura 5 Biodigestor de "domo fijo" o biodigestor Chino



Fuente: Hernández Rueda.2018. p 8.

Biodigestor de Estructura Flexible o de Manga

“El biodigestor de estructura flexible, está conformado por un digestor tubular hecho de material plástico, que pueden ser de compuestos como polietileno, PVC, entre otros. Este plástico está completamente sellado y la entrada y la salida están sujetas a las paredes de la planta. Por lo general se compone de un 75% de volumen de la masa a fermentar y el restante del biogás que se va obteniendo” (Martí Herrero, 2008. p 28).

“En ventajas para este tipo de biodigestor se encuentra la facilidad de transporte de los materiales con que se construye, así mismo la instalación y adecuación del terreno que se tiene dispuesto se hace de forma sencilla; pero sus desventajas son que tiene una vida útil corta, alrededor de 3 a 8 años y que tiene una presión baja” (Martí Herrero, 2008. p 28).

Figura 6 Biodigestor de estructura flexible o de Manga.

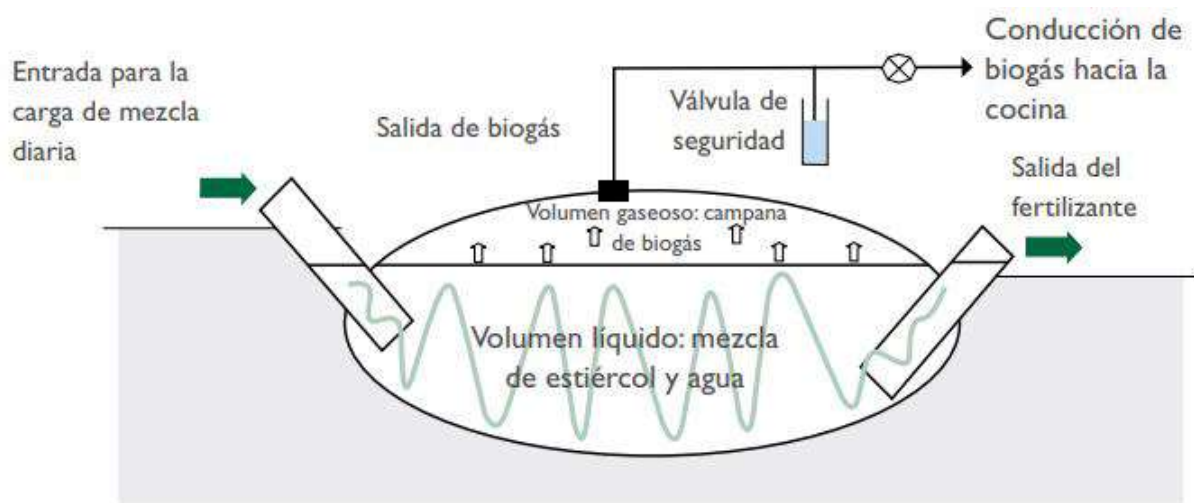


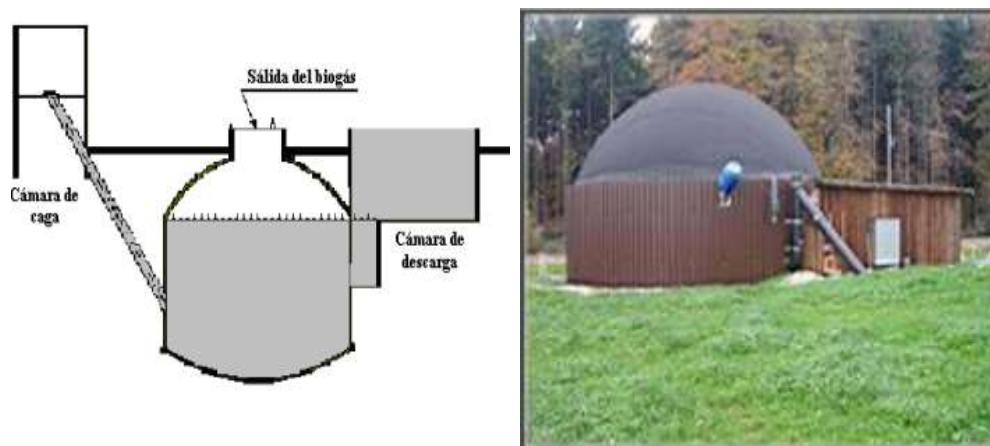
Figura 6: Esquema básico de un biodigestor y del inicio de la conducción de biogás hacia la cocina.

Fuente: Martí Herrero, 2008. p 28.

Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno.

“Se caracteriza por tener una estructura semiesférica de material de polietileno de película delgada, en vez de una campana móvil o cúpula fija como los anteriores biodigestores, y un tanque de almacenamiento que puede ser de piedra o ladrillo” (Hernández Rueda, 2018.p 9)

Figura 7 Biodigestor de "tanque tradicional" y cúpula de polietileno



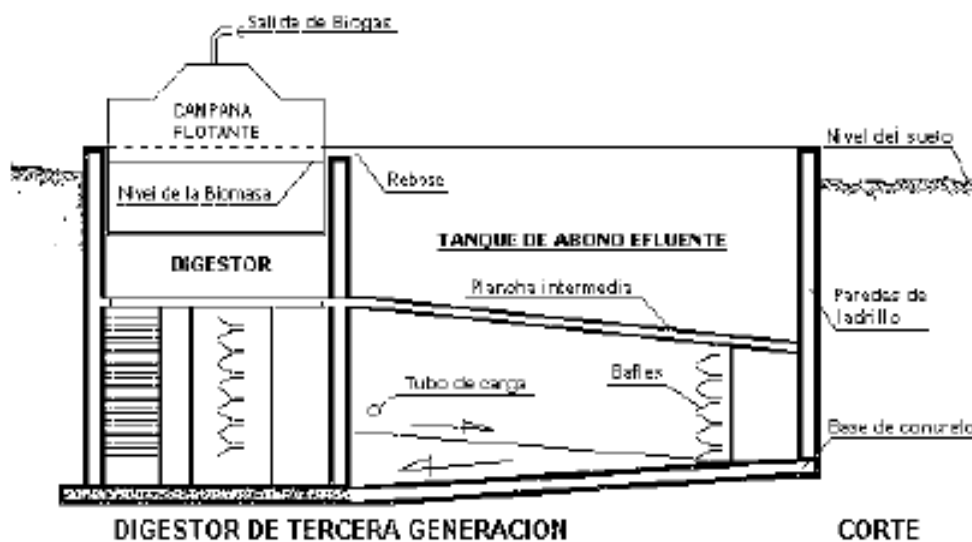
Fuente: Hernández Rueda, 2018.p 9.

Digestor de Alta Velocidad o Flujo Inducido

“Este prototipo es utilizado en la parte industrial, este es un tipo es reformado del tipo Hindú, maneja una presión constante, su tiempo de retención son cortos porque se modificó una agitación mecánica esta se puede adaptar a que sea continua o intermitente dependiendo la cantidad a procesar lo que permite que la materia orgánica tenga un mejor proceso o tratamiento” (Bautista, A, 2010).

“Esto se consigue gracias a la desintegración de partículas grandes en otras más pequeñas, que aumentan el área de contacto y por lo tanto la velocidad de digestión. Este es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaeróbica, combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, facilitando el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad” (Bautista, A, 2010).

Figura 8 Digestor Tercera Generación



Fuente: Bautista, A, 2010

Instalaciones industriales

“Estas infraestructuras son construidas en un metal un material muy resistente para el almacenamiento de los desechos orgánicos y el biogás, este tipo maneja un alto volumen de desechos orgánicos para la producción de biogás y de fertilizante, posee otras instalaciones para la recolección y almacenamiento edificadas en materia de ladrillo” (Bautista, A, 2010).

“El objetivo de este sistema es conseguir que el producto principal como el biogás llegue a todos los usuarios por medio de método de comprensión en los tanques de acopio del biogás. Para controlar la generación de olores se utilizan filtros, válvulas de corte y seguridad en todo el sistema según la norma para este prototipo, con esta alternativa es buscar la reducción en los costos de la infraestructura para que tenga un mayor número de consumidores o beneficiarios” (Bautista, A, 2010).

Figura 9 Digestores industriales

Fuente: (Bautista, A, 2010)

Tabla 4 Regímenes de alimentación

Flujos de entrada y salida, el proceso puede ser de tres maneras.		
Discontinuo (Batch)	Semicontinuo (Fed-Batch)	Continuo
Se cargan de una vez en forma total, descargándose cuando han dejado de producir biogás o la biomasa está suficientemente degradada. Consisten en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás.	Es el tipo de digestores más usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los que más difusión tuvieron en un principio, como se indican en apartados anteriores, fueron el tipo Chino y el tipo Hindú. Más adelante se han desarrollado nuevas tecnologías de diversas aplicaciones.	Fueron desarrollados principalmente para el tratamiento de aguas negras, extendiéndose su uso, en la actualidad, al manejo de otros sustratos. En general son plantas muy grandes en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionarles calefacción y agitación, así como para su control. (Bautista, A, 2010)

Fuente: Bautista, A, 2010

Biodigestores de laguna cubierta de media-baja tecnología

“Estas lagunas son de gran tamaño no tienen ningún sistema de agitación, estas se recubren con revestimientos para almacenar el biogás y sacar beneficio de la biodigestion anaeróbica, la temperatura que se maneja es la externa o es con la que ingresa la materia orgánica, no hay ningún sistema de medición ni control, la producción es expresada en metros cúbicos normales de biogás por día (Nm^3 biogás/día), Su construcción es recomendada en clima cálido, ya que con temperaturas superiores a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ su proceso interno se desempeña notablemente” (Casanovas G y Vecchia F, 2019).

Figura 10 Biodigestores de laguna cubierta de media-baja tecnología



Fuente: Casanovas G y Vecchia F, 2019

Biodigestores de Mezcla Completa de Alta Tecnología.

“Su estructura está elaborada en hormigón armado, acero al carbono y/o acero inoxidable, este permite trabajar a diferentes condiciones de temperaturas, (psicro-, meso- y/o termofílico), también para altas cantidades de materia orgánica, y garantizar que los materiales de construcción permita resistir los procesos químicos que se producen al interior.

Este biodigestor garantiza la producción de biogás, energía térmica y/o eléctrica durante todo el año las 24 horas del día, se estimación de vida útil se encuentra entre 15 a 20 años.”(Casanovas G y Vecchia F, 2019)

Figura 11 Biodigestores de mezcla completa de alta tecnología.



Fuente: Casanovas G y Vecchia F, 2019.

Biodigestores Semicontínuos o Continúos Húmedos en dos Etapas

“Este tipo de plantas de biogás se denomina “de dos etapas” o “de hidrólisis secuencial”. Como se mencionó, en el proceso de biodigestión y producción de biogás intervienen distintos organismos y el pH es una variable importante ya que los metanogénicos son muy sensibles a cambios en la acidez o alcalinidad del medio. Pero con pH neutro, como el de un biodigestor, muchos materiales, especialmente los fibrosos con altos contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina, no son aprovechados ya que poseen enlaces químicos muy fuertes, que no se rompen” (Casanovas G y Vecchia F, 2019).

“Por ello, existen tecnologías que hacen un pretratamiento ácido y logran aprovechar al máximo los beneficios de cada etapa y el desarrollo de bacterias específicas para cada estadio. Así, en una primera etapa, con pH entre 3,5 y 5,5, se mejora la digestión de carbohidratos como los mencionados, y la producción de biogás puede aumentar significativamente para un mismo sustrato, sobre todo aquellos ricos en fibras” (Casanovas G y Vecchia F, 2019).

Figura 12 Biodigestores semicontínuos o continuos húmedos en dos etapas



Fuente: Casanovas G y Vecchia F, 2019

Biodigestores Semicontínuos o Continuos Semi-húmedos sin manejo del Sustrato.

“Este tipo de biodigestores funciona con mezclas de alimentación que contienen entre 25 y 35% de materia seca. Son idóneos para trabajar con FORSU, con sustratos con bajo contenido de humedad o en zonas en las que no se cuenta con recursos hídricos para diluir las mezclas. Hay distintos diseños de estos reactores, que pueden ser de flujo vertical y horizontal. Para el movimiento de la mezcla de alimentación y del digerido se utilizan bombas de tipo hormigoneras” (Casanovas G y Vecchia F, 2019).

“Estos sistemas tienen la ventaja de que son menos sensibles a la presencia de materiales inertes en la mezcla de alimentación y no producen espuma y/o costra en el interior del reactor. Si bien se reducen las cantidades de líquidos que se deben manipular con respecto a una planta de digestión húmeda, estos reactores deben contemplar algún sistema para separar el digerido sólido del líquido (prensa helicoidal y/o centrífuga), para su posterior utilización o tratamiento” (Casanovas G y Vecchia F, 2019).

Biodigestores Semicontínuos o continuos Secos sin Manejo del Sustrato.

“Existen sistemas, normalmente denominados “bioceldas”, que sirven como biodigestores para sustratos con alto contenido de sólidos (hasta 50% MS). El proceso es muy similar al que ocurre naturalmente en los rellenos sanitarios, con la diferencia de que la fase anaeróbica se encuentra totalmente controlada, lo que eficientiza la producción de biogás por tonelada de sustrato” (Casanovas G y Vecchia F, 2019).

“El THR para estos sistemas es aproximadamente de 28 días, con valores de 25 a 50% de MS. El mayor desarrollo tecnológico se encuentra en los portones, que se abren para llenar cada compartimiento y luego se cierran, lo que garantiza la hermeticidad y la anaerobiosis dentro de cada reactor. Por otro lado, es importante el manejo de los lixiviados, que se recirculan de modo de mantener el medio con la humedad óptima para el desarrollo de las bacterias metanogénicas” (Casanovas G y Vecchia F, 2019).

“Luego del pasaje por las bioceldas suele realizarse un tratamiento aeróbico, a fin de terminar de estabilizar la materia orgánica para su uso. Si bien estos sistemas tienen una menor eficiencia de producción de biogás comparados con los reactores húmedos o semihúmedos, presentan ciertas ventajas que los vuelven apropiados para el tratamiento de FORSU en centros urbanos, entre otros sustratos” (Casanovas G y Vecchia F, 2019).

“No requieren sistema de movimiento interno, son robustos y resisten la presencia de inertes pesados y/o plásticos, No presentan cortocircuitos hidráulicos, Tienen baja pérdida de sustancia biodegradable durante el pretratamiento, Resisten picos de concentración de sustratos o sustancias tóxicas, Realizan pretratamientos mínimos y más económicos, Demandan agua en cantidad reducida en el proceso, Solicitan calentar mínimamente el reactor anaeróbico” (Casanovas G y Vecchia F, 2019).

Figura 13 Biodigestores semicontinuos o continuos secos sin manejo del sustrato



Fuente: Casanovas G y Vecchia F, 2019

Figura 14 Interior de un digestor de hormigón con protección epoxi en la parte superior



Fuente: Casanovas G y Vecchia F, 2019

Figura 15 Vista interna de agitadores verticales de acero inoxidable



Fuente: Casanovas G y Vecchia F, 2019

Tabla 5 Ventajas - Desventajas Biodigestores

Ventajas	Desventajas
Producción de Energía. “Por la acción de las bacterias metanogénicas, gran parte del contenido orgánico de las aguas se transforma en gas metano. Teóricamente 1 kg de la demanda química de oxígeno (DQO) eliminada produce 350 litros de metano a 35°C. Este combustible posee un elevado poder energético utilizable” (Hernández, M. 2011).	Puesta en Marcha Debido a la baja velocidad de crecimiento de los microorganismos, en el proceso anaeróbico la puesta en marcha del tratamiento concurre lenta.
Producción de Fangos. Por quedar convertida la mayor parte de la materia orgánica, en el proceso anaerobio, en biogás, el sólido restante queda bien estabilizado y utilizable previa deshidratación como fertilizante.	Temperatura “El tratamiento anaerobio a temperatura ambiente resulta demasiado lento, porque la temperatura a la cual la actividad de las bacterias es óptima debe ser de al menos 35 °C” (Hernández, M. 2011).

Proceso Exterior.

“Como los biodigestores se construyen en ambientes cerrados, la producción de malos olores es baja en el proceso anaerobio, comparado con los olores desagradables que se desprenden en el sistema donde la depuración se realiza en espacios abiertos. Los digestores cerrados deben ubicarse a distancia mínima de 500 metros de las urbanizaciones” (Hernández, M. 2011).

Fuente: Hernández, M. (2011)

Biogás.

