



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA
Y VETERINARIA**
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TEMA:

Residuos orgánicos como alternativa para la producción de biofertilizante en un Biodigestor.

AUTOR:

Noe Andy Montoya Gurumendi

TUTOR:

Ing. Enrique Salazar Llorente, Ph.D.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

El empleo de biofertilizantes elaborados a partir de residuos sólidos agrícolas se ha consolidado como una alternativa sostenible y económicamente viable. El objetivo del presente ensayo es investigar los residuos orgánicos como alternativa para la producción de biofertilizante en un biodigestor. El documento se desarrolló a través de la recopilación de diversos sitios web, artículos científicos, fuentes y repositorios bibliográficos accesibles a través de plataformas digitales. Las conclusiones determinan que para obtener biofertilizantes se pueden utilizar desperdicios crudos de cocina como restos de verduras, frutas, café, pan, arroz, pasta, cáscaras de huevos, yogures caducados y de cualquier infusión como té. Además, restos del jardín como hojas, serrín, ramas y desechos corporales de animales. Las propiedades fisicoquímicas de los biofertilizantes se analizan de las muestras en Laboratorio. En cada uno de los abonos se determina la conductividad eléctrica (CE) y el pH; el contenido de K, Ca, Mg, Na, Fe y S por digestión, es determinado por Espectrometría de absorción atómica de llama acetileno-aire. Y por último el contenido de P por digestión, es determinado por colorimetría de azul de molibdeno. Las características biológicas se determinan usando medios de cultivos como Agar nutritivo (AN), Agar-Dextrosa-Papa (ADP) adicionado con Rosa de Bengala y Agar Czapek-Dox (ACD). Dentro de un biodigestor se genera un ambiente biológico activo que, por acción de microorganismos, desencadena una fermentación anaeróbica, lo cual permite la producción de biogás, además de líquidos lixiviados que pueden ser utilizados como biofertilizante.

Palabras claves: compost, fisicoquímicas, biológicas, residuos vegetales y animales.

SUMMARY

The use of biofertilizers made from solid agricultural waste has been established as a sustainable and economically viable alternative. The objective of this essay is to investigate organic waste as an alternative for the production of biofertilizer in a biodigester. The document was developed through the compilation of various websites, scientific articles, sources and bibliographic repositories accessible through digital platforms. The conclusions determine that raw kitchen waste such as leftover vegetables, fruits, coffee, bread, rice, pasta, egg shells, expired yogurts and any infusion such as tea can be used to obtain biofertilizers. Also, garden debris such as leaves, sawdust, branches and animal body waste. The physicochemical properties of the biofertilizers are analyzed from the samples in the Laboratory. In each of the fertilizers, the electrical conductivity (EC) and pH are determined; The content of K, Ca, Mg, Na, Fe and S by digestion is determined by Acetylene-Air Flame Atomic Absorption Spectrometry. And finally, the P content due to digestion is determined by molybdenum blue colorimetry. Biological characteristics are determined using culture media such as Nutrient Agar (NA), Potato-Dextrose Agar (PDA) added with Rose Bengal and Czapek-Dox Agar (ACD). Within a biodigester, an active biological environment is generated that, through the action of microorganisms, triggers anaerobic fermentation, which allows the production of biogas, in addition to leached liquids that can be used as biofertilizer.

Keywords: compost, physicochemical, biological, plant and animal waste.

CONTENIDO

RESUMEN	II
SUMMARY	III
CONTENIDO	IV
1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos del estudio	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Líneas de investigación	5
2. DESARROLLO	6
2.1. Marco conceptual	6
2.1.1. Residuos orgánicos para elaboración de biofertilizante	6
2.1.2. Procesos químicos y biológicos involucrados en la obtención de biofertilizantes y análisis de sus características fisicoquímicas	12
2.1.3. Impacto de los residuos orgánicos en la producción de biofertilizante mediante un biodigestor.	20
2.2. Marco metodológico	27
2.3. Resultados	28
2.4. Discusión de resultados	29
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	32
3.1. Conclusiones	32
3.2. Recomendaciones	34
4. REFERENCIAS Y ANEXOS	35
4.1. Referencias bibliograficas	35

4.2. Anexos.....42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional de insumos utilizados como biofertilizantes.	16
Tabla 2. Aserrín de pino como acolchado orgánico.	16
Tabla 3. Caracterización química de los residuos avícolas.	17
Tabla 4. Parámetros físicos y químicos del compost	18
Tabla 5. Parámetros de hojas de mora, estiércol de cuy	19
Tabla 6. Parámetros físicos – químicos del compost, medidos a distintos tiempos del proceso	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de biodigestor de residuos orgánicos	43
Figura 2. Extrusor para el filtrado del abono orgánico.....	43
Figura 3. Biodigestor chino	44
Figura 4. Biodigestor hindú.....	44
Figura 5. Biodigestor de PVC	45

