

**VALORACIÓN DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS
SÓLIDOS ÓRGANICOS PRODUCIDOS EN EL CONJUNTO RESIDENCIAL VILLA
LIGIA IV DE VALLEDUPAR, CESAR**



AUTOR (ES):

**LUIS GUILLERMO AMADOR DIAZ
CESAR AUGUSTO NAVARRO RAMIREZ**

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

VALLEDUPAR - CESAR

2023

**VALORACIÓN DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS
SÓLIDOS ÓRGANICOS PRODUCIDOS EN EL CONJUNTO RESIDENCIAL VILLA
LIGIA IV DE VALLEDUPAR, CESAR**

AUTOR (ES):

**LUIS GUILLERMO AMADOR DIAZ
CESAR AUGUSTO NAVARRO RAMIREZ**

DIRECTOR / ASESOR:

KARINA TORRES

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

2023

DEDICATORIA

Principalmente a Dios por brindarme la sabiduría y el conocimiento para lograr cada uno de mis objetivos.

Especialmente a mi madre TERESA DIAZ y a mi tía LORENA DIAZ quienes me motivaron y me brindaron siempre el apoyo necesario para salir adelante y ser una persona de bien.

A mis compañeros CESAR NAVARRO, PAOLA MARQUEZ y a cada uno de mis familiares quienes siempre me apoyaron incondicionalmente durante todo este proceso.

Luis Guillermo amador Díaz

Primero que todo gracias al todo poderoso por haberme permitido culminar mi carrera profesional.

Dedico con todo mi corazón mi proyecto de grado a mi madre YANIRIZ RAMIREZ, pues sin ella no lo había logrado. Tus bendiciones a diario a lo largo de mi vida que protege y me lleva por el camino del bien. Por eso te doy mis sufrimientos, alegrías, retos que he vivido durante mi carrera en ofrenda por tu paciencia y sabias consejos. Este triunfo es más tuyo que mío.

También quiero darles gracias a mis compañeros de batallas LUIS GUILLERMO Y PAOLA MORA y a cada uno de las personas que me motivaron a salir adelante.

Cesar Augusto Navarro Ramírez



AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios por brindarme salud, el conocimiento y la sabiduría y permitirme sacar adelante mi carrera, teniendo FE en cada paso que dada y así poder lograr todos mis objetivos.

A mi querida madre TEREZA BEATRIS DIAZ PADILLA por prendarme siempre su amor incondicional y apoyo, por siempre inculcarme principios y valores lo que fue suficiente para sacar adelante cada uno de los logros durante todos estos años hasta llegar a ser un profesional.

Agradecimientos a mis compañeros ya amigos PAOLA MARQUEZ Y CESAR NAVARRO por ese apoyo incondicional y con quienes estuve siempre durante toda la carrera, de quienes aprendí el valor de la amistad, el apoyo y trabajo en equipo por eso mi eterno agradecimiento.

Agradecido con mi directora de proyecto Karina Torres Cervera, por el apoyo brindado durante todo mi ciclo profesional, quien siempre estuvo ahí dura mi elaboración y ejecución de mi proyecto. Excelente docente, siempre con un carisma y amor educativo hacia sus estudiantes lo cual la hace un gran ser humano por lo que sus enseñanzas fueron bien recibidas, de igual manera agradecido con los docentes y estudiantes con quienes me cruce durante toda la carrera y quien dejaron en mí una gran enseñanza y amistad.

Durante toda mi carrera me tomé con muchas personas muy buenas y otras no tanto, pero de las cuales siempre aprendí algo nuevo, tuve muchas experiencias de aprendizaje las cuales me mantuvieron enfocado sacar a delante mis metas una de las cuales es ser profesional, a mi compañero, amigo de estudio y de proyecto CESAR NAVARRO quien siempre se mantuvo firme en cada una de las dificultades que tuvo y tuvimos durante todo nuestro proceso educativo por lo cual pudimos sacar adelante cada una de nuestras metas propuesta durante todo el ciclo educativo.

Luis Guillermo Amador Diaz

RESUMEN Y ABSTRACT

El biogás es producto de la descomposición de los residuos orgánicos, los cuales se pueden transformar, por medio de la acción de microorganismos, por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, principalmente formada por metano (CH₄). Asimismo, es un combustible ecológico, puesto que, al quemarse, produce monóxido de carbono y agua. Por medio de la investigación se valoró la generación de energía a Partir de residuos sólidos orgánicos producidos en el Conjunto Residencial Villa Ligia IV De Valledupar, Cesar, por medio de tres fases: diagnosticar la producción de residuos sólidos generados en el Conjunto Residencial Villa Ligia IV, diseñar un biodigestor a escala laboratorio que permita valorar energéticamente los residuos sólidos y finalmente, determinar la energía producida por medio del biogás generado a partir de los residuos sólidos orgánicos. La producción de biogás en (m³) generado en un mes por 40kg de residuos sólidos recolectados en el conjunto residencial Villa Ligia de Valledupar, Cesar, permitió obtener 0,0404 m³ de biogás, lo que equivaldría a un ahorro de 13.000 COP en las 50 viviendas, valor que podría aumentar de acuerdo con la inflación y los cotos del KW/h generados por la UPME de manera anual. Se recomienda ampliar el tiempo de operación del biodigestor a mínimo 52 días que es lo necesario según las referencias bibliográficas para completar las fases de la degradación por medio de las bacterias anaeróbicas, de esta manera se obtiene la totalidad de biogás que pueda producirse con los kilogramos de residuos recolectados.

Palabras claves: Biogás, biodigestor, residuos sólidos

ABSTRACT

Biogas is the product of the decomposition of organic waste, which can be transformed, through the action of microorganisms, by the anaerobic decomposition of organic matter, mainly formed by methane (CH₄). It is also an ecological fuel, since, when burned, it produces carbon monoxide and water. Through the investigation, the generation of energy from organic solid waste produced in the Villa Ligia IV Residential Complex in Valledupar, Cesar, was valued through three phases: diagnose the production of solid waste generated in the Villa Ligia IV Residential Complex, to design a biodigester on a laboratory scale that allows the energetic value of solid waste and finally, to determine the energy produced by means of biogas generated from organic solid waste. The biogas production in (m³) generated in a month by 40kg of solid waste collected in the Villa Ligia residential complex in Valledupar, Cesar, made it possible to obtain 0,0404 m³ of biogas, which would be equivalent to a saving of 13,000 COP in the 50 homes, a value that could increase according to inflation and the KW/h costs generated by UPME on an annual basis. It is recommended to extend the operation time of the biodigester to a minimum of 52 days, which is what is necessary according to the bibliographic references to complete the degradation phases by means of anaerobic bacteria, thus obtaining all the biogas that can be produced with the kilograms of waste collected.

Keywords: Biogas, biodigester, solid waste



Tabla de contenidos

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
RESUMEN Y ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVO GENERAL	17
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
4. MARCO DE REFERENCIA	18
4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
4.2.1 Residuos sólidos	21
4.3 MARCO CONCEPTUAL	30
4.4 MARCO CONTEXTUAL	32
4.5 MARCO LEGAL	33
5. MARCO METODOLÓGICO	38
5.1. LÍNEA Y SUBLINEA DE INVESTIGACIÓN	38
5.2 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	38
5.3 ALCANCE DE INVESTIGACIÓN	38
5.5. MUESTREO POBLACIONAL	38
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	47

6.1 DIAGNÓSTICO DE LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL CONJUNTO RESIDENCIAL VILLA LIGIA IV DE VALLEDUPAR, CESAR..	47
6.2 DISEÑO DEL BIODIGESTOR A ESCALA LABORATORIO QUE PERMITA VALORAR ENERGÉTICAMENTE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.....	58
6.3 DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR MEDIO DEL BIOGÁS GENERADO A PARTIR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.....	65
7. CONCLUSIONES.....	76
8. RECOMENDA	¡Error! Marcador no definido.
9. BIBLIOGRAFÍA.....	79
10. ANEXOS.....	85



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Jerarquía de residuos	24
Figura 2 Tipos de técnicas de gestión	26
Figura 3 Ubicación de Valledupar	32
Figura 4 Ubicación de residuo sólidos	33
Figura 5 Metodo de cuarteo	40
Figura 6 Esquema de biodigestor propuesto	41
Figura 7 Recolección de residuos	49
Figura 8 Distribución por fecha.....	51
Figura 9 Metodo de cuarteo	56
Figura 10 Ditribución de residuos	57
Figura 11 Materiales empelados	61
Figura 12 Sistema de mezcla	¡Error! Marcador no definido.
Figura 13 Biodigestor diseñado	63
Figura 14 Instalación	65
Figura 16 Vertido de residuos	67
Figura 17 Comportamiento de pH	69
Figura 18 Comportamiento de temperatura.....	70
Figura 19 Comportamiento del biogas.....	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Normativa	33
Tabla 2 Valores del porcentajes de sólidos totales y sólidos volátiles	44
Tabla 3 Biogas producido	45
Tabla 4 Valoracion economica.....	46
Tabla 5 Documentos revisados	47
Tabla 6 Datos de recolección	50
Tabla 7 Caracterización de residuos.....	57
Tabla 8 Monitoreo de parametros fisicoquimicos.....	68
Tabla 9 Biogas producido	71
Tabla 10 Valoración economica del biogas	74



INTRODUCCIÓN

El aumento de la población a nivel mundial, el crecimiento industrial y el consumo cada vez mayor de los recursos naturales generan una producción de desechos orgánicos en forma desproporcionada (Días da Silva et al., 2007), lo que se está convirtiendo en un serio problema para el manejo de residuos sólidos. En el mundo aproximadamente se generan 1600 millones de toneladas por año de residuos sólidos (Severiche y Acevedo, 2013). En Colombia se generan cerca de 27300 ton/día de residuos sólidos urbanos (Arango, 2011; Severiche y Acevedo, 2013), de los cuales 2232.23 ton/día corresponden a Antioquia y de éste el 53.64% son residuos de alimentos y el 1.75% residuos de poda y jardín.

Los residuos se someten a ciertos procesos, de forma que se reduce su volumen y se generan, por un lado, unas pequeñas cantidades de residuos y, a su vez, energía proveniente de los materiales contenidos. Esta energía obtenida es equiparable en muchas ocasiones y dependiendo del residuo a los combustibles convencionales.

El biogás es producto de la descomposición de los residuos orgánicos, los cuales se pueden transformar, por medio de la acción de microorganismos, por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, principalmente formada por metano (CH₄). Asimismo, es un combustible ecológico, puesto que, al quemarse, produce monóxido de carbono y agua. Este primero sale a la atmósfera, donde es captado por plantas para producir carbohidratos mediante la fotosíntesis (Poletto y Da Silva, 2009).

La presente investigación tuvo como finalidad valorar la generación de energía a Partir de residuos sólidos orgánicos producidos en el Conjunto Residencial Villa Ligia IV De Valledupar, Cesar, por medio de la producción de biogás, de manera que permitió en primer lugar, ofrecer un tratamiento a los residuos sólidos orgánicos producidos, mitigando los impactos ambientales como la contaminación de agua subterránea por lixiviados, generación de vectores y malos olores, entre otros. Y en segundo lugar, proponer una alternativa amigable para los habitantes del conjunto residencial como lo

es la producción de biogás, analizando sus ventajas y desventajas desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Lo anterior permitió establecer medidas de tratamiento de residuos sólidos como iniciativas de los gobiernos que favorezcan la mitigación de impactos y el desarrollo económico y social de la región.

La investigación se estructuró en nueve capítulos, divididos de la siguiente manera: en el capítulo número uno, se realiza la descripción del planteamiento del problema, el capítulo número dos menciona la justificación. El capítulo número tres menciona los objetivos de la investigación. El capítulo 4 encontramos el marco referencial. El capítulo número cinco, hace referencia al marco metodológico, en el que se encuentra la descripción de la línea, sublínea, tipo, nivel, población y muestra que requiere el desarrollo de la investigación. Adicionalmente, se encuentra el desarrollo metodológico. El capítulo sexto son los resultados y análisis. Posteriormente, en el capítulo séptimo se encuentra la conclusión, seguido por el capítulo octavo, recomendaciones y por último la bibliografía.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La creciente producción de residuos sólidos urbanos (RSU) está directamente relacionada con el aumento de la población en áreas urbanas y con el desarrollo económico (Kumar y Samadder, 2017b). Con la mayor demanda de bienes y servicios de la población, para el año 2025 se estima que la producción global de RSU será de 2.200 millones de toneladas al año (Hoorweg y Bhada-Tata, 2012).

En Colombia, más de 30.000 t de residuos sólidos son depositadas diariamente en rellenos sanitarios, cantidad que sigue en aumento, dado el continuo crecimiento de la población y de las actividades industriales que se desarrollan en el país. A pesar de esto, solo hace pocos años han emergido incentivos económicos, normativos y regulatorios para minimizar la generación de estos residuos o para aumentar los niveles de aprovechamiento de estos (UPME, 2019).

La insuficiencia de incentivos lleva a recurrir a los rellenos sanitarios como único proceso de gestión de residuos, lo que, a su vez, acarrea a la saturación de su capacidad instalada; dicho de otra manera, estos no tendrán el espacio para disponer de la oferta diaria de residuos sólidos actuales y futuros (UPME, 2017).

En el conjunto Residencial Villa Ligia IV De Valledupar, Cesar, se generan diariamente varias toneladas de residuos sólidos que son dispuestas en el relleno sanitario de la ciudad, o bien en áreas comunes, lo que ocasiona impactos ambientales como la generación de lixiviados, vectores, malos olores, contaminación de aguas subterráneas, y que además, puede representar riesgo biológico para quienes realicen un manejo inadecuado de estos. Por otra parte, la descomposición de los residuos sólidos orgánicos provenientes del conjunto residencial causa la emisión de dos de los principales gases de efecto de invernadero: Dióxido de Carbono y Metano, contribuyendo a las emisiones que potencializan el cambio climático.

Conforme a lo anterior se plantea la siguiente pregunta:

¿Es posible aprovechar los residuos sólidos orgánicos producidos en el Conjunto Residencial Villa Ligia IV De Valledupar, Cesar, para producir biogás como fuente de energía?



2. JUSTIFICACIÓN

La valorización energética se fundamenta en la recuperación de energía de los residuos desechados por los habitantes de una ciudad y su reincorporación al sistema productivo (OLADE, 1996). La valorización energética se logra mediante varios procesos como la incineración, gasificación, pirólisis, etc., esta energía es utilizada para procesos industriales, generación de combustible o para la generación de energía eléctrica.

Los residuos orgánicos por sus características permiten la recuperación de la energía química almacenada en ellos, empleando procesos tales como la digestión anaerobia para transformar de forma controlada el residuo en un abono orgánico y captar el biogás – CH₄ y CO₂ principalmente – para su aprovechamiento como energía renovable (Poletto y Da Silva, 2009).

El biogás es producto de la descomposición de los residuos orgánicos, los cuales se pueden transformar, por medio de la acción de microorganismos, por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, principalmente formada por metano (CH₄). Asimismo, es un combustible ecológico, puesto que, al quemarse, produce monóxido de carbono y agua. Este primero sale a la atmósfera, donde es captado por plantas para producir carbohidratos mediante la fotosíntesis (Poletto y Da Silva, 2009).

La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables ya que produce un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico. Este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, o para generar calor en hornos, estufas, secadoras, calderas u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptadas para tal efecto (Márquez, 2018).