El metano y dióxido de carbono son los elementos principales que componen al Biogás en etapa gaseosa, la estructura depende de la biomasa que se va a utilizar en el proceso, esto puede variar entre un 10% al 90%. (Varnero, M. 2011).

Tabla 6 . Características y propiedades del biogás

	55-70%metano
Composición	30-40% Dióxido de carbono Otros gases
Contenido energético	$6 - 6.5 \frac{kw \ h}{m^3}$
Equivalente de combustible	$0.6 - 0.065 \frac{L \text{ petroleo}}{m^3 \text{ biogas}}$
Límite de explosión	6-12% del biogás en el aire
Temperatura de ignición	650-750°C (con el contenido de metano mencionado)
Presión critica	74-88 atm

Temperatura critica	-82.5°C
Densidad normal	$1.2 \frac{kg}{m^3}$
Olor	Huevo podrido(el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	$16.043 \frac{kg}{kmol^{-1}}$

Fuente: Varnero, M. (2011).

Figura 16 Usos del Biogás

Aplicaciones más utilizadas:



Fuente: Varnero, M. (2011).

En el cuadro se han nombrado los principales aparatos que utilizan biogás junto a su consumo medio y su eficacia.

Tabla 7 Diferentes aplicaciones del biogás

ARTEFACTO	CONSUMO	RENDIMIENTO (%)
Quemador de cocina	300 - 600 l/h	50 – 60
Lámpara a mantilla (60W)	120 - 170 l/h	30 – 50
Heladera de 100 L	-30 - 75 l/h	20 – 30
Motor a gas	0,5 m ³ /kWh o Hph	25 – 30
quemador de 10 Kw	2 m ³ /h	80 – 90
Infrarrojo de 200 W	30 l/h	95 – 99
Co generador	1 kW elect. 0,5 m/kwh 2kW térmica	hasta 90

Fuente: Varnero, M. (2011).

“Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisorio e interesante su utilización a gran escala. Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se las utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan, el biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diésel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido. El biogás en las locaciones urbanas es utilizado para los bombeos de agua, ordeñadores y generadores de electricidad” (Textos científicos, 2005).

“Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas” (Varnero, M. 2011).

Bioabono.

El rendimiento del bioabono resultante depende de la biomasa que se va utilizar este mejora cuando la materia orgánica posee alto contenido en nitrógeno amoniacal, sus principales usos es para la parte agrícola y recuperación de suelos. (Varnero, M. 2011).

Marco conceptual

Acetanogénesis: Una reacción biológica en la que los ácidos grasos volátiles se convierten en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno.

Acidogénesis: Una reacción biológica en la que los monómeros simples se convierten en ácidos grasos volátiles

Acondicionamiento de residuos: Operaciones que transforman los residuos a formas adecuadas para su transporte y/o almacenamiento seguros.

Almacenamiento o almacenaje: El depósito temporal de los residuos sólidos en contenedores previos a su recolección, tratamiento o disposición fina.

Alternativa: es la opción que existe entre dos o más cosas; es decir, es cuando se tiene la posibilidad de poder seleccionar, preferir, optar, escoger o elegir entre dos o varias cosas o situaciones diferentes.

Aprovechamiento de los residuos: Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, re manufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.

Biodegradable: Sustancia que puede ser descompuesta con cierta rapidez por organismos vivientes, los más importantes de los cuales son bacterias aerobias. Sustancia que se descompone o desintegra con relativa rapidez en compuestos simples por alguna forma de vida como: bacterias, hongos, gusanos e insectos. Lo contrario corresponde a sustancias no degradables, como plásticos, latas, vidrios que no se descomponen o desintegran, o lo hacen muy lentamente.

Biogás: El conjunto de gases generados por la descomposición microbiológica de la materia orgánica.

Contaminación ambiental: Introducir al medio cualquier factor que anule o disminuya la función biótica. Contaminante: Es toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, aguas, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, alteren o modifiquen su composición, o afecten la salud humana.

Degradable: Estructura o compuesto que puede ser descompuesto bajo ciertas condiciones ambientales (biodegradable involucra la acción de microorganismos, fotodegradable implica la acción de la luz.

Desarrollo Sostenible: Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad y manejo racional de los recursos naturales.

Disposición final: La acción de depositar o confinar permanentemente residuos sólidos en sitios o instalaciones cuyas características prevean afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

Eliminación: Sacar, separar, descartar un residuo del circuito de utilización. Los residuos se han de eliminar sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar procedimientos o métodos que puedan causar perjuicios al medioambiente.

Eliminación: Operaciones que tienen por objeto ubicar en forma terminante los residuos.

Emisión: Sustancia en cualquier estado físico liberada de forma directa o indirecta al aire, agua, suelo o subsuelo.

Hidrólisis: es una reacción química que puede darse en moléculas o iones tanto inorgánicos como orgánicos, y que involucra la participación del agua para el rompimiento de sus enlaces. Su nombre origina del griego, 'hidro' de agua, y 'lisis' de ruptura.

Metanogénesis: Metanogénesis: Una reacción biológica en la que los acetatos se convierten en metano y dióxido de carbono, mientras que el hidrógeno se consume.

Prevención: Conjunto de medidas adoptadas en la fase de concepción y diseño, de producción, de distribución y de consumo de una sustancia u objeto para reducir la cantidad de residuos.

Residuo: Todo material en estado sólido, líquido o gaseoso, ya sea aislado o mezclado con otros, resultante de un proceso de extracción de la Naturaleza, transformación, fabricación o consumo, que su poseedor decide abandonar.

Residuos orgánicos: Los residuos orgánicos son los residuos de comida y restos del jardín. Son todos aquellos residuos que se descomponen gracias a la acción de los desintegradores.

Residuos sólidos: En función de la actividad en que son producidos, se clasifican en agropecuarios (agrícolas y ganaderos), forestales, mineros, industriales y urbanos. A excepción de los mineros, por sus características de localización, cantidades, composición, etc., los demás poseen numerosos aspectos comunes desde el punto de vista de la recuperación y reciclaje.

Residuos con potencial de valorización (RV): “corresponde a aquellos que tienen un valor económico y que pueden ser sometidos a un proceso de Reciclaje o Valorización Energética. En el primer caso, puede referirse a residuos reciclables (RR) y en el segundo, a residuos valorizables energéticamente” (Metodología de formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de valorización de residuos municipales - Ministerio Desarrollo Social. 2013).

Valorización: “Conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar un residuo, uno o varios de los materiales que lo componen y/o el poder calorífico de los mismos, sin poner en riesgo el medio ambiente. Se asocia a las acciones de: i) reutilización: acción mediante la cual productos o componentes de productos que no sean residuos se utilizan de nuevo con la misma finalidad para la que fueron concebidos; ii) reciclaje: empleo de un residuo como insumo o materia prima en un proceso productivo distinto del que lo generó, incluyendo el co-procesamiento y compostaje, pero excluyendo la valorización energética” (Metodología de formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de valorización de residuos municipales - Ministerio Desarrollo Social. 2013).

Marco legal

Para la trayectoria del proyecto es necesario conocer la normatividad actual que se aplica en las administraciones de las plazas de mercado y el manejo de los residuos sólidos en Colombia, se presentaran las normas más relevantes y que influyen directamente en el marco legislativo.

Tabla 8 Marco legal.

Norma	Objetivo
Decreto 2811 Del 18 De Diciembre De 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto 948 de 1995	En relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección del aire
Decreto 02 de 1982	Por el cual se reglamentan parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas.
Decreto 1505 de 2003	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos
Decreto 838 de 2005	Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos.
Decreto 113 de 2013	En relación con la adopción de normas urbanísticas y arquitectónicas para la implantación y regularización de bodegas privadas de reciclaje de residuos sólidos no peligrosos no afectas (Sic) al servicio público de aseo, y se dictan otras disposiciones
Ley 9 de 1979	Reglamenta las medidas sanitarias sobre manejo y disposición de residuos sólidos. Código Sanitario Nacional

Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.
Ley 629 de 2000	Por medio de la cual se aprueba el Protocolo de Kyoto de la CMNUCC. Se transcribe el texto íntegro del instrumento internacional en mención.
Ley 1259 de 2008	Por medio de la cual se instaure en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros.
Ley 1252 de 2008	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
Ley 1715 de 2014	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.
Resolución 1390 de 2005	Por la cual se establecen directrices y pautas para el cierre, clausura y restauración o transformación técnica a rellenos sanitarios de los sitios de disposición final a que hace referencia el artículo 13 de la Resolución 1045 de 2003 que no cumplan las obligaciones indicadas en el término establecido en la misma.
Resolución 754 De 2014	“Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos”
Resolución 668 de 2016	Por la cual se reglamenta el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones

Marco geográfico

Localización Del Municipio De Sogamoso- Boyacá.

“El municipio de Sogamoso se encuentra en el departamento de Boyacá, ubicado en el oriente del país a una latitud de 5° 42' 57” Norte, y a una longitud de 72° 55' 38” Oeste, La altitud del municipio oscila entre los 2.500 y los 4000 Metros sobre el nivel del mar, donde se encuentra ubicado la vereda san José sector san José porvenir es un punto bajo, la temperatura media es de 17 °C ”(Municipio de Sogamoso - Universidad Nacional de Colombia, 2015).

“Sus límites oficiales son: Al norte con los municipios de Nobsa y Tópaga; al oriente con los municipios de Tópaga, Monguí y Aquitania; al sur con los municipios de Aquitania, Cuitiva e Iza; y al occidente con los municipios de Tibasosa, Firavitoba e Iza” (Secretaria local de salud. 2015).

Aspectos Climatológicos.

Temperatura

“Las temperaturas del valle de Sogamoso oscilan entre 13,7 y 15,8°C para las dos estaciones. Los valores medios mínimos de temperatura se encuentran entre los meses de junio y septiembre en las dos estaciones con un valor medio de 13,7°C en el aeropuerto y 14,4°C en Belencito (estaciones meteorológicas). Los meses que presentan los valores medios mayores están entre marzo y mayo en el primer semestre y noviembre para el segundo semestre en la estación del aeropuerto con un valor máximo medio de 14,8°C y de febrero a abril para la estación de belencito con un valor medio de 15,8°C. La temperatura media presenta una misma tendencia en las dos estaciones, sin embargo la estación de Belencito presenta valores más altos que los reportados en el aeropuerto” (asesoría, 2010).

Humedad Relativa

A partir del análisis realizado sobre las estaciones Belencito y Aeropuerto Alberto Lleras Camargo la humedad relativa media se mantiene en general para la primera por encima del 69% llegando hasta el 75% para la segunda los valores superan el 70.1% (asesoría, 2010).

Brillo Solar

El periodo seco es el de mayor insolación al igual que el periodo de transición de Diciembre a Enero, lo cual arroja un valor que supera las 200 horas mensuales de brillo solar. En la temporada húmeda se presentan los valores mínimos especialmente el periodo de Marzo a Abril aproximadamente 100 horas en promedio (asesoría, 2010).

Nubosidad

Registra periodos constantes durante el año, los cuales aumentan con la precipitación. El periodo de Marzo a Mayo con valores más altos y de Enero a Febrero con valores más bajos (asesoría, 2010).

Evaporación

“La evaporación media mensual es de 110 mm y anual es de 1320 mm en el Municipio de Sogamoso; esto caracteriza a la región de acuerdo a la cantidad de agua que se va para la atmósfera y depende de factores como la precipitación y la temperatura. Los periodos húmedos poseen los valores más bajos de precipitación y el periodo seco el más alto” (asesoría, 2010).

Velocidad y Dirección de los Vientos

“El periodo seco presenta corrientes de aires más fuertes, mientras que el húmedo varía muy poco. La dirección predominante de los vientos en el municipio de Sogamoso es hacia el este de Mayo a Septiembre con una velocidad que varía entre 1.0 y 2.3 metros por segundo, y con dirección Sur de Octubre a Noviembre con variaciones entre el 0,6 y 1,2 metros por segundos, en diciembre nuevamente cambian el este, para luego cambiar la dirección hacia el sureste de Enero a Febrero con valores de 0,9 y 0,8 metros por segundo” (asesoría, 2010).

Población

“Según los datos reportados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la Población proyectada con base en el censo de 2018 para Sogamoso fue de 110.885 habitantes, esta tendencia demográfica hacia un crecimiento positivo tiene que ver, en primera medida con el aumento de la tasa de natalidad y otros factores como, la llegada de la población joven en busca de oportunidades de trabajo y educación” (DANE, 2018).

Ubicación del municipio de Sogamoso – Boyacá.

Figura 17 Sogamoso Boyacá



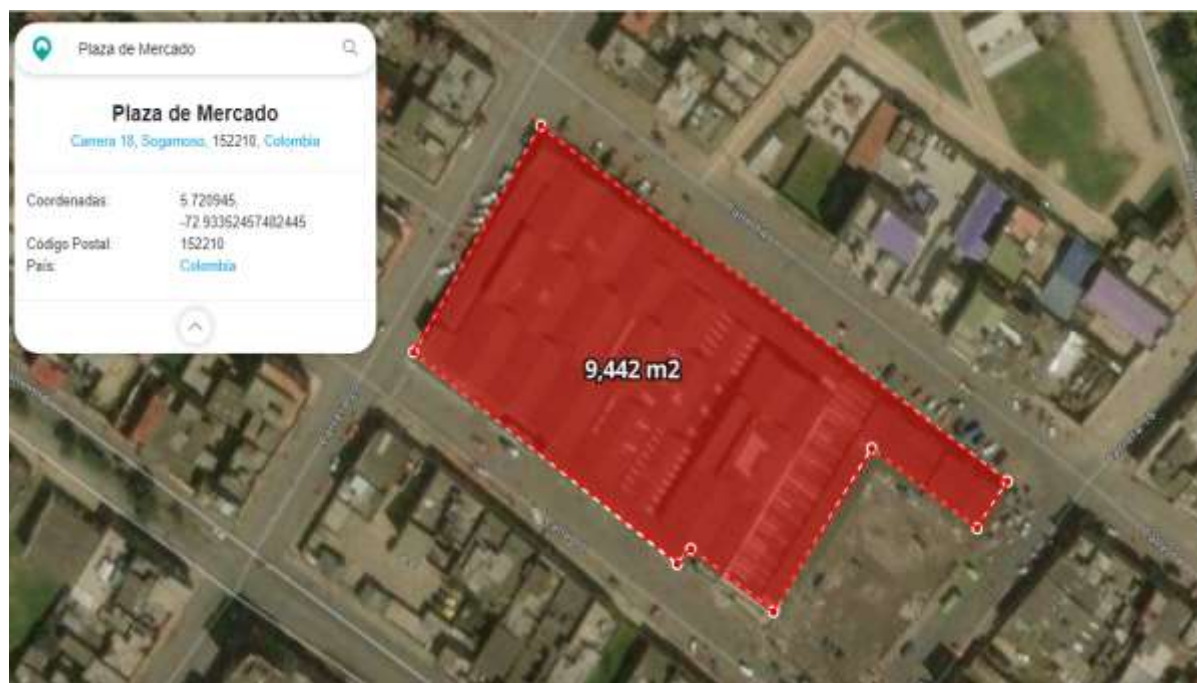
Fuente: Google Maps

Localización de la Plaza de Mercado “SOGABASTOS”

La plaza de mercado se encuentra localizada en el área urbana del municipio en la Carrera 18 #12-89, Sogamoso, Boyacá.

“Está construida en dos plantas, ofrece 251 puestos de mercado campesino, 428 de mercado cubierto en la primera planta y 121 en el segundo piso. Su área de circulación es de 3.813 metros cuadrados y la útil de 5.720 m². Tres baterías de baños y 2.000 metros cuadrados para parqueaderos y 600 para vehículos de carga” (Plaza de mercado, biblioteca-Sogamoso - Google Sites).

Figura 18 Plaza de Mercado Sogamoso – Boyacá



Fuente: Google Maps Disponible en:

<https://satellitemap.gosur.com/es/?ll=5.720926161460866,72.93420444160517&z=16.979616903567287&t=satellite>

Marco Institucional

“La empresa COSERVICIOS S.A ESP en cumplimiento con el PGIRS vigente realiza una campaña anual de selección en la fuente; dicha campaña está dirigida a todos los colegios, universidades, instituciones, empresas, industria, sector comercial y viviendas en general puerta a puerta. Sin embargo, no se ha obtenido una respuesta efectiva por parte de los capacitados, además no se cuenta con plantas de procesamiento y aprovechamiento del material reciclable ni se cuenta con rutas selectivas de recolección” (Actualización Del Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos - PGIRS - Del Municipio De Sogamoso- Boyacá 20 De Diciembre Del 2015).