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. Introducción

El actual aumento significativo de la población global está intrínsecamente relacionado con los procesos de industrialización, urbanización y desarrollo de la producción agrícola. Por lo tanto, la agricultura tradicional se ha convertido en un elemento fundamental para satisfacer las necesidades nutricionales de la población humana. Sin embargo, los métodos de agricultura convencionales se basan predominantemente en el uso intensivo de fertilizantes sintéticos y pesticidas, los cuales, además de presentar elevados costos, provocan efectos adversos en el medio ambiente y en la salud (Torres, *et al.*, 2023).

Los mismos autores señalan que en un contexto de continuo crecimiento, afrontar la demanda de productos agrícolas y preservar la productividad en el sector agrícola representan desafíos de carácter urgente. En consecuencia, la utilización de biofertilizantes derivados de residuos sólidos agrícolas se ha establecido como una alternativa sostenible y económicamente viable en comparación con los fertilizantes químicos, gracias a sus múltiples efectos positivos a largo plazo en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, así como en la mejora de la calidad comercial de los cultivos (Torres, *et al.*, 2023).

Los residuos orgánicos se definen como aquellos materiales que provienen de organismos vegetales o animales y que son susceptibles de ser descompuestos por la acción de microorganismos. Dichos residuos pueden incluir también los restos, desechos o productos generados por cualquier organismo. Con respecto a los residuos sólidos orgánicos, tanto a nivel nacional como internacional, se han propuesto soluciones para su valorización energética durante más de una década (Vega, *et al.*, 2020).

Las tecnologías tales como la incineración, la gasificación, el compostaje, los sistemas de recuperación de gases de vertedero y la biodigestión anaerobia han sido evaluadas constantemente. El compostaje y la digestión anaeróbica constituyen métodos de gestión de residuos orgánicos que previenen la producción de metano o su liberación en la atmósfera

(Vega, *et al.*, 2020).

La degradación de la materia orgánica en organismos animales y vegetales genera emisiones gaseosas en el entorno. Los biorreactores tienen la capacidad de mitigar el impacto adverso de los desechos animales, los cuales son responsables de una considerable contaminación ambiental y contribuyen al calentamiento global mediante la emisión de gases como el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), generados a partir de la fermentación de celulosa y almidón (Enríquez 2022).

Los biodigestores contribuyen a la mitigación de la contaminación ambiental al transformar los excrementos de origen animal en subproductos útiles. Esta innovación no solo mejora la protección del suelo, de los cuerpos de agua, de la calidad del aire y de los ecosistemas forestales, sino que también tiene un impacto significativo en la salud agrícola. Esto se debe a que los excrementos animales albergan microorganismos patógenos, larvas, huevos y pupas de invertebrados que, de no ser tratados adecuadamente, podrían convertirse en vectores de plagas y enfermedades que afectan a los cultivos (Cortés y Serrano, 2023).

1.2. Planteamiento del problema

El principal problema del mundo son las crisis ambientales. Los residuos sólidos son un problema difícil la falta de conciencia ambiental, hábitos de reciclaje y creatividad para convertir los residuos en un producto útil para la sociedad (Rodríguez y López, 2020).

Los residuos orgánicos son causantes de diversos impactos ambientales según Rodríguez y López (2020), tales como contaminación al suelo y a las fuentes de agua, emite olores desagradables y produce altas concentraciones de gases, asociados a una inadecuada disposición final, tales como la generación de lixiviados, gases de efecto invernadero (principalmente metano), y la proliferación de vectores y microorganismos patógenos con el consiguiente impacto negativo en el medio ambiente.

Uno de los principales problemas de los fertilizantes orgánicos es el riesgo de contaminación y para la salud. El abono y el ajenjo, por ejemplo, pueden contener semillas de malezas y patógenos a menos que se traten adecuadamente durante la producción.

Además, si estos fertilizantes orgánicos no se utilizan adecuadamente, pueden contribuir a la contaminación ambiental (Carvalho y Cirión 2022).

Otra cuestión con Carvalho y Cirión (2022) es importante está relacionada con el costo y la disponibilidad de estos fertilizantes. Algunos productos, especialmente los comerciales, pueden ser más caros que los productos químicos más productivos.

Asimismo, la producción de algunos fertilizantes orgánicos, como el compost y la lombricomposta, puede requerir tiempo, espacio y esfuerzo, lo que puede limitar su disponibilidad. En términos de eficacia y compatibilidad, surgen algunas desventajas debido a la lenta liberación de nutrientes de fertilizantes como el compost y la tierra a base de huesos. Este hecho puede no ser adecuado cuando es necesario suministrar nutrientes rápidamente a las plantas.

