

**APROVECHAMIENTO DE LOS DE RESIDUOS DE GALLINAZA CON ADICIÓN DE
PROMOTORES DE FERMENTACIÓN COMO TRATAMIENTO SOSTENIBLE PARA
LA PRODUCCIÓN DE METANO EN LA GRANJA AVÍCOLA SIERRA NIEBLES,
VEREDA LA ESTACIÓN, LA GLORIA - CESAR**



AUTOR:

YERITZA NIEBLES PÁJARO

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR - CESAR
2024-II**

**APROVECHAMIENTO DE LOS DE RESIDUOS DE GALLINAZA CON ADICIÓN DE
PROMOTORES DE FERMENTACIÓN COMO TRATAMIENTO SOSTENIBLE PARA
LA PRODUCCIÓN DE METANO EN LA GRANJA AVÍCOLA SIERRA NIEBLES,
VEREDA LA ESTACIÓN, LA GLORIA - CESAR**

AUTOR:

YERITZA NIEBLES PÁJARO

DIRECTOR

KARINA PAOLA TORRES CERVERA

MAGISTER EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR - CESAR
2024-II**

DEDICATORIA

A mi hijo, mi esposo, mis padres y hermanos, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios inquebrantables. A mi familia, por su comprensión y aliento a lo largo de este arduo camino. A las familias Sierra Romero y Camacho Vergara, por acogerme como su hija, darme consejos y colaborar cada que lo he necesitado. A mis compañeros, por ser mi fuente de alegría y distracción cuando más lo necesitaba. A mis profesores y mentores, por su guía, conocimiento y paciencia. A todos aquellos que creyeron en mí y me inspiraron a alcanzar mis metas. Este trabajo está dedicado a ustedes, quienes han sido mi motivación y mi razón para esforzarme cada día. ¡Gracias por ser parte de este logro!



AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios, a mi hijo, por llegar en el momento justo en el que necesitaba saber qué camino seguir y llenarme la vida de felicidad en mis momentos difíciles, a mi esposo, a mis padres, hermanos y familiares especialmente mis tías (Argenida, Damaris y Eloísa) por su amor incondicional, su constante apoyo emocional y sus sacrificios para hacer posible mi educación universitaria. Su confianza en mí ha sido mi mayor motivación.

También quiero agradecer a mi director de tesis, Karina Paola Torres Cervera, por su orientación experta y su dedicación durante todo el proceso de investigación. Sus consejos sabios y su apoyo indeleble han sido fundamentales para el éxito de este proyecto; de igual forma mi gratitud va hacia mis profesores y profesoras por su enseñanza inspiradora y sus comentarios constructivos, los cuales han enriquecido enormemente mi aprendizaje a lo largo de mi carrera universitaria.

Extiendo mi reconocimiento a mis amigos y compañeros de clase por su compañerismo, su aliento y su colaboración en momentos de desafío. Su amistad ha hecho este viaje académico más memorable y significativo.

Por último, pero no menos importante, agradezco a todas las personas que participaron como voluntarios o brindaron su tiempo, su hogar, alimento y apoyo para participar en mi estudio; entre estos quiero destacar puntualmente a las familias Sierra Romero y Camacho Vergara pues su contribución ha sido fundamental para el largo camino que he recorrido en todos estos años de estudio.

RESUMEN

La gallinaza es considerada como uno de los subproductos de más importancia y se diferencia de otros estiércoles, porque posee un mayor contenido de nutrientes, debido a las altas concentraciones en las raciones que consumen, pero como ocurre con otros materiales, la composición final depende del proceso de deshidratación, adecuado manejo, almacenamiento y cantidad de cama utilizada. La presente investigación aprovechó los residuos orgánicos (gallinaza) generados en la Granja Avícola Sierra Niebles, ubicada en La Vereda La Estación del municipio de La Gloria - Cesar, permitiendo hacer uso y tratamiento del residuo producto de las aves para producir metano, por medio de la descomposición aeróbica en un biodigestor tipo hermético, mitigando los impactos ambientales generados por la descomposición de la gallinaza, como lo es el aumento de los gases de efecto de invernadero, generación de plagas y vectores, contaminación de las fuentes hídricas, entre otros. De acuerdo con los resultados obtenidos es posible apreciar que la semana 2 y 3 se presenta una estabilización en la actividad microbiológica de la dificultad que pueda presentar por el movimiento de las bacterias metanogénicas y que puede ser estabilizar la producción de metano, sin embargo, esta se dispara en los días posteriores.

Palabras claves: Biodigestor, fermentación, gallinaza.



ABSTRACT

Chicken manure is considered one of the most important by-products and is different from other manures, because it has a higher nutrient content, due to the high concentrations in the rations they consume, but as with other materials, the final composition depends on the dehydration process, proper handling, storage, and amount of litter used. The present investigation took advantage of the organic waste (chicken manure) generated at the Sierra Niebles Poultry Farm, located in the sidewalk La Estación Township of La Gloria - Cesar, allowing the use and treatment of the waste produced by the birds to produce methane, through aerobic decomposition in a type biodigester. airtight, mitigating the environmental impacts generated by the decomposition of chicken manure, such as the increase in greenhouse gases, generation of pests and vectors, contamination of water sources, among others. According to the results obtained, it is possible to see that in week 2 and 3 there is a stabilization in the microbiological activity of the difficulty that may arise due to the movement of methanogenic bacteria and that it may be possible to stabilize the production of metano however, this it shoots up in the following days.

Keywords: Biodigester, fermentation, chicken manure.



TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GENERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
4. MARCO DE REFERENCIAL	17
4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	17
4.2 MARCO TEÓRICO	20
4.3 MARCO CONCEPTUAL	25
4.4 MARCO CONTEXTUAL	26
4.5 MARCO LEGAL	27
5. MARCO METODOLÓGICO	28
5.1. LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN	28
5.2 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	28
5.3 ALCANCE DE INVESTIGACIÓN	28
5.5. MUESTREO POBLACIONAL	28
5.6 DESARROLLO METODOLÓGICO	29

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	40
6.1 CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE GALLINAZA PRODUCIDOS EN LA GRANJA AVÍCOLA SIERRA NIEBLES, LA GLORIA, CESAR.....	40
6.2 DISEÑO DE UN BIODIGESTOR A ESCALA LABORATORIO QUE PERMITA PRODUCIR METANO A PARTIR DE LA GALLINAZA PRODUCIDA.....	50
6.3 CUANTIFICACIÓN DEL METANO GENERADO A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE GALLINAZA CON ADICIÓN DE PROMOTORES DE FERMENTACIÓN EN LA GRANJA AVÍCOLA SIERRA NIEBLES, LA GLORIA, CESAR.	55
7. CONCLUSIONES	69
8. RECOMENDACIONES.....	70
9. BIBLIOGRAFÍA	71



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Componentes del biogás.....	21
Figura 2 Producción del biogás	22
Figura 3 Digestión anaeróbica	23
Figura 4 Ubicación de la Vereda La Estación, La Gloria – Cesar.....	27
Figura 5 Estado de la granja	28
Figura 6 Montaje medición de metano	39
Figura 7 Pregunta 1.....	40
Figura 8 Pregunta 2.....	41
Figura 9 Pregunta 3.....	41
Figura 10 Pregunta 4.....	42
Figura 11 Pregunta 5.....	42
Figura 12 Pregunta 6.....	43
Figura 13 Gallinas de la granja	11
Figura 14 Gallinaza recolectada	12
Figura 15 Distribución de gallinaza por día.....	13
Figura 16 Determinación de solidos	14
Figura 17 Determinación de pH.....	14
Figura 18 Biodigestores diseñados	56
Figura 19 Montaje de trampeo.....	56
Figura 20 Captura de microorganismos	56
Figura 21 Alimentación de biodigestores	¡Error! Marcador no definido.
Figura 22 Temperatura promedio	60
Figura 23 pH promedio.....	61
Figura 24 Montaje de metano	64
Figura 25 Metano promedio	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Normatividad colombiana.....	30
Tabla 2 Característica de las gallinas	40
Tabla 3 Datos de recolección	46
Tabla 4 Caracterización fisicoquímica.....	49
Tabla 5 Definición de tratamientos.....	55
Tabla 6 Monitoreo de parámetros	59
Tabla 7 Biogás obtenido	66
Tabla 8 Análisis de varianza	69



INTRODUCCIÓN

La búsqueda constante de fuentes de energía sostenible ha llevado a comunidades a explorar soluciones creativas y ecoamigables. En este contexto, la gallinaza, un subproducto de la avicultura, emerge como un recurso sorprendentemente valioso. Es por esto por lo que, exploraremos cómo el uso innovador de la gallinaza en biodigestores puede impulsar la transición energética de una sociedad, transformando los desechos en una fuente renovable de energía y resaltando el potencial de la naturaleza para inspirarnos hacia un futuro más sostenible.

Por medio de la presente investigación se pretende producir biogás Partir de residuos orgánicos (gallinaza) producidos en la Granja Avícola Sierra Niebles, ubicada en la Vereda La Estación, La Gloria - Cesar, permitiendo hacer uso y tratamiento del residuo producto de las aves, mitigando los impactos ambientales generados por la descomposición de la gallinaza, como lo es el aumento de los gases de efecto de invernadero. Adicionalmente, el proyecto busca generar conciencia ambiental en relación con el tratamiento de residuos orgánicos para la generación de energía eléctrica, que permita a los habitantes de la granja, disminuir los costos de energía eléctrica, a la vez que se ofrecen alternativas amigables con el medio ambiente.

Teniendo en cuenta que, el biogás es un biocombustible producido a partir de la fermentación anaeróbica de desechos orgánicos de cualquier tipo proporcionando condiciones y tiempo adecuado, en el cual se genera principalmente gas metano. El biogás puede ser utilizado en equipos de calefacción como calentadores industriales, criadoras de pollos o equipos de combustión directa como mecheros de laboratorio. Es un combustible renovable, no tóxico, biodegradable y su uso reduce las emisiones de los gases de efecto invernadero (Poletto y Da Silva, 2009).

La investigación se estructura 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 obtenidos. Posteriormente, en el capítulo séptimo se encuentran las conclusiones, seguido por el capítulo octavo, recomendaciones y por último la bibliografía.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según el Fondo Nacional Avícola (2023), las gallinazas son residuos de excreta de gallinas que si son mal aplicadas en los suelos generan problemas ambientales y sanitarios; debido a que no se le somete a un proceso de eliminación de patógenos, lo cual puede generar la propagación de enfermedades y contaminación de las fuentes de agua cercanas a los cultivos, afectando la salud de las personas que la utilizan.

Entre los impactos ambientales significativos se destaca la contaminación de las aguas: el agua puede ser contaminada por escorrentías superficiales que arrastran la gallinaza hasta los cuerpos hídricos, éstas se contaminan por exceso de carga orgánica y aumento del número de microorganismos patógenos; también se contaminan las aguas subterráneas por Nitratos (Fondo Nacional Avícola, 2023).

En la actualidad, la Granja Avícola Sierra Niebles enfrenta un doble desafío: gestionar de manera efectiva los crecientes volúmenes de gallinaza, un subproducto abundante pero problemático, mientras buscan reducir su dependencia de fuentes de energía no renovable. Este dilema plantea la necesidad de encontrar soluciones innovadoras que conviertan la gallinaza de ser un desecho, a ser un recurso valioso a través de la implementación de biodigestores. Este planteamiento del problema se centra en la transformación de un problema ambiental en una oportunidad para avanzar hacia una granja avícola más sostenible y contribuir a la transición energética de la comunidad en su conjunto.

La granja avícola Sierra Niebles, se dedica a la comercialización de gallinas, sus productos (huevos) y cerdos a nivel local. Sin embargo, semanalmente se generan más de 50 kilogramos de gallinaza que son almacenados sin ningún tipo de tratamiento más que el aseo que se le realiza periódicamente al galpón. Estos residuos están generando impactos ambientales como malos olores, contaminación de aguas por lixiviados y riesgos biológicos a los que están expuestos los trabajadores y habitantes de la granja.