Aspectos Generales de la Prestación del servicio de Aseo

“La Compañía de Servicios Públicos de Sogamoso-COSERVICIOS S.A E.S.P. a través de la Dirección de Servicios Integrales de Aseo (DSIA), administra y presta los servicios de Recolección, Transporte y Disposición Final de los Residuos Sólidos Domiciliarios y Comerciales del Municipio de Sogamoso. Igualmente, el servicio de barrido de vías y áreas públicas, así como el servicio de limpieza urbana que comprende lavado de áreas públicas, poda de árboles y corte de césped ” (Actualización Del Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos - PGIRS - Del Municipio De Sogamoso- Boyacá 20 De Diciembre Del 2015).

Recolección y Transporte

“COSERVICIOS S.A E.S.P., realiza el 100% de recolección de Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) del perímetro urbano y suministra el servicio a usuarios del sector rural en el centro poblado de morca; en estas zonas la empresa presta el servicio dentro del área de servicio establecida y donde técnica y operativamente es posible el acceso vial, es decir, donde se permita el acceso de los camiones y a su vez se pueda facturar el servicio de aseo conjuntamente con la factura del servicio de Acueducto. La empresa tiene un área de prestación de servicio establecida; la cual está dividida en (3) macro-rutas y (21) micro-rutas de recolección, cumpliendo con dos frecuencias de recolección semanal, en cumplimiento de la normatividad vigente, actividades realizadas de lunes a sábado” (Actualización Del Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos - PGIRS - Del Municipio De Sogamoso- Boyacá 20 De Diciembre Del 2015).

Disposición Final

“Este proceso se lleva a cabo en el Relleno Sanitario Regional Terrazas del Porvenir, el cual se encuentra ubicado a 7 kilómetros del perímetro urbano de Sogamoso, específicamente en la Vereda San José del Porvenir, en dirección NE, con coordenadas N: 1128500.00 – 1127300.00 E: 1132200.00 – 1133000.00. Actualmente donde son depositados los residuos sólidos cuenta con once (11) terrazas clausuradas, una (1) terraza en operación la cual consta de 3 niveles ya construidos y en operación (Nivel A, Nivel B, Nivel C) y un (1) nivel proyectado para construcción y operación (Nivel D)” (Actualización Del Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos - PGIRS - Del Municipio De Sogamoso- Boyacá 20 De Diciembre Del 2015).

Planta De Compostaje

“En el año 2015 se ejecutaba el beneficio y selección de materia orgánica para el proceso de compostaje por medio de los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado del municipio de Sogamoso, había una producción aproximada de 15 toneladas por semana, se comienza el proceso destinado en el relleno sanitario” (Actualización Del Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos - PGIRS - Del Municipio De Sogamoso- Boyacá 20 De Diciembre Del 2015).

Metodología

Con el propósito de efectuar los objetivos planteados, por medio de una serie de etapas, que permitirán desarrollar de manera eficiente el proyecto en estudio, mediante revisión bibliografía a través de recursos electrónicos. Las etapas a ejecutar se listan a continuación:

Etapas del proceso de investigación:

Etapas 1- Búsqueda de recursos bibliográficos: Durante esta etapa se hará la recolección de un gran volumen de documentos que permitan indagar acerca de los diferentes estudios realizados actualmente. El material bibliográfico se obtendrá por medio de los recursos electrónicos brindados por la universidad, editoriales científicas formales, la búsqueda de información se realizará en otro tipo de material bibliográfico como: libros, artículos científicos, revistas especializadas y documentos que permitan interpretar conceptos básicos a tener en cuenta en el desarrollo del proyecto.

Etapas 2- Recopilación de datos secundarios: A partir de la información recolectada a nivel internacional, nacional y local sobre el tema, se determinarán los documentos de estudio de fuentes confiables respecto a los objetivos planteados y por medio de las herramientas Rhinoceros 3D y Autodesk Inventor facilito el diseño del Biodigestor y su proceso.

Etapas 3- Socialización: proyecto a comerciantes, vendedores mayoristas y minoristas de la plaza de mercado con el propósito de consultar la participación (aplicación consentimiento informado, encuesta, Anexo 4).

Etapas 4- Visita y construcción de instrumentos de recolección de información, (encuesta, pesajes) reconocimiento a los sectores de estudio que se encuentran en la plaza de mercado y al Relleno Sanitario Regional Terrazas del Porvenir.

Etapas 5- visitas de campo para la aplicación de instrumento (encuesta, pesajes, charlas informativas), a los sectores de la plaza de mercado y al Relleno Sanitario Regional Terrazas del

Porvenir, con el fin de recopilar información relacionada con clasificación de residuos sólidos, pesaje, días de recolección, tratamientos y aspectos administrativos.

Etapas 6- Procesamiento e interpretación de la información. En esta fase se ejecuta las observaciones de los aspectos y datos reconocidos.

Herramientas para recopilación de información.

Para efectuar la investigación en la parte a la que va enfocada el estudio se aplican:

Visitas de observación directa: se realiza con el objeto de identificar como es la distribución por sectores el área de estudio, días y hora de recolección de los residuos orgánicos, maquinaria e equipos utilizados para su disposición final.

Registro fotográfico: se documenta el proceso de la generación de la materia orgánica desde el inicio de la jornada hasta finalizar y son transportados al relleno sanitario regional Terrazas del Porvenir por la empresa encargada, que permita tener evidencias físicas de los procesos estudiados, especialmente de la contaminación ambiental que se genera.

Ejecución Encuestas: va dirigido a comerciantes de la Plaza de mercado y trabajadores de la empresa encargada de la recolección de residuos Coservicios del Municipio de Sogamoso.

Unidad de análisis, Población – Muestra

La unidad de análisis corresponde a comerciantes de la plaza de mercado del municipio de Sogamoso.

Población.

Para el progreso del proyecto el lugar de estudio es donde se comercializa diversidad de productos (frutas y verduras) esta se encuentra localizada en el área urbana del municipio en la Carrera 18 #12-89, la plaza de mercado minorista de mercado de Sogamoso está distribuida en nueve (9) sectores los cuales ofrecen un total de 1140 puestos entre locales, módulos, casetas entre otros.

Muestra

El proyecto de investigación va enfocado a la plaza de mercado minorista del Municipio de Sogamoso donde el enfoque principal es el estudio de los residuos orgánicos que son generados por los comerciantes de frutas y verduras, para el desarrollo de la investigación se conocen las toneladas promedio generadas del año 2016 al año 2021 de residuos orgánicos.

En el sector del Pabellón se generan variedad de residuos de diferentes tipos de animales como productos cárnicos como productos pesqueros, productos porcinos, avícolas, ovinos y sus derivados.

En una de las visita de campo a la plaza de mercado en horas de la mañana, se observan a diferentes personas particulares con vehículos que recogen los residuos orgánicos generados del pabellón.

Sector Pabellón



Fuente: Elaboración propia

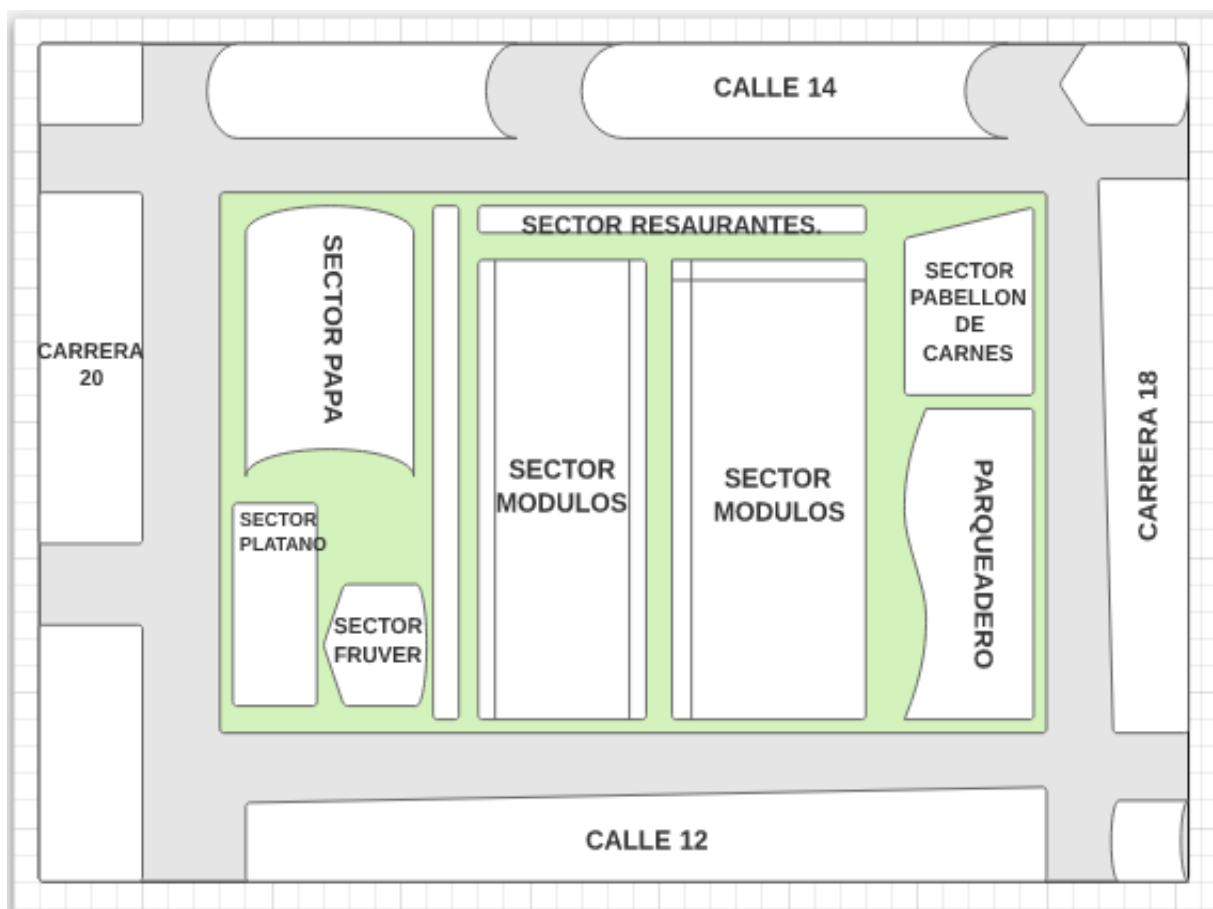


Fuente: Elaboración propia

Diagnóstico de la generación de materia orgánica generada en la plaza de mercado

Está distribuida en nueve (9) sectores los cuales ofrecen un total de 1140 puestos entre locales, módulos, casetas. Entre los Sectores están Pabellón, Batan, Restaurantes, Locales, Fritanga, Papa, Fruver, Módulos y Parquadero.

Figura 19 Plano de la Plaza de mercado



Fuente: Administración encargada

Tabla 9 Distribución Por Sectores plaza de mercado Municipio Sogamoso - Boyacá

Sector	N° de Puestos	Ocupados	Disponibles
Pabellón	25	25	0
Batan	108	108	0
Restaurantes	15	15	0
Locales	26	26	0
Fritanga	26	36	0
Papa	130	85	45
Fruver	150	107	43
Módulos	547	292	255
Parqueadero	113	95	18
TOTAL	1.140	779	354

Fuente: Secretario de Desarrollo Económico y Turismo

Se realiza la observación como es el manejo, recolección y disposición final de materia orgánica través de visitas programadas, se recolecto información inicial para el estudio de estos, la principal fuente de información es la empresa COSERVICIOS S.A ESP que proporciona el servicio de recolección y transporte de desechos orgánicos.

Se observa que la separación de residuos sólidos la efectúan los mismos comerciantes o trabajadores, los cuales separan cartón, madera y papel, en ocasiones se observa que venden ciertos residuos en las diferentes bodegas o empresas particulares encargadas de compra de reciclaje que se encuentran a los alrededores de la plaza de mercado, en la parte de los residuos orgánicos no hay ningún tipo de aprovechamiento en el momento.

Algunos comerciantes realizan su almacenamiento temporal en su puesto de trabajo de los alimentos que ya no están para consumir en bolsas o costales, mientras que se acaba el horario permitido de trabajo en la plaza de mercado, y se observa que algunos comerciantes llevan estos residuos a ciertos puntos o esquinas donde son arrojados y acumulados mientras la empresa encargada realiza su recolección y son transportados al su disposición final o relleno sanitario.

Caracterización Materia Orgánica

Para realizar el seguimiento de la caracterización de materia orgánica, se determinó por el método de diferencias de pesos y cuarteo donde se recopilan datos aproximados por un muestreo estadístico, esto se ejecuta por medio de trabajo de campo obteniendo datos primarios y secundarios.

Se programa el pesaje en la báscula determinada por la empresa encargada de administración de los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado se ejecuta los días:

- Lunes
- Miércoles
- Sábado

Diferencia de pesos y cuarteo

“Por este método se puede determinar la cantidad de residuos sólidos que entran al relleno sanitario, mas no la cantidad de residuos que genera una población, ya que una fracción (aunque sea pequeña) se aprovecha y no es recolectada por el vehículo, Se puede establecer la cantidad de residuos sólidos que ingresan al destino final, más no su estructura” (Montoya, A, 2012, p. 2).

Generación de residuos sólidos orgánicos plaza de Mercado

Tabla 10 Inicio de la comercialización frutas y verduras

Plaza de Mercado Sogamoso	
Hora : 7: 00 Am	Sector: papa – verduras y frutas
	
Hora: 12:30 Pm	Lugar de generacion de residuos Calle 12
	
Fuente: Elaboración propia	Fuente: Elaboración propia

**Residuos Orgánicos aproximadamente día
seis a siete toneladas (6 -7 Tn)**



Recolección de Residuos Orgánicos



Carros Recolectores empresa Coservicios



**Relleno Sanitario Regional Terrazas del
Porvenir Bascula**



Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

Disposicion Final - Relleno Sanitario Regional Terrazas del Porvenir.



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Plan Trabajo De Campo.

PLAN - TRABAJO DE CAMPO

Lugar:	Plaza de mercado Sogamoso	Mes: Julio	Hora: 7:30Am	Año: 2020
Tipo de residuo solido				
Residuos Orgánicos				
Tonelada / Mes				
66,5				

PLAN - TRABAJO DE CAMPO				
Lugar:	Plaza de mercado Sogamoso	Mes: Agosto	Hora: 7:30Am	Año: 2020
Tipo de residuo solido				
Residuos Orgánicos				
Tonelada /Mes				
62.2				

PLAN - TRABAJO DE CAMPO				
Lugar:	Plaza de mercado Sogamoso	Mes: Septiembre	Hora:7:30Am	Año: 2020
Tipo de residuo solido				
Residuos Orgánicos				
Tonelada /Mes				
52,96				

PLAN - TRABAJO DE CAMPO				
Lugar:	Plaza de mercado Sogamoso	Mes: Octubre	Hora: 7:30Am	Año: 2020
Tipo de residuo solido				
Residuos Orgánicos				
Tonelada /Mes				
53,7				

PLAN - TRABAJO DE CAMPO				
Lugar:	Plaza de mercado Sogamoso	Mes: Noviembre	Hora: 7:30Am	Año:2020
Tipo de residuo solido				
Residuos Orgánicos				
Tonelada /Mes				
79,42				

PLAN - TRABAJO DE CAMPO				
Lugar:	Plaza de mercado Sogamoso	Mes: Diciembre	Hora: 7:30Am	Año: 2020
Tipo de residuo solido				
Residuos Orgánicos				
Tonelada /Mes				
73,36				

Distribución Sectores Plaza de Mercado

Sector Pabellón



Fuente: Elaboración propia

Sector Batan



Fuente: Elaboración propia

Sector Restaurantes

Interior.



Fuente: Elaboración propia

Exterior.



Fuente: Elaboración propia

Sector Locales



Fuente: Elaboración propia

Sector Fritanga



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Sector Papa



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Sector Fruver



Fuente: Elaboración propia

Sector Módulos



Tabla 11 Generación de Residuos Orgánicos Año 2015

Ítem	Clasificación De Residuos	Ton. Producción Año 2015	Promedio Día	Promedio Mes
1	Plaza de Mercado	720	15	60

Fuente: Actualización Del Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos - PGIRS - Del Municipio De Sogamoso- Boyacá (20 De Diciembre Del 2015).