La presente investigación tuvo finalidad valorar la generación de energía a Partir de residuos sólidos orgánicos producidos en el Conjunto Residencial Villa Ligia IV De Valledupar, Cesar, por medio de la producción de biogás, de manera que permita en

primer lugar, ofrecer un tratamiento a los residuos sólidos orgánicos producidos, mitigando los impactos ambientales como la contaminación de agua subterránea por lixiviados, generación de vectores y malos olores, entre otros. Y en segundo lugar, proponer una alternativa amigable para los habitantes del conjunto residencial como lo es la producción de biogás, analizando sus ventajas y desventajas desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Lo anterior permitió establecer medidas de tratamiento de residuos sólidos como iniciativas de los gobiernos que favorezcan la mitigación de impactos y el desarrollo económico y social de la región.



3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Valorar la generación de energía a Partir de residuos sólidos orgánicos producidos en el Conjunto Residencial Villa Ligia IV De Valledupar, Cesar

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diagnosticar la producción de residuos sólidos generados en el Conjunto Residencial Villa Ligia IV De Valledupar, Cesar.
- Diseñar un biodigestor a escala laboratorio que permita valorar energéticamente los residuos sólidos
- Valorar económicamente el metano a partir de la energía producida por medio del biogás generado de los residuos sólidos orgánicos.



4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Bohórquez, J. et. Al. (2019), realizaron la investigación titulada: Valorización energética de residuos sólidos en el relleno sanitario de Doña Juan, para optar por el título de ingeniero ambiental en la Universidad de Cundinamarca. El objeto de la investigación fue proponer dos soluciones a la problemática de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) en Bogotá. Se realizó por medio de dos fases, la primera se basó en la generación de energía eléctrica a partir de la gasificación de la fracción inorgánica de los RSU generados en la ciudad y la segunda, la producción del energía eléctrica y de abono orgánico por medio de la combustión del biogás formado por los desechos orgánicos al momento de su descomposición en el relleno sanitario Doña Juana (RSDJ). Los resultados permitieron determinar que el tratamiento de digestión anaerobia también permitió la generación de 3.991,59 ton/día de abono orgánico como subproducto del tratamiento. El análisis económico arrojó \$350.575.597 USD como costo total del proyecto, 60,17% como tasa interna de retorno (TIR) y retribución económica de cuatro años a partir del valor presente neto (VPN). La investigación es relevante pues presenta una metodología detallada para la elaboración del biodigestor.

Muñoz, M., et. Al. (2018), desarrollo la investigación titulada: valorización energética de vertidos y residuos del sector cárnico mediante producción de biogás para optar por el título de ciencias ambientales en la Universidad de Cádiz. La investigación tuvo como finalidad realizar una revisión bibliográfica de la información en internet de la producción de residuos en el sector cárnico, su impacto y la factibilidad de producir biogás por medio de estos. Se basó en dos fases. La primera consistió en la recopilación de información basado en criterios de selección, y por último, el análisis de esta. Tras realizar la revisión bibliográfica se concluye que la digestión anaerobia es un proceso idóneo para reducir la problemática de este sector ya que las desventajas de esta técnica son mínimas en comparación con los beneficios, eficiencia y seguridad que aporta. Sin

embargo, es de gran importancia establecer las características de los vertidos y residuos desde el primer momento ya que de ellas dependen los valores de ciertos parámetros. Así, es importante destacar la temperatura y el THR para conseguir la mayor calidad y cantidad de biogás. De igual modo, la composición de estos desechos es clave a la hora de seleccionar el pretratamiento más adecuado aunque el término suele ser efectivo a la hora de mejorar el proceso. La investigación es relevante ya que permite conocer una metodología teórica para recopilar información necesaria para el estudio.

Jiménez T. (2017), realizó la investigación titulada: Producción y valorización energética de biogás, a partir de residuos alimenticios y biomasa vegetal para optar por el título de magister en gestión energética del Instituto Tecnológico Metropolitano. El objetivo de este estudio fue determinar la proporción óptima A/V . Se realizó por dos fases. La primera fue evaluar la producción de biogás a partir de la Co-digestión de varias relaciones de residuo alimenticio/biomasa vegetal, la segunda: evaluar el efecto de la relación sustrato/inóculo en la composición del biogás producido en la mejor relación residuo alimentos/biomasa vegetal encontrada. Este estudio exploró la influencia de la utilización de dos fuentes de inóculo tales como estiércol de ganado y lodos digeridos de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales. Como resultado, se obtuvo el mayor porcentaje de metano cuando se utilizó como inóculo el lodo de aguas residuales de la planta de San Fernando. Finalmente, se preparó un biogás simulado con la composición de metano y dióxido de carbono obtenido con Sir 1, con el fin de realizar la valoración energética del biogás en dos tecnologías diferentes.

Ávila, M. et. Al. (2017), realizaron la investigación titulada: generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago, para optar por el título de Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. La investigación tuvo por objeto producir biogás a partir de residuos sólidos del comedor del instituto. Se dividió en tres fases, la primera consistió en determinar la

composición química de los residuos biodegradables. La segunda fase se basó en la construcción de dos biodigestores para producir biogás, y por último, se evaluó el curso de la reacción. Los resultados mostraron que el promedio de residuos sólidos biodegradables generado en el restaurante institucional fue de 229,16 kg por día. Al final del periodo de evaluación, se determinó que la temperatura de los cuatro biodigestores se mantuvo en el rango mesofílico de 20 °C a 40 °C. Además, la relación C/N de los residuos analizados fue de 11,26, que se considerada baja. También, el porcentaje de materia orgánica fue superior al 50 % y el pH fue cercano al ideal con un valor de seis. El biodigestor que generó mejores resultados fue la mezcla con Índigo. La investigación es relevante pues presenta una metodología detallada para la elaboración del biodigestor.

García, D. et. Al., (2017), realizaron la investigación titulada: Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos en la central de abastos de Bogotá mediante digestión anaerobia, para optar por el título de ingeniero químico en la fundación Universidad de América. Tuvo como finalidad evaluar la producción de biogás bajo las condiciones de operación del biodigestor a partir de residuos vegetales disponibles en la central de abastos de Bogotá D.C. Se realizó por tres fases: la primera consistió en caracterizar los residuos vegetales y condiciones de operación del sistema de biodigestión disponible en Corabastos Bogotá, la segunda fue formular mezclas a partir de los residuos vegetales que permitan implementarse como sustrato, bajo las condiciones de operación de un prototipo de biodigestor a escala piloto, y por último, realizar el proceso de digestión anaerobia con los sustratos formulados evaluando los parámetros de operación. Los resultados permitieron determinar que la mezcla de vegetales presentó una mayor estabilidad en el pH y temperatura, debido a la baja acumulación de ácidos generados durante el proceso de degradación y a su vez un menor tiempo de retención respecto a la mezcla de frutas. La investigación es relevante

pues presenta una metodología detallada para la elaboración del biodigestor a escala piloto.

Cuesta, J. (2015). Desarrolló la investigación titulada: Obtención de biogás a partir de Residuos Sólidos Urbanos para su inyección a Red para optar por el título de ingeniero mecánico en la Universidad Carlos II de Madrid. La investigación tuvo por objeto obtener de biogás a partir de Residuos Sólidos Urbanos, para posteriormente dirigirlos a la red. La investigación se realizó por dos fases, la primera consistió en construir un biodigestor para producir biogás y la segunda gases se basó en determinar la viabilidad o factibilidad económica y ambiental de la producción del combustible. Los resultados mostraron que mediante la implantación de unas instalaciones de biometanización y tratamiento de biogás de estas características se consigue evitar las emisiones de 300.000 toneladas de CO₂ equivalente a la atmósfera, con el beneficio ambiental que esto conlleva. Además con la producción de biogás se consigue generar suficiente electricidad como para alimentar a 20.000 viviendas al año. la investigación es relevante pues permite conocer una metodología para realizar la viabilidad económica y ambiental de producir biogás a partir de residuos sólidos.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Residuos sólidos

Se refiere a residuos sólidos cuando se habla de todo material en estado sólido o semisólido que ha sido desechado tras cumplir su vida útil lo cual carecen de un valor económico. La gestión de estos residuos requiere por lo tanto una visión integral, es decir, no solo disponer adecuadamente de ellos, sino hacer una buena separación desde la fuente y uso de aquellos que pueden ser aprovechados para prevenir que lleguen a los sitios de disposición final y con ello posibilidad de convertirlos en nuevos productos básicos. (Álvarez, S. 2014)

El aumento en la generación de residuos sólidos ha ocasionado que estos se dispongan inadecuadamente y sean quemados, enterrados o descargados en cursos de

agua, botaderos a cielo abierto o en rellenos sanitarios donde no hay control de la emisión de gases a la atmosfera y líquidos al subsuelo. (Álvarez, S. 2014).

4.2.1.1 Tipos de Residuos

Los residuos se refieren a todos los producidos en cualquier lugar o en algún tipo de actividad que no sean perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. Los residuos son materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó, que pueden ser objeto de tratamiento y/o reciclaje. Estos son generados mayor mente en domicilios, áreas públicas, comercios, instituciones de servicios, establecimientos de salud, mataderos e industrias (sólo asimilables a domiciliarios). (Zamora. G. 2013).

- **Residuos orgánicos**

Los desechos orgánicos hacen referencia a todos los materiales que provienen de especies vegetales y que tienen una fácil descomposición por microorganismos, o están compuestos por residuos biológicos. Dentro de estos residuos podemos encontrar: restos de comida o partes de alimentos no comestibles; (estos pueden ser domésticos y aquellos se derivan de las actividades industriales).

- **Residuos urbanos**

Los residuos sólidos urbanos (RSU) constituyen la mayor cantidad de residuos generados en las comunidades. Su componente principal son los residuos domiciliarios. (Chacín, 2008) Este tipo de desechos precisa de un sistema periódico de recogida para su tratamiento en los vertederos municipales. Los RSU, generalmente contienen: materia orgánica en un 40% a 50% constituida básicamente por restos y desperdicios de alimentos, el papel y cartón constituyen un 31%, los desperdicios de vidrio comprenden un 5%, las latas de cerveza, refrescos, conservas y otros metales comprenden un 3.5%,

los plásticos, embalajes alimentarios y productos de limpieza del 5 %a al 9% y los textiles y algodón un 5%. (Chacín, 2008).

4.2.2 Diagnóstico de la gestión de los residuos en Colombia

4.2.2.1 Economía circular y política nacional para la gestión integral de residuos sólidos (Conpes 3874 de 2016)

En la actualidad, existen pocos incentivos económicos para aumentar los niveles de aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos, así como pocas estrategias para su prevención y minimización. Como resultado, la gran mayoría de los residuos sólidos generados terminan su ciclo de vida en los rellenos sanitarios, siguiendo un modelo de economía lineal. En consecuencia, surge la necesidad de crear una transición de la economía lineal hacia la circular, la cual favorece un modelo de desarrollo sostenible a través de la reutilización de los residuos, la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten reincorporarlos a una cadena productiva para aumentar su vida útil y disminuir su generación. En otras palabras, el modelo tiene como fin que los materiales no se conviertan en un bien final, sino que se reincorporen a un servicio o a un aprovechamiento (SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS (SSPD, 2018).

Tal cambio en el modelo económico, aunque ha sido lento en el mundo, y Colombia no ha sido indiferente. En el país se han empezado a implementar aproximaciones de economía circular en distintos aspectos de la sociedad, tal es el caso de la Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos (Conpes 3874 de 2016). Esta herramienta busca promover el avance gradual hacia esta economía, a través del diseño de instrumentos en el marco de la gestión integral de residuos sólidos asociados con la prevención, la reutilización y el reciclaje de material aprovechable (SSPD, 2018).

Adicionalmente, estos instrumentos también han adoptado una jerarquía en la gestión de los residuos, en donde se da prioridad a los tres procesos mencionados

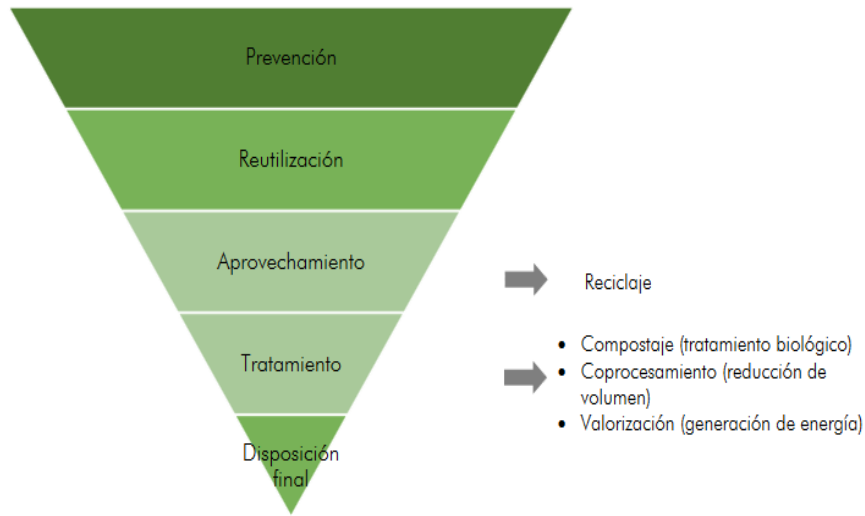
anteriormente y se establece como último recurso la disposición final de residuos sin aprovechamiento o reutilización. Así, se pretende que los residuos permanezcan el mayor tiempo posible en el ciclo económico y sea aprovechados al máximo antes de realizar su disposición final.

Desde esta perspectiva, en la figura, se presenta la jerarquía conducente a reducir y gestionar los residuos. Como primera medida se establece la prevención en la generación de residuos como propósito primordial de una política que busca avanzar hacia la economía circular y, posteriormente, se encuentra la medida que consiste en reducir los residuos sólidos, por ejemplo, a través de la reutilización. Luego, se da paso al aprovechamiento, entendido como reciclaje, y las acciones de tratamiento de residuos no aprovechables para: (i) la reincorporación de los materiales a procesos productivos (p. ej., el compostaje o la digestión anaeróbica); (ii) la valorización a través de generación de energía antes de ser dispuestos, o (iii) la reducción del volumen o tamaño antes de su disposición final. Por último, se localiza la medida en términos de prioridad es la disposición final, ya sea en rellenos sanitarios o mediante incineración sin valorización energética; así, esta medida sería el último recurso para los residuos sólidos que no se han podido evitar, desviar o recuperar en los pasos anteriores.

Figura 1

Jerarquía de la gestión de residuos solidos





Fuente: CONPES 3874 DE 2016

Esta política se convirtió en el principal orientador de acciones ambientales en materia de residuos sólidos, ya que plantea estrategias relevantes como: (i) desarrollo de los programas de minimización en el origen, articulados con los programas de producción más limpia de los cuales forma parte; (ii) modificación de los patrones de consumo y producción insostenibles; (iii) creación de nuevos canales de comercialización de materiales aprovechables y promoción de los existentes, y (iv) fortalecimiento de cadenas de reciclaje, programas existentes y apoyo a nuevos programas de aprovechamiento de residuos, entre otras estrategias.