Así mismo, cercano a la granja se encuentra un jagüey, el cual abastece 3 fincas aledañas, que, en temporadas de lluvia, por escorrentía, transportan la gallinaza hacia este, pudiendo ocasionar la

contaminación de la fuente abastecedora. Por otra parte, la descomposición de la gallinaza sin control genera dos de los principales gases de efecto de invernadero: Dióxido de Carbono y Metano, contribuyendo a las emisiones que potencializan el cambio climático y sus efectos, por lo cual, se hace necesario implementar un tratamiento a este residuo generados en la granja avícola.

Finalmente, la Granja posee energía eléctrica intermitente debido a que esta se encuentra ubicada en la zona rural del municipio de la Gloria, por lo que en ocasiones deben suspender sus actividades productivas, generando pérdidas económicas.

Conforme a lo anterior se plantea la siguiente pregunta:

¿Cuál es el método adecuado y rendimiento que permita aprovechar los residuos de gallinaza que se generan en la finca como materia prima en la producción de biogás?



2. JUSTIFICACIÓN

La gallinaza es considerada como uno de los subproductos de más importancia y se diferencia de otros estiércoles, porque posee un mayor contenido de nutrientes, debido a las altas concentraciones en las raciones que consumen, pero como ocurre con otros materiales, la composición final depende del proceso de deshidratación, adecuado manejo, almacenamiento y cantidad de cama utilizada (Suárez, 2018).

La presente investigación aprovechó los residuos orgánicos (gallinaza) generados en la Granja Avícola Sierra Nieves, ubicada en La Gloria, Cesar, permitiendo hacer uso y tratamiento del residuo producto de las aves para producir metano, por medio de la descomposición aeróbica en un biodigestor tipo hermético, mitigando los impactos ambientales generados por la descomposición de la gallinaza, como lo es el aumento de los gases de efecto de invernadero, generación de plagas y vectores, contaminación de las fuentes hídricas, entre otros.

Adicionalmente, se creó un biodigestor de sistema hermético. 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 (Pérez, 2019), debido a su practicidad. La implementación de un biodigestor en La Granja Avícola Sierra Nieves representó una oportunidad única para abordar dos desafíos críticos de manera innovadora. En primer lugar, la gestión sostenible de la gallinaza, un subproducto abundante, redujo los impactos ambientales y costos de eliminación. En segundo lugar, al convertir esta gallinaza en energía renovable, no solo se redujo su dependencia de combustibles fósiles, sino que también se contribuyó activamente a la transición energética de la Vereda La Estación. Este proyecto no solo fue una inversión a la sostenibilidad, sino también un paso audaz hacia un futuro energético más limpio y eficiente.

Lo anterior, permitió generar conciencia ambiental en relación con el tratamiento de residuos orgánicos, que permita a los habitantes de la granja, disminuir los costos de energía eléctrica, a la vez que se ofrecen alternativas amigables con el medio ambiente, siendo una opción viable para las

comunidades rurales que poseen dificultades de energía eléctrica y bajo recursos para ser implementados como estrategia por parte de las autoridades locales.



3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Aprovechar los residuos de gallinaza con adición de promotores de fermentación como tratamiento sostenible para la producción de metano en la granja Avícola Sierra Nieves, Vereda La Estación, La Gloria – Cesar.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar la producción de residuos orgánicos de gallinaza producidos en La Granja Avícola Sierra Nieves, La Gloria - Cesar.
- Diseñar un biodigestor a escala laboratorio que permita generar metano a partir de la gallinaza producida.
- Cuantificar el metano generado a partir de los residuos de gallinaza con adición de Promotores de Fermentación En La Granja Avícola Sierra Nieves, La Gloria - Cesar.



4. MARCO DE REFERENCIAL

En la actualidad, la búsqueda de alternativas sostenibles y amigables con el ambiente para abastecer nuestras necesidades energéticas es de suma importancia. En este sentido, el aprovechamiento de la gallinaza como fuente de energía renovable ha ganado terreno como una solución prometedora. Sin embargo, para materializar eficazmente esta transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables, es esencial contar con un marco referencial sólido. Este marco no solo proporcionará la guía necesaria para llevar a cabo proyectos exitosos de conversión de gallinaza en energía, sino que también permitirá un enfoque estructurado y responsable que garantice la sostenibilidad a largo plazo. En este contexto, se vuelve evidente la urgencia de desarrollar un marco referencial que respalde la implementación efectiva de proyectos, cuyos antecedentes estén destinados a promover el uso de la gallinaza como una fuente de energía renovable.

4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Rodríguez, W. et. Al, (2021), desarrollaron la investigación titulada: Estimación del potencial de biogás a partir de la gallinaza para la Universidad de Oriente, Cuba. En este trabajo se realizó el estudio del potencial energético de la Empresa Avícola de la provincia Sancti Spíritus, como una alternativa factible para el tratamiento de sus residuales. Se realizó la caracterización fisicoquímica de la gallinaza y la determinación del potencial de biogás y la potencia eléctrica y térmica que se puede generar a partir de la misma. Los sólidos volátiles estuvieron dentro del rango reportado por la literatura para la gallinaza de reemplazo y ponedora, siendo de 44,20 % y 43,09 % respectivamente. Se estimó que se pueden generar diariamente 8 178 m³ de biogás, que representarían una producción entre 6 656 MWh de energía eléctrica y 9 641 MWh de energía térmica al año, lo que puede sustentar en gran medida la demanda energética de las granjas avícolas. La investigación es relevante pues presenta una metodología detallada para la elaboración del biodigestor.

Espinosa, K. (2021), realizó la investigación llamada: Biogás de residuos orgánicos como fuente de energía renovable, para optar por el título de ingeniero ambiental en la Universidad Simón Bolívar de Ecuador. Para determinar la posibilidad de utilizar este recurso en Quito, esta investigación analizó seis sitios representativos que usan biogás para generar energía: Alemania, Japón, Estados Unidos, Bolivia, Colombia y México. La revisión de cada caso permitió establecer las fortalezas y debilidades que existen para el aprovechamiento energético del biogás. También se cuantificó el biogás que produce su fuente más importante: el relleno sanitario El Inga, y se realizó una comparación de los casos estudiados con la realidad de la ciudad. Este análisis principal tomó en cuenta solo las fortalezas más comunes y las debilidades menos comunes halladas en los casos, pues se las consideró como aspectos necesarios y retos superables. Se encontró que el uso de biogás como recurso energético en la ciudad de Quito se ve obstaculizado por las limitaciones existentes. Los resultados del cálculo, obtenidos con el modelo LandGEM, mostraron que El Inga seguiría produciendo una cantidad significativa de biogás hasta 120 años después de su cierre, pero la ciudad no está lista para poder aprovechar energéticamente ese recurso. La investigación es relevante pues presenta una metodología detallada para la elaboración del biodigestor.

Borruel, R. et. Al, (2018), realizaron la investigación titulada: Análisis de la valorización de residuos ganaderos para la producción de biogás. Ingeniería conceptual de una planta para 750 cabezas de ganado para optar por el título de ingeniería química en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de España. En este proyecto de ingeniería se trató, el método de digestión anaerobia para la valorización de residuos ganaderos y su posterior uso energético como biocombustible en especial como biogás para su aprovechamiento industrial. Esto se realizó mediante unos determinados pasos: Estudio detallado de la digestión anaerobia, la cual engloba unos determinados factores críticos, presentación de los tipos de reactores que se pueden utilizar con sus ventajas e inconvenientes y las bases de diseño, en la cual se explicará el tipo de ganado elegido, y se caracterizará el residuo. Los resultados mostraron que pese a que la capacidad del biogás para producir energía es menor a las energías fósiles este es competitivo con ellas, ya que pese a este déficit las ventajas que genera tanto en el aspecto económico como medioambiental y

social son mucho mayores. 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.

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 $A\%$. 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. La investigación es relevante pues presenta una metodología detallada para la elaboración del biodigestor.

4.2 MARCO TEÓRICO

En un mundo cada vez más preocupado por la sostenibilidad y la reducción de las emisiones de carbono, la búsqueda de fuentes de energía renovable se ha convertido en una prioridad. La gallinaza, un subproducto abundante de la industria avícola, se presenta como una alternativa prometedora para la generación de energía limpia y sostenible. Sin embargo, para maximizar su potencial y garantizar una transición exitosa hacia el uso de la gallinaza como fuente de energía, es imperativo establecer un sólido marco teórico. Este marco proporcionará las bases conceptuales y científicas necesarias para comprender completamente el proceso de conversión de gallinaza en energía renovable, permitiendo así la formulación de estrategias efectivas y sostenibles en este campo. En este contexto, se hace evidente la necesidad de desarrollar un marco teórico sólido y coherente que respalde la promoción del uso de la gallinaza como una fuente de energía renovable.

4.2.1 Biogás

El biogás es un gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico). El producto resultante es una mezcla constituida por metano (CH_4) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono (CO_2), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) (Fundación Naturgy, 2022).

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 (Fundación Naturgy, 2022).

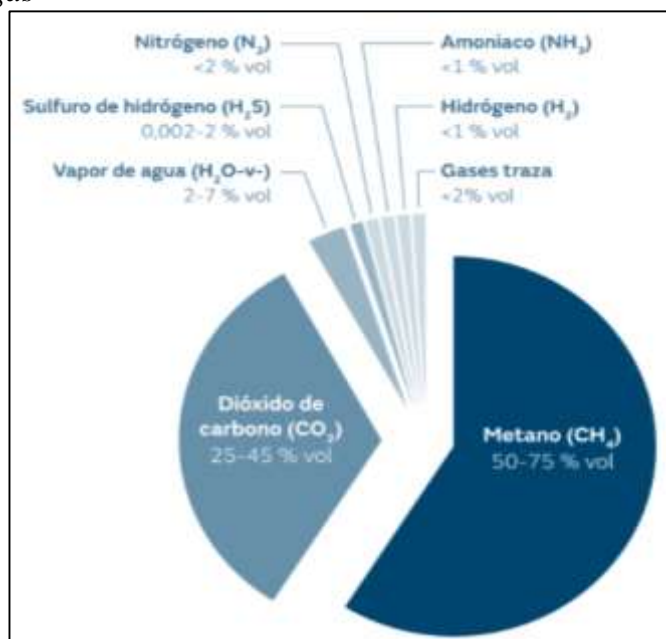
El biogás está formado hasta en un 75 % por metano, el hidrocarburo alcano más sencillo que existe y que forma el combustible comúnmente conocido como "gas natural", y por dióxido de carbono, además de pequeñas proporciones de otros gases (Fundación Naturgy, 2022).

El potencial combustible de un gas se mide por su poder calorífico, que es la cantidad de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de volumen de dicho gas en condiciones normales de presión y temperatura (0 °C y 1 atm) (Fundación Naturgy, 2022).

Los componentes del biogás dependen del tipo de biomasa utilizada, las condiciones y la tecnología empleada, pero generalmente encontramos la composición que aparece en la imagen siguiente (Fundación Naturgy, 2022).

Figura 1

Componentes del biogás



Nota: Tomado de Basisdaten Bioenergie Deutschland, 2020

La producción de biogás por descomposición anaeróbica de residuos orgánicos es uno de los procesos de valorización de residuos orgánicos idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y el mantenimiento y la recuperación de nutrientes con un potencial fertilizante de los productos tratados (Basisdaten Bioenergie Deutschland, 2020).

Figura 2

Producción de biogás



Nota: Tomado de Basisdaten Bioenergie Deutschland, 2020

4.2.2 Digestión anaeróbica

La digestión anaerobia es el proceso mediante el cual la materia orgánica, en ausencia de oxígeno y por la acción de diferentes microorganismos, se descompone en dos productos finales que son biogás y un efluente líquido rico en nitrógeno. El biogás tiene como componentes mayoritarios metano y dióxido de carbono, y puede ser usado como fuente de energía renovable (Guaquing et al., 2009; Abdullah, 2012; Bedoya et al., 2012,).

La digestión anaerobia controlada trae como beneficios la reducción de gases efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos, la reducción de contenido de sólidos, baja producción de biomasa, reducción en el número de patógenos, conservación de bosques y el mantenimiento y mejora del valor fertilizante de los productos tratados (Moreno, 2010; Bond y Templeton, 2011; Severiche, et al,2013).