Tabla 12 Principales Residuos Sólidos Municipio Sogamoso años 2016 y 2017

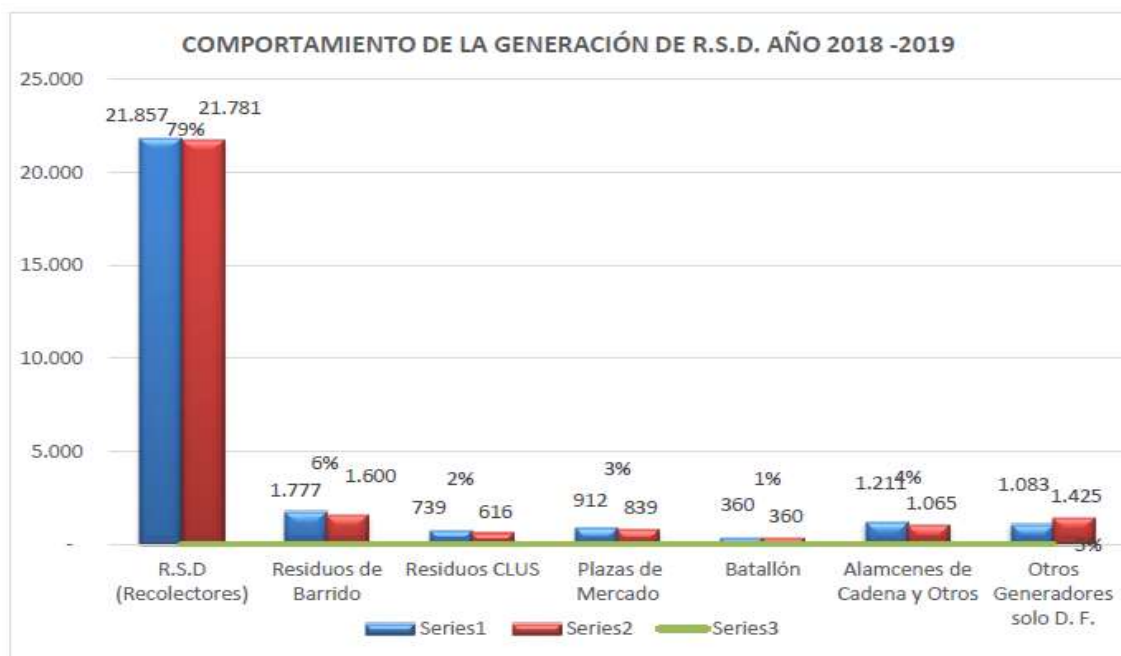
Ítem	Clasificación De Residuos	Ton. Prod. Año 2016	Ton. Prod. Año 2017	Incremento	Porcentaje
1	R.S.D (Recolectores)	20,155	21,757	1,602	69%
2	Residuos de Barrido	1,837	1,666	(171)	-7%
3	Residuos CLUS	315	873	558	24%
4	Plazas de Mercado	798	931	133	6%
5	Residuos de Sumideros (D.F.)	494	441	52	-2%
6	Batallón	468	450	18	-1%
7	Almacenes de Cadena y Otros	1,225	1,138	86	-4%
8	Otros Generadores solo D. F.	768	1,112	344	15%
Total Residuos		26,058	28,368	2,310	100%

Fuente: Informe de Gestión 2017

Tabla 13 Principales Residuos Sólidos Municipio Sogamoso años 2018 y 2019

Ítem	Clasificación De Residuos	Ton. Prod. Año 2018	Ton. Prod. Año 2019	Incremento	Porcentaje
1	R.S.D (Recolectores)	21.857	21.781	77	79%
2	Residuos de Barrido	1.777	1.600	177	6%
3	Residuos CLUS	739	616	122	2%
4	Plazas de Mercado	912	839	72	3%
5	Batallón	360	360	-	1%
6	Almacenes de Cadena y Otros	1.211	1.065	147	4%
7	Otros Generadores solo D. F.	1.083	1.425	342	5%
Total Residuos		27.938,70	27.685,82	253	100%

Fuente: Informe de Gestión 2019

Gráfica. 1 Comportamiento de la generación de Residuos Sólidos Años 2018-2019

Fuente: Informe de Gestión 2019

Micro-ruta Plaza Mercado

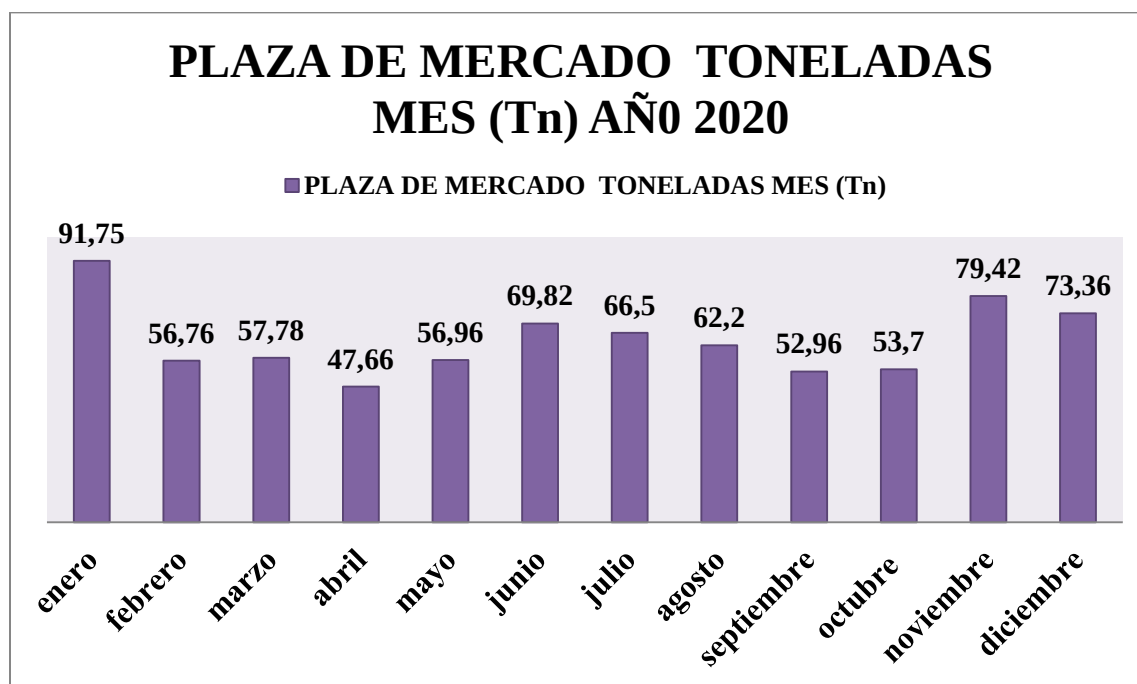
“La caracterización física de residuos sólidos generados en la micro-ruta correspondiente al sector de la Plaza de Mercado del municipio de Sogamoso, dio como resultado que la mayor parte de sus residuos son de tipo Orgánico, es decir, que los residuos caracterizados son aquellos provenientes de la actividad económica desarrollada allí” Actualización Del Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos - PGIRS - Del Municipio De Sogamoso- Boyacá (20 De Diciembre Del 2015).

Tabla 14 Generación Residuos Orgánicos Año 2020.

COSERVICIOS	CONSOLIDADO
AÑO 2020	PLAZA DE MERCADO TONELADAS MES (Tn)
Enero	91,75
Febrero	56,76
Marzo	57,78
Abril	47,66
Mayo	56,96
Junio	69,82
Julio	66,5
Agosto	62,2
Septiembre	52,96
Octubre	53,7
Noviembre	79,42
Diciembre	73,36
promedio Tonelada/Año	768,87

Fuente: Informe de Gestión 2020

Gráfica. 2 Comportamiento de la generación de Residuos Orgánicos Año 2020



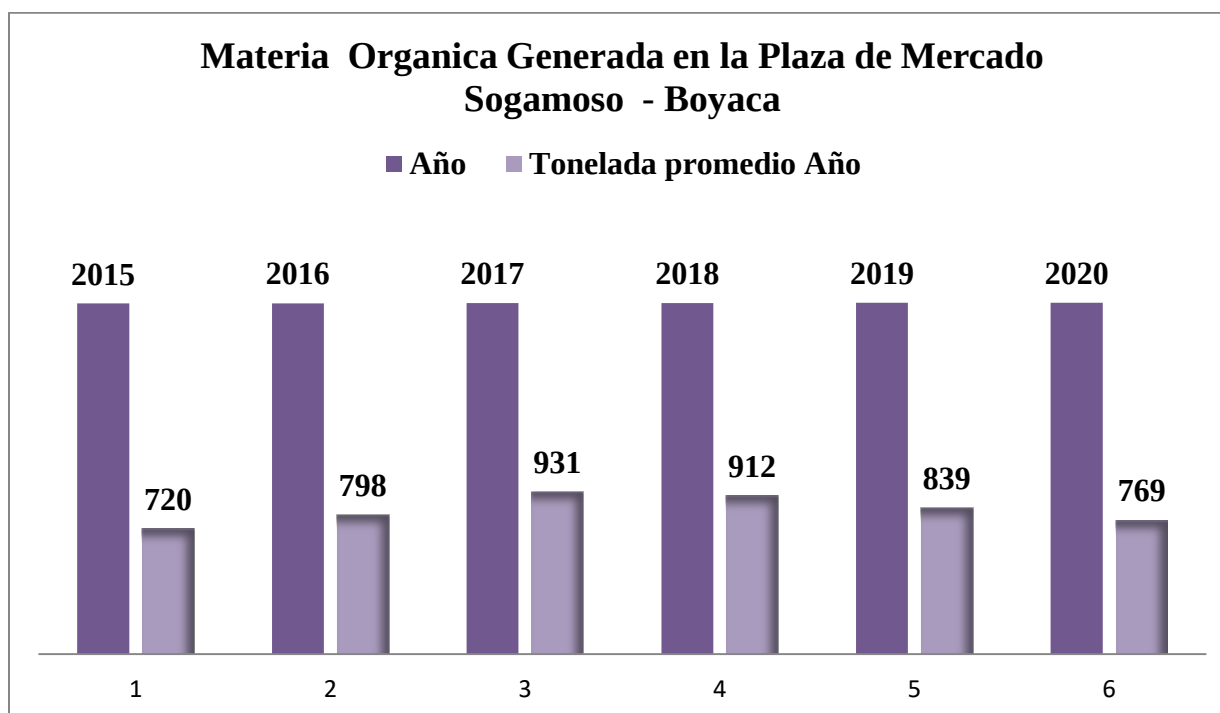
Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Resultados Caracterización plaza de Mercado (2015 -2020)

	Año	Año	Año	Año	Año	Año
Clasificación de Residuos	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Plaza de Mercado	720	798	931	912	839	769
Tonelada Promedio Año Tn/Año						

Fuente: Elaboración propia

Gráfica. 3 Materia Orgánica originada en la Plaza de Mercado Sogamoso – Boyacá (2015 - 2020)



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo información por medio de la empresa COSERVICIOS S.A ESP encargada de la recolección de residuos sólidos del municipio de Sogamoso, esta recolección se realiza los días lunes, miércoles y sábados en horas de la mañana, estos son llevados al carro recolector con ayuda de maquinaria como la retroexcavadora y operarios de la empresa.

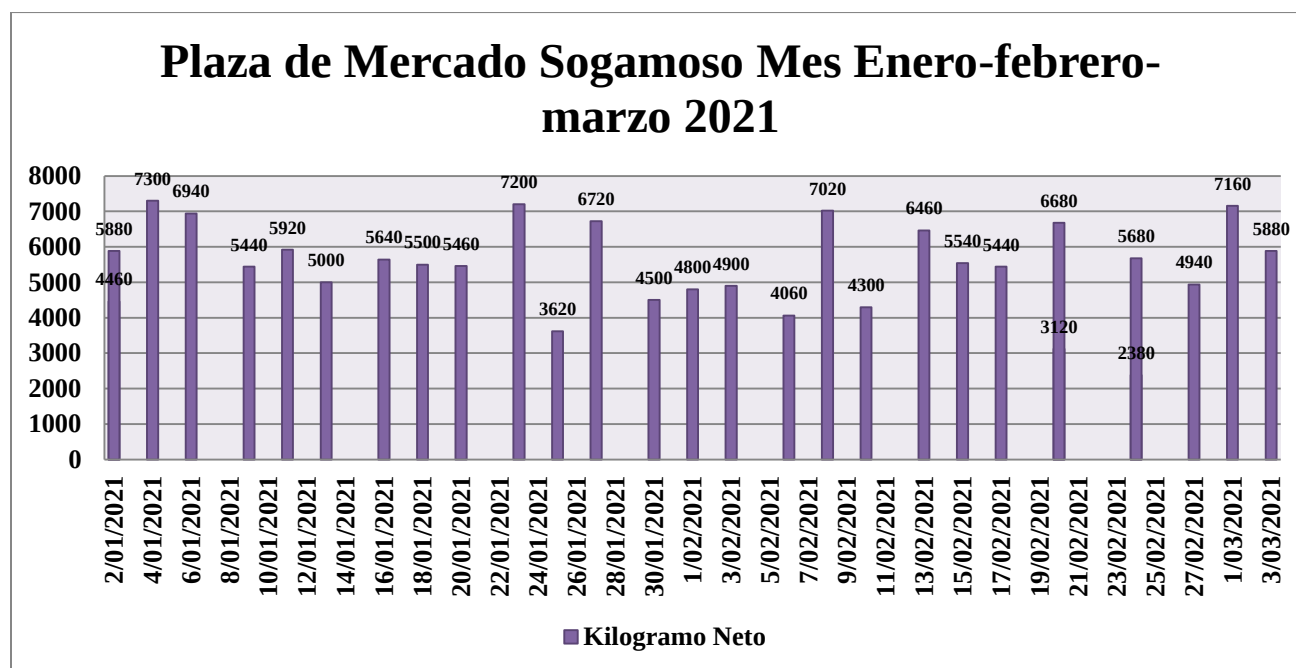
Tabla 16 Resultados Caracterización plaza de Mercado Enero – Febrero – Marzo Año 2021

Desde :		1/01/2021			Hasta:	3/03/2021		
Producto	SOGABASTOS							
Ticket	Placa	Fecha Ingreso	Hora	Origen	Destino	Kilogramo Ingreso	Kilogramo Salida	Kilogramo Neto
6136	TLP 333	3/03/2021	10:27 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	17700	11820	5880
6085	TLP 333	1/03/2021	11:39 a.m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	18620	11460	7160
6064	JID 052	27/02/2021	9:01 a.m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	10780	5840	4940
5989	JID 052	24/02/2021	12:02 pm.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	8260	5880	2380
5984	JID 052	24/02/2021	10:01 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	11560	5880	5680
5914	JID 052	20/02/2021	11:47 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	8960	5840	3120
5908	JID 052	20/02/2021	9:07 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	12540	5860	6680
5828	TLP 333	17/02/2021	9:40 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	17020	11580	5440
5772	TLP 333	15/02/2021	9:40 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	17180	11640	5540
5757	TLP 333	13/02/2021	10:07 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	18100	11640	6460
5685	TLP 333	10/02/2021	9:38 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	15860	11560	4300
5635	TLP 333	8/02/2021	11:07 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	18600	11580	7020
5618	TLP 333	6/02/2021	9:59 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	15660	11600	4060
5543	TLP 333	3/02/2021	9:53 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	16580	11680	4900
5481	TLP 333	1/02/2021	9:40 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	16320	11520	4800
5466	TLP 333	30/01/2021	9:29 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	16120	11620	4500
5394	TLP 333	27/01/2021	9:52 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	18540	11820	6720
5343	TLP 333	25/01/2021	9:49 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	15280	11660	3620
5331	TLP 333	23/01/2021	10:36 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	18900	11700	7200
5261	TLP 333	20/01/2021	9:37 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	17120	11660	5460
5203	TLP 333	18/01/2021	9:40 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	17180	11680	5500
5187	TLP 333	16/01/2021	10:06 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	17320	11680	5640
5106	TLP 333	13/01/2021	9:42 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	16580	11580	5000
5049	TLP 333	11/01/2021	9:57 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	17560	11640	5920

5032	TLP 333	9/01/2021	9:56 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	17100	11660	5440
4947	TLP 333	6/01/2021	10:53 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	18520	11580	6940
4878	JID 052	4/01/2021	9:52 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	13160	5860	7300
4870	JID 052	2/01/2021	12:37 pm.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	10340	5880	4460
4861	JID 052	2/01/2021	10:03 a. m.	SOGAMOSO	RELLENO SANITARIO	11760	5880	5880

Fuente: Coservicios - Relleno sanitario Terrazas del Porvenir.

Gráfica. 4 Materia Orgánica producida en la Plaza Mercado Sogamoso – Boyacá Meses Enero – Febrero - Marzo (Año 2021)



Fuente: Elaboración propia

Identificación de los diferentes tipos de biodigestores.

Diferencias De Biodigestores.