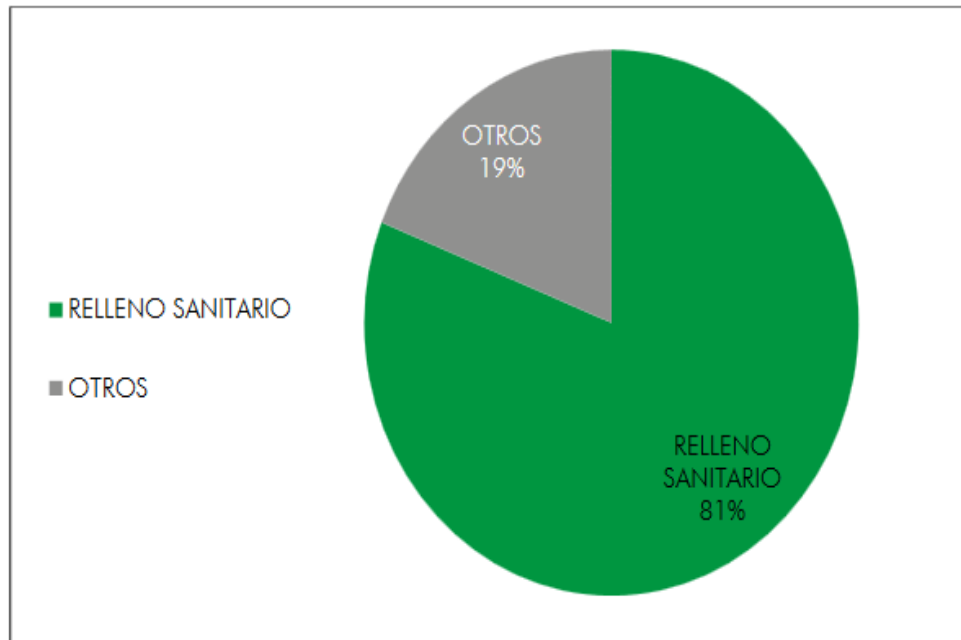
2.4.2.1.2 Gestión integral de los residuos sólidos en Colombia

En la Nación existen varios sistemas de disposición final para los residuos sólidos, los cuales se encuentran clasificados como sistemas inadecuados y adecuados de disposición final. Los primeros hacen referencia a: celdas transitorias, enterramientos, botaderos a cielo abierto, quemas y vertimientos a cuerpos de agua; mientras, en los segundos se encuentran celdas de contingencia, plantas de tratamiento y rellenos sanitarios, estos últimos los más usados en el país, según el Informe Nacional de Disposición de Residuos Sólidos de la SSPD para 2016.

Los rellenos sanitarios son sistemas de disposición final de residuos sólidos que aparecen como una tendencia para resolver la gestión integral de RSU, diseñados y operados como una obra de saneamiento básico, cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, su diseño y en su óptima operación y control. Con un dominio de la participación en la disposición del 96,5 %, el cual se traduce en 10.904.459 t de residuos al año, este sistema se aplica en 891 municipios de los 1.019 municipios atendidos; mientras, el segundo lugar en participación lo ocupa la celda transitoria con tan solo 1,3 %. Según los resultados de la base de datos de generación de residuos sólidos de la SSPD para 2016, el 81 % de los municipios de Colombia cuenta con rellenos sanitarios como su tratamiento de gestión integral y el 19 % utiliza otros métodos menos tecnificados como son los botaderos a cielo abierto, las celdas transitorias, etc.

Figura 2

Tipos de técnicas de gestión de residuos en Colombia



Fuente: SSPD. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018

Actualmente, existen diferentes tipos de aprovechamiento de residuos sólidos enfocados a residuos orgánicos e inorgánicos. Dentro de los primeros, se tienen procesos de tratamiento y aprovechamiento como compostaje, lombricultivos, entre otros, que generan productos aprovechables como el compost y biofertilizante. El segundo tipo de residuos es susceptible al reciclaje de materiales, donde prevalecen el plástico, metal, papel y cartón. El reciclaje permite utilizar una parte de los residuos sólidos como materia prima para otras actividades, y es considerada como una práctica de tratamiento eficaz para reducir la presión sobre los recursos naturales. Sin embargo, la inexistencia de políticas reglamentarias que obliguen a una selección y separación de los residuos desde la fuente reducen el material potencialmente aprovechable, lo que dificulta el desarrollo de esquemas de negocio especializados para la recuperación y aprovechamiento de los residuos sólidos (CONPES 3874 de 2016).

4.2.3 Métodos De Valoración Energética De Los Residuos Sólidos

La valorización energética constituye el aprovechamiento del poder calórico que tienen los residuos, cuando estos puedan ser utilizados como combustibles (Pala, 2006). Existen diferentes procesos para el aprovechamiento del poder calorífico de los residuos sólidos urbanos entre los cuales se distinguen los siguientes: incineración, gasificación y pirólisis.

- **Incineración**

Proceso exotérmico durante el cual se precisa suministrar al combustible oxígeno para que tenga lugar la combustión de este, quedando como principales productos resultantes de la combustión el CO₂ y el H₂O. El rango de temperaturas a las que tiene lugar la combustión de los residuos se sitúa entre 850 a 1500°C, dependiendo del combustible y de la configuración física del combustor (Alonso et al 2003).

La incineración es un procedimiento que se utiliza para tratar residuos sólidos urbanos,

este sector ha experimentado un rápido desarrollo ya que se han reducido ostensiblemente las emisiones gaseosas debido a la legislación de los países donde se desarrolla esta actividad y a que se han adoptado técnicas que evitan la contaminación producto de la combustión (Alonso et al 2003).

El principal objetivo de la incineración de los residuos sólidos urbanos es la reducción de su volumen y peligrosidad, como segundo objetivo es recuperar el poder energético de estos para generar energía eléctrica y como tercer objetivo es el alargar la vida útil de los rellenos sanitarios (Alonso et al 2003).

Los residuos sólidos urbanos están compuestos por gran cantidad de carbono, pero no poseen cantidades de hidrógeno y azufre suficientes para que tengan un poder calórico comparable al de los hidrocarburos (Alonso et al 2003).

Este proceso se aplica a residuos sólidos que tengan un poder calórico inferior, medio y alto. La incineración se realiza en plantas construidas para el tratamiento térmico de residuos. En estas plantas los residuos sólidos sirven para generar energía eléctrica, mediante la producción de vapor que mueve una turbina que impulsa un generador eléctrico. Altos contenidos de humedad y materia orgánica en los residuos reducen su poder calórico, esta técnica no resulta conveniente en zonas con alta pluviosidad o climas húmedos (Alonso et al 2003).

- **Gasificación**

“Es la transformación de una sustancia sólida o líquida en una mezcla gaseosa mediante oxidación parcial con aplicación de calor (Colomer y Gallardo, 2007).

“La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato que contiene compuestos de carbono (residuo orgánico) es transformado, mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua) en un combustible de bajo poder calórico.

Para obtener un buen rendimiento de la mezcla gaseosa resultante (contenidos altos en hidrógeno y monóxido de carbono) es necesaria una temperatura mínima de 700 a 800°C. Para evitar problemas de aglomeración de cenizas se trabaja a temperaturas de 800 a 1500°C. La calefacción del reactor se realiza normalmente mediante la combustión del gas producido (ONUDI, 2007)”.

“La gasificación es un proceso en el que se convierte mediante la oxidación parcial a elevada temperatura, una materia prima en un gas con un moderado poder calorífico (Elías Castells y col 2012). Esta tecnología trabaja con un 25 – 30% del oxígeno necesario para conseguir la oxidación completa. En la gasificación, la energía química contenida en la materia prima habitualmente sólida se convierte en energía química contenida en un gas.

Las cenizas generadas en este proceso pueden valorizarse como material de construcción, fertilizante, en fabricación de vidrio, si la materia prima es un residuo orgánico, con bajo contenido de cenizas estas no son valorizables (García, et, al 2013).

La Gasificación es un proceso que separa los residuos sólidos urbanos en sus componentes básicos y posibilita la producción de energía eléctrica. La gasificación realiza la reducción de los residuos sólidos urbanos en ausencia de oxígeno a altas temperaturas evitando las emisiones de CO₂ al ambiente (UNIDECO 2015). Este proceso termoquímico transforma la materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos en gas con poder calórico reducido, consta de tres fases: secado, craqueo y la gasificación.

El calentamiento del residuo en contacto con cierta cantidad de oxígeno produce una combustión parcial que genera gas de síntesis compuesto por CO, H₂, N₂, CO₂ y CH₄. También se produce residuo sólido carbono sin gasificar, similar a las escorias de los hornos de incineración.

- **Pirólisis**

Es un proceso de tratamiento de residuos, en escasos o ausencia total de oxígeno. Por lo que los residuos se descomponen mediante el calor, sin producir reacciones de combustión. Según Moltó, 2007, producto del tratamiento de los residuos sólidos urbanos se obtiene H₂, CH₄, C₂H₆, CO y otros compuestos; líquidos como alquitranes, aceites, acetona, ácido acético, metanol, compuestos oxigenados complejos, etc. y un residuo carbonoso o char (Madrid, 2012) (García, 2013).

La pirólisis transforma la materia orgánica de los residuos urbanos, a altas temperatura entre 300°C y 1100°C (García 2013). Operativamente la pirólisis es una técnica de valorización energética de los residuos sólidos urbanos versátil ya que todos los residuos poliméricos, naturales o sintéticos son posibles de valorizarse.

Es recomendable el tratamiento con esta técnica de: biomasa, plásticos poliolefínicos y poliaromáticos que constituyen el 75% de la producción mundial de plásticos, caucho que en Europa se estima que cada habitante produce 6 kg/hab.*año (García et. Al 2013).

El gas que se obtiene en el proceso de la pirólisis tiene un poder calorífico de 15 – 20 MJ/Nm.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Aspecto ambiental: Según la ISO 14001:2015, un aspecto ambiental es un elemento que deriva de la actividad empresarial de la organización (sea producto o servicio) y que tiene contacto o puede interactuar con el medio ambiente.

Contaminación: Es la alteración del medio ambiente por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y/o la fauna, degradar la calidad del medio ambiente o afectar los recursos de la Nación o de los particulares (ESAP, 2019).

Disposición final controlada: Es el proceso mediante el cual se convierte el residuo en formas definitivas y estables, mediante técnicas seguras (CEPIS, 2003).

Disposición final de residuos: Es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos, en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente (CEPIS, 2003).

Efluente: fluido líquido o gaseoso que se vierte sobre un cuerpo receptor (CEPIS, 2003).

Impacto ambiental: es la alteración favorable o desfavorable que experimenta el conjunto de elementos naturales del hábitat, artificiales o inducidos por el hombre, ya sean físicos, químicos o ecológicos; como el resultado de efectos positivos o negativos de la actividad humana o de la naturaleza en sí (CONAMA, 2012).

Lixiviados: es el fluido proveniente de la descomposición de los residuos, bien sea por su propia humedad, reacción, arrastre o disolución de un solvente o agua al estar en contacto con ellos. En suelos agrícolas se refiere al "lavado" de nutrientes hacia capas inferiores (CONAMA, 2012).

Manejo integral de los residuos sólidos: Selección y aplicación de las técnicas, tecnología y programas que, puestos en marcha en forma jerarquizada, conducen a la reducción (CEPIS, 2003).

Recuperación: Extracción de las sustancias o recursos valiosos contenidos en los subproductos. Suele realizarse mediante tratamiento previo y se utiliza posteriormente con una finalidad diferente a la original (ECOPORTAL, 2003).

Relleno sanitario: Método para evacuar residuos sobre la tierra, sin crear peligros o molestias en la salud y la seguridad pública. Para asegurar un vertido correcto es necesaria una preparación cuidadosa de la zona de relleno y un buen control del drenaje del agua. Los rellenos modernos correctamente diseñados, tienen un recubrimiento de arcilla compactada o de plástico; poseen sistemas de recolección de los lixiviados, con el fin de separarlos para su tratamiento y evacuación, y cuentan con sistemas para recolectar y separar el gas metano generado (CONAMA, 2012).

Residuo líquido: elemento, sustancia o compuesto en estado líquido proveniente de cualquier actividad que pueda afectar al recurso agua, al suelo o al subsuelo en condiciones naturales (ECOPORTAL, 2003).

4.4 MARCO CONTEXTUAL

Valledupar es la capital del departamento del Cesar, Colombia. Está ubicada al nororiente de la Costa Caribe colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar formado por la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía del Perijá (Alcaldía de Valledupar).

Figura 3

Ubicación de la ciudad de Valledupar en el departamento del Cesar

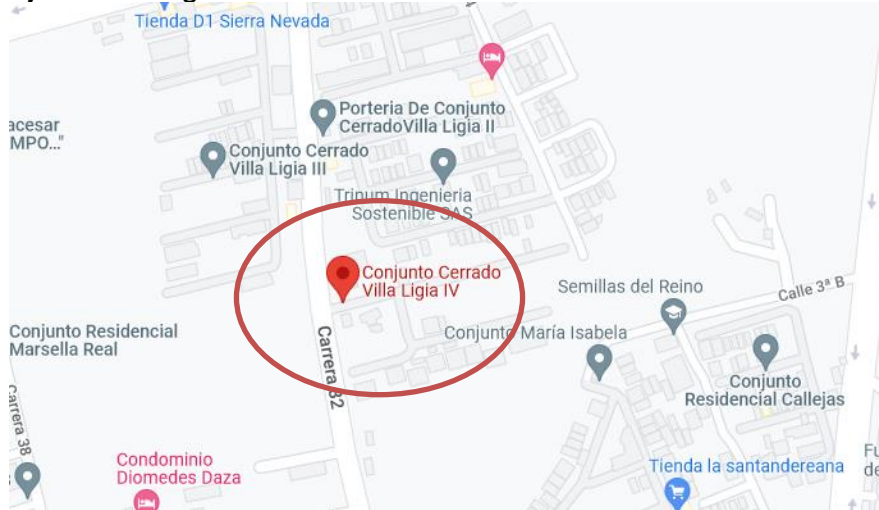


Fuente: Google maps, 2022

El conjunto residencial cerrado Villaligia IV está ubicado en la dirección Carrera 24 A No 2-99, del municipio de Valledupar, Cesar.