En los procesos anaerobios, la energía contenida en la materia orgánica (medida como demanda química de oxígeno (DQO)), es convertida en biogás en 90% y el otro 10% es asimilado para la generación de nuevas células (Moreno, 2010). El proceso bioquímico puede ser dividido en cuatro etapas:

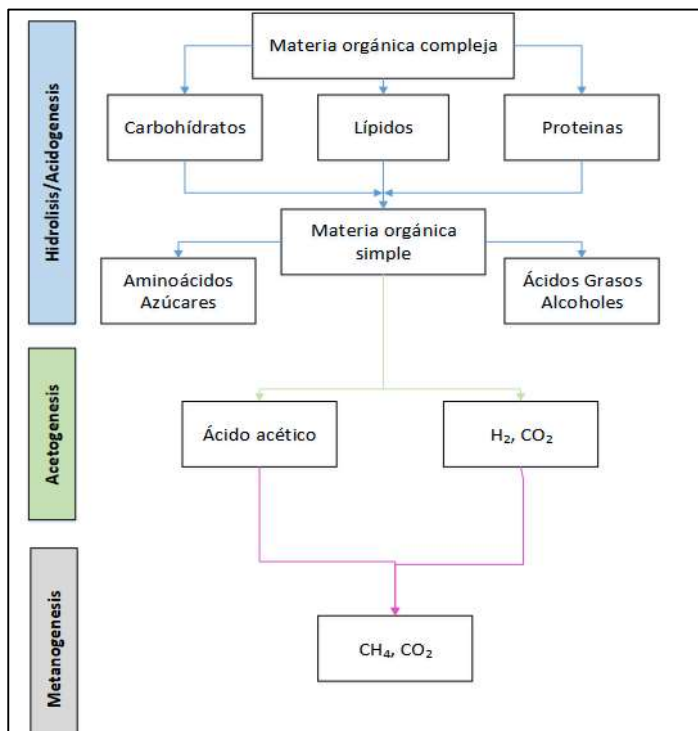
Etapa uno. Las bacterias fermentativas hidrolíticas transforman la materia orgánica compuesta por largas cadenas carbonadas en cadenas más cortas y simples, es decir, los hidratos de carbono de alto peso molecular como las grasas, proteínas y lípidos, por medio de la acción enzimática de estas bacterias, son convertidos en ácidos orgánicos (acético, butírico, heptanóico y láctico, entre otros), liberando H_2 y CO_2 .

Segunda etapa. Las bacterias acidogénicas convierten los productos solubles de la etapa de hidrólisis, en ácidos orgánicos de cadena corta, H_2 y CO_2 . Los azúcares, aminoácidos y ácidos grasos se transforman en ácidos orgánicos (acético, propiónico, valérico y butírico), etanol, CO_2 , H_2 y NH_4^+ .

Tercera etapa. Las bacterias acetogénicas realizan la degradación de los ácidos orgánicos y los alcoholes que se convierten en ácido acético y liberan H_2 y CO_2 . Las bacterias fermentativas y acetogénicas pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxígeno, la reproducción es muy rápida y son pocos sensibles a cambios de acidez y temperatura (Castello, 2012).

Cuarta etapa. Las bacterias metanogénicas que se caracterizan por ser muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura tienen una reproducción lenta y son anaerobias estrictas, constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargadas de la digestión anaerobia. La producción de metano se puede dar por dos vías diferentes: la ruptura de las moléculas de ácido acético para generar CO_2 y CH_4 y/o la reducción del CO_2 con H_2 (Valnero, 2011; Ampudia, 2011; Castello, 2012).

Figura 3
Digestión anaeróbica



Nota: Tomado de Moreno, 2010; Mohseni et al., (2012)

4.2.3 Gallinaza

La gallinaza es la excreta de las gallinas y pollos; se conocen tres tipos de gallinazas; la gallinaza de jaula, que proviene de las gallinas ponedoras comerciales, localizadas en baterías de jaulas; la gallinaza de piso proviene de las gallinas ponedoras comerciales y gallinas reproductoras, ubicadas en el piso, normalmente con una cama de aserrín u otro material vegetal absorbente; y fapoflinaza, que proviene de la actividad del engorde de pollo, rea fizada sobre la cama de material vegetal (Fondo Nacional Avícola, 2019).

En Colombia se han usado las gallinazas para el abono de cultivos; tradicionalmente de forma cruda o sin ningún tipo de proceso de estabilización biológica, química o física antes de la aplicación (Fondo Nacional Avícola, 2019).

El valor fertilizante de las gallinazas se da por el alto contenido de nutrientes y minerales esenciales para el crecimiento de las plantas; los porcentajes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio varían de una gallinaza a otra, algunas de manera considerable, por factores como : si está revuelta

con material vegetal (cama) o no, el tipo de cama, la humedad, el tiempo que ha permanecido húmeda, tipo de alimentación de las aves, ciclo de producción, entre otras (Fondo Nacional Avícola, 2019).

Las gallinazas mal aplicadas en los cultivos generan problemas ambientales y sanitarios; los problemas sanitarios se presentan principalmente porque a las gallinazas no se le somete a un proceso de eliminación de patógenos, lo cual puede generar la propagación de enfermedades entre las aves y contaminación de las fuentes de agua cercanas a los cultivos, afectando la salud de las personas que la utilizan (Fondo Nacional Avícola, 2019).

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Biodigestor: Es un recipiente o tanque (cerrado herméticamente) que se carga con residuos orgánicos. En su interior se produce la descomposición de la materia orgánica para generar biogás, un combustible con el cual se puede cocinar, calentar agua y producir energía eléctrica, mediante un generador a gas (Fondo Nacional Avícola, 2019).

Biomasa: El término biomasa se le atribuye a toda la fracción orgánica de los residuos provenientes de diferentes procesos productivos, y que puede ser potencializado como materia prima para la obtención de diferentes combustibles verdes o biocombustibles, conocidos así por proponer formas de energía renovables no dependientes del carbón (Martínez, 2020).

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).

Fertilizante: Los fertilizantes son sustancias ricas en nutrientes que se utilizan para mejorar las características del suelo para un mayor desarrollo de los cultivos agrícolas (Fondo Nacional Avícola, 2019).

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).

Microorganismos: Los microorganismos son seres vivos muy pequeños que sólo se pueden ver a través de un microscopio, empero participan en diversos procesos metabólicos, ecológicos y biotecnológicos convirtiéndose en un factor clave para el funcionamiento de los sistemas biológicos y el mantenimiento de la vida en la Tierra (ECOPORTAL, 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).

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

La Gloria es un Municipio de Colombia, situado en el noreste del país, en el sur del departamento del Cesar. Se sitúa a orillas del río Magdalena, a 268 km de Valledupar, la capital departamental. El municipio se caracteriza por ser la conexión entre el departamento Cesar y el Sur de Bolívar, especialmente hacia el Municipio Regidor y Rioviejo (Alcaldía de la Gloria, Cesar, 2023).

El municipio se identifica por ser la conexión entre el departamento Cesar y el Sur de Bolívar. Los viajeros de esta región de Bolívar deben cruzar el Río Magdalena especialmente desde

el Municipio Regidor, llegar a esta población y así poner tomar la carretera Ruta del Sol (Colombia) ubicada en el Corregimiento La Mata (Alcaldía de la Gloria, Cesar, 2023).

Los principales productos agrícolas que están siendo comercializados dentro del municipio son el arroz y otros cereales a una escala más pequeña. las plantaciones de maíz están situadas en Ayacucho, la Vereda La Estación y La Mata (Alcaldía de la Gloria, Cesar, 2023).

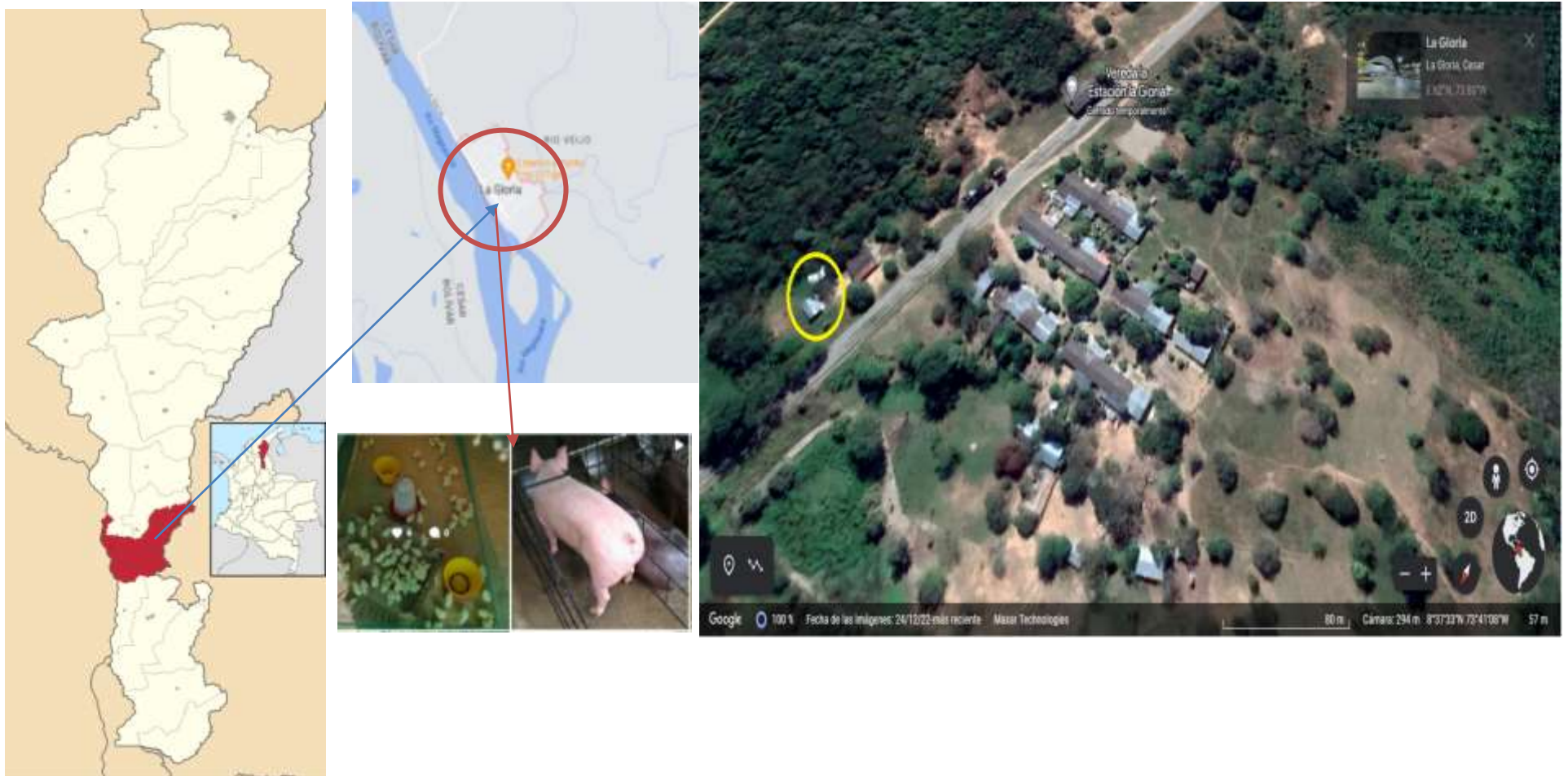
El crecimiento poblacional del municipio generado por la confluencia de pescadores, el establecimiento de asociaciones de braceros agrupados alrededor de cuatro bodegas y la conformación del comercio formal permitió el desarrollo de las actividades agrícolas y ganaderas y con ellas el surgimiento de la red de caminos y vías hacia la parte oriental; con lo cual se logró su consolidación y su reconocimiento como municipio según ordenanza número 32 del año de 1916 (Alcaldía de la Gloria, Cesar, 2023).

La granja avícola Sierra Niebles, se ubica a 16 kilómetros del casco urbano del municipio de La Gloria, Cesar, exactamente en la Vereda La Estación, cuyas coordenadas son: 8°37'36°N, 73°41'12°W. Esta granja se dedica a la venta de animales como gallinas, sus productos (huevos) y cerdos para fines comerciales.

Figura 4

Ubicación de la Vereda La Estación, La Gloria – Cesar.