Estudio para seleccionar la mejor elección del prototipo.

Cuadro comparativo. Para elegir la mejor opción se debe tener en cuenta las medidas principales del municipio de Sogamoso.

Vida útil. “Lo que se busca para el prototipo es que posea una alta durabilidad aproximada de 20 años y que tenga la habilidad de modificarlo según la materia orgánica generada para producir la cantidad de biogás requerido” (Hernández, B y Ramírez, N. 2019).

Efecto de presión de gas en el sistema. Debe tener el control adecuado de la presión según la normatividad y producción del sistema a trabajar

Materiales de construcción. Lo que se desea conseguir es que los materiales sean de buena calidad, larga duración y su valor no sean costosos. (Hernández, B y Ramírez, N. 2019)

Costos. Para la ejecución del proyecto se busca que se adapte al presupuesto dado por la empresa encargada.

Mantenimiento. Que permita un mantenimiento práctico y cómodo para los operarios a cargo del biodigestor. (Hernández, B y Ramírez, N. 2019)

Tabla 17 Análisis de Alternativas para el proceso de la Materia Orgánica por medio de biodigestion

Componentes a evaluar	Biodigestor de domo flotante o indio	Biodigestor de domo fijo o chino	Biodigestor flexible	Biodigestor de almacenamiento tradicional	Biodigestor de alta velocidad	Biodigestor Tipo Industrial. mezcla completa de alta tecnología
Vida útil	20 años	20 años	3 a 8 años dependiendo del material	10 años	3 a 8 años dependiendo del material	15 - 20 años.
Efecto de presión del gas en el sistema	Presión constante, fácil manejo	La presión es variada	La presión interna es baja	La presión del gas es continua.	Trabaja a presión constante	Trabaja a presión constante
Materiales de construcción.	Concreto o mampostería partes metálicas.	Concreto o piedra Mampostería	Polietileno, o PVC	Piedra y ladrillo polietileno de película delgada.	Concreto o mampostería partes metálicas.	“Acero al carbono protegido, Acero inoxidable, Tanques de hormigón” (Hilbert J, A. 2011)

Fuentes: Hilbert J, A. 2011

Por medio de la información bibliográfica de los prototipos de biodigestores elaborados para los diferentes servicios, se realiza el estudio de las ventajas y desventajas, teniendo cuenta los factores de funcionamiento, criterios del municipio, condiciones climatológicas, basados en la información se selecciona el biodigestor que cumpla con las condiciones para implementar.

Tabla 18 Tipos de Biodigestores

	Ventajas	Desventajas
Biodigestor de domo flotante (India)	su manipulación es simple y la presión de gas es constante, su construcción es sencilla.(Carvajal,P.19)	“Altos costos de los materiales para el tambor de acero, tiempo de vida corto”(Carvajal, P.25)
Biodigestor de domo fijo (chino)	“costos de producción bajos, larga vida útil, su estructura subterránea estabiliza la temperatura, beneficia a la generación de empleo” (Carvajal, P.19).	Complicaciones con la permeabilidad para gases del recipiente de ladrillo para el gas, solo puede ser supervisada por técnicos experimentados en biogás,
Biodigestor flexible	Económico y fácil de transportar por su bajo peso, promedio de vida de 20 años, facilidad de mantenimiento para ajustes y lavado.	Facilidad de ser deteriorado por condiciones climáticas.
Biodigestores semicontinuos o continuos secos sin manejo del sustrato	“No necesitan sistema de agitación interna, resisten la presencia de inertes Pesados y/o plásticos. Tienen baja pérdida de sustancia biodegradable durante el pretratamiento. Resisten picos de concentración de sustratos o Sustancias tóxicas. Realizan pretratamientos mínimos y más económicos., Demandan agua en cantidad reducida en el proceso,	Requiere inversiones elevadas. Debido al equilibrio necesita entre poblaciones bacterianas, necesita supervisión técnica periódica. Baja velocidad de crecimiento de microorganismos (requiere tiempos elevados de retención de 15 a 20 días grandes volúmenes de reactores)

Requieren calentar mínimamente el reactor anaeróbico” (Casanovas G y Vecchia F, 2019)

Biodigestor Tipo Industrial. mezcla completa de alta tecnología

“Este tipo de biodigestores permite garantizar una producción de biogás y, consecuentemente, de energía térmica y/o eléctrica constante las 24 Horas del día los 365 días del año”(Casanovas G y Vecchia F, 2019)

Requieren una inversión significativa, dependiendo de la escala y los tipos de sustratos a utilizar.

Fuente: Casanovas G y Vecchia F, 2019

Matriz Foda - Biodigestor Tipo Industrial. Mezcla completa de alta tecnología

Por medio de la matriz FODA se analizan las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, esto permite establecer la selección y alternativas para el esquema del prototipo del biodigestor a implementar para el Municipio de Sogamoso - Boyacá.



Diseño del Biodigestor para la Materia Orgánica - Tipo Industrial Mezcla Completa de Alta Tecnología

Entre los criterios a utilizar en el biodigestor a implementar son:

- Temperatura
- Relación carbono/nitrógeno
- Tiempo de retención
- Humedad

Componentes Físicos

- Terreno donde es va a construir las estructuras.
- Carretera, puntos de entrada y salida.
- Elevación
- Escenarios meteorológicos.

Componentes Humanos

- Recurso económico
- Materia prima para la construcción
- Recursos humanos.
- Biomasa

Parámetros Para el Diseño de un Biodigestor

Por medio del análisis estadístico de la generación de materia orgánica donde se distribuye variedad de productos como frutas y verdura, se determina la moda, mediana, media, varianza, Desviación estándar y rango de datos, por medio de la recolección de datos que se obtuvieron en las visitas a la plaza de mercado y al relleno sanitario Terrazas el Porvenir.

Análisis Estadístico plaza de Mercado (2020 - Año 2021- Mes Enero - Febrero)

Coservicios	Consolidado
Año 2020	Toneladas Mes (Tn)
Enero	91,75
Febrero	56,76
Marzo	57,78
Abril	47,66
Mayo	56,96
Junio	69,82
Julio	66,5
Agosto	62,2
Septiembre	52,96
Octubre	53,7
Noviembre	79,42
Diciembre	73,36
Año 2021	Tonelada Mes (Tn)
Enero	79,98
Febrero	65,32

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Estadístico plaza de Mercado

Moda

91,75 - 56,76 - 57,78 - 47,66 - 56,96 - 69,82 - 66,5 - 62,2 - 52,96 - 53,7 - 79,42 - 73,36 - 79,98
65,32

No hay moda, ya que ningún dato se repite.

Mediana

La información se organiza los datos de menor a mayor y se procede:

Tabla 19 Análisis Estadístico – Mediana

Coservicios	Consolidado
Año 2020	Plaza De Mercado Toneladas Mes (Tn)
Abril	47,66
Septiembre	52,96
Octubre	53,7
Febrero	56,76
Mayo	56,96
Marzo	57,78
Agosto	62,2
Febrero	65,32
Julio	66,5
Junio	69,82
Diciembre	73,36
Noviembre	79,42
Enero(2021)	79,98
Enero(2020)	91,75

$$\text{Mediana} = \frac{(62,2+65,32)}{2} = 63,76\text{Tn/Año}$$

Media

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{X} =$$

$$\frac{(91,75 + 56,76 + 57,78 + 47,66 + 56,96 + 69,82 + 66,5 + 62,2 + 52,96 + 53,7 + 79,42 + 73,36 + 79,98 + 65,32)}{14}$$

$$\text{Media } \bar{X} = 65,30 \text{ Tn /Mes}$$

Varianza

$$s^2 = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N}$$

Coservicios		Consolidado	
Año 2020	Plaza De Mercado	Toneladas Mes (Tn)	$(X - \bar{X})^2$
Enero		91,75	$(91,75 - 65,30)^2 = 699,6025$
Febrero		56,76	$(56,76 - 65,30)^2 = 72,9316$
Marzo		57,78	$(57,78 - 65,30)^2 = 56,5504$
Abril		47,66	$(47,66 - 65,30)^2 = 311,1696$
Mayo		56,96	$(56,96 - 65,30)^2 = 69,5556$
Junio		69,82	$(69,82 - 65,30)^2 = 20,4304$
Julio		66,5	$(66,5 - 65,30)^2 = 1,44$
Agosto		62,2	$(62,2 - 65,30)^2 = 9,61$
Septiembre		52,96	$(52,96 - 65,30)^2 = 152,2756$
Octubre		53,7	$(53,7 - 65,30)^2 = 134,56$
Noviembre		79,42	$(79,42 - 65,30)^2 = 199,3744$
Diciembre		73,36	$(73,36 - 65,30)^2 = 64,9636$
Año 2021		Tonelada Mes (Tn)	
Enero		79,98	$79,98 - 65,30)^2 = 215,5024$
Febrero		65,32	$(65,32 - 65,30)^2 = 0,0004$
		N:14	$\sum 2007,9665$

$$s^2 = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N} = \text{Varianza } s^2 = \frac{2007,9665}{14} = 143,43$$

Desviación estándar

$$S = \sqrt{s^2}$$

$$S = \sqrt{143,43^2}$$

$$S = 11,98$$

Rango de datos.

$$R = Max_x - Min_x \quad R = 47,66 - 91,75 = \text{Rango } 44,09$$

Propuesta Alternativa para la Localización del Biodigestor

Localización del terreno para la ejecución de Biodigestor.

“Ubicado aproximadamente a 7 km de la cabecera municipal de Sogamoso, en la vereda San Juan de Porvenir actualmente donde está ubicado la disposición final o relleno sanitario y permite la disposición de 43 municipios de diferentes provincias” (Aponte J y Chaparro D 2017).

Figura 20 Relleno Sanitario Terrazas Del Porvenir.



Fuente: Google Maps Disponible en: <https://n9.cl/gsu05>

Este lugar para la implementación será a un kilómetro de la entrada principal del relleno sanitario ya que en hay un terreno específico donde se puede disponer y almacenar temporalmente la materia orgánica, como se observa en la figura 21, también está cerca de la báscula de pesaje y de la oficina principal donde se facilita un punto directo de agua y también se puede implementar un sistema de canaletas para aguas lluvia y almacenamiento esto puede abastecer el agua requerida para el correcto funcionamiento del biodigestor a efectuar.

Figura 21 Localización Prototipo Biodigestor



Fuente: Elaboración propia

Propuestas de reutilización del biogás y Biofertilizante

La producción de biogás lo que busca es optimizar los entornos ambientales y la obtención de energía sostenible en la zonas rurales, la producción de biogás y biofertilizante es un beneficio para brindar a la comunidad de la vereda San José Porvenir, para generar electricidad, para motores utilizados en la agricultura, para ordeñadoras y cocina, los biofertilizantes producidos se utiliza para mejorar la cobertura vegetal y la degradación del paisaje , el deterioro visual por la construcción de las terrazas que son utilizadas para la etapa final de los residuos sólidos.

Alimentación del biodigestor

Valores de diseño

Basado en el (Manual de uso del biodigestor Santa Fe), algunos factores: Se debe tener en cuenta el sustrato con el que se va procesar, en el caso actual se trabajara con restos o desechos orgánicos, por este motivo la temperatura que se sugiere trabajar es entre 25 y 30 °C.

Ejemplo

Tabla 20 Valores de Diseño

Alimentación diaria:	Equivalencia en gas envasado
15 kilogramos de FORSU + 15 litros de agua.	0,75 kilogramos GE/día.
Generación diaria de biogás (aproximado):	Generación de biofertilizante:
1,5 m ³ biogás/día.	30 litros/día (aproximado).

FORSU: “Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos; los residuos de comedor entran en esta categoría” (Manual de uso del biodigestor Santa Fe)

Fuente: Manual de uso del biodigestor Santa Fe

El digestor se debe alimentar a diario, dependiendo la materia orgánica que se manipule, por cada kilogramo de residuo a tratar se agrega o adiciona 1 litro de agua. Se recomienda tener muy claro las cantidades correctas en los sustratos a manejar que sea proporciones de 50% para cada uno. Por medio del Análisis Estadístico plaza de Mercado y el (Manual de uso del biodigestor), se estipuló la cantidad de agua que se debe adicionar al promedio los desechos orgánicos generados es de 65,30 Toneladas / mensual.

Tabla 21 Cálculo de cantidad Agua a adicionar

Tipo de Residuo			Residuos Orgánicos Generados mes 65,30 Toneladas / mensual		
	Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos; los residuos de comedor entran en esta categoría.				
Diario Generación día			Semanal Generación semanal		
2,18 toneladas o 2180 kilogramos	+	2180 Litros de agua. Equivalente	15,3 Toneladas o 15300 kilogramos	+	15300 Litros de agua Equivalente
Suma de residuos Orgánicos + cantidad de agua a adicionar 4,36 Toneladas			Suma de residuos Orgánicos + cantidad de agua a adicionar 30,6 Toneladas		

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 21, se relaciona diariamente en la plaza de mercado se genera un promedio de 2,18 Toneladas y a la semana 15,3 toneladas por medio del (Manual de uso del biodigestor Santa Fe). Se observa el estudio detallado de los criterios a utilizar para el Diseño de Biodigestor, donde el agregado de Agua es su proporción es 1:1 para su adecuado proceso.

Con el agregado de agua más cantidad de residuos orgánicos a la semana se maneja un aproximado de 30,6 toneladas con la propuesta del diseño a implementar es construir cuatro (4) Biodigestores, uno para cada semana o que realice su proceso en serie según la recolección de estos residuos.

Para comprobar la cantidad de agua necesaria para agregar al Biodigestor se realizó el estudio de varias fuentes de información donde se encuentra diversidad de datos de la humedad o cantidad de agua que adquiere cada sustrato y la proporción de carbono – Nitrógeno en la materia orgánica que se generan en las plazas de mercado.

Características de los Residuos Orgánicos en las 19 Plazas de Mercado Públicas

“Las siguientes son las características de los residuos orgánicos de las plazas de mercado: la densidad promedio de los residuos es de $0,31 \text{ ton/m}^3$, la humedad varía entre 80 y 92%, el contenido de carbono está entre 43.5 y 49.8%, los fenoles varían entre 14.3 y 316 mg/kg, los nitratos entre 372 y 18,040 mg/kg, los nitritos entre 5.2 y 32.8 mg/kg, el nitrógeno total varía entre 1.1 y 2.1%, los sólidos totales varían entre un 8 y 20%, los sólidos volátiles entre 78.4 y 89.7%, los sulfatos entre 6,580 y 93,120 mg/kg., los sulfitos entre 177 y 1,200 mg/kg, el pH (medido en campo) varía entre 6.1 y 7 ” (Conama 2014; Congreso Nacional Del Medio Ambiente, 2014)

Listado de Restos de Frutas y Verduras Vistas en la Visita A la Plaza de Mercado Pública Trinidad Galán

“En esta tabla los valores de las calorías tomadas de las fuentes fueron medidas por cada 100 gramos de cada componente registrado.