Figura 4

Ubicación conjunto Villaligia IV



Fuente: Google maps, 2022

4.5 MARCO LEGAL

Tabla 1

Normatividad aplicable al proyecto

NORMA	DESCRIPCIÓN	APLICABILIDAD
CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA	ARTICULO 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar	Estos dos artículos de la Constitución Política de Colombia son aplicables, ya que, su finalidad es garantizar un ambiente sano por medio de la reducción de la contaminación que en este caso corresponde a los residuos sólidos. Si se le da un tratamiento como lo es la valoración energética, se podrán mitigar impactos como

	<p>la educación para el logro de estos fines.</p> <p>ARTICULO 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.</p>	<p>contaminación del suelo, de fuentes hídricas, generación de lixiviados, entre otros.</p>
<p>Ley 99 de 1993.</p>	<p>Crea el Ministerio del Medio Ambiente y Organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Reforma el sector Público encargado de la gestión ambiental. Organiza el sistema Nacional Ambiental y exige la Planificación de la gestión ambiental de proyectos.</p>	<p>Esta ley es aplicable ya que, crea el Ministerio de Ambiente, órgano principal rector para disminuir la contaminación por residuos sólidos, y establecer actividades, estrategias, etc. De aprovechamiento de estos como lo son la generación de biogás.</p>

<p>Decreto ley 2811 de 1974.</p>	<p>Código nacional de los recursos naturales renovables y no renovables y de protección al medio ambiente. El ambiente es patrimonio común, el estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo. Regula el manejo de los RNR, la defensa del ambiente y sus elementos.</p>	<p>Este Decreto Ley es relevante, ya que, busca proteger los recursos naturales los cuales pueden verse amenazados por la contaminación por residuos sólidos urbanos.</p>
<p>Decreto 1449 de 1977.</p>	<p>Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, bosques, fauna terrestre y acuática.</p>	<p>Este decreto es aplicable debido a que, trata acerca del manejo de los residuos peligrosos, los cuales pueden ser generados en el conjunto residencial y deberá aplicarse para este el manejo adecuado para evitar afectaciones en la salud.</p>
<p>Decreto 838 de 2005</p>	<p>Establece normas orientadas a reglamentar el servicio público de aseo en el marco de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Ordinarios, en lo correspondiente a sus componentes, niveles, clases, modalidades y calidad. Además, asigna a los municipios y departamentos la</p>	<p>Este decreto es aplicable debido a que, trata acerca del manejo de los residuos ordinarios, los cuales serán los principales generados y recolectados por medio del conjunto residencial para lograr el objeto de la investigación.</p>

	responsabilidad en el manejo de los residuos sólidos y la obligación de formular e implementar planes de gestión integral de residuos sólidos, y se dictan otras disposiciones.	
Decreto 4741 de 2005.	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.	Este decreto es aplicable debido a que, trata acerca del manejo de los residuos peligrosos, los cuales pueden ser generados en el conjunto residencial y deberá aplicarse para este el manejo adecuado para evitar afectaciones en la salud.
Decreto 2981 de 2013.	por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo	Este decreto es aplicable debido a que, establece normas acerca del servicio público de aseo, el que incluye la recolección de residuos sólidos generados en la comunidad de Valledupar.
Decreto 1784 de 2017.	Por el cual se modifica y adiciona el decreto número 1077 de 2015 en lo relativo con las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo.	Este decreto es aplicable debido a que, trata acerca del manejo de los residuos, los cuales son generados en el conjunto residencial y deberá aplicarse para este el manejo adecuado para evitar afectaciones en la salud.

<p>Resolución n 0754 de 2014.</p>	<p>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.</p>	<p>La Resolución es aplicable debido a que, los PGIRS son las principales herramientas para realizar la gestión adecuada de los residuos sólidos y dentro de estas se establecen las actividades de aprovechamiento como lo es la generación de energía eléctrica.</p>
<p>Compes 3874 de 2016</p>	<p>Política Nacional de Gestión Integral de residuos sólidos en Colombia.</p>	<p>El Compes es aplicable ya que, este documento actualmente rige todos los procedimientos de la gestión de residuos en el país, y se debe cumplir con su disposición.</p>

Fuente: Constitución Política de Colombia, 1991



5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. LÍNEA Y SUBLINEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación correspondió a sostenibilidad y gestión ambiental, y la sublínea del programa corresponde a la llamada gestión integral de residuos sólidos y líquidos y subtema: valoración de residuos sólidos.

5.2 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de investigación empleado fue cuantitativo, ya que este fue un diseño no experimental de tipo transeccional debido a que los datos fueron recolectados en un determinado momento para el momento de análisis de estos. Desde el enfoque cualitativo, se empleó la teoría no fundamentada ya que la información será recaudada especialmente desde la literatura.

5.3 ALCANCE DE INVESTIGACIÓN

El alcance de investigación desarrollado fue descriptivo-longitudinal. La investigación de nivel descriptivo-longitudinal es un estudio observacional que recoge datos cualitativos y cuantitativos y se encarga de emplear medidas continuas o repetidas para dar seguimiento a individuos particulares durante un período prolongado de tiempo, a menudo años o décadas. (Caballero R., 2000).

5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población correspondió a los kilogramos de residuos orgánicos que logren producirse en las actividades cotidianas durante dos semanas en el conjunto residencial Villaligia de Valledupar, Cesar.

5.5. MUESTREO POBLACIONAL

Para la toma de la muestra se tuvo en cuenta la metodología establecida como base para el muestreo de Residuos sólidos orgánicos: el método sencillo del análisis de RSU del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), desarrollada por Samurái en 2000. La metodología indica que se deben recolectar

residuos sólidos y realizarse 1 cuarteo, obteniéndose finalmente una muestra representativa de aproximadamente 40 kilogramos.

Para llevar a cabo el proceso de recolección de residuos sólidos se tomaron muestras semanales de los Residuos sólidos orgánicos generados en el conjunto residencial a partir de la aprobación del proyecto de grado, durante 2 semanas. Estos fueron agrupados en un tanque de almacenamiento, hasta culminar el periodo y posteriormente se realizó el cuarteo como lo sugiere la guía metodológica.

5.6 DESARROLLO METODOLÓGICO

5.6.1 FASE 1. Diagnosticar la producción de residuos sólidos generados en el Conjunto Residencial Villa Ligia IV De Valledupar, Cesar.

Actividad 1.1 Realizar revisión bibliográfica acerca de los residuos sólidos orgánicos en Colombia

Descripción: Como primera medida se realizó una revisión bibliográfica que permita tener un conocimiento adecuado acerca de los residuos sólidos orgánicos en Colombia, su manejo, las caracterizaciones adecuadas empeladas en distintas investigaciones, la disposición final que reciben estos en el país, y como este tipo de residuos afecta positiva o negativamente el ambiente. Lo anterior permitió crear una línea base acerca de los residuos orgánicos en Colombia y sus principales fines.

Actividad 1.2 Realizar recolección de residuos sólidos

Descripción: Para llevar a cabo el proceso de recolección de residuos sólidos se tomaron muestras semanales (2 semanas) de los Residuos sólidos orgánicos generados en el conjunto residencial Villaligia a partir de la aprobación del proyecto de grado. Estos fueron agrupados semanalmente en tanques de almacenamiento, hasta culminar el periodo.

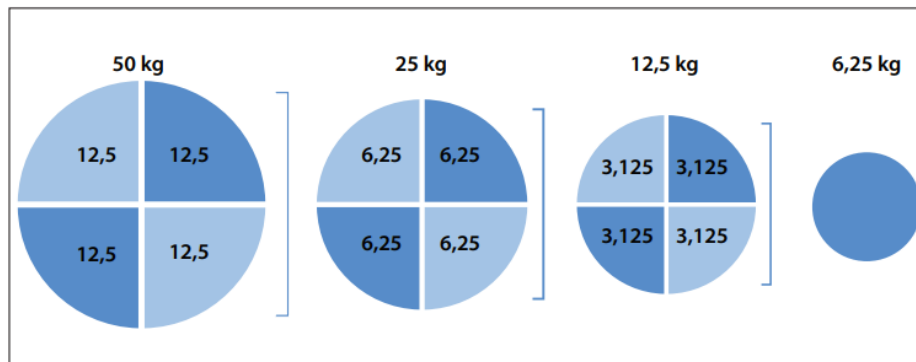
Actividad 1.3 Caracterizar los residuos sólidos recolectados

Descripción: Para realizar la caracterización de los residuos sólidos se tomó como base la guía del análisis de RSU del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria

y Ciencias del Ambiente (CEPIS), desarrollada por Samurái en 2000, quien establece realizar un cuarteo de los residuos sólidos recopilados, facilitando la clasificación de estos. Así mismo, se pesaron cada uno de estos y se realizaron gráficas representativas de su caracterización. La finalidad fue recolectar 40kilogramos de residuos sólidos orgánicos. Según Ninabanda (2016), con esta cantidad de residuos sólidos fue suficiente producir biogás a escala piloto debido a la capacidad que tendrá el biodigestor. Por esa razón se optó por los tiempos establecidos en la actividad.

Figura 5

Ejemplo del método de cuarteo



Fuente: Ninabanda (2016)

5.6.2 Diseñar un biodigestor a escala laboratorio que permita valorar energéticamente los residuos sólidos

Actividad 2.1 Dimensionar el biodigestor a escala laboratorio

Descripción: Generalmente los digestores son cilíndricos, debido a que esta forma geométrica es muy consistente, requiere menor cantidad de materiales de construcción, y eliminar las aristas o esquinas de las paredes que pueden permitir fugas de gas, por esta razón se optó por realizar con esta forma geométrica.

El sistema de biodigestión que se propuso fue un sistema hermético, que consta de un tanque de polietileno de alta densidad de tipo semi continuo, térmicamente aislado

mediante un enchaquetamiento de fibra de vidrio. Esta elección se realizó considerando que el diseño ofrece una mayor practicidad para la manipulación, manejo del sistema de agitación, control de las condiciones y costos de mantenimiento en zonas rurales, así mismo, se ha usado en diversos estudios como el de (Perez, 2019), debido a su practicidad.

Figura 6

Esquema de biodigestor propuesto



Fuente: Perez, 2019

Por lo anterior, se realizaron los siguientes cálculos:

Volumen del biodigestor: El volumen del digestor (V_d) se determinó a partir del tiempo de retención hidráulica (TR) y la cantidad de sustrato diario introducido (V_{cd}) así:

$$V_d [m^3] = TR [días] * V_{cd} [m^3 / día]$$

Para una planta simple, el tiempo de retención mínimo estuvo en unos 30 días. Aun así, la experiencia ha demostrado que plantas con TR de 60 - 80 días, y hasta 100 días funcionan, y con un mayor tiempo de retención se consigue una mayor producción

de gas, alcanzando producciones de hasta un 40% más. (Appels, 2008). El volumen del sustrato introducido dependerá de la cantidad de agua que se añade para alcanzar la proporción de sólidos adecuada, del 4 - 8%.

Conociendo el volumen calculamos la profundidad del pozo (tipo vertical) considerando que se trata de un biodigestor cilíndrico vertical de diámetro (d) igual a la profundidad (h).

Volumen del biodigestor

$$d = h \sqrt{V}$$

Diámetro del biodigestor interno

$$V = [(\pi \cdot d^2) / 4] \cdot h$$

Altura del Biodigestor

$$h = d$$

Actividad 2.2 Determinar la ubicación del biodigestor

Descripción: conforme a la recolección de datos se precisó donde se instaló el biodigestor. Debido a que se debían monitorear parámetros fisicoquímicos, la ubicación del biodigestor es importante. Se requirió de zonas con espacios adecuados y que alcancen temperaturas mínimas de 28°C. Para esto el biodigestor se realizó en el patio de una vivienda con espacio suficiente para su instalación y a cielo abierto para garantizar la iluminación.

5.6.3 Fase 3. Valorar económicamente el metano a partir de la energía producida por medio del biogás generado de los residuos sólidos orgánicos.

Actividad 3.1 Puesta en marcha del biodigestor

Descripción: Una vez instalado el biodigestor se inició el proceso de alimentación por medio de los residuos sólidos recolectados. La biomasa estuvo depositada dentro del biodigestor por alrededor de 30 días tiempo suficiente para que dentro del mismo se empiece a generar el gas en las cantidades que admite el contenedor (Márquez, 2018). Se realizó el mezclado de esta durante 15 minutos cada día.

La mezcla para alimentar un biodigestor debe tener entre el 7 y 9% de sólidos, aunque generalmente se trabaja con el promedio, es decir el 8%; para el cálculo en la obtención de una mezcla con un 8% de sólidos es necesario conocer el volumen, la densidad y el contenido de humedad de la materia prima, de tal forma que el peso de la materia prima a utilizar fue: [Olaya 2006]:

$$D_r = V_r \cdot W_r$$

Donde, W_r es el peso de la materia prima,

V_r es el volumen de la materia prima,

D_r es la densidad de la materia prima, estimada pesando un volumen conocido de la materia prima y dividiéndola por el peso de este volumen.

Entonces, el volumen de la mezcla con el 8% de sólidos $V_{8\%}$, pudo ser calculado como [Olaya 2006]:

$$V_{8\%} = 0,192.0 (W_r (1-H))$$

Donde, H es el contenido de humedad (en fracción).

Cada semana se pudo constatar la no existencia de fugas en el equipo usando una solución jabonosa diluida en agua la cual es esparcida por todo el equipo para verificar si se generan burbujas las cuales podrían indicar posibles escapes de gas los cuales pudieron ser una pérdida de la eficiencia del equipo y una acción insegura que pueda causar accidentes.

Actividad 3.2 Verificación de los parámetros fisicoquímicos

Descripción: para garantizar el funcionamiento adecuado del biodigestor, se realizaron revisiones del pH y temperatura.

pH: el pH es un parámetro importante para garantizar la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos. Para esto, se realizó semanalmente la medición del pH y se anotaron los resultados con la finalidad de llevar un registro de su comportamiento.

Temperatura: La temperatura ambiente en que va a trabajar el Biodigestor indica el tiempo de retención necesario para que las bacterias puedan digerir la materia. En ambientes de 30 °C se requieren unos 20 días de tiempo de retención, a 32 °C, la temperatura de trabajo es de unos 21 °C de media, y se requieren 55 días de tiempo de retención. Para esto, se realizó semanalmente la medición de la temperatura por medio de un termómetro.

Actividad 3.3 Determinación del biogás producido

Descripción: Para calcular la producción de biogás fue necesario conocer el porcentaje de sólidos totales (%ST) y el porcentaje de sólidos volátiles del desecho (%SV); donde, los sólidos totales se definen como el peso seco de la materia prima, o porción que permanece cuando el material es secado a una temperatura de 105 °C, mientras que los sólidos volátiles se definen como la porción de los sólidos totales que son volatilizados a 550 °C [Olaya 2006].

Estas definiciones sugirieron entonces el cálculo del volumen a partir de la siguiente

Ecuación:

Ecuación 1.

Cálculo del biogás

$$\frac{\text{Volumen de gas } m^3 \text{ CH}_4}{\text{Kg de desecho}} = \frac{\%ST}{100} \times \frac{\%SV}{100} \times \frac{m^3 \text{ biogás}}{\text{Kg}} \times \%CH_4$$

Fuente: Olaya, 2006

Siendo necesario conocer el porcentaje de sólidos totales y volátiles, así como el volumen de gas en m³ por Kg, en cada tipo de desecho, y el porcentaje de metano (%CH₄) en el biogás. Algunas fuentes bibliográficas pueden suministrar estos valores, que a continuación son mostrados en las tablas [Olaya 2006].

Tabla 2

Valores del porcentajes de sólidos totales y sólidos volátiles

Material (residuos secos)	% Humedad (H)	% Sólidos totales (%ST)	% Nitrógeno (N)	% Carbono (C)	% Sólidos volátiles (%SV)	C/N
Gallinaza	65.0	35.0	6.3	94.5	65.0	15.0
Bovinaza	86.0	14.0	1.7	30.8	80.0	18.0
Porquinaza	87.0	13.0	3.8	76.0	85.0	20.0
Basura de mercado	1.0	99.0	3.0	54.7	77.0	18.0
Papel periódico	7.0	93.0	0.1	5.0	97.1	813.0
Desechos agrícolas	7.2	37.0	1.2	90.0	63.0	75.0
Humanaza	73.0	27.0	6.0	50.0	92.0	8.0
Orina	94.0	6.0	18.0	14.0	75.0	0.8

Fuente: Olaya, 2006

Tabla 3
Biogás producido en función de los sólidos volátiles

Material	Proporción (%)	M ³ de biogás / Kg de materia	CH ₄ (%)
Gallinaza	100	0.3111	59.8
Bovinaza	100	0.0871	65.2
Porquinaza	100	0.3234	65.0
Basura de cocina	100	0.2110	61.9
Residuos de papel	100	0.2178	67.1
Desechos agrícolas	100	0.2999	60.0

Fuente: Olaya, 2006

Actividad 3.4 Valoración económica del biogás obtenido

Descripción: una vez obtenido los m³ de biogás producidos se relacionaron con los KW/h por medio de la revisión bibliográfica, de manera que se pueda conocer la valorización monetaria que se representa por cada kW/h al que equivale cada m³ de biogás.