Nota: Tomado de Google, 2023 y adaptado por el autor.

Figura 5

Estado de la granja avícola.



Nota: Fotografía tomada y adaptada por el autor, 2023.

4.5 MARCO LEGAL

En la sociedad moderna, un marco legal sólido es esencial para promover la adopción de fuentes de energía renovable, como el aprovechamiento de la gallinaza, una valiosa fuente de recursos orgánicos. Establecer leyes y regulaciones adecuadas en este ámbito no solo proporciona las pautas necesarias para su uso sostenible, sino que también garantiza el respeto de los derechos ambientales y la salud pública. Además, fomenta el desarrollo económico y social al impulsar la creación de empleo en la industria de energías renovables y reducir nuestra dependencia de fuentes no renovables. En este contexto, resulta crucial comprender la necesidad de un marco legal efectivo que respalde la conversión de la gallinaza en una fuente de energía limpia y sostenible, proteja los intereses de la comunidad y promueva el bienestar general, tanto de la sociedad como del medio ambiente.

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.	Estos artículos aplican ya que buscan garantizar la preservación del medio ambiente, lo cual se pretende con el aprovechamiento de los residuos.
	ARTICULO 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.	

Ley 99 de 1993.	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.	Aplica, ya que, es la ley que crea el Ministerio el principal órgano rector en materia ambiental.
Decreto ley 2811 de 1974.	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.	Aplica ya que busca garantizar la preservacion de los recursos naturales, lo cual se pretende con el aprovechamiento de los residuos de gallinaza.
Decreto 1449 de 1977.	Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, bosques, fauna terrestre y acuática.	
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.	Aplica, debido a que permite conocer lineamientos acerca del aprovechamiento de residuos orgánicos como la gallinaza.
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	Aplica, debido a que permite conocer lineamientos acerca del aprovechamiento

	tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo.	y tratamientos de residuos orgánicos como la gallinaza.
Resolución 0754 de 2014.	Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.	Aplica, debido a que permite conocer lineamientos acerca del aprovechamiento de residuos orgánicos como la gallinaza.
Compes 3874 de 2016	Política Nacional de Gestión Integral de residuos sólidos en Colombia.	Aplica, debido a que permite conocer lineamientos acerca del aprovechamiento de residuos orgánicos.

Nota: Elaborado por los Autores, 2023 a partir de las normativas referenciadas en la página web del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación corresponde a: Sostenibilidad y gestión ambiental

La sublínea del programa corresponde a: Gestión integral de residuos sólidos y líquidos

Área temática: Valoración de residuos sólidos.

5.2 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de investigación que se empleó fue cuantitativo, ya que, este corresponde a un estudio no experimental de tipo transeccional debido a que los datos fueron recolectados en un determinado momento para el momento de análisis de estos (Páez, 2020).

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 habitantes de la granja y alrededores, los cuales según la administración (2023) se ubican en un total de 25 personas.

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 Samuráí en 2000. La metodología indica que se deben recolectar residuos sólidos de gallinaza con muestra representativa de aproximadamente 20 kilogramos.

Para llevar a cabo el proceso de recolección de residuos de gallinaza se tomaron muestras cada sábado del total recolectado semanalmente, durante 30 días a partir de la aprobación del

proyecto de grado. Estos fueron almacenados en sacos para garantizar las características propias del residuo.

5.6 DESARROLLO METODOLÓGICO

5.6.1 FASE 1. Caracterizar la producción de residuos orgánicos de gallinaza producidos en La Granja Avícola Sierra Nieves, La Gloria, Cesar

Actividad 1.1 Realizar encuesta a los habitantes de la granja avícola.

Descripción: Como primera actividad, se realizó una encuesta a los habitantes de la granja avícola, con la finalidad de conocer los usos, tratamientos o disposición final que le realizan al tipo de residuo generado “gallinaza”, por otra parte, se realizó una indagación inicial acerca del biogás y la producción de energía a partir de este, según las personas que ahí habitan.

Actividad 1.2 Descripción de las características de la granja avícola

Descripción: Se hizo una breve descripción de la calidad de la gallinaza de acuerdo con el tipo de alimentación ofrecida a las aves de la granja Sierra Nieves, las condiciones de adaptación de la especie, entre otras.

Actividad 1.3 Realizar recolección de residuos de gallinaza

Descripción: Para llevar a cabo el proceso de recolección de residuos de gallinaza se tomaron muestras cada sábado del total recolectado semanalmente, durante 30 días a partir de la aprobación del proyecto de grado. Estos fueron almacenados en sacos para garantizar las características propias del residuo. La cantidad mínima recomendada a recolectar fue de 20kg.

5.6.2 Diseñar un biodigestor a escala laboratorio que permita producir metano a partir de la gallinaza producida.

Actividad 2.1 Revisión bibliográfica

Descripción: Se realizó una revisión bibliográfica acerca de los diseños a escala laboratorio de un biodigestor con residuos de gallinaza, lo anterior, permitió tener una base de las dimensiones adecuadas a usar de acuerdo con las necesidades de la granja avícola.

Actividad 2.2 Dimensionar el biodigestor a escala laboratorio

Descripción: para dimensionar el biodigestor se tomó como base la investigación de (Pérez, 2018), quien establece que el biodigestor sea cilíndrico, 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.

Para esto, se calculó el volumen del biodigestor

$$\text{Volumen del biodigestor: } V_d [\text{m}^3] = \text{TR} [\text{días}] * V_{cd} [\text{m}^3 / \text{día}]$$

$$\text{Diámetro del biodigestor interno: } V = [(\pi * d^2) / 4] * h * d$$

$$\text{Altura del Biodigestor: } h = d$$

Lo anterior, se realizó por medio de las fundamentaciones de Pérez 2018.

Actividad 2.3 Construcción del biodigestor

Descripción: Una vez obtenidas las dimensiones del biodigestor, se construyó este a partir de materiales reciclables encontrados en la granja avícola, como tanques de almacenamiento de agua, tuberías desechadas, entre otros. Lo anterior, permitió mitigar el impacto de los residuos sólidos generados en la granja.

Figura 5

Esquema de biodigestor planteado



Nota: Tomado de Pérez, 2019

Finalmente, el biodigestor fue instalado en una zona de la granja donde mantenga una temperatura ambiente de mínimo 28°C, y garantizando la iluminación, ya que, se hace fundamental para el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos, siguiendo las recomendaciones de Pérez, 2019.

Actividad 2.3 Determinar la cantidad de agua y alimentación del biodigestor

Descripción: para la determinación del agua y cantidad de gallinaza a alimentar el biodigestor, se siguieron las recomendaciones de Olaya (2006), quien establece que la mezcla para alimentar un biodigestor debe tener entre el 7 y 9% de sólidos:

$$D_r = V_r * W_r$$

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).

La alimentación del biodigestor se realizó semanalmente durante 30 días, este tiempo garantiza según Márquez, (2018), la cantidad necesaria para generar gas en el contenedor.

5.6.3 Fase 3. Cuantificar el metano generado a partir de los residuos de gallinaza con adición de Promotores de Fermentación En La Granja Avícola Sierra Niebles, La Gloria, Cesar.

Actividad 3.1 Establecimiento de promotores de fermentación

Descripción: Para el establecimiento de los promotores de fermentación se usó la cascarilla de arroz y el caldo de pollo, lo cual generó la proliferación de microorganismos en la gallinaza. Así las cosas, se definieron los tratamientos así:

Tratamiento 1: 5 kg de gallinaza + 0.3 kg de cascarilla de arroz + microorganismos locales generados + litros de agua

Tratamiento 2: 5 kg de gallinaza + 0.5 kg de cascarilla de arroz + microorganismos locales generados + litros de agua

Tratamiento 3: 5 kg de gallinaza + 1 kg de cascarilla de arroz + microorganismos locales generados + litros de agua

Tratamiento 4: 5 kg de gallinaza + 0.0 kg de cascarilla de arroz + litros de agua

Actividad 3.2 Trampeo de Microorganismos

Descripción: se realizó un total de 3 trampas de microorganismos presentes en la gallinaza.

El procedimiento usado se basa en la metodología de se describe a continuación:

a) En recipientes plásticas de ½ litro de capacidad de colocaron ½ libra de arroz precocido sin sal y sin aceite, las cuales fueron cubiertas por una malla media nylon.

b). Cada unidad fue enterrada durante cinco días a la sombra en el lugar donde se almacena la gallinaza fresca. El contenido de cada trampa fue licuado con 3 litros de melaza y 4 litros de caldo de pollo caldo, para posteriormente ser depositados de un galón.

c) Esta mezcla se dejó en reposo para que los microorganismos puedan reproducirse por un total de ocho días, para ser utilizados posteriormente, en cada tratamiento

Actividad 3.2 Monitoreo de parámetros fisicoquímicos

Descripción: Por otra parte, se realizó la revisión semanal del pH y temperatura siguiendo los lineamientos de la investigación de, ya que, estos dos parámetros garantizaron el correcto funcionamiento.

pH: el pH es un parámetro importante para garantizar la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos.

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.

Actividad 3.2 Determinación del metano producido

Descripción: para la obtención de metano, se realizó un montaje para medir la cantidad de agua desplazada por el producto. Este método ha sido empleado por (Martínez, 2018), quien establece que el metano empezará a desplazar una cantidad conocida de agua.

El metano producido fue transportado por las tuberías instaladas en PVC en la etapa inicial y se acoplará una botella plástica que permita medir el desplazamiento del agua al llenar la botella. La botella se llenó con 50ml de agua siguiendo las recomendaciones de (Pérez, 2018) para garantizar la subida del gas.

Figura 6

Montaje a laboratorio de la medición de metano.



Nota: Tomado de Vizquez, 2023

5.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el análisis de las variables en estudio para la obtención de metano se utilizó un arreglo factorial 2 X 3 + 1, implementado en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 3 repeticiones. Y se utilizó la prueba de Tukey al 5% para los valores con significancia estadística

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE GALLINAZA PRODUCIDOS EN LA GRANJA AVÍCOLA SIERRA NIEBLES, LA GLORIA, CESAR

6.1.1 Encuesta a los habitantes de la granja avícola.

Como primera actividad, se realizó una encuesta a los habitantes de la granja avícola, con la finalidad de conocer los usos, tratamientos o disposición final que le realizan al tipo de residuo generado “gallinaza”, por otra parte, se realizó una indagación inicial acerca del biogás y la producción de energía a partir de este, según las personas que ahí habitan.

Aunque la encuesta no tiene relación directa con la caracterización de la gallinaza, permitió contextualizar la disposición del residuo por parte de los habitantes y conocer si tenían conocimiento del potencial energético que posee este residuo.

Figura 7

Socialización de encuesta a los habitantes

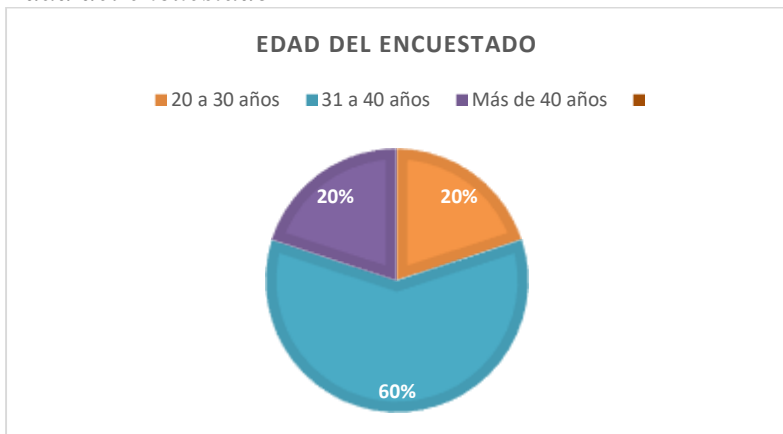


Nota: La fotografía fue tomada por el autor, 2023.