Tabla 22 Frutas y Verduras humedad - poder calorífico

Residuos	Humedad %	Poder Calorífico
Pepino	96.73	13
Lechuga	95.64	14
Tallos de apio	95.43	14
Calabacín	95	23
Tomate	94.45	23
Papaya	93	24
Repollo	92.52	24
Cabellos cebolla larga	92.2	26
Coliflor	91.91	25
Melón	91.85	28
Sandia	91.45	30
Espinaca	91.4	21
Acelga	91.1	27
Remolacha	91	22
Albahaca	90.96	233
Cebolla cabezona	89.83	32
Brócoli	89.30	33
Calabaza	88.72	29
Zanahoria	88.29	42
Cascara de alverja fresca	86.22	74.79
Diente de león	85.6	45
Rábano	85.6	52
Hierba buena	85.55	44
Mandarina	85.17	15
Guayaba	84.48	51
Cascaras de piña	84.04	60
Mango	83.5	59
Kiwi	83.07	42

Manzana	82.14	54
Aguacate seco	82.06	486
Coronas de piña	81.35	227.7
Menta	80.4	70
Guanábana	77.4	66
Hojas de maíz maduro	77	80
Romero	66-77	131
Cascaras de frijol	66-7	No encontrado
Tuza de mazorca	60.60	160
Cascara de plátano	60	146
Yuca	59.68	160
Laurel	45.2	188
Anís	9.54	377
Hinojo	8.81	31
Salvia	7.96	315
Cilantro	7.3	279

Fuentes: Elaboración propia con la información suministrada por los Tenderos de la Plaza Pública de Mercado Trinidad Galán, (Acofi), (Agropecuarios), (Botánica-Online), (Ceballos, y otros, 2013), (Cina), (Contexto Gabadero), (Especias Y Hierbas), (Fatsecret), (Infoagro), (Stefanello, y otros), (U La Salle), (fen)” (Trujillo, y otros, 2010)

Tabla 23 Relación Carbono – Nitrógeno

Nitrógeno y Relación C/N En varias Materias.			
Material		% N₂	C/N
Residuos de comida	Fruta	1,52	34,80
	Mataderos	7,0-10	2
Estiércoles	Vaca	1,70	18
	Cerdo	3,75	20
	Aves	6,30	15
	Oveja	3,75	22
Fangos activados	Digeridos	1,88	15,70
	Crudos	5,60	6,30
Madera y paja	Serrín	0,10	200-500
	Paja trigo	0,30	128
	Madera pino	0,07	723
Papel	Mezclado	0,25	173
	Periódico	0,05	983
	Revistas	0,07	470
Residuos de jardín	Césped	2,15	20,10
	Hojas caídas	0,5-1	40-80
Biomasa	General	1,96	20,90

Fuente: Ambientum, El portar profesional del medio ambiente

Tabla 24 Producción de biogás a partir de residuos vegetales

Residuos	Cantidad residuo Ton/ha	Relación C/N	Volumen de biogás	
			M³ /ha	M³ /Ton
Cereales (paja)				
Trigo	3.3.	123:1	367	1200
Maíz	6.4	45:1	514	3300
Cebada	3.6	95:1	388	1400
Arroz	4.0	58:1	352	1400
Tubérculo (hojas)				
Papa	10.0	20:1	606	6000
Betarragas	12.0	23:1	501	6000
Leguminosas (paja)				
Porotos	3.2	38:1	518	1650
Habas	4.0	29:1	608	1400
Hortalizas (hojas)				
Tomate	5.5	12:1	603	3300
Cebolla	7.0	15:1	514	3600

Fuente: Valnero y Arellano, 1991.

Cálculos del Dimensionamiento del biodigestor

Para determinar el volumen de cada uno de los reactores cuatro (4), Considerando el volumen de la generación diaria de materia orgánica de la plaza de mercado del municipio de Sogamoso, y de acuerdo a al tiempo de retención estimado según lo recomendado por (Paul, O. 2017), que corresponde en un rango de 30 - 35 días para tipo de residuo a tratar.

Carga diaria del biodigestor

Con la ayuda de la información suministrada por la empresa Coservicios SA ESP de los años (2015 -2020) y las visitas de campo sobre la generación de residuos mensual en el año 2020 y semanal del año 2021 se determinó la cantidad diaria de residuos orgánicos de la plaza de mercado del Municipio de Sogamoso. Para realizar el proceso de alimentación o cargue de cada uno de los reactores en relación 1:1. Para la determinación de cada tanque o reactor se calcula mediante la siguiente ecuación según (Paul, O. 2017)

$$Vd = [Kg (\text{Estiércol o Sustrato}) + Kg(\text{agua})]$$

Esta ecuación es adaptada de (Paul, O. 2017) para el sustrato a trabajar y establecer la cantidad diaria, esta se expresa en Kilogramo de residuos orgánicos.

$$Vd = [Kg (\text{Residuos Organicos}) + Kg(\text{agua})]$$

Datos:

“Un litro de ‘agua pura’ pesa exactamente 1 kilogramo. En un recipiente de 1 metro de lado (1 metro cúbico) hay exactamente 1000 litros de agua. Por tanto, podríamos considerar que 1 kilogramo es la masa de la milésima parte de 1 m³ de agua” (Siurot, M, 2020).

Residuos Orgánicos Día (Kg)	Cantidad Agua en litros o kilogramos (kg)	Residuos Orgánicos por semana (Kg)	Cantidad Agua en litros o kilogramos (kg)	Tiempo de retención (Días)
2180	2180	15300	15300	30

Carga Diaria del Biodigestor

Conociendo la cantidad de materia orgánica que se puede generar diariamente para alimentar el biodigestor, el volumen del digestor V_d se calcula mediante la expresión

$$V_d = [\text{Kg (Residuos Organicos)} + \text{Kg(agua)}]$$

$$V_d = \text{Kilogramos}(2180) + \text{Kilogramos}(2180)] = V_d = 4360 \frac{\text{kg}}{\text{Dia}}$$

Que equivale a una carga semanal para el biodigestor así:

$$V_d = \text{Kilogramos}(2180 * 7\text{días}) + \text{Kilogramos}(2180 * 7\text{días})] = 30520 \frac{\text{kg}}{\text{semana}}$$

$$V_d \approx 30600 \frac{\text{kg}}{\text{semana}}$$

Cálculo del volumen de la cámara de fermentación o Reactor

Para establecer el volumen de cada uno de los reactores a emplear, se requiere el dato del tiempo de retención que para el caso de los residuos orgánicos oscila entre 20 y 55 días, para el caso se seleccionó el Tiempo de retención de 30 días, considerando la proporción de la mezcla residuos orgánicos + agua. (T_r – Tiempo de retención: tiempo que requieren las bacterias para degradar la materia orgánica). Entonces a continuación se presenta el cálculo del volumen de la cámara de fermentación:

$$V_{cf} = V_d * T_r$$

$$V_{cf} = 4360 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}} * 30 \text{ dias} = V_{cf} = 130.800 \text{ Kg}$$

$$D = \frac{m}{v} \text{ Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Datos:

$$\text{Densidad Agua} = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Se despeja volumen

$$Volumen = \frac{masa}{Densidad}$$

$$Volumen = \frac{130800 \text{ kg}}{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$Volumen = 131,2 \approx 132 \text{ m}^3$$

Cálculo del volumen del domo

“El cálculo del domo o cúpula de biodigestor es un segmento de una esfera y su volumen constituye el 25 %, el cual corresponde al volumen gaseoso del total del biodigestor, cuando el mismo tiene un fin de menor escala, por tanto, se utiliza la expresión:” (Paul, O. 2017).

$$Vg = \frac{Vcf * 25}{75}$$

$$Vg = \frac{132 \text{ m}^3 * 25}{75} = \text{Volumen Domo } 44 \text{ m}^3$$

Cálculo del volumen total del biodigestor continuo.

“De lo anteriormente planteado se tendrá que el volumen total del biodigestor es la suma del volumen de la cámara de fermentación más el volumen del domo o cúpula:”

$$Vtb = Vcf + Vg$$

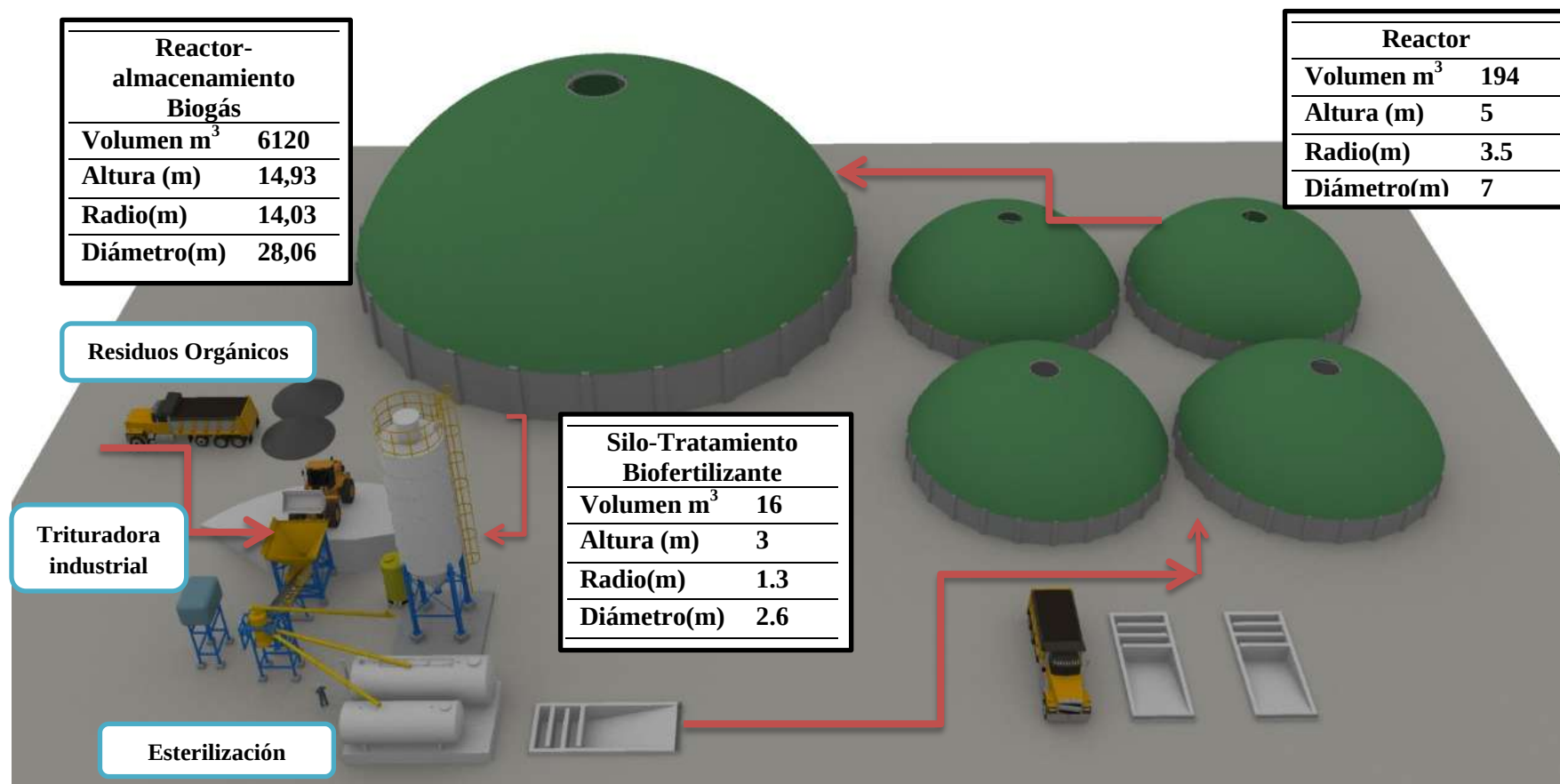
volumen total del biodigestor (Vtb)

= volumen de la cámara de fermentación(Vcf) + *Volumen Domo* (Vg)

$$Vtb = 132 \text{ m}^3 + 44 \text{ m}^3 = 176 \text{ m}^3 \text{ cada reactor}$$

Se aplica un factor de seguridad del 10%, entonces el volumen para el dimensionamiento de cada reactor es de **194 m³** y considerando una proyección y crecimiento de la generación de residuos en el municipio de Sogamoso, se propone la construcción de 4 reactores que operen en paralelo.

Figura 22 Prototipo de Diseño Biodigestor



Fuente: Elaboración del diseño propia, Asesoría Diseñador Industrial, Elaborado programa Rhinoceros.

El prototipo de la planta del biodigestor consta de cinco partes principales: (1) Trituración Industrial de Materia Orgánica, (2) Tanques-mezclado de Materia Orgánica más adición de agua (Esterilización), (3) Reactores anaeróbicos para Obtención Biogás, (4) Reactor-Almacenamiento Biogás y (5) silo-Tratamiento de Biofertilizante.

Biogás

“Un ejemplo Si alimentamos a nuestro digestor con 2 kilos de FORSU por día, obtendremos 200 litros de biogás diarios. Por lo tanto, si lo hacemos con 20 kilos, serían 2.000 litros (o 2 m³) de biogás los obtenidos, que equivalen a 1 kg de Gas Envasado” (Manual de uso del biodigestor)



(Manual de uso del biodigestor p.7)

Determinación aproximadamente el biogás que se va obtener:

- Residuos Orgánicos = 2180 kilogramo/Día → 218.000 Litros/ Día de Biogás
- Residuos Orgánicos = 15300 Kilogramo/semana → 1.530.000 Litros/Semana de Biogás
- Residuos Orgánicos = 15300* 4 (semanas) → 6.120.000 litros/mes de Biogás

Lo cual Equivale a una generación mes 6120 m³ de biogás al mes.

“Un biodigestor o una planta de biogás deben tener variedad de sistemas de seguridad de sobrepresión y vacío para prevenir inconvenientes tales como acumulación, fugas y deterioro de las estructuras, es apropiado implementar a cada reactor gasómetros que garanticen una presión constante de alimentación a los quemadores, según el modelo a trabajar este proporciona biogás las 24 horas del día, la estructura para el almacenamiento está diseñada para la producción de un mes de Biogás” (Casanovas G y Vecchia F 2019).

Figura 23 Quemadores



Fuente: (Soltex Chile S.A, 2014)

Biofertilizante

Estimación de la producción de Biofertilizantes. – Domo Capacidad.

$$\frac{(\text{volumen total del biodigestor}) * \text{N}^{\circ} \text{ de Reactores.}}{50 \%}$$

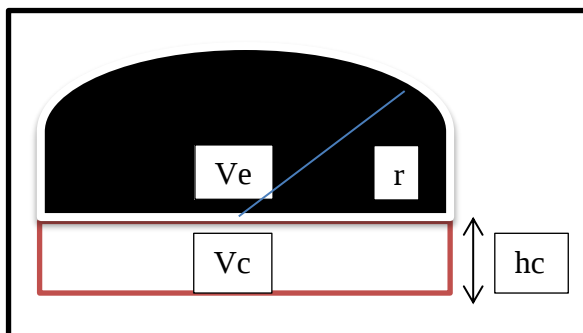
$$194 \, m^3 * 4 \, (\text{reactores}) = \frac{776 \, m^3}{(50\%)} \quad \text{volumen} = 15.52 \, m^3 \approx 16m^3$$

El volumen del silo es de $16 \, m^3$, para la estimación de la producción del Biofertilizante.

Para determinar la altura, el radio de los reactores y el silo se realizan los siguientes cálculos:

Reactores (4).

Ya que los Reactores o domos de fermentación propuestos tienen una parte cilíndrica y una semiesférica:



- V_e = volumen de la cúpula esférica
- V_c = volumen de la parte cilíndrica
- r = radio
- h_c = altura del cilindro.

“Se ha establecido una relación del volumen de la campana al volumen complementario de 10 a 1, así como un volumen total del biodigestor de un 4% adicional del volumen de diseño, al considerarse por razones de construcción (al construirse con mampostería o ladrillos) el espesor del repello que lo cubriría internamente (también se recomendaría repellar o aislar la cara externa de las paredes del biodigestor, del contacto con el suelo, para evitar corrosión, humedades y deterioro de la estructura)” (Olaya, 2006).