Para esto se hizo una revisión bibliográfica en la UPME, y ministerio de minas y energías. Según la UPME (2021), Cada m³ de gas natural corresponde a un Poder Calorífico Superior (PCS) de 11,70 kWh aproximadamente. De esta manera, realizaremos el respectivo cálculo para determinar el total de KW/h por m³ de biogás producido.

Por último, según la misma fuente, durante abril de 2022 el precio promedio de la energía transada en contratos para atender la demanda del consumo residencial y

pequeños negocios (mercado regulado) fue de 275.04 COP/kWh, el cual registró un incremento del 14.27% con respecto al mismo mes de 2021 que fue de 240.70 COP/kWh.

De esta manera se recopiló la información en la siguiente matriz:

Tabla 4

Matriz de valoración económica del biogás

M3 de biogás producido	KW/h por cada m3 de biogás producido	COP de cada kW/h producido
1 m3 de biogás	11,70 kWh	275.04 COP/kWh

Fuente: Autores, 2022



6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 DIAGNÓSTICO DE LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL CONJUNTO RESIDENCIAL VILLA LIGIA IV DE VALLEDUPAR, CESAR.

6.1.1 Revisión bibliográfica acerca de los residuos sólidos orgánicos en Colombia

Como primera medida se realizó una revisión bibliográfica que permita tener un conocimiento adecuado acerca de los residuos sólidos orgánicos en Colombia, su manejo, las caracterizaciones adecuadas empeladas en distintas investigaciones, la disposición final que reciben estos en el país, y como este tipo de residuos afecta positiva o negativamente el ambiente. La tabla a continuación permite conocer la información recopilada:

Tabla 5

Documentos revisados

Autor y año	Título	Enlace
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016	Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Sólidos	https://conpes.gov.co/Conpes3/B3micros/3874.pdf
Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, 2022	Guía NACIONAL Para La Adecuada Separación De Residuos Sólidos	https://economiacircular.minambiente.gov.co/wp-content/2022/06/guia-nacional-para-la-adecuada-gestion-de-residuos-colombia-2022.pdf

Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, 2018	Gestión Integral De Residuos Solidos	<a href="https://www.mincit.gov.co/getattach
ment/4f22-4a75-be4d-
73e7b64e4736/17-10-2018-">https://www.mincit.gov.co/getattach ment/4f22-4a75-be4d- 73e7b64e4736/17-10-2018-
Hernández, A. 2021	Análisis De La Gestión De Residuos Sólidos En Colombia	<a href="https://repository.unimilitar.edu.co/bit
stream/han">https://repository.unimilitar.edu.co/bit stream/han

Fuente: Autor, 2023

Se tomaron estos 4 documentos debido a que son recientes y con información veraz proporcionada por la máxima autoridad ambiental: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Se puede destacar lo siguiente:

En Colombia, de acuerdo con el DANE (2022), se producen 24,8 millones de toneladas de residuos al año, de los cuales el 47 % provienen de los hogares y se tiene una generación per cápita de 515 kilogramos. A su vez la tasa de reciclaje, que se refiere a la proporción de material reciclado sobre la generación total de residuos sólidos, es cercana al 11,82 % en el año 2019, con una clasificación promedio de los residuos en los hogares en todo el país del 39,9 % y del 42,2 % en las cabeceras municipales (DANE, 2020) y con altos porcentajes de hogares que manifiestan clasificar materiales aprovechables: el 81 % menciona hacerlo con plásticos, papel y cartón y el 61,2 % afirma separar el vidrio. El país se acogió en 2015 a los Objetivos de Desarrollo Sostenible como marco estratégico para lograr el desarrollo sostenible y resiliente a 2030. En general, se pretende fomentar el reciclaje, reducir el impacto ambiental negativo de los residuos, apoyar la responsabilidad extendida del productor y mejorar la política integral de residuos sólidos mediante la mejora en las condiciones sanitarias y de seguridad de la infraestructura sectorial y la reutilización y la valorización de los residuos.

En Colombia existen diversos tipos de residuos urbanos, ordinarios y con gestión diferenciada. Se estima que la mayor proporción de los residuos que producen los hogares corresponden a los denominados “orgánicos” (Documento CONPES 3874 de 2016). En segundo lugar, se genera material con potencial aprovechable, los cuales deben separarse limpios y secos para su reincorporación a la cadena productiva.

6. 1.2 Realizar recolección de residuos sólidos

Para la recolección de residuos sólidos se tomaron muestras durante 2 semanas los domingos, martes y jueves, los cuales fueron definidos según el paso del transporte del servicio de aseo. Los residuos fueron almacenados en tanques donados para esta recolección.

Figura 7

Tanques donados para el almacenamiento



Fuente: Autor, 2023

Los residuos recolectados corresponden a un total de 50 viviendas divididas así: 20 casa y 30 apartamentos en el conjunto residencial Villaligia. Cabe resaltar que en primerio se habitan los apartamentos con 3 personas.

Figura 8

Recolección de residuos



Fuente: Autor, 2023

La tabla a continuación permite conocer los datos de la recolección.

Tabla 6

Datos de recolección

Fecha	Cantidad de residuos recolectados (kg)
2 de marzo	7,2
4 de marzo	5,3
6 de marzo	8,42
9 de marzo	7,03
11 de marzo	6,23
13 de marzo	5,82
TOTAL	40 kg

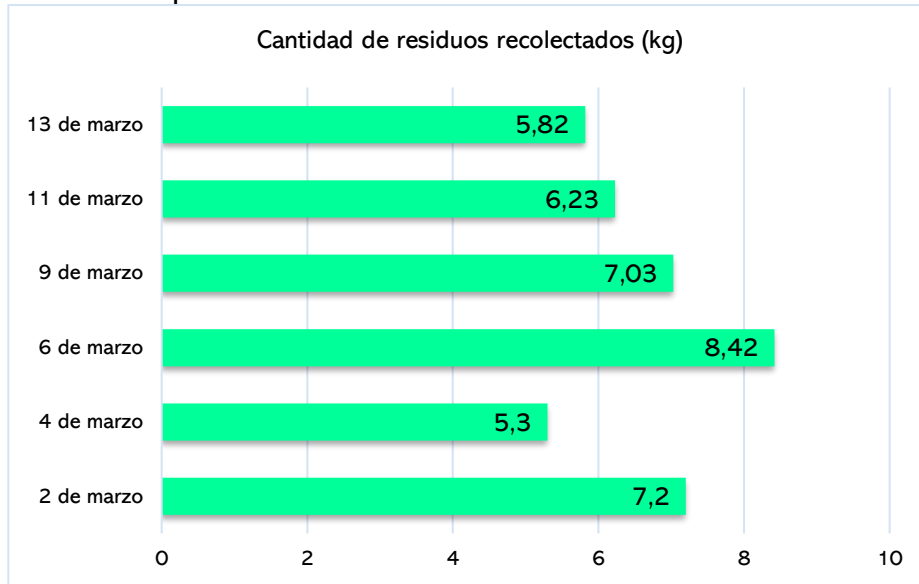
Fuente: Autor, 2023

Como se evidencia la recopilación total de residuos sólidos corresponde a 40kg en

las fechas estipuladas.

Figura 9

Distribución de residuos por fecha



Fuente: Autor, 2023

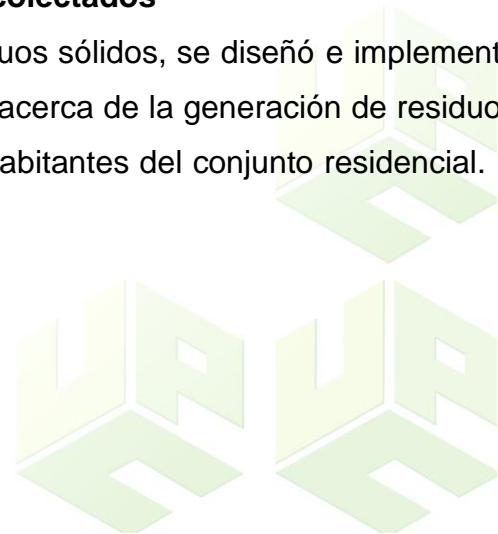
Una vez realizada la recolección de residuos sólidos se procedió a caracterizarlos mediante el método de cuarteo.

6. 1.3 caracterización de residuos sólidos recolectados

Antes de realizar la caracterización de los residuos sólidos, se diseñó e implementó una encuesta, la finalidad de recopilar información acerca de la generación de residuos sólidos y la disposición de estos por parte de los habitantes del conjunto residencial. A continuación se presenta el modelo de encuesta.

Figura 10

Modelo de encuesta



ENCUESTA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN VALORACIÓN DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS PRODUCIDOS EN EL CONJUNTO RESIDENCIAL VILLA LIGIA IV DE VALLEDUPAR, CESAR

La siguiente encuesta se realiza con la finalidad de recopilar información acerca de la generación de residuos sólidos y la disposición de estos por parte de los habitantes del conjunto residencial. Los datos aquí recopilados serán tratados con carácter educativo.

1. Edad
- 18-30 años___
- 31 a 50 años___
- >60 años___
2. Nivel educativo
- Ninguno___
- Primaria___
- Bachiller___
- Técnico, tecnólogo___
- Profesional___
2. ¿Conoce la clasificación de residuos sólidos?
- Si___
- No___
3. ¿Sabe cuál es el nuevo código de colores para la clasificación de residuos sólidos en Colombia?
- Si___
- No___
4. ¿Conoce los residuos orgánicos y su importancia para el aprovechamiento?

- Si___
- No___
5. ¿Conoce cuáles son los principales residuos orgánicos que usted genera en su vivienda de manera semanal?
- Si___
- No___
6. Si su respuesta fue si, ¿Cuáles puede mencionar?
- _____
7. ¿Sabía usted que los residuos orgánicos pueden ser valorados por medio de la energía eléctrica?
- Si___
- No___
8. ¿Le gustaría que se generara energía eléctrica a partir de los residuos orgánicos que usted produce en el conjunto residencial, disminuyendo gastos en las facturas?
- Si___
- No___
9. ¿Estaría dispuesto a disponer los residuos sólidos orgánicos en bolsas de colores con fines educativos de valoración energética?
- Si___
- No___

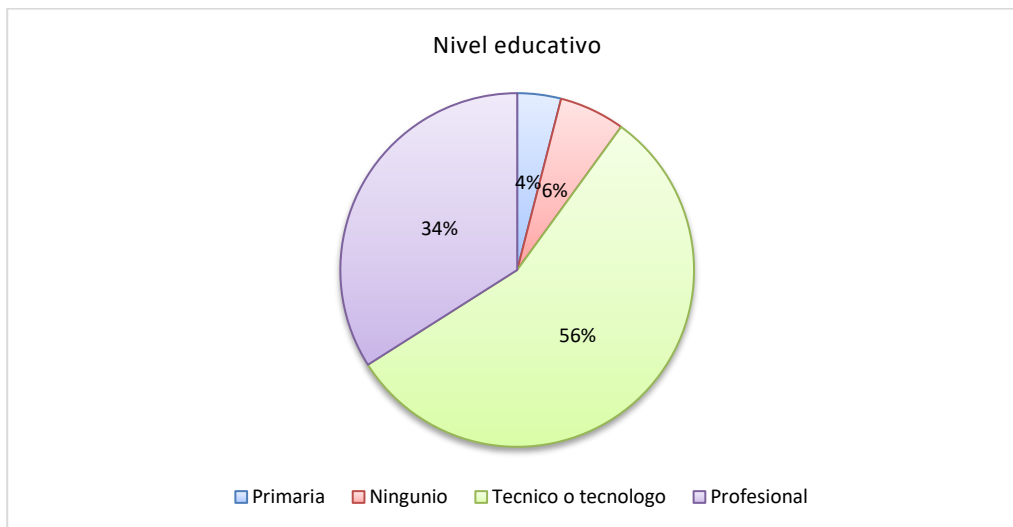
Fuente: Autor, 2023

Los resultados de la encuesta se evidencian que los encuestados poseen edades entre los 40 a 55 años en su mayoría. Para el caso del nivel educativo se tuvo que:

Figura 11

Nivel educativo



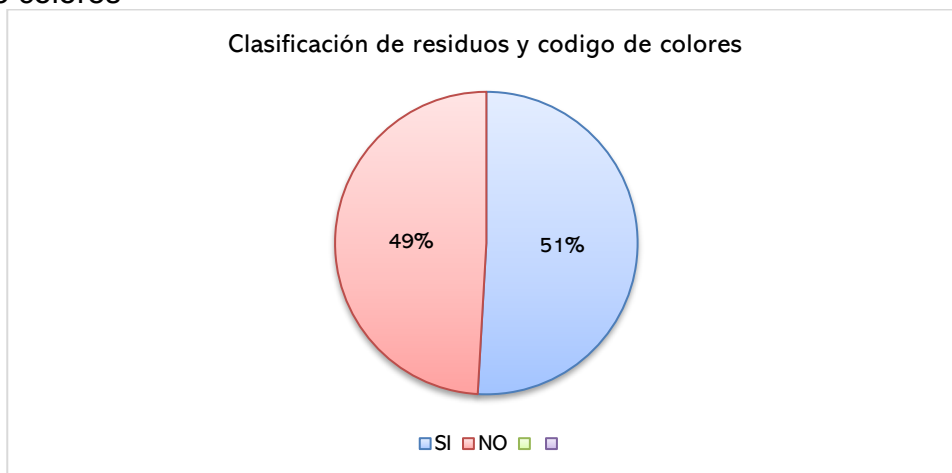


Fuente: Autor, 2023

Se evidencia que el 56% de los encuestados posee un técnico o tecnólogo y el 34% son profesionales. Para la pregunta ¿Conoce la clasificación de residuos sólidos y el nuevo código de colores? Respondieron:

Figura 12

Código de colores



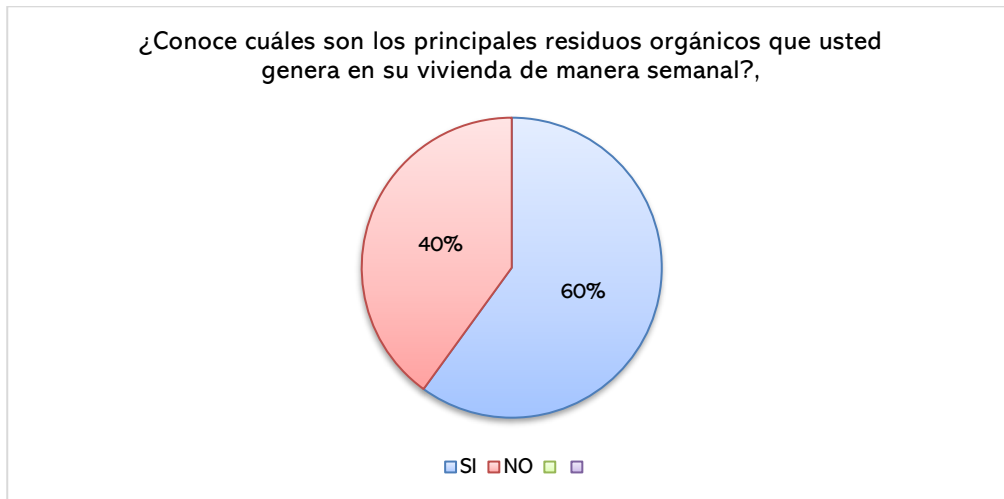
Fuente: Autor, 2023

Se evidencia que los resultados estuvieron similares, ya que el 51% menciona que si conoce la clasificación de residuos sólidos, y el código de colores usado actualmente, y el 49% menciona que no, y que no consideran que sea de importancia. Para la pregunta

¿Conoce cuáles son los principales residuos orgánicos que usted genera en su vivienda de manera semanal?, los encuestados respondieron:

Figura13

¿Conoce cuáles son los principales residuos orgánicos que usted genera en su vivienda de manera semanal?