Los resultados se presentan a continuación:

Figura 8

Edad del encuestado

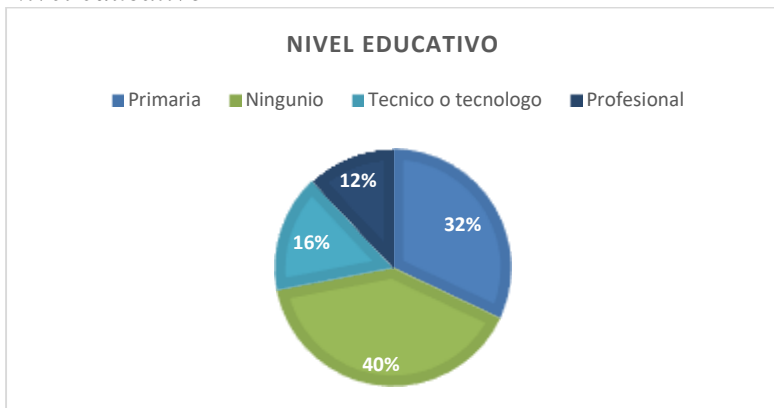


Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos por los 25 encuestados

Se evidencia que el 60% de los encuestados, es decir, de los trabajadores de la granja se ubican en un rango de edad entre los 31 a 40 años.

Figura 9

Nivel educativo

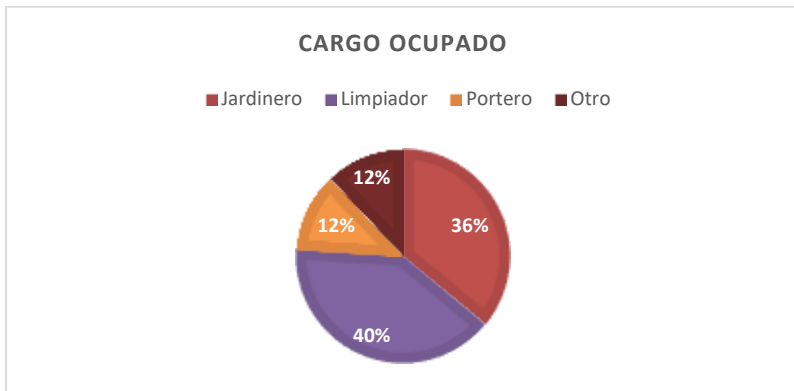


Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos por los 25 encuestados

Se evidencia que el 40% de los encuestados no posee ningún nivel educativo, y el 32% de estos son técnicos o tecnólogos. Posteriormente, se les consultó que cargo ocupaban en la granja.

Figura 10

Cargo ocupado

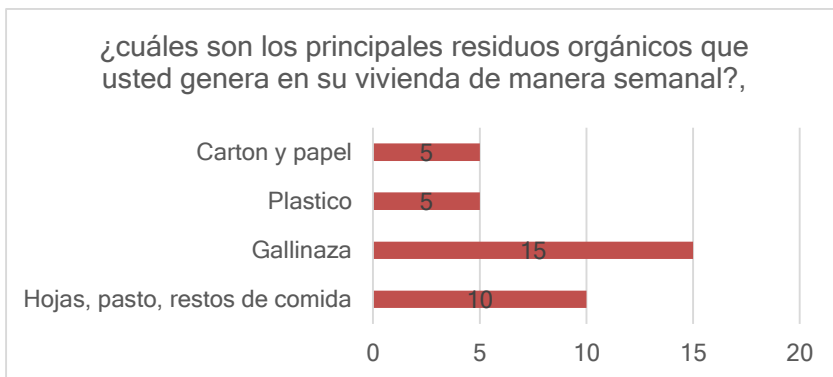


Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos por los 25 encuestados

Se evidencia que el 40% de los empleados son limpiadores encargados de las limpiezas de la finca en general, pero también la de los corrales o galpones. Para la pregunta ¿Cuáles son los principales residuos orgánicos que se generan en la granja de manera semanal?, los encuestados respondieron:

Figura11

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



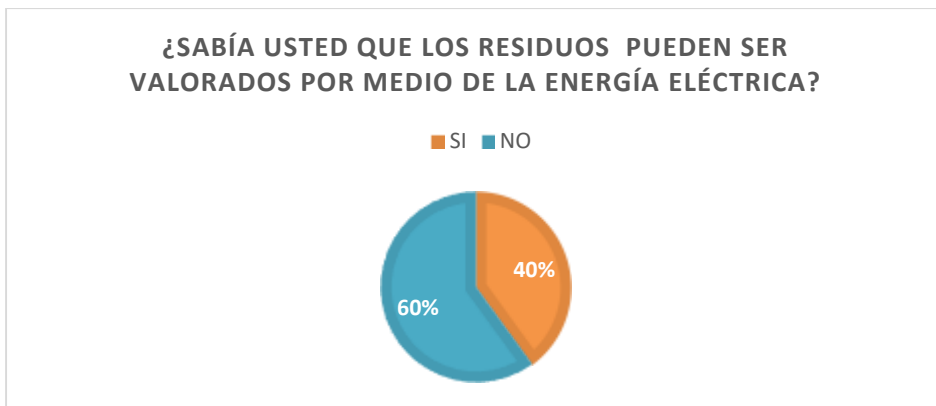
Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos por los 25 encuestados

En esta pregunta se les permitió a los encuestados seleccionar más de una opción, ya que, se generan más de un tipo de residuos. Se evidenció que 15 personas mencionaron que el principal residuo es la gallinaza, seguido de residuos orgánicos como hojas, pasto, y restos de comida. Se

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

Figura 12

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

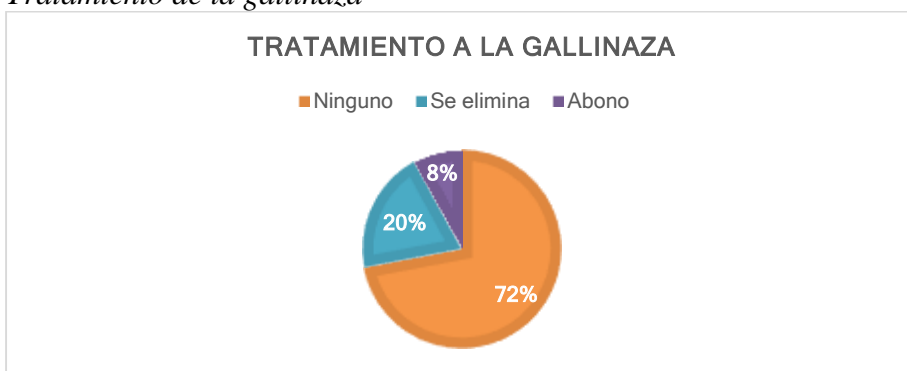


Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos por los 25 encuestados

Esta pregunta fue muy importante, ya que evidenció que solo el 40% de los encuestados tenía idea que los residuos 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: ¿Qué tratamiento se le da a la gallinaza?

Figura 13

Tratamiento de la gallinaza



Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos por los 25 encuestados

Por medio de esta pregunta se evidencia la problemática principal objeto de investigación y es

que, no se le está dando un tratamiento adecuado a la gallinaza productiva en la granja, lo que podría estar generando impactos ambientales no deseados como la contaminación del suelo, fuentes hídricas y olores desagradables.

6.1.2 Descripción de las características de la granja avícola y tipo de gallinaza

La granja avícola Sierra Niebles, se ubica a 16 kilómetros del casco urbano del municipio de La Gloria, Cesar, exactamente en la Vereda La Estación, cuyas coordenadas son: 8°37'36°N, 73°41'12°W. Esta granja se dedica a la venta de animales como gallinas, sus productos (huevos) y cerdos para fines comerciales.

La calidad de la gallinaza generada en la finca está determinada principalmente por: el tipo de alimento, la edad del ave, la cantidad de alimento desperdiciado, la cantidad de plumas, la temperatura ambiente y la ventilación del galpón. También son muy importantes el tiempo de permanencia en el galpón -una conservación prolongada en el gallinero, con desprendimiento abundante de olores amoniacales, reduce considerablemente su contenido de nitrógeno- y, finalmente, el tratamiento que se le haya dado a la gallinaza durante el secado (Centro de técnicas agrarias, 2019).

En la finca la gallinaza producida se genera a partir de gallinas ponedoras de galpón. Existe un total de 200 gallinas y 4 galpones para su distribución. A partir de la literatura, se describe el tipo de gallinaza que se obtiene de jaula.

Tabla 2

Características de las gallinas ponedoras de la granja

Tipo de gallina ponedora	Consumo de alimento gr/ave/día	Digestibilidad del alimento %	Materia seca, deyecciones gr/ave/día
Liviana	100-110	75-80	20-27
Semipesado	110-120	75-80	22-30

Nota: Adaptado de ICA, 2020

La cantidad de gallinaza depende de diversos factores, como se describe a continuación (Centro de técnicas agrarias, 2019):

- Edad del ave: las aves jóvenes producen menos excretas, debido a su bajo consumo de alimento en sus primeras etapas de vida.
- Línea: en pollos de engorde la situación es compleja debido a que la cantidad de gallinaza producida es una mezcla de deyecciones y del material utilizado como cama.

Desde el punto de vista puramente teórico, hay que tener en cuenta que por cada kilo de alimento consumido los pollos producen alrededor de 1.1 a 1.2 kg de deyecciones frescas, con el 70 –80% de humedad. En deyecciones totalmente secas ello supondría unos 0.2 – 0.3 kg por ave y por kilo de alimento consumido (Centro de técnicas agrarias, 2019). La cantidad de material utilizado como cama, en el caso de la viruta, varía entre 5 a 8 kg de cama/m² de superficie del galpón, lo que a una densidad de 15 pollos /m², supone de 0.3 – 0.5 kg/pollo.

La producción de gallinaza pura y seca, al final del periodo, depende del peso vivo y de su consumo total, pudiéndose estimar entre 20 y 28 kg/ave. La cantidad de gallinaza, junto con la viruta, que puede recogerse al final de la cría en un galpón de pollos, depende de la cantidad de cama de viruta de la humedad del producto final, estimándose que puede variar entre 1.5 y 2 kg por pollo, con una humedad entre 20 –30% (Centro de técnicas agrarias, 2019).

Figura 14

Gallinas ponedoras de la granja



Nota: Fotografía tomada por el autor, 2023

Con respecto a la producción de gallinaza de ponedoras, la situación parecería más sencilla al recogerse en forma pura (explotaciones en jaula). Sin embargo, la circunstancia de existir diversos sistemas de recogida de deyecciones (en función de su periodicidad y/o si se dispone de un pre-secado o no), hace que la humedad (70 a 80%) de éstas varíe considerablemente, lo que afecta a su producción aparente (Centro de técnicas agrarias, 2019).

6.1.3 Recolección de residuos de gallinaza

Para llevar a cabo el proceso de recolección de residuos de gallinaza se tomaron muestras cada sábado del total recolectado semanalmente, durante 30 días a partir de la aprobación del proyecto de grado. Estos fueron almacenados en sacos para garantizar las características propias del residuo. La cantidad mínima recomendada a recolectar fue de 20kg.

Figura 15

Recolección de gallinaza



Nota: La fotografía fue tomada por el autor, 2023

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

Tabla 3

Datos de recolección

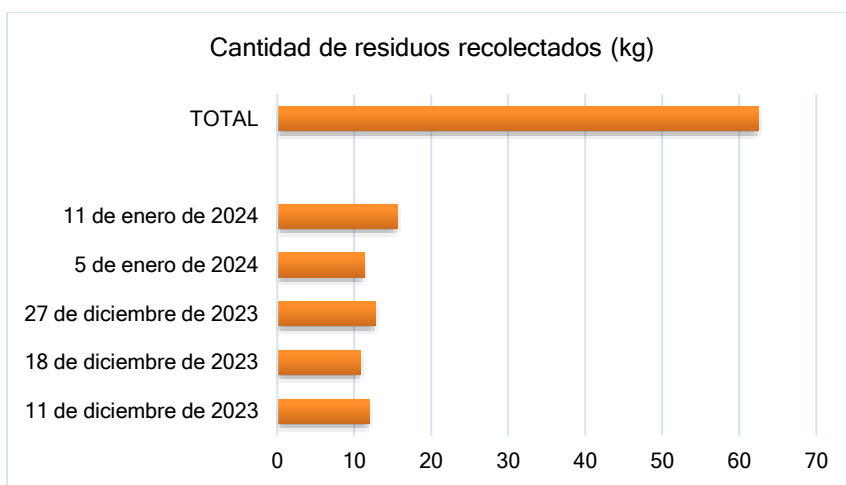
Fecha	Cantidad de residuos recolectados (kg)
11 de diciembre de 2023	12
18 de diciembre de 2023	10,76
27 de diciembre de 2023	12,8
5 de enero de 2024	11,28
11 de enero de 2024	15,65
TOTAL	62,49

Nota: La tabla permite conocer la cantidad de gallinaza recolectada.