Lo anteriormente descrito, puede formularse como:

$$\frac{V_e}{V_c} = \frac{10}{1}$$

$$V_e = 10 V_c \quad \rightarrow \quad V_e + V_c = 1.04 V_d$$

$$\begin{aligned}
 10V_c + V_e &= 1,04 V_d \\
 V_c &= 1.04 * 174,93 \text{ m}^3 / 11 \\
 \mathbf{V_c} &= \mathbf{16,538 \text{ m}^3}
 \end{aligned}$$

Por ende:

$$V_e = 10 * 16,538 \text{ m}^3$$

$$V_e = 165,38$$

Conociendo los volúmenes de cada parte agregándole el 4% adicional al volumen del diseño se puede determinar la altura del cilindro (hc) y el radio de biodigestor (r):

$$V_c = \pi h_c r^2$$

$$V_e = \frac{2}{3} \pi r^3$$

$$165,38 \text{ m}^3 * \frac{2}{3} * \pi * r^3$$

$$r = \frac{\sqrt[3]{165,38 \text{ m}^3 * 3}}{2 \pi} = \mathbf{radio} = \mathbf{1,26 \text{ metros}}$$

$$V_c = \pi h_c r^2$$

$$496.17 = \pi * h_c * 13,3 \text{ m}^2$$

$$h_c = \frac{165,38 \text{ m}^3}{\pi (1,26 \text{ m})^2} = \mathbf{hc \text{ Altura} = 3,316 \text{ metros}}$$

Altura final

Altura cúpula esférica + Altura parte cilíndrica

$$1,26 \text{ metros} + 3,31 \text{ metros} = \mathbf{4.6 \text{ metros} \approx 5 \text{ metros}}$$

Demostración.

$$V_s = \pi \cdot hc \cdot r^2 + \frac{2}{3} \pi r^3$$

$$V_s = \pi * 3,316 \text{ m} * 1,26^2 + \frac{2}{3} \pi 1,26^3 \text{ m} \quad V_s \approx 171,7 \text{ m}^3$$

$$V_d = \frac{V_s}{1,04} = \mathbf{V_d = 191,7 \text{ m}^3}$$

Reactor –Almacenamiento de Biogás.

$$\frac{V_e}{V_c} = \frac{10}{1}$$

$$V_e = 10 V_c \rightarrow V_e + V_c = 1.04 V_d$$

$$10V_c + V_e = 1,04 V_d$$

$$V_c = 1.04 * 6120 \text{ m}^3 / 11$$

$$\mathbf{V_c = 578.61 \text{ m}^3}$$

Por ende:

$$V_e = 10 * \mathbf{578.61 \text{ m}^3}$$

$$\mathbf{V_e = 5786,18}$$

Conociendo los volúmenes de cada parte agregándole el 4% adicional al volumen del diseño se puede determinar la altura del cilindro (hc) y el radio de biodigestor (r):

$$V_c = \pi hc r^2$$

$$V_e = \frac{2}{3} \pi r^3$$

$$5786,18 \text{ m}^3 * \frac{2}{3} * \pi * r^3$$

$$r = \frac{\sqrt[3]{5786,18 \text{ m}^3 * 3}}{2 \pi} = \mathbf{radio = 14,03 \text{ metros}}$$

$$V_c = \pi h_c r^2$$

$$5786,18 = \pi * h_c * 14,03 \text{ m}^2$$

$$h_c = \frac{5786,18 \text{ m}^3}{\pi (14,03 \text{ m})^2} = \text{hc Altura} = \mathbf{0,90 \text{ metros}}$$

Altura final

Altura cúpula esférica + Altura parte cilíndrica

$$14,03 \text{ metros} + 0,90 \text{ metros} = \mathbf{14,93 \text{ metros}}$$

Demostración.

$$V_s = \pi . h_c . r^2 + \frac{2}{3} \pi r^3$$

$$V_s = \pi * 0,90 \text{ m} * 14,03^2 + \frac{2}{3} \pi 14,03^3 \text{ m} \quad V_s \approx 6702,62 \text{ m}^3$$

$$V_d = \frac{V_s}{1,04} = \mathbf{V_d = 6444 \text{ m}^3}$$

Silo - Tratamiento de biofertilizante

“Conclusiones: radio hidráulico= l/4 para silos cuadrados e igual a D/4 para silos cilíndricos. Las presiones laterales son las mismas para un silo cuadrado que para un silo circular en los que el diámetro es igual al lado.”(Diseño de un silo cilíndrico metálico para el almacenamiento de productos granulares).

Relación Diámetro – Altura

$$419.84 = \pi * hc * \frac{d^2}{4}$$

$$\frac{hc}{d} = 3,6 \quad hc = 3,6 d$$

$$419.84 = \pi * 3,6 d * \frac{d^2}{4} = d = 5,29$$

$$hc = 3 \text{ metros}$$

Tabla 25 Prototipo de Diseño Biodigestor - Planta generadora de Biogás.

Partes de la planta de biogás.	Tamaño Volumen M ³	Altura (h) metros	Radio(r) metros	Diámetro metros
Reactor 1	194 m ³	5	3,5	7
Reactor 2	194 m ³	5	3,5	7
Reactor 3	194 m ³	5	3,5	7
Reactor 4	194 m ³	5	3,5	7
Reactor- Almacenamiento de Biogás	6120 m ³	14,93	14,03	28,06
Silo - Tratamiento de biofertilizante	16 m ³	3	1,3	2,6

Fuente: Elaboración propia.

Identificar los productos obtenidos en el biodigestor y como se pueden aplicar

“El principal producto que se obtiene del proceso de la digestión de la materia orgánica es el biogás, lo que se busca es prescindir de los gases convencionales, el primordial destino que tiene el biogás es promover energía eléctrica o térmica, esta opción busca que no se produzcan exposiciones de metano al medio ambiente, este trae consecuencias muy fuertes afectando la calidad de vida” (Hernández, B y Ramírez, N. 2019).

“Un sub-producto que ofrece este proceso a través de la materia orgánica es un fertilizante orgánico cuyas propiedades brindan los mejores resultados para la parte de la agricultura” (Bautista, A, 2010).

“La composición del bioabono en promedio tiene 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5” (Botero y Thomas, 1987).

Biofertilizante

“Se define por su aporte de elementos minerales, especialmente nitrógeno. Como subproducto después de la generación de biogás, se obtiene materia orgánica estabilizada rica en elementos minerales. En función a la carga usada y el proceso seguido, esta materia orgánica, también conocida como bioabono puede presentarse de dos formas: líquida y sólida” (Manual De Biogás, 2011)

“Biofertilizante en forma líquida: proveniente de digestores continuos con una alta tasa de carga y un bajo contenido de sólidos totales (inferior al 12 %), el inconveniente de éste es su comercialización por el estado físico de su presentación” (Manual De Biogás, 2011)

“Biofertilizante en forma sólida: proveniente de digestores batch o semicontinuos con buen poder fertilizante, que luego de ser secado se puede comercializar sin problemas” (Manual De Biogás, 2011)

Parte Ambiental

Esta implementación de nuevas tecnologías lo que busca es beneficiar en la parte ambiental mitigar Gases de efecto invernadero Metano (CH_4), Dióxido de Carbono (CO_2), óxido Nitroso N_2O , olores desagradables.

Mitigar la Proliferación de insectos (moscas, mosquitos, palomas, zancudos) que lleguen a afectar a los comerciantes (mayoristas y minoristas) que laboran en la parte donde se expenden productos tales como (frutas y verduras) y a los habitantes de la vereda El porvenir donde es la última etapa de los residuos Orgánicos.

Disminución Combustibles Fósiles.

El producto principal de los biodigestores, el biogás es estimado como una elección de producción de energía limpia y auto sostenible. Contribuye a minimizar la deforestación en ciertas zonas.

En la parte Social - Económica

Los residuos orgánicos no se deben ver como un desecho sin valor, sino que por medio de estos se obtienen productos que se les puede sacar un beneficio económico y fomentar nuevos empleos.

Ahorros por desplazamiento de energía eléctrica producida por la red.

Aprovechamiento de biofertilizante para venta a los agricultores de la plaza de mercado o habitantes aledaños de la vereda Porvenir y también para beneficiar a zonas afectadas en el relleno sanitario.

Generación de empleo a habitantes de la vereda el Porvenir.

Por el incorrecto manejo de la materia orgánica proveniente de la plaza, estos provocan esparcimiento de olores desagradables procedentes del relleno Sanitario, que afectan a la comunidad, dado que no se visualizan barreras vivas, con la ejecución de este proyecto disminuirá la contaminación y generara nuevos empleos.

Propuesta Biodigestor Tipo Industrial - Mezcla completa de alta tecnología

Un biodigestor de tipo industrial, tiene un tiempo de vida de veinte años (20) o más según los materiales a implementar entre estos se tienen: Acero inoxidable; Tanques de hormigón; ventajas de un prototipo industrial es su obtención de biogás es de forma segura y contante.

El prototipo de la planta del biodigestor consta de cinco partes principales: Trituración Industrial de Materia Orgánica, mezclado de Materia Orgánica más adición de agua (Esterilización), Reactores anaeróbicos para Obtención Biogás, Almacenamiento Biogás y Tratamiento de Biofertilizante.

Costos

Se entiende como el valor que tienen la materia prima e insumos, el recurso humano, a continuación se muestran las estructuras de costos propuesta de biodigestor tipo industrial. (Rodríguez, C, 2016)

Área y costo del terreno.

“El relleno sanitario Terrazas del porvenir se encuentra ubicado a 7 km de la cabecera municipal de Sogamoso, está situado en la vereda San Juan de Porvenir y actualmente solo recibe residuos para el municipio de Sogamoso, ya que se ha suspendido temporalmente para los 43 municipios a los que les permite hacer la disposición de sus respectivos residuos. Lleva funcionando aproximadamente 25 años y su sistema es por terraceo por la pendiente en la que se encuentra el terreno. Actualmente el terreno tiene un área aproximada de 44 Hectáreas” (Giraldo, E. 2001)

“Una vez finalizados los diseños de todos los equipos es posible realizar un plano de la planta de biodigestión para visualizar de manera general la ubicación espacial de todos los equipos y determinar el área aproximada de trabajo requerida, la planta tendría dimensiones aproximadas de 3 a 4 hectáreas área únicamente de producción. Para fines prácticos se consideró

un 20,0% más de área requerida para oficinas, parqueaderos y demás instalaciones, Se cotizaron diferentes precios de terreno en la zona” (Jaramillo, S, 2014)

Tabla 26 Estructura Costos Biodigestor Tipo Industrial Mezcla completa de alta tecnología

	Cantidad	Unitario	Total
Biodigestores o Reactores (4)	4	\$10.000.000	\$40.000.000
Silo Tratamiento Biofertilizante	1	\$15.000.000	\$15.000.000
Reactor-Almacenamiento de Biogás	1	\$20.000.000	\$20.000.000
Tanques de Mezclado de Residuos	2	\$10.000.000	\$20.000.000
Trituradora, Banda transportadora, tolva y mezclador.	1	\$20.000.000	\$20.000.000
Interconexiones y Transporte Por Tuberías, Tornillos Sinfín	1	\$10.000.000	\$10.000.000
		Total	\$125.000.000

Fuente: elaboración propia. 2021, Asesoría Diseñador Industrial.

Costos de Capital

Obras civiles: por adecuación del terreno y levantamiento de muros. Se consideró un costo unitario civil de \$50.000.000

Obras eléctricas: por instalación del circuito eléctrico y de control. Se consideró un costo unitario eléctrico de \$24.000.000

Ingeniería básica, de detalle y de implementación: ingeniería que no se tiene en cuenta en el diseño conceptual es el 10,0% de la suma de costo de equipos, terreno, obras civiles y obras eléctricas.

Imprevistos: por ser ingeniería conceptual se considera para imprevistos un 30,0% de la suma de costo de equipos, terreno, obras civiles y obras eléctricas.

Tabla 27 Costos de Capital

	Total
Equipos	\$10.000.000
Terreno	\$50.000.000
Obras civiles	\$20.000.000
Obras eléctricas y de control	\$10.000.000
Ingeniería, básica, de detalle, y de implementación	\$15.000.000
Imprevistos, por ser ingeniería conceptual	\$20.000.000
Valor de capital	\$125.000.000

Fuente: elaboración propia. 2021, Asesoría Diseñador Industrial.

Balance de personal operativo

Es necesario saber con el personal que se necesita y se cuenta a la hora de iniciar el proyecto y ejecutar, se debe contar con el director de talento humano para tener un control y cumplir con los objetivos propuestos.

Para la ejecución del proyecto debe contar con personal con conocimiento y experiencia en temas de Biodigestores y manejo de residuos orgánicos, se propone un supervisor de la planta de biogás, 2 técnicos o tecnólogos, 3 operarios y una secretaria.

Tabla 28 Balance de personal operativo

Talento Humano		
Cargo	Número de puestos por día	Remuneración mensual
Supervisor de la planta	1	\$2.500.000
Técnico o Tecnólogo	2	\$1.250.00
Operario	3	\$900.000
Secretaria	1	\$900.000
Total	7	\$7.700.000

Fuente: elaboración propia. 2021, Asesoría Diseñador Industrial.

Elementos de protección personal.

“Se deberá suministrar a los operadores los aditamentos necesarios para trabajar con seguridad dentro de las instalaciones del biodigestor y las áreas de aprovechamiento energético. En las aéreas de servicios, (calderas), y planta de generación de energía, deberán portar casco, overol y zapatos de seguridad.

Overol; respirador contra gases y vapores, o en su caso mascarilla que evite el contacto directo con los gases; guantes para la operación del sistema, y calzado adecuado para la realización de las actividades concernientes a la operación y mantenimiento del biodigestor” (Especificaciones Técnicas Sistemas de Biodigestión-SEMARNAT)

Tabla 29 Elementos de protección personal

Elementos de protección personal.		
Mascarillas	\$150.000	
Casco	\$24.900	
Overol	\$65.900	
Botas punta de acero	\$109.900	
Guantes	\$15.000	
Total	\$ 365.700 * 7 trabajadores	Total= \$2.559.900

Fuente: elaboración propia. 2021, Asesoría Diseñador Industrial.

Tabla 30 Total de costos - Biodigestor Tipo Industrial Mezcla completa de alta tecnología

Recursos necesarios	
Recurso	Presupuesto
Estructura Costos Biodigestor	\$125.000.000
Costos de Capital	\$125.000.000
Balance de personal operativo	\$7.700.000
Elementos de protección personal.	\$2.559.900
Total	\$ 260.259.900

Fuente: elaboración propia. 2021, Asesoría Diseñador Industrial.

Conclusiones

Considerando los prototipos de biodigestores que se han diseñado en el mercado para uso industrial o para el tratamiento de grandes volúmenes de residuos orgánicos, se realiza el análisis de las ventajas y desventajas, teniendo cuenta los factores de funcionamiento, localización, condiciones climatológicas, para la elección del biodigestor que cumpla con las condiciones que favorezcan el proceso en el municipio de Sogamoso y que permita una mayor valorización de los residuos y subproductos.

Se realiza un análisis por medio de la matriz FODA donde se evalúan las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, esto permitió establecer la elección de la alternativa más viable para el diseño del prototipo del biodigestor a implementar para el Municipio de Sogamoso - Boyacá.

El diseño a trabajar para el Biodigestor es de Tipo Industrial Mezcla Completa de Alta Tecnología.

Con el Diseño del Biodigestor para la Materia Orgánica de Tipo Industrial-Mezcla Completa de Alta Tecnología. El prototipo de la planta del biodigestor consta de cinco partes principales: Trituración Industrial de Materia Orgánica, mezclado de Materia Orgánica más adición de agua (Esterilización), Reactores anaeróbicos para Obtención Biogás (4), Almacenamiento Biogás y Tratamiento de Biofertilizante.

El biodigestor diseñado consta de 4 reactores, para el tratamiento de 2180 kg de residuos orgánicos generados por día, para lo cual se estableció una relación 1:1 para la estimación de la carga que requiere iguales cantidades de residuos orgánicos y agua, de ahí que la carga final es de 4360 kg/día.

Para el almacenamiento del Biogás tiene un volumen de 6120 m³, con una altura de 14,93 metros y un diámetro de 28,06 metros.

Este tipo de biodigestor es favorable que se trabaje con un tiempo de retención de 30 días, como resultado se obtiene que cada reactor tenga un volumen de 194 m^3 que corresponde a la suma del volumen de la cámara de fermentación más el volumen del domo o cúpula.

Por medio de los cálculos se determinó la cantidad aproximada de Biogás generada al mes es de 6120 m^3 de biogás.

El fundamental manejo que tiene el biogás es promover su uso para generar energía eléctrica o térmica para uso en las instalaciones del relleno sanitario y el biofertilizante para el acondicionamiento y restauración de suelos intervenidos en el relleno sanitario.

Según (Informe de caracterización residuos sólidos – 2020). En el municipio de Sogamoso, el principal componente de los residuos generados con un 27.10%, son los de origen orgánico (residuos de frutas, verduras, y elaboración de alimentos), lo que representa un gran potencial para la valorización de estos residuos y el aprovechamiento de los subproductos que se generan del proceso de tratamiento por medio de proceso de biodigestión, ya que se obtienen subproductos como el biogás y bioabono.

El tratamiento de los residuos orgánicos por medio de procesos de biodigestión permite la valorización de los mismos y evita que estos residuos sean dispuestos en rellenos sanitarios, lo que genera múltiples beneficios para el proceso de la gestión ambiental de residuos sólidos municipales, pues favorece la vida útil del relleno sanitario y se disminuye la generación de lixiviados a ser tratados y evita la posible contaminación de suelos, acuíferos y aguas superficiales, pues la fracción líquida generada en el proceso de descomposición del material orgánico es alta.

El tratamiento de residuos orgánicos de la plaza de mercado del municipio de Sogamoso por medio de biodigestión es viable, sin embargo, se deben complementar estudios de aprovechamiento de los subproductos del proceso de biodigestión para que se garantice la sostenibilidad económica, social y ambiental del proyecto y se determine el uso que se dará a los subproductos a lo largo del tiempo.

Este proyecto se desarrolló a nivel de ingeniería básica, documento que busca por medio de la investigación nuevas alternativas de energías limpias y viabilidad de la materia orgánica.

Recomendaciones

Se recomienda una planta piloto para realizar las pruebas necesarias para la ejecución de Biodigestores.

Mejorar el sistema de separación de materia orgánica generada en la plaza de mercado de Sogamoso – Boyacá, por parte de comerciantes y distribuidores, brindando capacitaciones de métodos de separación de residuos sólidos que impulsen la reducción y el reciclaje.