Generar biofertilizante a partir de un biodigestor también tiene ciertas desventajas (Carvalho y Cirión, 2022). Entre las más importantes está la necesidad de mantener eficientemente un suministro constante de materias primas, como los residuos orgánicos. Esto puede ser un desafío, particularmente en áreas urbanas donde la disponibilidad de estos insumos puede ser limitada.

1.3. Justificación

Los abonos orgánicos se han utilizado desde hace mucho tiempo con la intención de aumentar la fertilidad de los suelos, además de mejorar sus características en beneficio del adecuado desarrollo de los cultivos. Hoy en día su uso es de gran importancia, pues han demostrado ser efectivos en el incremento de rendimientos y mejora de la calidad de los productos (Salas, 2023).

Actualmente los biofertilizantes (BF) (Salas 2023), también llamados fertilizantes bacterianos, Fito estimulantes, biopesticidas y bioinoculantes, no actúan directamente como los fertilizantes tradicionales. Son más bien microorganismos envueltos en un material inerte que favorecen el crecimiento de la vegetación. Disponibles en forma sólida o líquida, contienen microorganismos que fijan nitrógeno, disuelven fosfatos y degradan la celulosa. Cuando se aplica a semillas, raíces o suelo, BF cultiva la rizosfera o el interior de las plantas (endófitos) proporcionando nutrientes, reproducción y disponibilidad a través de la producción de hormonas y la supresión de patógenos.

El biodigestor es un método que propicia un ambiente que favorece la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este fenómeno se denomina digestión anaeróbica. La descomposición es causada por bacterias que viven en el biodigestor, principalmente de excreciones frescas. Las bacterias comen materias orgánicas y producen biogás y fertilizantes como subproductos. Estos se denominan organismos líquidos y sólidos (Argentina.gob.ar, 2021).

El biodigestor proporciona muchos beneficios (Argentina.gob.ar, 2021) incluido el aumento de la fertilidad del suelo y el aumento de la producción agrícola. Estos fertilizantes naturales, a partir de la composición de materia orgánica, enriquecen el suelo con nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Además, el uso de biofertilizante ayuda a reducir el uso de fertilizantes químicos, promoviendo así una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

1.4. Objetivos del estudio

1.4.1. Objetivo general

Investigar los residuos orgánicos como alternativa para la producción de biofertilizante en un biodigestor.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Identificar los residuos orgánicos para elaboración de biofertilizante.
2. Describir los procesos químicos y biológicos involucrados en la obtención de biofertilizantes y analizar sus características fisicoquímicas.
3. Determinar el impacto de los residuos orgánicos en la producción de biofertilizante mediante un biodigestor.

1.5. Líneas de investigación

Dominios: Recursos agropecuarios, Ambiente, Biodiversidad, Biotecnología.

Líneas de la Universidad: Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable.

Sublínea de investigación: Proceso agroindustriales.

2. DESARROLLO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Residuos orgánicos para elaboración de biofertilizante.

El rápido aumento de la población global en la actualidad está intrínsecamente relacionado con los procesos de industrialización, urbanización y producción agrícola. Por lo tanto, la agricultura convencional ha adquirido una importancia fundamental para satisfacer las necesidades nutricionales de la población humana (Kah, *et al.*, 2019).

Sin embargo, los métodos de cultivo tradicionales se basan principalmente en la aplicación intensiva de fertilizantes sintéticos y pesticidas, los cuales, además de incurrir en altos costos, provocan un efecto adverso en el medio ambiente y en la salud humana (Maçik, *et al.*, 2020).

En un contexto de crecimiento continuo, abordar la demanda de productos agrícolas y preservar la productividad del sector agropecuario constituye un desafío apremiante. En consecuencia, la utilización de biofertilizantes derivados de residuos sólidos agrícolas se ha establecido como una alternativa sostenible y económicamente factible en comparación con los fertilizantes químicos, gracias a sus múltiples efectos positivos a largo plazo sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, así como en la mejora de la calidad comercial de las cosechas (Osorio, *et al.*, 2023).

La producción científica a nivel global de biofertilizantes, a través de la valorización de residuos orgánicos, ha adquirido una notable relevancia en la última década. Entre las investigaciones más significativas se destaca el trabajo de aquellos que llevaron a cabo la implementación a gran escala del desarrollo de estos procesos, proponiéndolos como una alternativa para la utilización de subproductos y residuos generados durante el sacrificio de aves (Asses, *et al.*, 2019).