Como se evidencia la recopilación total de gallinaza corresponde a 62,49kg en las fechas estipuladas.

Figura 16

Distribución de residuos por fecha



Nota: La gráfica permite conocer la cantidad de gallinaza recolectada.

6.1.3.1 Caracterización fisicoquímica de la gallinaza

Para la caracterización fisicoquímica de la gallinaza se utilizaron los procedimientos descritos en los Métodos Estándares, y fueron realizados en el laboratorio de la Universidad

Popular del Cesar. Se determinaron los sólidos totales (ST) y los volátiles (SV) por el método gravimétrico de ignición, utilizando una estufa y una mufla. Se pesaron entre 5 a 6 g de muestra y se llevó a una mufla por 1 hora a 600°C. Una vez finalizado el calentamiento, se esperó que la muestra en la mufla descienda a aproximadamente 100°C para ser llevada a un desecador hasta llegar a temperatura ambiente aproximadamente a 25°C. Finalmente, se pesó la muestra en la balanza analítica

Figura 17

Determinación de los ST y SV



Nota: Fotografía tomada por el autor, 2023

Para la determinación del pH inicialmente se calibró el potenciómetro del pHmetro. Seguidamente se pesaron 10 g de muestra los cuales fueron transferidos a un vaso de precipitado de 250 mL donde fueron añadidos 90 mL de agua destilada. Se mezcló por medio del agitador durante 10 minutos, luego se dejó reposar la solución durante 1 hora. Finalmente se procedió a lectura directa con un pHmetro.

Figura 18

Determinación del pH



Nota: Fotografía tomada por el autor, 2023

El porcentaje de Carbono Orgánico (C) se estimó a partir de los SV, y finalmente, Se determinó el contenido de nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺) por el método Kjendalh. Los resultados de la caracterización fisicoquímica se presentan a continuación:

Tabla 4

Caracterización fisicoquímica

Parámetro	Unidad	Resultado obtenido	Gallinaza comercial (ICA, 2020)
Sólidos volátiles	%	17	20-35
Sólidos totales	%	83	30-65
pH	Unidad de pH	7,2	6,5
Carbono orgánico	%	36,73	15
Nitrógeno amoniacal	%	2,1	1-3.5

Nota: Los datos se compararon con la información del ICA 2020 acerca de la gallinaza comercial.

En los resultados obtenidos se observa que la muestra de gallinaza tiene un pH ligeramente básico, mientras la muestra de abono orgánico comercial presentó un pH neutro. Según la NTC 5167 los abonos orgánicos fertilizantes sólidos deben tener un pH entre 4 y 9, lo cual quiere decir que la muestra de gallinaza, y el Comercial cumplen con este parámetro.

La Gallinaza presentó un porcentaje de sólidos sobrepasando los niveles permitidos según la NTC 5167. Esta muestra según el ICA presenta bajo porcentaje de humedad, reflejándose en el resultado con un bajo porcentaje de pérdidas por volatilización. Un bajo porcentaje de cenizas en el orden del 10% implica que la mayoría de la muestra es solo materia orgánica. Por otra parte, un contenido alto de cenizas, por ejemplo, de 95%, implica que la muestra contiene un bajo contenido de materia orgánica o que la transformación del contenido orgánico fue incompleta. Es decir, el porcentaje de cenizas depende directamente del contenido orgánico de la muestra y del comportamiento de la descomposición a 450°C.

Por otra parte, el valor de los sólidos totales ofreció criterios sobre la movilidad de las bacterias dentro del sustrato para el desarrollo del proceso biológico. Se pudo constatar que los resultados se encuentran dentro del rango promedio, que oscila entre 26 - 92 % reportado por (Varnero, 2020).

Con base a los resultados la muestra de la Gallinaza para carbono orgánico evidencia alto contenido, puesto que su composición es netamente materia orgánica. De acuerdo con la NTC 5167 el contenido de carbono orgánico oxidable total debe ser superior al 15%, es decir, que todas las muestras cumplen con este parámetro según la norma.

Para el caso del nitrógeno, según el ICA (2019), el valor fertilizante de las gallinazas se da por el alto contenido de nutrientes y minerales esenciales para el crecimiento de las plantas; los porcentajes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio varían de una gallinaza a otra, algunas de manera considerable, por factores como: si está revuelta con material vegetal (cama) o no, el tipo de cama, la humedad, el tiempo que ha permanecido húmeda, tipo de alimentación de las aves, ciclo de producción, entre otras y se ubica entre el 1-3,5%.

La destrucción de la materia orgánica, principalmente las proteínas, liberan amoníaco. Cada mol de nitrógeno orgánico teóricamente genera un equivalente de alcalinidad. El amoníaco reacciona con el CO₂ durante una reacción bioquímica para producir bicarbonato de amonio, el cual contribuye a la alcalinidad del sistema. Por lo que se puede decir que la gallinaza analizada no necesitará de agentes suplentes para la alcalinización, factor que hay que tener presente para la

estabilización de los ácidos grasos volátiles (AGV) que también provocan la inhibición de la producción de biogás (González, 2018).

6.2 DISEÑO DE UN BIODIGESTOR A ESCALA LABORATORIO QUE PERMITA PRODUCIR METANO A PARTIR DE LA GALLINAZA PRODUCIDA.

6.2.1 Dimensiones del biodigestor a escala laboratorio

Para dimensionar el biodigestor se tomó como base la investigación de (Pérez, 2019), quien establece que el biodigestor sea cilíndrico, 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.

Para realizar el diseño se tuvo en cuenta el dimensionamiento siguiendo la recomendación 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 gallinaza.

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)

Para el cálculo de la tasa de carga orgánica se toman 11 kg como cantidad de sustrato alimentado por día (tomado como el promedio de la producción diaria) y el volumen del reactor propuesto de 0,15 m³ según las recomendaciones de Pérez, 2018.

El cálculo se realizó para el sustrato fresco sin tener en cuenta ningún tipo de recirculación:

$$B_R = \frac{11\text{kg/día} * 17\%}{0,15\text{m}^3 * 100} = \frac{0,13\text{kgSV}}{\text{m}^3\text{día}}$$

Así, la tasa de carga orgánica corresponde a $\frac{0,13\text{kgSV}}{\text{m}^3\text{día}}$. 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:

Por otra parte, 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 será [Olaya 2006]:

Ecuación 2.

Cantidad diaria necesaria para alimentar el biodigestor:

$$w_r = V_r * D_r$$

Donde, w_r es el peso de la materia prima, V_r es el volumen de la materia y D_r es la densidad de la materia prima.

Considerando una densidad de 0.409 g/cm³ según ICA (2020) en m³ corresponder a: 0,000409gr/m³

La tasa de carga orgánica corresponde a $\frac{0,13\text{kgSV}}{\text{m}^3\text{día}}$ en gramos: $\frac{130\text{grSV}}{\text{m}^3\text{día}}$

Entonces:

$$w_r = \frac{130\text{grSV}}{\text{m}^3\text{día}} * 0,000409 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3} = 0,053 \frac{\text{grSV}}{\text{m}^3 - \text{día}}$$

6.2.3 Construcción del biodigestor

Una vez obtenidas las dimensiones del biodigestor, se construyó este a partir de materiales reciclables encontrados en la granja avícola, como tanques de almacenamiento de agua, tuberías desechadas, entre otros. Lo anterior, permitió mitigar el impacto de los residuos sólidos generados en la granja.

Figura 19

Materiales usados



Nota: Fotografía tomada por el autor, 2024

Cabe resaltar que se diseñaron 4 biodigestores, ya que, a cada uno se le aplicaría un tratamiento diferente según el promotor de fermentación usado. Así las cosas, se tomaron 4 baldes y tuberías de PVC sin uso, y se realizó el montaje de los biodigestores propuestos en la metodología.

A continuación, se presenta el presupuesto para el diseño de un biodigestor.

Tabla 5

Presupuesto de biodigestor

Implemento	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tuvo PVC	1	21.900	21.900
Válvulas de cierre	3	37.900	113.700
Total			135.600

Nota: Elaborado por el autor, 2024

De esta manera se destaca que para realizar un biodigestor con materiales reciclables es posible tener un costo de 135.600.

Figura 20

Biodigestores



Nota: Fotografía tomada por el autor, 2024

Finalmente, el biodigestor fue instalado en un galpón de la granja donde mantuvo una temperatura ambiente de mínimo 28°C, y garantizando la iluminación, ya que, se hizo fundamental para el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos, siguiendo las recomendaciones de Pérez, 2019.

6.2.3 Determinación de la cantidad de agua y alimentación del biodigestor

Para lograr un adecuado funcionamiento de los biodigestores, se deben utilizar mezclas de gallinaza 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 diseños se presentara 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 estableció una proporción de dilución de muestras 1: 3;100 ml de muestra por 300 ml de agua.

6.3 CUANTIFICACIÓN DEL METANO GENERADO A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE GALLINAZA CON ADICIÓN DE PROMOTORES DE FERMENTACIÓN EN LA GRANJA AVÍCOLA SIERRA NIEBLES, LA GLORIA, CESAR.

6.3.1 Establecimiento de promotores de fermentación y trapeo de microorganismo

Para el establecimiento de los promotores de fermentación se usó la cascarilla de arroz y el caldo de pollo, lo cual generó la proliferación de microorganismos en la gallinaza. Así las cosas, se definieron los tratamientos así:

Tabla 6

Definición de tratamientos

Tratamiento	Descripción
Tratamiento 1	5 kg de gallinaza + 0.3 kg de cascarilla de arroz + microorganismos generados (Bacillus) + litros de agua
Tratamiento 2	5 kg de gallinaza + 0.5 kg de cascarilla de arroz + microorganismos generados (Bacillus) + litros de agua
Tratamiento 3	5 kg de gallinaza + 1 kg de cascarilla de arroz + microorganismos generados (Bacillus) + litros de agua
Tratamiento 4	5 kg de gallinaza + 0.0 kg de cascarilla de arroz + litros de agua

Nota: La tabla permite conocer los tratamientos definidos.

Según el Manejo y procesamiento de la gallinaza (2018), los microorganismos generados corresponden a las bacterias B17 y B19 al género Bacillus.

Preparación del captador. En un vaso se colocaron 100 gramos de arroz cocinado con sal y dos litros de caldos de pollo y un litro de melaza, se tapó la boca con un retazo de tela nylon asegurando bien durante 5 días. Se prepararon 3 captadores a fin de asegurar una elevada diversidad microorgánica (López, et. Al, 2020). Los recipientes se ubicaron en el galpón 3 de la granja, ya que en este existe menor intervención de los trabajadores.

Cada vaso se enterró dejando el borde de estas a 10 centímetros de profundidad; se colocó 500 gramos de gallinaza en proceso de descomposición del sector circundante sobre el nylon que tapa la boca y finalmente se identificó. Esta mezcla se dejó en reposo para que los microorganismos puedan reproducirse por un total de ocho días, para ser utilizados posteriormente, en cada tratamiento.

Figura 21

Montaje del trampeo de microorganismo



Nota: Fotografía tomada por el autor, 2024

Transcurridas dos semanas, se desenterraron los vasos y se extrajo el arroz que contenían

(impregnado de microorganismos); mezclando el contenido de todas las tarrinas en un balde.

Al contenido de arroz, se agregaron cinco litros de agua y tres litros de melaza, batiendo la mezcla por el lapso de 10 minutos. Se filtró la mezcla para eliminar la parte gruesa, obteniéndose 8 l de solución madre de microorganismos (bacterias *Bacillus*, bacterias fototrópicas, bacterias ácido-lácticas). Posteriormente, se cerró el tanque y se dejó fermentar durante 12 días, con la precaución de abrir la tapa del tanque periódicamente (una vez cada día) para facilitar el escape de gas de la fermentación.