Se recomienda tener un buen mantenimiento y seguimiento al biodigestor para prevenir cualquier tipo de riesgo hacia el recurso humano.

Con el subproducto del proceso de la biodigestion conocido como fertilizante, se debe conocer las propiedades para el cultivo que se vaya a tratar.

Si pasados los años aumenta en gran medida la materia orgánica de la plaza de mercado se recomienda la construcción de varios biodigestores según la necesidad para no alterar el proceso.

Se recomienda contar con canalización de aguas lluvias, estas son de gran importancia para la implementación de un biodigestor y tener un tanque de almacenamiento.

El proyecto no pudo ser socializado a la comunidad debido a la situación de pandemia referente al Covid 19.

Referencias Bibliográficas

- Actualización Del Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos - PGIRS - Del Municipio De Sogamoso- Boyacá (20 De Diciembre Del 2015).
https://sogamosoboyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/sogamosoboyaca/content/files/000064/3176_pgirssogamoso20162027-1.pdf
- Álvarez, N y Parada, F (2016). Actualización del plan de gestión integral de residuos sólidos del municipio de Sogamoso, Boyacá aplicando la resolución 754 de 2014
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1410&context=ing_ambiental_sanitaria
- Ambientum, El portar profesional del medio ambiente, Relación Carbono – Nitrógeno.
https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/relacion_carbono_nitrogeno.asp
- Ames, J.; Werner, C. 2003. Reaching the Environmental Community: Designing an Information Program for the NREL Biofuels Program. Golden, Colorado, EUA: National Renewable Energy Laboratory. 93 p.
- .Aponza, S. (.2019). Aprovechamiento de los Residuos Orgánicos de plazas de mercado, madejo de podas y lodos de la planta de tratamiento de agua residual domestica generados en el casco urbano del municipio de Guachene.
<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11340/T08671.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Baltierra, E., Márquez, L., Sánchez, J. «Modelo experimental de difusión de biogás en raíces vegetales». Revista Internacional de Contaminación Ambiental, n.o 1, 2012, pp. 133-139.
- Bautista, A, 2010. Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos (Estelí, Nicaragua)
<https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/id/45617/PFC/>
- Congreso De Colombia. Ley 9 De 1979: Por La Cual Se Dictan Medidas Sanitarias (24 De Enero De 1979)
[Http://Copaso.Upbbga.Edu.Co/Legislacion/Ley_9_1979.Codigo%20Sanitario%20Nacional.Pdf](http://Copaso.Upbbga.Edu.Co/Legislacion/Ley_9_1979.Codigo%20Sanitario%20Nacional.Pdf)
- Campos, B. junio de 2011. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. [en línea] Disponible en:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000200007
- Casanovas G y Vecchia F 2019 Guía Teórico-Práctica Sobre El Biogás Y Los Biodigestores, Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Buenos Aires, Argentina. (2019).
http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf

Colombia. Gobierno nacional. DECRETO 838 DE 2005: Por El Cual Se Modifica El Decreto 1713 De 2002 Sobre Disposición Final De Residuos Sólidos Y Se Dictan Otras Disposiciones.(23 De Marzo De 2005)

https://Www.Cvc.Gov.Co/Sites/Default/Files/Sistema_Gestion_De_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad_Gnl/Decreto%20838%20de%202005-Mar-23.Pdf

Colombia. Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. Decreto Número 1505 De 2003: "Por El Cual Se Modifica Parcialmente El Decreto 1713 De 2002, En Relación Con Los Planes De Gestión Integral De Residuos Sólidos Y Se Dictan Otras Disposiciones. (4 De Junio De 2003)[Http://Www.Minvivienda.Gov.Co/Decretosagua/1505%20-%202003.Pdf](http://Www.Minvivienda.Gov.Co/Decretosagua/1505%20-%202003.Pdf)

Colombia. Gobierno nacional. Decreto 02 De 1982: Por El Cual Se Reglamentan Parcialmente El Título I De La Ley 09 De 1979 Y El Decreto Ley 2811 De 1974, En Cuanto A Emisiones Atmosféricas. (11 De Enero De 1982). [Http://Corponarino.Gov.Co/Expedientes/Tramites/Dec02_De_1982.Pdf](http://Corponarino.Gov.Co/Expedientes/Tramites/Dec02_De_1982.Pdf)

Colombia. Gobierno nacional. Decreto 02 De 1982: Por El Cual Se Reglamentan Parcialmente El Título I De La Ley 09 De 1979 Y El Decreto Ley 2811 De 1974, En Cuanto A Emisiones Atmosféricas. (11 De Enero De 1982). [Http://Corponarino.Gov.Co/Expedientes/Tramites/Dec02_De_1982.Pdf](http://Corponarino.Gov.Co/Expedientes/Tramites/Dec02_De_1982.Pdf)

Colombia. Gobierno nacional. Decreto 2811 Del 18 De Diciembre De 1974: Por El Cual Se Dicta El Código Nacional De Recursos Naturales Renovables Y De Protección Al Medio Ambiente. (18 De Diciembre De 1974). [Https://Www.Minambiente.Gov.Co/Images/Gestionintegraldelrecursohidrico/Pdf/Normativa/Decreto_2811_De_1974.Pdf](https://Www.Minambiente.Gov.Co/Images/Gestionintegraldelrecursohidrico/Pdf/Normativa/Decreto_2811_De_1974.Pdf)

Colombia. El Ministerio De Vivienda, Ciudad Y Territorio Y El Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. Resolución 754 De 2014: "Por La Cual Se Adopta La Metodología Para La Formulación, Implementación, Evaluación, Seguimiento, Control Y Actualización De Los Planes De Gestión Integral De Residuos Sólidos" ((25 De noviembre 2014). [Http://Www.Esptribunas.Com/Norma/Resol.%20754%20de%202014%20actualizacion%20planes%20de%20emergencia.Pdf](http://Www.Esptribunas.Com/Norma/Resol.%20754%20de%202014%20actualizacion%20planes%20de%20emergencia.Pdf)

Colombia. Gobierno nacional. Ley 1259 De 2008: Por Medio De La Cual Se Instaura En El Territorio Nacional La Aplicación Del Comparendo Ambiental A Los Infractores De Las Normas De Aseo, Limpieza Y Recolección De Escombros. (19 De Diciembre De 2008). [Https://Www.Minambiente.Gov.Co/Images/Normativa/Leyes/2008/Ley_1259_2008.Pdf](https://Www.Minambiente.Gov.Co/Images/Normativa/Leyes/2008/Ley_1259_2008.Pdf)

Colombia. Gobierno nacional Ley 99 De 1993: Por La Cual Se Crea El Ministerio Del Medio Ambiente, Se Reordena El Sector Público Encargado De La Gestión Y Conservación Del Medio Ambiente Y Los Recursos Naturales Renovables, Se Organiza El Sistema Nacional Ambiental, Sina. (22 De Diciembre 1993). <http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/Normativo/1993-12-22-ley-99-crea-el-sina-y-mma.pdf>

Colombia. Gobierno nacional Ley 629 de 2000: Por medio de la cual se aprueba el Protocolo de Kyoto de la CMNUCC. Se transcribe el texto íntegro del instrumento internacional en mención. (27 de diciembre de 2000)
https://www.maciasabogados.com/archivos/documentos_normatividad/Ley629de2000.342.pdf

Colombia. Gobierno nacional. Ley 1715 de 2014: Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. (13 de mayo de 2014).
https://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

Concepto Definición Alternativa, <https://conceptodefinicion.de/alternativa>

Conama 2014; Congreso Nacional del Medio Ambiente. 2014. Plaza De Mercado En Bogotá, Generadoras De Residuos Y Desarrollo. [En línea] 2014.[Citado el: 21 de 3 de 2018.]
<http://www.conama2014.conama.org/conama2014/download/files/conama2014/CT%202014/1896711446.pdf>.

Corona, Iván. Biodigestores. [Repositorio Institucional Uaeh]. P. 19. Hgo. México. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en:
<https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10722/Biodigestores.pdf?sequence=1>

Definiciones-de.com, <https://www.definiciones-de.com/Definicion/de/acidogenesis.php> © Definiciones-de.com

Del Duca, M. &. (1967). Termodinámica y aplicaciones de sistemas de conversión de energía bioelectroquímica. Estados Unidos: NASA.

Diseño de un silo cilíndrico metálico para el almacenamiento de productos granulares. (Anexo 1)
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3180/31298-2.pdf?sequence=2>

Einarsson, R., & Persson, U. (2017). Analyzing key constraints to biogas production from crop residues and manure in the EUDA spatially explicit model. Plos One, 1-23
<http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8529/135399.pdf?sequence=1>

Especificaciones Técnicas Sistemas de Biodigestión-SEMARNAT.
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD001057.pdf>

Francopado (2020). https://www.taringa.net/+ecologia/biodigestor-una-forma-de-ayudar-a-la-tierra_137jh2

Forero, M y Sánchez A, (2017). Desarrollo de La Ingeniería Conceptual del Proceso de Producción de Biogás Mediante Los Residuos Orgánicos Provenientes de La Plaza Distrital de Mercado Siete de Agosto <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6370/1/6121890-2017-2-IQ.pdf>

- García, R., Álamo, M., Aldana M. (2007). Diseño de un Biodigestor Tubular Para Zonas Rurales de la Región Piura, Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Laboratorio de Energía, http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia-Rafael_biodigestor.pdf
- Gómez et al.,(2017) Implementación De Un Biodigestor Para El Aprovechamiento De Los Residuos De Las Granjas Porcinas En El Municipio De Tibana, <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15446/1/Proyecto%20Biodigestor.pdf>
- Hernández, B y Ramírez, N. (2019). Especificación de las Condiciones de Operación de Un Biodigestor Usando Como Materia Prima Estiércol Bovino y Equino en la Finca “Villa Italia” Ubicada en el Municipio Paipa (Boyacá). <http://52.0.229.99/bitstream/20.500.11839/7385/1/6141228-2019-1-IQ.pdf>
- Herrero, M. (2011). Biodigestores de bajo costo para producir biogás y fertilizante natural a partir de residuos orgánicos. International Center of Numerical Methods in Engineering (CIMNE), Spain. <http://www.ideassonline.org/public/pdf/BiodigestoresBibliografiaDocumentDef.pdf>
- Herrero, J. (2008) Biodigestores Familiares Guía De Diseño Y Manual De Instalación Biodigestores De Polietileno Tubular De Bajo Costo Para Trópico, Valle Y Altiplano. La Paz - Bolivia: Cooperación Técnica Alemana – GHZ_ <https://cutt.ly/1yVSZvN>
- Huerga, Ignacio; Butti, Mariano Y Venturelli, Leonardo. (2014) Biodigestores De Pequeña Escala Un Análisis Práctico Sobre Su Factibilidad, Centro Regional Santa Fe. Ruta 11 Km 353: Elea Oliveros- Instituto De Ingeniería Rural <https://Inta.Gob.Ar/Sites/Default/Files/Script-Tmp-Inta-Biodigestor-Familiar.Pdf>
- Informe de Gestión 2019, Compañía de Servicios Públicos de Sogamoso S.A. E.S.P Coservicios S.A. E.S.P. <https://coserviciosesp.com/wp-content/uploads/2020/07/INFORME-DE-GESTION-2019-UV.pdf>
- Informe De Gestión 2017, Compañía De Servicios Públicos De Sogamoso S.A. E.S.P Coservicios S.A. E.S.P. <https://www.coserviciosesp.com/wp-content/uploads/2019/08/INFORME-DE-GESTION-2017-final.pdf>
- Infantes, P. Diseño y Construcción de un Biodigestor Industrial para tratamiento de residuos orgánicos, Experiencia y análisis de caso del primer Biodigestor Industrial construido en el Perú, <http://www.camara-alemana.org.pe/downloads/9-Presentacion-BiodigestoresIIFase.2.pdf>
- Jaramillo y Zapata (2008). Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Orgánicos En Colombia. Posgrados De Ambiental Especialización En Gestión Ambiental Medellín: Universidad De Antioquia. <http://Bibliotecadigital.Udea.Edu.Co/Dspace/Bitstream/10495/45/1/Aprovechamientorsouencolombia.Pdf>

- Ladino, E. (2011) Producción De Biogás Mediante La Codigestion Anaeróbica De La Mezcla De Residuos Cítricos Y Estiércol Bovino Para Su Utilización Como Fuente De Energía Renovable,(Tesis Presentada Como Requisito Parcial Para Optar Al Título De: Magíster En Ingeniería Mecánica) Universidad Nacional De Colombia, Bogotá, D.C. Colombia [Http://Bdigital.Unal.Edu.Co/4100/1/Edwindariocendalesladino.2011.Parte1.Pdf](http://Bdigital.Unal.Edu.Co/4100/1/Edwindariocendalesladino.2011.Parte1.Pdf)
- López, G, (2003). Biodigestión Anaerobia de Residuos Sólidos Urbanos. Alternativa Energética Y Fuente De Trabajo, Tecnología Mecánica, Universidad Distrital F.J.C. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6187/7711>
- Manual de uso del biodigestor (Santa Fe).<https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/09/Manual-de-uso-de-biodigestores-1000l.pdf>
- Metodología De Formulación Y Evaluación Socioeconómica De Proyectos De Valorización De Residuos Municipales (2013). https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/8/52958/11_2MedioAmbiente_Valorizacion_de_residuos.pdf
- Montoya, A, (2012). Caracterización de residuos sólidos. Cuaderno activa, 4, 67-72. <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/34/31>
- Olaya, y.; (2006). *Diseño de un biodigestor de cúpula fija*. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.
- Palacios, B (2019). <https://republica.gt/2019/04/01/planta-biogas-producir-24-mw-al-dia/>
- Paul, O. (2017) “Generación de biogás en la avícola las Amelias de la ciudad de Latacunga en el año 2016, a partir del estiércol de gallina. Propuesta de diseño de un biodigestor <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6362/1/MUTC-000538.pdf>
- Plaza de mercado, biblioteca-Sogamoso - Google Sites, <https://sites.google.com/a/sogamoso-boyaca.gov.co/biblioteca-sogamoso/sitios-de-interes/informacion-local/periodicos-de-boyaca/plaza-de-mercado>
- Pinto y Suarez (2016) Propuesta Para El Manejo De Residuos Orgánicos Producidos En La Plaza De Mercado De Chía Cundinamarca(Trabajo De Grado Tecnólogo En Gestión Ambiental Y Servicios Públicos) Universidad Distrital Francisco José De Caldas ,Bogotá D.C, Colombia. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3362/1/PintoG%c3%b3mezLinaPaola2016.pd>
- Rhinocero - <https://www.rhino3d.com/es/download/>
- Rosas Roa, Antonio. (2007). Agricultura Orgánica Práctica: alternativas tecnológicas para una agricultura sostenible y sustentable. Bogotá, Colombia. Ed. Grupo Agrovereda, Quinta Edición

- Rodríguez, C. (2017) Los Biodigestores: Fuente De Desarrollo Sostenible Y Calidad De Vida En Comunidades Rurales De Colombia (Trabajo De Grado Especialización En Gestión Social Y Ambiental) Universidad De Ciencias Aplicadas Y Ambientales U.D.C.A, Bogotá D.C, Colombia [https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/787/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20FIN AL.pdf](https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/787/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20FINAL.pdf)
- Rodríguez, C. (2016) Estudio de Factibilidad Para La Implementación de Biodigestores Para El Procesamiento de Los Residuos Sólidos Orgánicos en Granjas Avícolas. <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/12588/1098708047-2016.pdf?sequence=1>
- Secretaria local de salud. (2015). Municipio De Sogamoso, Análisis De Situación de Salud Con el Modelo de Los Determinantes Sociales de Salud, https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis_2015/asis-sogamoso-2015.pdf
- Siurot, M, (2020). La Palma del Condado, Huelva) ‘Las matemáticas son un juego: Longitud, Masa, Capacidad, Superficie, Volumen, http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centrostic/21003232/helvia/sitio/upload/12___longit_mas_capac_superf_volumen__pa_inet.pdf
- Soltex Chile S.A, 2014, Quemadores de GEI con antorchas y equipos para biogás <https://www.soltex.cl/articulos/quemadores-de-gei-con-antorchas-y-equipos-para-biogas>
- Textos científicos (2005). Sitio web: <https://www.textoscientificos.com/energia/biogas/usos>
- Varnero, M. (2011). FAO. Producción de Bioenergía. [En línea] [Citado el: 29 de 3 de 2018.] <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/i0139s/i0139s04.pdf>.
- Varela, C. (2019) Plan de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos Para Obtención de Bioenergía dn Plazas de Mercado Públicas en Bogotá <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24295/VarelaBernalCarlosYesid2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>