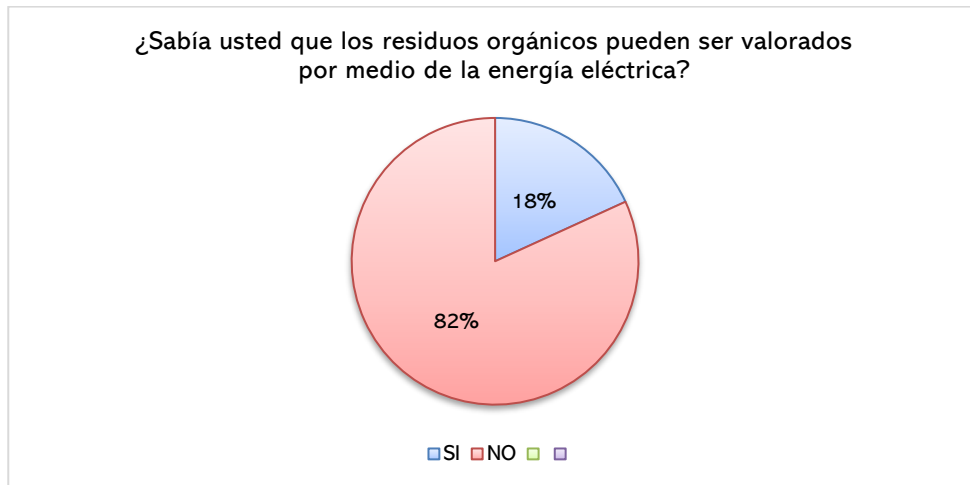


Fuente: Autor, 2023

Para esta pregunta se tiene que los encuestados en su mayoría conocen cuales son los residuos que generan en su vivienda y su posible aprovechamiento, ya que, mencionaron que son usados como compost en caso de tener jardines dentro de sus hogares. Para la pregunta: ¿Sabía usted que los residuos orgánicos pueden ser valorados por medio de la energía eléctrica?

Figura 14

¿Sabía usted que los residuos orgánicos pueden ser valorados por medio de la energía eléctrica?

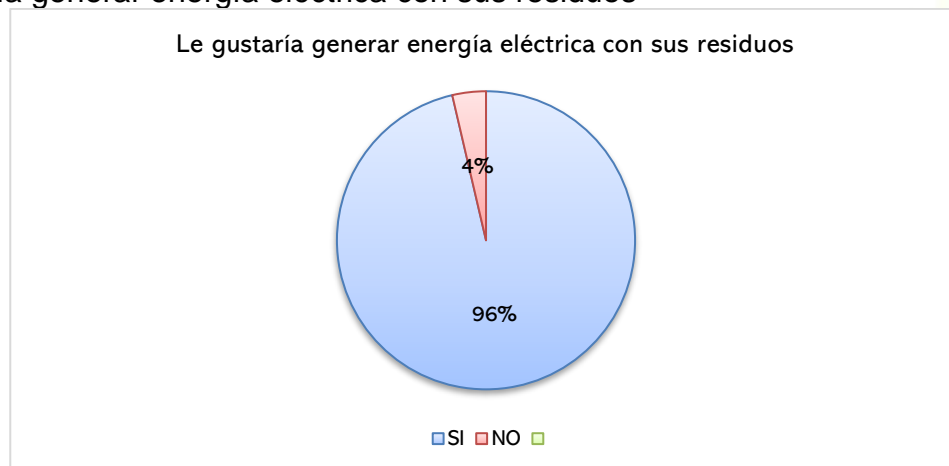


Fuente: Autor, 2023

Esta pregunta fue muy importante, ya que evidenció que solo el 18% de los encuestados tenía idea que los residuos orgánicos pueden ser valorados por medio de la energía eléctrica, lo que se deduce que esta técnica no es muy conocida ni socializada abiertamente. Posteriormente se les preguntó: ¿Le gustaría que se generara energía eléctrica a partir de los residuos orgánicos que usted produce en el conjunto residencial, disminuyendo gastos en las facturas?

Figura 15

Le gustaría generar energía eléctrica con sus residuos



Fuente: Autor, 2023

Como se evidencia el 96% de los encuestados estaban interesados en que se generara energía eléctrica a partir de los residuos orgánicos que usted produce en el conjunto residencial, disminuyendo gastos en las facturas, por lo que finalmente se les preguntó: ¿Estaría dispuesto a disponer los residuos sólidos orgánicos en bolsas de colores con fines educativos de valoración energética?, obteniendo que un 99% de los encuestados respondió que si, por ende, se procedió con el proceso de recolección y caracterización.

Para realizar la caracterización de los residuos sólidos se tomó como base la guía del análisis de RSU del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), desarrollada por Samurái en 2000, quien establece realizar un cuarteo de los residuos sólidos recopilados, facilitando la clasificación de estos.

Figura 16

Método de cuarteo y pesaje



Fuente: Autor, 2023

Una vez realizado el cuarteo, se caracterizaron los residuos según el tipo encontrado. La tabla resume la información obtenida.

Tabla 7

Caracterización de residuos sólidos

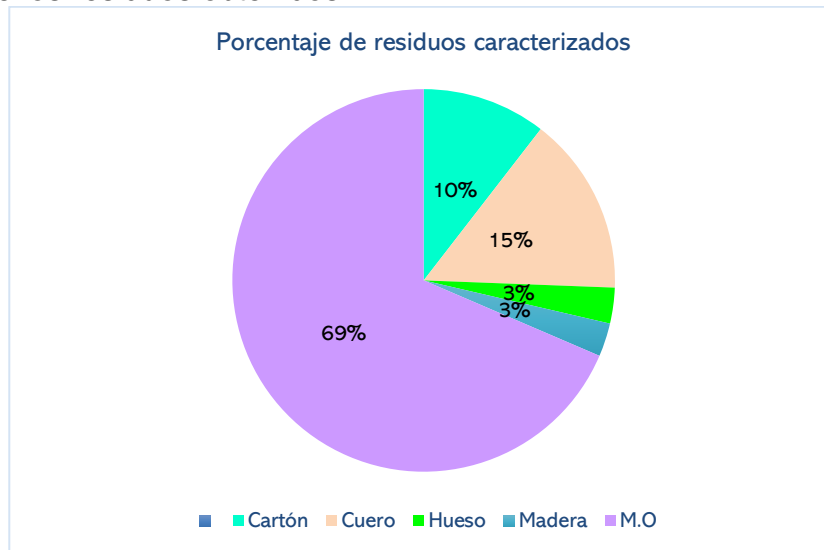
RESIDUOS TOTALES				
COMPOSICIÓN FÍSICA PORCENTUAL				
Elemento	Valor	Cantidad	Peso unidad (kg)	Peso total (kg)
Cartón	10,4%	25	0,1664	4,16
Cuero	15%	38	0,1663	6,32
Hueso	3%	9	0,4	1,2
Madera	2,8%	6	0,1866	1,12
M.O	68%	128	0,2125	27,2
TOTAL	100%	206	1,1318	40

Fuente: Autor, 2023

Como se evidencia, los residuos sólidos corresponden a residuos orgánicos.

Figura 17

Distribución de los residuos obtenidos



Fuente: Autor, 2023

Como se evidencia de los residuos obtenidos el 69% de los residuos sólidos caracterizados corresponden a materia orgánica, y el 15% corresponde a cueros. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2023), Un biodigestor trabaja con la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y domésticos (desechos vegetales, frutales, hojas, excrementos, etc.) y desechos de animales (bosta, guano etc.), ya que, dentro de un biodigestor se genera un ambiente biológico activo que, por acción de microorganismos, desencadena una fermentación anaerobia, lo cual permite la producción de biogás.

6.2 DISEÑO DEL BIODIGESTOR A ESCALA LABORATORIO QUE PERMITA VALORAR ENERGÉTICAMENTE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

6. 2.1 Dimensiones del biodigestor a escala laboratorio

Para dar cumplimiento a la actividad, se realizó un diseño del biodigestor cilíndrico tipo CSTR, que, según investigaciones realizados por (Pérez, 2018), los biodigestor cilíndricos tipo CSTR maximiza el contacto entre la biomasa, lo cual lo convierte en una buena opción para la digestión de residuos difíciles de degradar, con porcentaje de sólidos cercano al 10% y con presencia de grasas y aceites, como lo pueden ser los orgánicos.

Para realizar el diseño se tuvo en cuenta el dimensionamiento siguiendo la recomendaciones de (Pérez, 2018), en su investigación.

- **Tasa de carga orgánica**

Es importante conocer la tasa de carga orgánica, ya que ésta indica los kilogramos de sólidos volátiles o materia orgánica seca que es posible alimentar al biodigestor (Pérez, 2018), por lo tanto, se determina la tasa de carga orgánica para el diseño

propuesto, para el cual se han tomado en cuenta únicamente los valores de residuos orgánicos domiciliarios.

Ecuación 1.

Determinación de la carga orgánica

$$B_R = \frac{m * c}{V_R * 100}$$

Donde:

B_R: Tasa de carga orgánica

m: Cantidad de sustrato adicionado por día (kg/día)

C: porcentaje de sólidos volátiles (%SV)

V_R: Volumen del reactor (m³)

El cálculo se realizó para el sustrato fresco sin tener en cuenta ningún tipo de recirculación y el resultado obtenido es de 1,8 kgSV/m³día.

Para el cálculo de la tasa de carga orgánica se toman 40 kg como cantidad de sustrato alimentado por día y el volumen del reactor propuesto de 0,12 m³.

En un sistema de carga diaria de régimen semicontinuo como el que se planea, el tiempo de retención va a determinar el volumen diario de carga que será necesario para alimentar al biodigestor. A través de la Ecuación 2 se halla la cantidad diaria necesaria para alimentar el biodigestor:

Ecuación 2.

Cantidad diaria necesaria para alimentar el biodigestor:

$$\frac{\text{volumen de biodigestor (m}^3\text{)}}{\text{tiempo de retencion (días)}} = \text{volumen de carga diaria (} \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{)}$$

Tomando un TRH de 8 días y el volumen de digester planteado de 0,12 m³ (120L), se obtiene una carga diaria de alimento de **0,03125 m³/día** para los residuos orgánicos domiciliarios que es el sustrato seleccionado.

- **Balance de materia para el diseño propuesto.**

Se realizó un balance de materia para demostrar que el diseño cumple con la demanda de gas propano que actualmente tienen los habitantes del conjunto cerrado Villaligia. Para esto se toman algunas propiedades del gas a condiciones normales según la (EPA, 2018).

Las energías renovables además de contribuir con la disminución de gases de efecto invernadero, disminuyen los costos generados por el consumo de gas propano. La implementación de una planta de biogás se sugiere como una buena alternativa para desistir del uso de esta fuente de energía para la cocción de alimentos, que hoy en día es aproximadamente de 80lb por mes (1.131m³/día) (EPA, 2018).

Para saber el consumo diario de gas propano se realizaron los siguientes cálculos:

$$80 \text{ lb} \frac{500 \text{ gr}}{1 \text{ lb}} = 40.000 \text{ gr}$$
$$\frac{40.000 \text{ gr}}{44 \text{ gr/mol}} = 909,09 \text{ mol de } C_3H_8$$
$$\frac{909,09 \text{ mol de } C_3H_8}{30 \text{ dias}} = 30,3 \frac{\text{mol}}{\text{dia}}$$
$$30,3 \frac{\text{mol}}{\text{dia}} * 22,4 \frac{\text{l}}{\text{mol}} = 678,78 \frac{\text{l}}{\text{dia}}$$
$$\frac{678,78 \frac{\text{l}}{\text{dia}}}{0,6} = 1131,3 \frac{\text{l}}{\text{dia}}$$

1131,3 $\frac{\text{l}}{\text{dia}}$

Como se evidencia, el consumo actual diario por parte de los habitantes del conjunto cerrado Villaligia corresponde a $1131,3 \frac{l}{dia}$, por lo que, se debe suplir la demanda de este gas utilizando el biogás producido por el biodigestor. Para el balance de materia se tienen en cuenta las entradas y salidas del sistema.

Donde:

M1: Mezcla de residuos orgánicos que entra.

M2: Cantidad de Biogás producido.

M3: Mezcla de residuos orgánicos que entra.

De allí se tiene que *M1* fue la cantidad de materia que ingresa al biodigestor, la cual equivale a 40 kg que son los residuos propuestos como primera alimentación. Como la relación de alimentación del sistema es 1:3 se tiene un total de 160kg.

Según el Manual de Biogás se producen $0.025 m^3$ de biogás por cada kilogramo de residuo orgánico domiciliario, de acuerdo con lo anterior se tiene entonces, que *M2* es igual a $1.6m^3$, que al multiplicarlo por la densidad del biogás $0.656 kg/m^3$ equivale a 1.0496 kg.

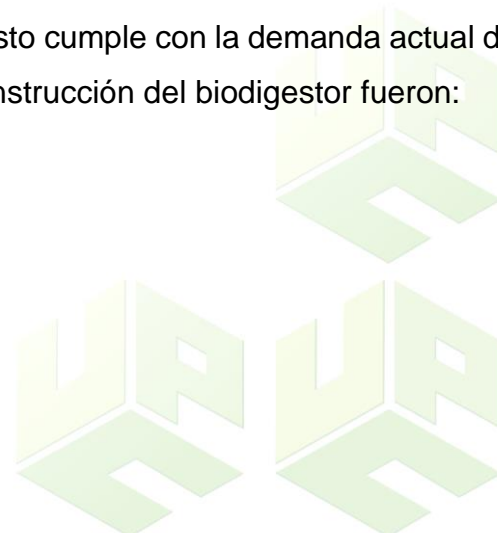
Entonces:

$$M3=158,95 \text{ kg}$$

Finalmente se muestra que el diseño propuesto cumple con la demanda actual de gas propano. Los materiales empleados para la construcción del biodigestor fueron:

Figura 18

Materiales empleados





Fuente: Autor, 2023

Por otra parte, se tuvo en cuenta el sistema de agitación del biodigestor. Es importante que el sistema de agitación propuesto para el biodigestor funcione correctamente, ya que según Karím (2020), este implica una ganancia de un 15 a 30% en la producción de biogás. La presencia de agitación puede generar costos de implantación, pero es una ventaja para el proceso, puesto que ayuda a la transferencia de calor y mejora el contacto entre la biomasa y los microorganismos (Pérez, 2018), es decir que la importancia de una adecuada agitación radica en que, como se mencionó anteriormente, se da mayor contacto entre el sustrato, los nutrientes, las enzimas y los microorganismos presentes, además ayuda a evitar o disminuir las costras que se forman en las paredes del tanque y contribuye con la liberación del gas.

Para la construcción del sistema de agitación se realizó una apertura en el tanque del biodigestor y se dispuso un conducto que permitiera realizar la mezcla frecuentemente sin alterar las condiciones internas del biodigestor.