Figura 22

Captura de microorganismo



Nota: Fotografía tomada por el autor, 2024

Quince días después de colocadas, las trampas de arroz ubicadas en el galpón 3, empezaron a mostrar crecimientos de micelio en su interior, en donde se pudieron observar bacterias. Las trampas de arroz evidenciaron crecimiento de micelios de todo tipo, con coloraciones pardas, amarillentas, rojizas y verdes principalmente. En esta prueba se pudo constatar que a los 15 días las trampas de arroz habían ocupado la totalidad de la superficie expuesta del arroz y estaban colonizando su interior, lo que permitió evidenciar un alto contenido de materia orgánica y altas poblaciones microbianas ligadas a la descomposición de esta (bacterias *Bacillus*, bacterias fototrópicas, bacterias ácido-lácticas). El factor del tiempo en captura de microorganismos con trampa de arroz es un indicativo del contenido de la materia orgánica y por lo tanto de sus

poblaciones de microorganismos (López, 2020).

La aplicación de microorganismos locales (bacterias fototrópicas, bacterias ácido-lácticas, hongos y levaduras, entre otras) en la gallinaza, se realizó de manera manual en las cantidades designadas en los tratamientos de la tabla 5, posteriormente, esta fue alimentado en cada biodigestor. Las bacterias fueron identificadas por medio de revisiones bibliográficas.

Adicionalmente, 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.



6.3.2 Monitoreo de parámetros fisicoquímicos

Por otra parte, se realizó la revisión semanal del pH y temperatura siguiendo los lineamientos de la investigación de, ya que, estos dos parámetros garantizaron el correcto funcionamiento. La tabla a continuación permite conocer los valores obtenidos para cada uno de los biodigestores.

Tabla 7

Monitoreo de parámetros fisicoquímicos

Biodigestor	Valores de pH				
Tratamiento 1. 5 kg de gallinaza + 0.3 kg de cascarilla de arroz + microorganismos locales generados + 3 litros de agua	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio obtenido
	6,8	7,1	7,1	6,9	7,0
	Valores de temperatura (°C)				
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio obtenido
	30	34	36	40	35
	Valores de pH				
Tratamiento 2 5 kg de gallinaza + 0.5 kg de cascarilla de arroz + microorganismos locales generados + 3 litros de agua	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio obtenido
	6,8	7,2	7,2	7,0	7,1
	Valores de temperatura (°C)				
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio obtenido
	32	38	40	44	38
	Valores de pH				

Tratamiento 3	Valores de pH				
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio obtenido
5 kg de gallinaza + 1 kg de cascarilla de arroz + microorganismos locales generados + 3 litros de agua	6,8	7,2	7,1	7,0	7
	Valores de temperatura (°C)				
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio obtenido
	35	38	42	45	40

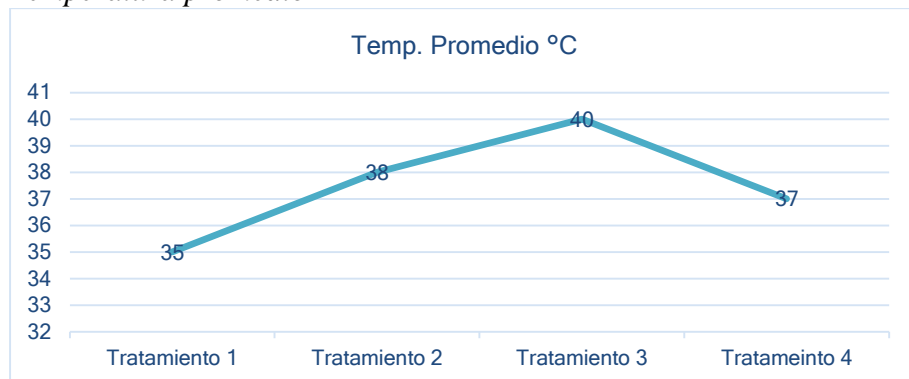
Tratamiento 4	Valores de pH				
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio obtenido
5 kg de gallinaza + 0 kg de cascarilla de arroz + microorganismos locales generados + 3 litros de agua	6,8	7,1	7,2	7,1	7,0
	Valores de temperatura (°C)				
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio obtenido
	30	36	40	40	37

Nota: La tabla permite conocer los valores obtenidos durante 1 mes de parámetros fisicoquímicos

Se evidenció que, para el caso de la temperatura, esta se mostró en aumento conforme el paso de las semanas, lo que puede deberse al desarrollo de la digestión, en la que aparecen unas especies bacterianas u otras, por lo que existen tres rangos de trabajo; psicofílico ($< 25^{\circ}\text{C}$), mesofílico de (25 y 45°C), y el termofílico ($> 45^{\circ}\text{C}$). Además de la temperatura, el incremento de la actividad bacteriana benéfica está relacionado con el incremento de materia orgánica. Es decir, la materia orgánica es vital como fuente de alimento y refugio de los microorganismos. A medida que aumentaba la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión (Martínez, 2019).

Figura 23

Temperatura promedio



Nota: Elaborado por el autor, 2024.

Cabe resaltar que, como se realizó agitación semanal del sistema, no se presentaron variaciones bruscas de la temperatura, y esta se mantuvo en rangos similares para cada uno de los tratamientos, lo que habría traído como consecuencia la desestabilización del proceso de microorganismos.

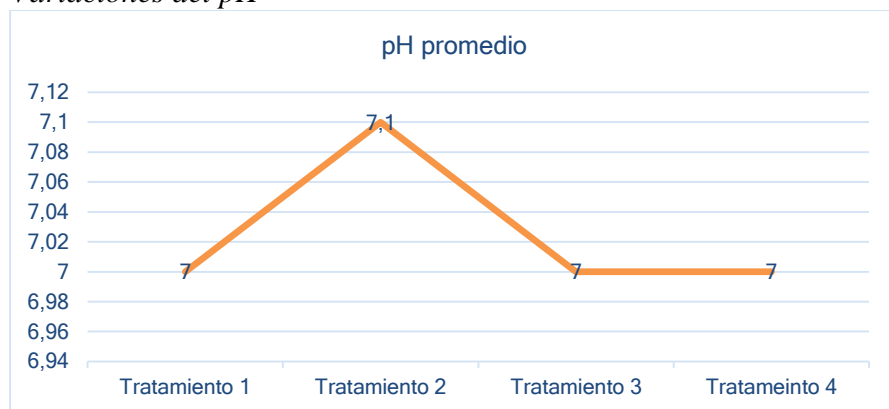
La actividad enzimática de los microorganismos involucrados está directamente relacionada con el pH del medio, guardando una relación con la actividad de los iones hidrógeno y los procesos de generación y degradación de ácidos orgánicos, dentro del biodigestor, siendo un parámetro de gran relevancia para establecer las pautas de la DA. Se establece que el pH en el funcionamiento óptimo debe estar alrededor de la neutralidad, este se ubica entre 6,8 y 7,4.(17) Sin embargo, los diferentes grupos bacterianos presentes en la DA presentan unos niveles de

actividad en torno a la neutralidad, para acidogénicos entre 5,5 y 6,5 y entre 7,8 y 8,2 para metanogénicos (Varnal, 2020).

Para el caso del pH, los rangos variaron entre 6,8 y 7,1. Los valores de pH que promueve las reacciones metanogénicas corresponden a rangos entre 6,8 y 7,5 (Heguang et al., 2007) y la digestión comienza a inhibirse a pH 7,5 (Carrillo, 2003). Por otra parte, 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 24

Variaciones del pH



Nota: Elaborado por el autor, 2024.

En comparación de los cuatro tratamientos, el dos y tres mostraron los mejores comportamientos al evidenciar procesos de degradación mayores, esto debido a la cantidad de microorganismos presentes una vez se inició el proceso. Como consecuencia, ambos tratamientos (2 y 3), evidenciaron temperaturas más estables y acordes a la digestión anaeróbica propia de la actividad microbiana.

6.3.2 Determinación del metano producido

Para la obtención de metano, se realizó un montaje para medir la cantidad de agua desplazada por el producto. Este método ha sido empleado por (Salazar, et. Al, 2012) (Martínez, 2018), quien establece que el proceso de selección es implementado mediante una trampa de CO₂, solución acuosa de hidróxido de sodio. El biogás producido es filtrado y llevado posteriormente a una columna de desplazamiento para determinar solo volumen. Inicialmente la altura Δh es cero, pero esta aumenta conforme el metano escapa de la trampa.

La solución acuosa de hidróxido de sodio fue preparada en el laboratorio de la Universidad Popular del Cesar con 01,02mg de Hidróxido de sodio (NaOH) y 100 ml de agua siguiendo las recomendaciones de (Salazar, et. Al, 2012) en su investigación Medición del metano en biogás, por columnas de desplazamiento.

Figura 25

Preparación solución de NaOH



Nota: Fotografía tomada por el autor, 2024

El biogás producido fue transportado por las tuberías instaladas en PVC en la etapa inicial y se acopló una botella plástica que permita medir el desplazamiento del agua al llenar la botella. La botella se llenó con 50ml de agua siguiendo las recomendaciones de (Pérez, 2018) para garantizar la subida del metano.

Tabla 8

Metano obtenido

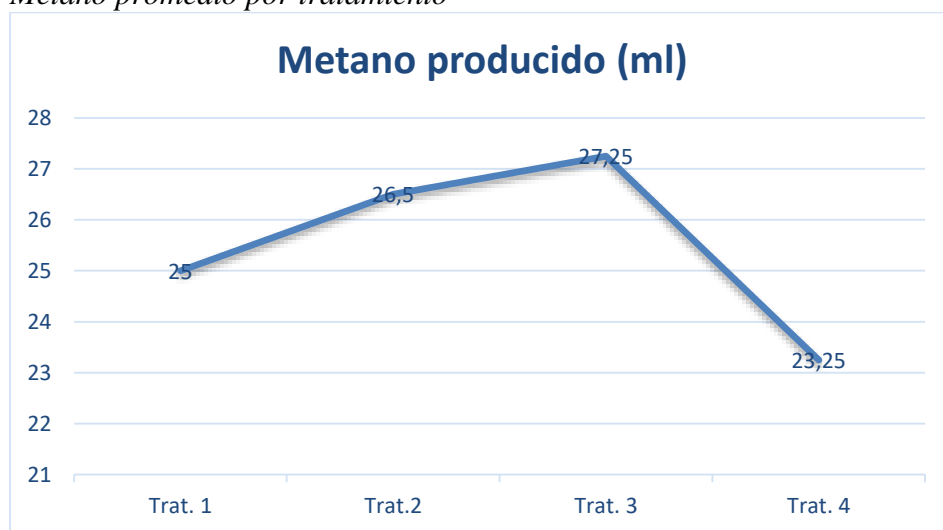
Tratamiento	Semana	Agua inyectada (ml)	Metano producido (m3)	Metano producido (ml)
Tratamiento 1	1	50	0,000016	16
	2	50	0,000022	22
	3	50	0,000025	25
	4	50	0,000037	37
Tratamiento 2	1	50	0,000016	16
	2	50	0,000024	24
	3	50	0,000028	28
	4	50	0,000038	38
Tratamiento 3	1	50	0,000018	18
	2	50	0,000025	25
	3	50	0,000029	29
	4	50	0,000037	37
Tratamiento 4	1	50	0,000016	16
	2	50	0,000020	20
	3	50	0,000022	22
	4	50	0,000035	35
TOTAL			0,000408	480

Nota: La tabla permite conocer el metano producido en las 4 semanas

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 26

Metano promedio por tratamiento



Nota: Representación del biogás promedio producido por tratamiento en las cuatro semanas

Es de resaltar que los tratamientos 2 y 3 evidenciaron las mejores producciones de metano a partir de la semana 3 y 4, esto debido a la acción de los microorganismos en la etapa anaeróbica. Por su parte, el tratamiento 4 presentó los resultados más bajos para producción de metano.

6.3.3 Diseño experimental

Para el análisis de las variables en estudio para la obtención de biogás se utilizó un arreglo factorial $2 \times 3 + 1$, implementado en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 3 repeticiones. Y se utilizó la prueba de Tukey al 5% para los valores con significancia estadística.

Aplicando el análisis de variancia, se establecieron diferencias estadísticas altamente significativas para tratamientos. El factor productos reportó diferencias a nivel del 5%. El factor dosis de aplicación experimentó diferencias significativas a nivel del 1%, con tendencia lineal significativa a este mismo nivel. La interacción productos por dosis fue altamente significativa; en

tanto que, el testigo se diferenció del resto de tratamientos a nivel del 1%. El coeficiente de variación fue de 6,15%, lo que da alta validez a los resultados encontrados.

Tabla 9

Análisis de varianza

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de f
Repeticiones	2	78,000	39,00	1,05ns
Tratamientos	6	4022,750	670,492	18,12**
Dosis	2	1333,000	666,500	18,07**
Tendencia lineal	1	1260,750	1260,750	34,07**
Tendencia cuadrática	1	72,250	72,250	1,95ns
Testigo vs resto	1	1564,571	1564,571	42,29**
Error experimental	12	444,000	37,000	
Total	20	4544,751		

Coeficiente de variación: 6,15%

ns = no significativo

* = significativo al 5%

** = significativo al 1%

Por medio de la prueba se representa la regresión lineal entre dosis de aplicación de microorganismos versus la variación del pH, en donde la tendencia lineal negativa de la recta demuestra que, a mayores dosis de microorganismos, el tiempo a la obtención del metano por cambio del pH fue menor, obteniéndose los mejores resultados con la aplicación de los productos en la dosis de 1kg de cascarilla de arroz con microorganismos locales, a pH de 6,5 a 7.

Se ha demostrado que si se regula este parámetro en el reactor se podría favorecer el proceso de metanogénesis y obtener una mayor producción de metano, dado que esta es la etapa limitante. Además, el pH afecta a los diferentes equilibrios químicos existentes en el medio, pudiendo desplazarlos hacia la formación de un determinado componente que tenga influencia en el proceso. Este es el caso de los equilibrios ácido-base del amoníaco y del ácido acético: al aumentar el pH se favorece la formación de amoníaco que, en elevadas concentraciones, es inhibidor del crecimiento microbiano y a valores de pH bajos se genera mayoritariamente la forma no ionizada del ácido acético, que inhibe el mecanismo de degradación del propionato.



7. CONCLUSIONES

Según la encuesta efectuada, la problemática principal objeto de investigación es que no se le está dando un tratamiento adecuado a la gallinaza productiva en la granja, lo que podría estar generando impactos ambientales no deseados como la contaminación del suelo, fuentes hídricas y olores desagradables. Para llevar a cabo el proceso de recolección de residuos de gallinaza se tomaron muestras cada sábado del total recolectado semanalmente, durante 30 días. La recopilación total de gallinaza corresponde a 62,49kg en las fechas estipuladas. Para el caso de la caracterización fisicoquímica, la muestra de gallinaza tiene un pH ligeramente básico, mientras la muestra de abono orgánico comercial presentó un pH neutro. el valor de los sólidos totales ofreció criterios sobre la movilidad de las bacterias dentro del sustrato para el desarrollo del proceso biológico. Se pudo constatar que los resultados se encuentran dentro del rango promedio, que oscila entre 26 - 92 % la gallinaza analizada no necesitará de agentes suplentes para la alcalinización, factor que hay que tener presente para la estabilización de los ácidos grasos volátiles (AGV) que también provocan la inhibición de la producción de biogás.

Para el cálculo de la tasa de carga orgánica se toman 11 kg como cantidad de sustrato alimentado por día y el volumen del reactor propuesto de 0,15 m³. El cálculo se realizó para el sustrato fresco sin tener en cuenta ningún tipo de recirculación y el resultado obtenido es de 0,053 kgSV/m³día. Se diseñaron 4 biodigestores, ya que, a cada uno se le aplicaría un tratamiento diferente según el promotor de fermentación usado. Finalmente, se estableció una proporción de dilución de muestras 1: 3;100 ml de muestra por 300 ml de agua.

Se evidenció que, para el caso de la temperatura, esta se mostró en aumento conforme el paso de las semanas, lo que puede deberse al desarrollo de la digestión, en la que aparecen unas especies bacterianas u otras, por lo que existen tres rangos de trabajo. Para el caso del pH, los rangos variaron entre 6,8 y 7,1. Los valores de pH que promueve las reacciones metanogénicas corresponden a rangos entre 6,8 y 7,5 y la digestión comienza a inhibirse a pH 7,5. Por otra parte, se obtuvo en promedio valores neutros. De acuerdo con los resultados obtenidos es posible apreciar que la semana 2 y 3 se presenta una estabilización en la actividad microbiológica de la dificultad

que pueda presentar por el movimiento de las bacterias metanogénicas y que puede ser estabilizar la producción de metano, sin embargo, esta se dispara en los días posteriores.



8. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar la caracterización fisicoquímica de la gallinaza teniendo en cuenta los parámetros de humedad, capacidad de intercambio catiónico y carbonatos, ya que estos podrán garantizar el contenido de materia orgánica pura en este tipo de residuos.

Se recomienda realizar sensibilización acerca de la importancia de la caracterización de los residuos de gallinaza y su valoración para el aprovechamiento por parte de los trabajadores Granja Avícola Sierra Nieves, La Gloria - Cesar.

Se recomienda realizar un análisis de los diferentes tipos de biodigestores por medio de un análisis costo-beneficio, el cual permita conocer las características de cada uno y su utilidad según las condiciones ambientales y fisicoquímicas de la gallinaza producida en la Granja Avícola Sierra Nieves, La Gloria - Cesar.

Se sugiere diseñar al menos 5 biodigestores, ya que, a cada uno se le aplicaría un tratamiento diferente según el promotor de fermentación usado, lo que permitiría encontrar la concentración de fermentadores de manera adecuada, y aprovechar efectivamente el biogás generado.

Para acelerar el tiempo de transformación dentro del biodigestor, así como para obtener mayor contenido nutricional, se recomienda realizar mediciones cada 3 días y liberaciones de presión del reactor, así como aumentar el aporte de microorganismos benéficos, en dosis de 30 cc/10 l de agua, como parámetro reportado en la bibliografía, al reducir el tiempo a la obtención del biogás reportar mayores contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio y mejor contenido de materia orgánica, en las condiciones de manejo que se efectuó el ensayo.

Se recomienda dejar en operación el biodigestor mínimo 3 meses y realizar comparación entre otros residuos orgánicos como los convencionales generados en viviendas, compost, lombrinaza, entre otros. De esta manera, se realiza un análisis del mejor subproducto ambiental para generar biogás de manera sostenible y reducir los impactos por el inadecuado manejo de estos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- APHA, (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, in American Water Works Association, Water Environment Federation and American Public Health Association., American Public Health Association: Washington D.C. ISBN: 9780875532875
- Bansal, V., Tumwesige, V., and Smith, J.U. (2017). Water for small-scale biogas digesters in sub-Saharan Africa. *GCB Bioenergy*. 2017, 9, 339-357. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12339>
- Barrera Sanchez, G.A., Manobanda Lisituña, M. F.,(2019). Estudio del potencial energético de residuos procedentes de la industria avícola a partir de digestión anaerobia, Tesis de Maestría. 2019, Escuela politécnica nacional: Quito, Ecuador.
- Chen, Y., C., JJ., Creamer, KS (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*. 2008, 99(10), 4044-64. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.057>
- CINSET, “En paz con la naturaleza. Diagnóstico de la corporación para la investigación socioeconómica y tecnológica de Colombia”. *Revista Avicultores*. 1998,41, 24-27.
- Dalkilic, K., Ugurlu, A., (2015). Biogas production from chicken manure at different organic loading rates in a mesophilic-thermophilic two stage anaerobic system. *J. Biosci. Bioeng*. 2015, 120 (3), 315-322. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiosc.2015.01.021>
- Estrada P., M.M., (2005). "Manejo y procesamiento de la gallinaza". *Revista La sallista de investigación*. 2005, 2(1), 43-48. ISSN: 1794-4449
- F. Martín Martín, V.S.G. (2004), Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías energéticas para la propulsión de vehículos destinados al transporte, Tesis de Maestría, Universitat Politècnica de Catalunya: Catalunya, España.
- González, A., Cuadros, F., Celma, A. R., & Rodríguez, F. L. (2012). "Environmental and energetic benefits derived from the anaerobic digestion of agroindustrial wastes". *International Journal of Global Warming*., 4(3-4), 407. doi:10.1504/ijgw.2012.049437

- Kalia, V.C., Purohit, H. J., (2008). Microbial diversity, and genomics in aid of bioenergy. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 2008, 35(5), 403-419. <https://doi.org/10.1007/s10295-007-0300-y>
- Lee Ch., K.J., Gu Shin, S. G., Hwang, S. (2008), Monitoring bacterial and archaeal community shifts in a mesophilic anaerobic batch reactor treating a high-strength organic wastewater. FEMS Microbiology Ecology, 2008, 65(3), 544-554. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.00530.x>
- Li K, L.R., Yu Q, Ma R., (2018). Removal of nitrogen from chicken manure anaerobic digestion for enhanced biomethanization. Fuel. 2018, 232, 395-404. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.05.142>
- M. Weithäuser, f.S., Fischer, j. Grope, t. Weidele, h. Gattermann, (2013). "Guía sobre el Biogás, desde la producción hasta el uso". FNR, Abt. Öffentlichkeitsarbeit: Gülzow, 2013, 122-148. ISBN: 3-00-014333-5
- Nie, H., Jacobi, H. F., Strach, K., Xu, C., Zhou, H., & Liebetrau, J., (2015). Mono-fermentation of chicken manure: Ammonia inhibition and recirculation of the digestate. Bioresource technology, 2015, 178, 238-246. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.029>
- Nzila C, Dewulf J, Spanjers H, et al., Biowaste energy potential in Kenya. (2010) Renew Energy. 2010, 35, 2698-2704. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.016>
- Núñez, A. 1992. Fertilización química y orgánica en dos especies en condiciones d invernadero. Tesis Ing. Agr. Ambato, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Agronómica. P. 31-32
- Odales-Bernal, L., Schulz, R. K., López González, L., & Barrera, E. L. (2020). Review: Biorefineries at poultry farms: a perspective for sustainable development. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2020, 1-14. <https://doi.org/10.1002/jctb.6609>
- Olaya, Y., (2009). Fundamentos para el diseño de biodigestores, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería y Administración., Universidad Nacional de Colombia. 2009, 2-32, Colombia.

- Proexant (Promoción de exportaciones no tradicionales, Ec). 2002. Elaboración, uso y manejo de los abonos orgánicos. En línea. Consultado 23 de febrero del 2011. Disponible en [http://www.proexant.org.cc/abonosorg.C3alnicos](http://www.proexant.org.cc/abonosorg/C3alnicos).
- Ramírez, R.; Restrepo, T. 2007. Evaluación de la aplicación de abono tipo bocashi en las propiedades físicas de un suelo negro – lado del municipio de Marinilla, Antioquia. Proexant.
- Rueda, P. 2006. Efectos de microorganismos efectivos en el proceso de compostaje. Fundances, Boletín Técnico N/3 plantilla EM (microorganismos efectivos). Bogotá. 345 p
- Suárez-Hernández, J., et al (2018). Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba. Pastos y Forrajes. 2018, 41(2), 85-92. ISSN: 2078-8452
- Skoog, D.A.W., Donald, M., (2002). Introducción a la Química Analítica, ed.Reverte. 2002, Barcelona, España. ISBN: 84-291-7511-3
- Sürmeli R, B.A., Çalli, B. (2017), Removal, and recovery of ammonia from chicken manure. Water Science and Technology. 2017, 75(12), 2811-2817. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.116>
- Varnero, M.T., (2011) Manual de biogás, FAO: Santiago, Chile. Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. 2011, 27-48. ISBN 978-95-306892-0
- Wua, S., Ni, P., Li, J., Sun, H., Wang, Y., Luo, H., (2016). Integrated approach to sustain biogas production in anaerobic digestion of chicken manure under recycled utilization of liquid digestate: Dynamics of ammonium accumulation and mitigation control. Bioresource technology. 2016, 205, 75-81. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.021>
- Zinder, S.H., Physiological Ecology of Methanogens. ed. Methanogenesis Ecology, Physiology, Biochemistry and Genetics, 1993, 128-206. Editorial Springer, Boston, MA. ISBN: 978-1-4615-2391-8

ANEXOS