Figura 16

Sistema de agitación del biodigestor diseñado



Fuente: Autor, 2023

Finalmente, el transporte del biogás desde el biodigestor hasta el lugar de su aprovechamiento exige las mismas condiciones de manejo que cualquier otro gas combustible (Silva, 2017). La práctica indica que es indispensable que entre 40 y 60 % del biogás producido diariamente sea almacenado, (Silva, Juan, 2017), por lo cual se hace necesario seleccionar un reservorio adecuado con este fin. En este proyecto se ha optado por tuberías de PVC por su fácil instalación, facilidad para transportar, y al ser hermética e impermeable conserva la totalidad del gas.

Figura 19

Diseño de biodigestor



Fuente: Autor, 2023

Así las cosas, el sistema de biodigestión que se propone es un sistema hermético, que consta de un tanque de polietileno de alta densidad con una capacidad de 0.120 m³(120 litros), (0.81 m de altura y 0.72 m de diámetro) de tipo semi continuo, térmicamente aislado. Esta elección se realiza considerando que el diseño ofrece una mayor practicidad para la manipulación, manejo del sistema de agitación, control de las condiciones y costos de mantenimiento.

6. 2.2 Determinación de la ubicación del biodigestor

Por último, se estableció el lugar de la instalación del biodigestor, ya que, esta es importante para el monitoreo de parámetros fisicoquímicos (Perez, 2018). El biodigestor se realizó en el patio de una vivienda con espacio suficiente para su instalación y a cielo abierto para garantizar la iluminación y generación de calor. Al ser realizado en la ciudad de Valledupar, se contó con temperaturas mínimas de 28°C, lo que favoreció la digestión

anaeróbica y por ende, la degradación de la materia orgánica.

Figura 20

Instalación del biodigestor



Fuente: Autor, 2023

6.3 VALORAR ECONÓMICAMENTE EL METANO A PARTIR DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR MEDIO DEL BIOGÁS GENERADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.

6.3.1 Puesta en marcha del biodigestor

Una vez instalado el biodigestor se inició el proceso de alimentación por medio de los residuos sólidos recolectados. La biomasa estuvo depositada dentro del biodigestor por alrededor de 30 días tiempo suficiente para que dentro del mismo se empiece a generar el gas en las cantidades que admite el contenedor (Márquez, 2018). La

instalación se realizó el día 14 de marzo y finalizó el 14 de abril de 2023. Se realizó el mezclado manual de esta durante 15 minutos cada día.

Se dejó abierto la conexión a salida de gas, durante 5 días, con el objeto de eliminar todo el oxígeno que pueda existir como producto de las primeras fases del proceso de descomposición de las materias orgánicas. Posteriormente se cerró y se dejó que se eleve la presión interna y soltar el gas. Esta operación se repitió hasta completar 10 días, con lo cual se eliminó todo el oxígeno remanente, junto con el anhídrido carbónico (CO₂) que se genera en las primeras fases del proceso de fermentación, previas a la etapa de formación de metano (CH₄) según las indicaciones del Manual de Biogás (2018).

Como parámetro inicial se determinó la humedad de la materia prima, ya que, según (Olaya, 2006), garantiza las condiciones de degradación de la materia prima, ya que, el proceso de biodigestión se desarrolla cuando intervienen algunos factores como la humedad, la temperatura, el pH y la ausencia o presencia de oxígeno, facilitando la degradación de la materia orgánica en compuestos más simples. Cuando hay presencia de oxígeno, la materia se descompone dando lugar al dióxido de carbono y el agua, mientras que, en ausencia de oxígeno, la materia se descompone formando metano y otro tipo de gases (Rodríguez, 2017). Para que esta materia se logre descomponer, debe haber presencia de microorganismos como bacterias y hongos anaerobios para la producción de metano. Así, de esta forma, este dispositivo es útil para confinar la energía producida en el reactor de digestión hasta que el gas es liberado para su uso.

Así las cosas, se determinó la humedad con la siguiente fórmula (Rodríguez, 2017):

Ecuación 3.

$$\%H = 100 - \%ST$$

Para los datos de sólidos totales se usaron los datos de investigación de (Rodríguez, 2017), quien establece un %ST para residuos orgánico-domiciliarios del 99.0%.

$$\%H = 1$$

Los resultados obtenidos concuerdan con la investigación de Olaya (2016), quien menciona que la humedad de residuos orgánico-domiciliarios es del 1%. Como consecuencia de la poca humedad de los residuos sólidos y fundamentando el estudio de Palma (2019), el porcentaje de humedad es uno de los principales parámetros que se debe asegurar para dar inicio al proceso de digestión anaerobia, debido a que las transformaciones biológicas contemplan biomasa húmeda, la cual debe tener un porcentaje de humedad mayor al 60%. Como consecuencia, se calculó la cantidad de agua a añadir al biodigestor.

- **Estimación de la cantidad de mezcla de agua (Ma):**

Para lograr un adecuado funcionamiento de los biodigestores, se deben utilizar mezclas de estiércol fresco y agua en proporciones máximas hasta de 1:3 respectivamente y efectuar la carga diariamente para mantener una producción continua de biogás y residuos (Vargas, 2021); si se introducen volúmenes de mezcla mayores a los diseñados se presentará arrastre de las bacterias que degradan la materia orgánica por la reducción en el tiempo de retención lo cual puede ocasionar problemas de acidificación en el proceso, malos olores y disminución en la producción de biogás (Vargas, 2021). Así las cosas, se establece una proporción de dilución de muestras 1: 3;100 ml de muestra por 300 ml de agua.

Figura 21

Proceso de vertido de residuos sólidos y agua de mezcla



Fuente: Autor, 2023

Cada semana se pudo constatar la no existencia de fugas en el equipo usando una solución jabonosa diluida en agua la cual es esparcida por todo el equipo para verificar si se generan burbujas las cuales podrían indicar posibles escapes de gas los cuales pudieron ser una pérdida de la eficiencia del equipo y una acción insegura que pueda causar accidentes.

6.3.2 Verificación de los parámetros fisicoquímicos

Para garantizar el funcionamiento adecuado del biodigestor, se realizaron revisiones del pH y temperatura de manera semanal durante el mes de funcionamiento con ayuda de un termómetro y un pHmetro el cual fue adquirido con recursos propios. La tabla a continuación muestra los resultados obtenidos.

Tabla 8

Monitoreo de parámetros fisicoquímico

Valores de pH

Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio obtenido
6,8	7,1	7,2	7,0	7,025

Valores de temperatura (°C)

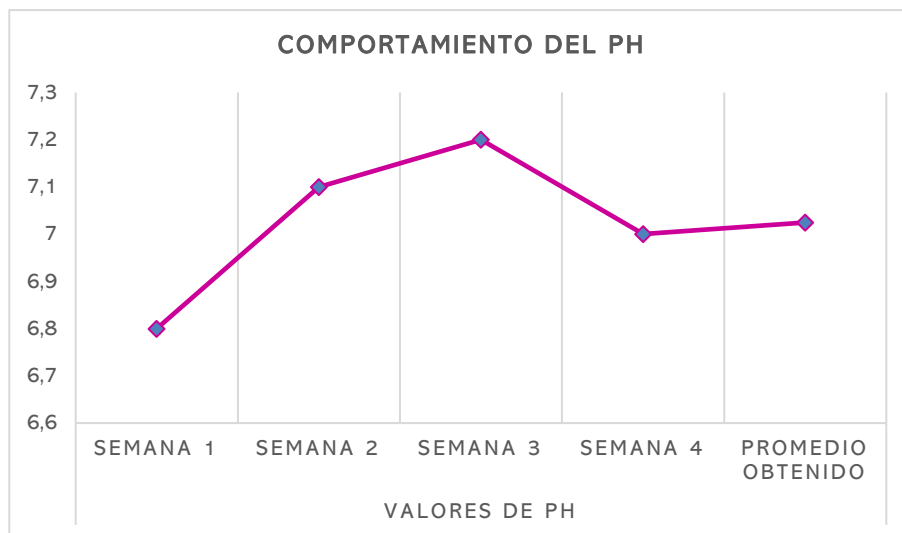
Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio obtenido
32	38	42	45	40

Fuente: Autor, 2023

Como se evidencia, se alcanzaron temperaturas hasta de 42°C y pH de 7,2.

Figura 22

Comportamiento del pH en las cuatro semanas

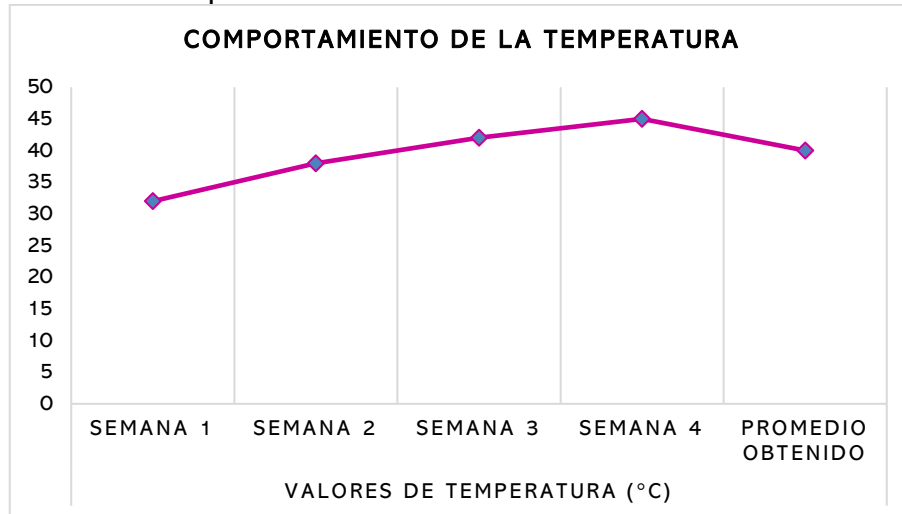


Fuente: Autor, 2023

Para el caso del pH, se obtuvo en promedio valores neutros, lo cual se fundamenta con la investigación de (Martínez, 2019), quien menciona que para una buena digestión anaerobia se dice que el valor óptimo debe ser cercano a la neutralidad. Este parámetro fundamental para el proceso de digestión anaerobia determina la inhibición o toxicidad de las bacterias y el crecimiento óptimo de cada uno de grupos microbianos presentes en cada fase (Martínez, 2019).

Figura 23

Comportamiento de la temperatura.



Fuente: Autor, 2023

Para el caso de la temperatura esta fue en aumento en las tres primeras semanas, alcanzando valores de 42°C, lo que podría deberse según (Martínez, 2019), al paso de las distintas fases de la digestión anaeróbica, a medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayor producción de biogás. Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C), siendo la velocidad máxima específica de crecimiento (μ_{max}) mayor, conforme aumenta el rango de temperatura (Martínez, 2019).

No se evidenció variaciones bruscas de la temperatura dentro del biodigestor, recordando que, según (Pérez, 2018) las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden dar paso a la desestabilización del proceso, por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación.

6.3.3 Determinación del biogás producido

Para calcular la producción de biogás se realizó por medio del desplazamiento del agua inyectada (Olaya, 2006). El biogás producido fue transportado por las tuberías instaladas en PVC en la etapa inicial y se acopló una botella plástica que permitiera medir el desplazamiento del agua al llenar la botella. La botella se llenó con 20ml de agua siguiendo las recomendaciones de (Pérez, 2018) para garantizar la subida del biogás, sin embargo, se decidió realizar 3 ensayos más con proporciones similares para analizar la salida del biogás. Cabe resaltar que la metodología para la obtención fue ajustada, debido a que por medio del desplazamiento se obtiene de forma fácil y con costos reducidos, siendo esta una técnica ampliamente utilizada a nivel mundial (Pérez, 2018).

Figura 19

Montaje realizado



Fuente: Autor, 2023

La tabla permite conocer los datos obtenidos.

Tabla 9

Datos de la producción de biogás

Semana	Agua inyectada (ml)	Biogás producido (m3)	Biogás producido (ml)	% de metano
1	10	0,00016	160	32
	20	0,00022	220	34
	30	0,00026	260	37
2	10	0,00027	270	37
	20	0,00033	330	41
	30	0,00038	380	45
3	10	0,00029	290	38
	20	0,00034	340	41
	30	0,00039	390	46
4	10	0,00033	330	42
	20	0,00045	450	56
	30	0,00062	620	60

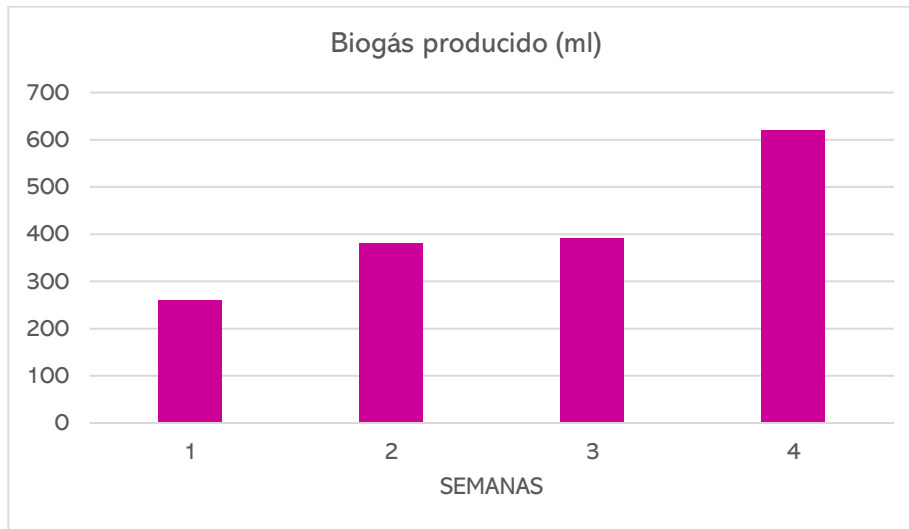
Fuente: Autor, 2023

Los datos obtenidos concuerdan con la investigación de Olaya (2006), quien establece que para la cantidad de biogás producido por residuos de cocina, el porcentaje de metano deberá variar entre 55 a 65,2%. De acuerdo con los resultados obtenidos es posible apreciar que la semana 2 y 3 se presenta una estabilización en la actividad microbiológica como lo indica (Perez, 2018) de la dificultad que pueda presentar por el movimiento de las bacterias metanogénicas y que puede ser estabilizar la producción de biogás, sin embargo, esta se dispara en los días posteriores.

Figura 24

Comportamiento del biogás producido





Fuente: Autor, 2023

La gráfica permite conocer mejor el comportamiento de la producción de biogás a medida que transcurre el tiempo de operación, puesto que, según (Perez, 2018), a través del tiempo se van completando las fases de la degradación anaeróbica, lo que genera el aumento del biogás conforme el tiempo.

6.3.4 Valoración económica del biogás obtenido

Una vez obtenido los m³ de biogás producidos se relacionaron con los KW/h por medio de la revisión bibliográfica, de manera que se pueda conocer la valorización monetaria que se representa por cada kW/h al que equivale cada m³ de biogás.

Para esto se hizo una revisión bibliográfica en la UPME, y ministerio de minas y energías. Según la UPME (2021), Cada m³ de gas natural corresponde a un Poder Calorífico Superior (PCS) de 11,70 kWh aproximadamente. De esta manera, realizaremos el respectivo cálculo para determinar el total de KW/h por m³ de biogás producido.

Por último, según la misma fuente, durante abril de 2022 el precio promedio de la energía transada en contratos para atender la demanda del consumo residencial y

pequeños negocios (mercado regulado) fue de 275.04 COP/kWh, el cual registró un incremento del 14.27% con respecto al mismo mes de 2021 que fue de 240.70 COP/kWh.

De esta manera se recopiló la información en la siguiente matriz:

Tabla 10

COP por biogás producido

Biogás producido (m3)	KW/h por cada m3 de biogás producido	COP de cada kW/h producido
0,00016	0,001872	514,8749
0,00022	0,002574	707,953
0,00026	0,003042	836,6717
0,00027	0,003159	868,8514
0,00033	0,003861	1061,929
0,00038	0,004446	1222,828
0,00029	0,003393	933,2107
0,00034	0,003978	1094,109
0,00039	0,004563	1255,008
0,00033	0,003861	1061,929
0,00045	0,005265	1448,086
0,00062	0,007254	1995,14
TOTAL:		13000,59072

Fuente: Autor, 2023

Como se evidencia, la producción de biogás en (m3) generado en un mes por 40kg de residuos sólidos recolectados en el conjunto residencial Villa Ligia de Valledupar, Cesar, permitió obtener 0,24 m3 de biogás, lo que equivaldría a un ahorro de 13.000 COP en las 50 viviendas, valor que podría aumentar de acuerdo con la inflación y los costos del KW/h generados por la UPME de manera anual.

Adicionalmente, el biodigestor genera a su vez como subproducto compost, debido a que al ser detenido los residuos dispuestos en su interior ya han pasado por las diferentes fases de la degradación anaeróbica, el mismo proceso que se requiere para generar abono orgánico, por lo que este residuo podrá ser utilizado para la fertilización del suelo y viveros de los habitantes del conjunto cerrado. Lo anterior nos permite deducir que el biodigestor permite 100% la reutilización de su materia prima sin generar impactos al medio ambiente y disminuyendo la contaminación por residuos sólidos, la emisión de gases de efecto de invernadero, a la vez que ofrece alternativas para producir energía eléctrica y abonos fertilizantes para el suelo.



Fuente: Autor, 2023

7. CONCLUSIONES

Se realizó una revisión bibliográfica que permita tener un conocimiento adecuado acerca de los residuos sólidos orgánicos en Colombia, su manejo, las caracterizaciones adecuadas empeladas en distintas investigaciones, la disposición final que reciben estos en el país, y como este tipo de residuos afecta positiva o negativamente el ambiente. La recolección de residuos sólidos se tomaron muestras semanales los domingos, martes y jueves durante 6 días del mes de marzo, los cuales fueron definidos según el paso del transporte del servicio de aseo. Los residuos recolectados corresponden a un total de 50 viviendas. la recopilación total de residuos sólidos corresponde a 40kg en las fechas estipuladas. De los residuos obtenidos el 69% de los residuos sólidos caracterizados corresponden a materia orgánica, y el 15% corresponde a cueros.

Se realizó un diseño del biodigestor cilíndrico tipo CSTR. Tomando un TRH de 8 días y el volumen de digestor planteado de 0,12 m³ (120L), se obtiene una carga diaria de alimento de 0,03125 m³/día para los residuos orgánicos domiciliarios que es el sustrato seleccionado. El sistema de biodigestión que se propone es un sistema hermético, que consta de un tanque de polietileno de alta densidad con una capacidad de 0.12 m³(120 litros), (0.81 m de altura y 0.72 m de diámetro) de tipo semi continuo, térmicamente aislado. Esta elección se realiza considerando que el diseño ofrece una mayor practicidad para la manipulación, manejo del sistema de agitación, control de las condiciones y costos de mantenimiento. El biodigestor se realizó en el patio de una vivienda con espacio suficiente para su instalación y a cielo abierto para garantizar la iluminación y generación de calor.

Una vez instalado el biodigestor se inició el proceso de alimentación por medio de los residuos sólidos recolectados. La biomasa estuvo depositada dentro del biodigestor por alrededor de 30 días tiempo suficiente para que dentro del mismo se empiece a

generar el gas en las cantidades que admite el contenedor. Se alcanzaron temperaturas hasta de 42°C y pH de 7,2. De acuerdo con los resultados obtenidos es posible apreciar que la semana 2 y 3 se presenta una estabilización en la actividad microbiológica la dificultad que pueda presentar por el movimiento de las bacterias metanogénicas y que puede ser estabilizar la producción de biogás, sin embargo, esta se dispara en los días posteriores. La producción de biogás en (m³) generado en un mes por 40kg de residuos sólidos recolectados en el conjunto residencial Villa Ligia de Valledupar, Cesar, permitió obtener 0,0404 m³ de biogás, lo que equivaldría a un ahorro de 13.000 COP en las 50 viviendas, valor que podría aumentar de acuerdo con la inflación y los cotos del KW/h generados por la UPME de manera anual.



8. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un análisis del consumo de energía eléctrica en el conjunto residencial Villa Ligia para dar uso al biogás como fuente alternativa de otras energías, considerando la purificación de este en caso de que la cantidad de biogás generada con el diseño que se ha planteado satisfaga la demanda de la totalidad de las viviendas.

Se recomienda ampliar el tiempo de operación del biodigestor a mínimo 52 días que es lo necesario según las referencias bibliográficas para completar las fases de la degradación por medio de las bacterias anaeróbicas, de esta manera se obtiene la totalidad de biogás que pueda producirse con los kilogramos de residuos recolectados.

Se recomienda realizar una caracterización de biogás producido por el diseño planteado, con el fin de identificar el rendimiento del proceso en cuanto a la producción de metano.



9. BIBLIOGRAFÍA

- Aldana, D. M., & Viera, J. (2017). Proyecto De Implementación De Sistemas Biodigestores Para El Aprovechamiento De Residuos Orgánicos Generados Por Usuarios Residenciales En La Región Piura. Piura. <https://onx.la/90609>
- Área De Sostenibilidad Inerco Consultoría Colombia. (2018, Diciembre). Valorización Energética De Residuos: Proyecto Wte Colombia. Unidad De Planeación Minero-Energética (Upme).
<https://Bdigital.Upme.Gov.Co/Bitstream/001/1339/5/Productos%201%2c2%20y%203>
- Arce, J. J. (2011). Diseño De Un Biodigestor Para Generar Biogás Y Abono A Partir De Desechos Orgánicos De Animales Aplicables En La Zonas Agrarias Del Litoral. [Tesis] Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.
<https://Dspace.Ups.Edu.Ec/Bitstream/123456789/1593/15/Ups-Gt000209.Pdf>
- Arias, C. A. (2018). MINAAMBIENTE. Gestión Integral De Residuos Sólidos. Mincomercio Industria Y Turismo, 46-47.
<https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx>
- Asís., H., Dopazo., F., & Gianoglio., P. (2010). Producción De Energía A Partir De Biogás Obtenido De Residuos Sólidos Urbanos. Scielo.
http://Www.Edutecne.Utn.Edu.Ar/Cytaal_Fvm/Cytaal_2012/Tf/Tf019.Pdf
- Ávila-Hernández, M; Campos-Rodríguez, R; Brenes-Peralta, L; Jiménez-Morales, M. (2017)
Generación De Biogás A Partir Del Aprovechamiento De Residuos Sólidos Biodegradables En El Tecnológico De Costa Rica, Sede Cartago. Tecnología En Marcha. Vol. 31-2. Abril- Junio 2018. Pág 159-170. <https://onx.la/90610>

- Bolivia, «43 de los 47 botaderos operan en malas condiciones y sin licencia», *Opinión Bolivia*, 2019. <https://www.opinion.com.bo/articulo/cochabamba/43-47-botaderos-operan-malas-condiciones-licencia/20190612002400652001.html> [Links]
- Caicedo, A. S. (2004). Gabinete ambiental. Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos . Santiago De Cali. <https://www.cali.gov.co/publico2/documentos/varios/pgris.pdf>
- Cepal, Rondón, E., Szantó, M., & Pacheco, J. (2016). Guía General Para La Gestión De Residuos Sólidos Domiciliarios (N.O 2). Naciones Unidas. Tomado De : [https://www.cepal.org/es/publicaciones/40407-Guia-General-La-Gestion Residuos-Solidos-Domiciliarios](https://www.cepal.org/es/publicaciones/40407-Guia-General-La-Gestion-Residuos-Solidos-Domiciliarios)
- CEUPE, (2019). «¿Qué es la gasificación?», Ceupe, 2019. <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-gasificacion.html>.
- Coaquira Cabrera y P. N. Cruz Ruelas (2021), «Revisión sistemática: Gestión de los residuos sólidos urbanos y la contaminación en la salud comunitaria, 2021», Repos. Inst. - UCV, 2021, Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73441>
- Delfin Espinoza (2019), «Diseño y construcción de un prototipo para convertir residuos sólidos urbanos en gas de síntesis», UMSA, La Paz, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/26056>
- Departamento Nacional De Planeación. (2016). Disposición Final De Residuos Sólidos (No 9). <http://webdav.superservicios.gov.co:8080/Content/Download/23144/187347/Version/1/File/Informe+Nacional+2016+Disposici%C3%B3n+Final+De+Residuos+S%C3%B3lidos+%281%29.Pdf>
- Flores, D. (2003). Guía Práctica N°2 Para El Aprovechamiento De Residuos Sólidos Orgánicos. Ipes, 8-12. <http://rfd.org.ec/biblioteca/pdfs/LG-056.pdf>

- Ferreira, L. C. (2013). Evaluación De La Biodegradabilidad Anaerobia De Residuos Orgánicos Pre-Tratados Térmicamente . España : [Tesis Doctoral] Universidad De Valladolid . <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/4439>
- García, A. C. (2020). Diagnóstico Y Análisis De La Transformación Socioambiental En El Área De Influencia Del Relleno Sanitario Doña Juana En La Vereda Mochuelo Alto Entre Los Años 2010 A 2020. [Tesis Posgrado] Repositorio Uan. <Http://Repositorio.Uan.Edu.Co/Bitstream/123456789/2028/1/2020auracristinagar>
<c%C3%>
- García, V. (2015). Manual De Biogás. Gba. Tomado De: Https://Www.Gba.Gob.Ar/Sites/Default/Files/Agroindustria/Docs/Manual_De_Bio
<g>
- González-Sánchez, S. P.-F.-V. (2015). Residuos Agroindustriales Con Potencial Para La Producción De Metano Mediante La Digestión Anaerobia. Revista Argentina De Microbiología, 229-235. Science Direct <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754115000826>
- Gutiérrez, L. R. (2018). La Generación De Residuos Orgánicos En Cundinamarca Y Sus Mecanismos De Aprovechamiento En La Generación De Eneías Limpias. 5-8.: Https://Repository.Ucc.Edu.Co/Bitstream/20.500.12494/17416/1/2019residuos_M
ecanismos_Aprovechamiento.Pdf
- H. T. Coaquira Cabrera y P. N. Cruz Ruelas (2021), «Revisión sistemática: Gestión de los residuos sólidos urbanos y la contaminación en la salud comunitaria, 2021», *Repos. Inst. - UCV*, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73441> [Links]
- H. Shi, N. Mahinpey, A. Aqsha, y R. Silbermann (2015), «Characterization, thermochemical conversion studies, and heating value modeling of municipal solid waste», *Waste Manag.*, vol. 48, pp. 34-47, feb. 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2015.09.036.

- Informe De Disposición Final De Residuos Sólidos – 2017. (2018). Dnp.
[https://Superservicios.Gov.Co/Sites/Default/Archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/2. Disposicion Final De Residuos Solidos - Informe 2017.Pdf](https://Superservicios.Gov.Co/Sites/Default/Archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/2.DisposicionFinalDeResiduosSolidos-Informe2017.Pdf)
- J. A. Poletto y C. L. da Silva (2009), «Influencia de la Separación de Residuos Sólidos Urbanos para Reciclaje en el Proceso de Incineración con Generación de Energía», *Inf. Tecnológica*, vol. 20, n.o 2, pp. 105-112, 2009, doi: 10.4067/S0718-07642009000200013
- Klug, M. (2012). Vista De Pirólisis, Un Proceso Para Derretir La Biomasa. Revista Química,
Pucp. <https://Revistas.Pucp.Edu.Pe/Index.Php/Quimica/Article/View/5547/5543>
- N. D. Montiel-Bohórquez, J. D. Saldarriaga-Loaiza, y J. F. Pérez, «Analysis of investment incentives for power generation based on an integrated plasma gasification combined cycle power plant using municipal solid waste», *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 30, p. 101748, feb. 2022, doi: 10.1016/j.csite.2021.101748.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2012), El gas de madera como combustible para motores. Roma. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/T0512S/t0512s00.htm#Contents>
- OLAYA Arboleda, Yeison and GONZÁLEZ Salcedo, Luis. (2006) Fundamento para el Diseño de Biodigestores, Universidad Nacional de Colombia p. 32.
- PÉREZ Medel, Javier Andrés. (2018) Estudio y Diseño de un Biodigestor para Aplicación en Pequeños Ganaderos y Lecheros. Universidad de Chile.
- S. A. Vidaurre, J. B. Beorlegui, y R. Roca (2010), «Proyecto piloto de generación de energía eléctrica mediante gasificación en comunidades amazónicas aisladas», Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, España. [En línea]. Disponible en: <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/4243/577621.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Toledo Medrano y M. Luján Pérez (2008), «Caracterización de residuos sólidos urbanos y análisis de opciones de revalorización de materiales en el municipio de Cercado, Cochabamba, Bolivia», Acta Nova, vol. 4, n.o 1, pp. 3-21, dic. 2008
- U. O. Sotomayor, «Efectos y riesgos ambientales generados por el botadero de residuos sólidos del distrito Paucarpata, Arequipa 2018», Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018.
- V. Delfin Espinoza, «Diseño y construcción de un prototipo para convertir residuos sólidos urbanos en gas de síntesis», UMSA, La Paz, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/26056> [[Links](#)]



10. ANEXOS

Se presentan las fotografías que se recolectaron en todo el transcurso del proyecto.







ENCUESTA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN VALORACIÓN DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS PRODUCIDOS EN EL CONJUNTO RESIDENCIAL VILLA LIGIA IV DE VALLEDUPAR, CESAR

La siguiente encuesta se realiza con la finalidad de recopilar información acerca de la generación de residuos sólidos y la disposición de estos por parte de los habitantes del conjunto residencial. Los datos aquí recopilados serán tratados con carácter educativo.

1. Edad
18-30 años___
31 a 50 años___
>60 años___
2. Nivel educativo
Ninguno___
Primaria___
Bachiller___
Técnico, tecnólogo___
Profesional___
3. ¿Sabe cuál es el nuevo código de colores para la clasificación de residuos sólidos en Colombia?
Si___
No___
4. ¿Conoce los residuos orgánicos y su importancia para el aprovechamiento?
Si___
No___

5. ¿Conoce cuáles son los principales residuos orgánicos que usted genera en su vivienda de manera semanal?
Si___
No___
6. Si su respuesta fue sí, ¿Cuáles puede mencionar?

7. ¿Sabía usted que los residuos orgánicos pueden ser valorados por medio de la energía eléctrica?
Si___
No___
8. ¿Le gustaría que se generara energía eléctrica a partir de los residuos orgánicos que usted produce en el conjunto residencial, disminuyendo gastos en las facturas?
Si___
No___
9. ¿Estaría dispuesto a disponer los residuos sólidos orgánicos en bolsas de colores con fines educativos de valoración energética?
Si___
No___