Investigaciones destacan el impacto de los biofertilizantes elaborados a partir de la

combinación de aserrín y residuos agrícolas ricos en nitrógeno, mediante la utilización de actinobacterias como inóculos microbianos (Asadu, *et al.*, 2020).

Otro estudio significativo se centra en la optimización del aprovechamiento de los residuos provenientes de frutas y verduras, así como de los desechos generados en plantas de sacrificio, a través de un proceso de codigestión en dos etapas: digestión anaerobia seguida de digestión aerobia utilizando *Trichoderma reesei* (Chakravarty y Mandavgane, 2020).

En un estudio centrado en la evaluación de las características fisicoquímicas de los biofertilizantes derivados de residuos orgánicos municipales, residuos agrícolas y estiércol de aves de corral, este último una fuente particularmente rica de microorganismos que imparten efectos beneficiosos al producto final en términos de contenido de micro y macronutrientes (Ajaweed, *et al.*, 2022).

Los desechos sólidos generados en la agricultura, así como el estiércol de ganado, constituyen fuentes significativas de nutrientes y microorganismos que tienen potencial para su utilización en la elaboración de biofertilizantes. Estos residuos pueden ser adquiridos a nivel local, lo cual reduce los gastos asociados al transporte y fomenta el concepto de economía circular. Además, al emplear estos materiales en lugar de desecharlos, se mitigan los impactos ambientales negativos asociados con la eliminación inadecuada de residuos, como la liberación de gases de efecto invernadero y la contaminación del suelo y el agua (Kapoor, *et al.*, 2020).

La elaboración de compost a partir de residuos vegetales generados en el mantenimiento de los jardines es una alternativa viable. Para llevar a cabo este estudio, se requiere realizar una caracterización de los residuos, un pretratamiento de los mismos, un análisis de cuatro muestras diferentes, así como un monitoreo y un análisis cuantitativo del compost resultante. Todo esto debe ser comparado y contrastado con normativas internacionales. Por último, se llevará a cabo una evaluación de la rentabilidad de la propuesta

de gestión (Tarrillo, 2020).

Los insumos utilizados en la producción de estos fermentos pueden derivarse de fuentes animales, vegetales y/o minerales, tales como excrementos de ganado, el contenido del rumen, suero, hierbas frescas y melaza. Se pueden enriquecer con minerales, tales como ceniza y harina de rocas, así como con sales, como los sulfatos (Huerta de la Peña, *et al.*, 2019).

Residuos orgánicos procedentes de actividades de poda y estiércol de ganado de origen local, complementados con la adición de levaduras y microorganismos autóctonos. Mediante el proceso de compostaje se consigue una notable reducción del volumen de residuos, dando como resultado la elaboración de un producto agrícola de gran valor (Monguzzi, *et al.*, 2020).

Es fundamental destacar la relevancia de los inóculos microbianos presentes en los biofertilizantes, los cuales se obtienen de múltiples fuentes, tales como el estiércol, el contenido del rumen de los rumiantes, el suero de leche y, por otro lado, los microorganismos autóctonos de las regiones montañosas. La utilización de estiércol en la elaboración de estos biofertilizantes plantea interrogantes debido a su concentración de coliformes fecales (Huerta de la Peña, *et al.*, 2019).

Los residuos orgánicos se refieren a aquellos desechos constituidos por materiales biodegradables, que incluyen restos de vegetación provenientes de jardines y parques, desechos alimentarios y residuos de cocina generados en hogares, restaurantes, servicios de catering y puntos de venta al por menor, así como aquellos residuos originados en plantas de transformación de alimentos (Heano y Arango 2024).

La calidad de los fertilizantes orgánicos se evalúa en función de su contenido nutricional y su capacidad para suministrar nutrientes a un cultivo. Esta evaluación se fundamenta en las propiedades físicas, químicas y biológicas, así como en la calidad de las

materias orgánicas utilizadas. En la formulación de fertilizantes, los insumos más comúnmente empleados incluyen residuos agrícolas y agroindustriales, microorganismos benéficos, estiércol, carbón vegetal, cal agrícola, suelo común, cáscara de arroz, café o aserrín, así como melaza y agua. Los dos métodos accesibles y de fácil aplicación para la descomposición de la materia orgánica son el compostaje y el bokashi (Álvarez *et al.* 2018).

Los fertilizantes elaborados a partir de desechos orgánicos son producidos por organismos del suelo que emplean los residuos vegetales y animales como fuente de nutrientes. A medida que los residuos se descomponen, los nutrientes en exceso (nitrógeno, fósforo y azufre) se liberan en el suelo en formas que son accesibles para las plantas, lo que resulta en una disponibilidad de nutrientes. Los metabolitos generados por microorganismos desempeñan un papel crucial en la generación de materia orgánica en el suelo. Ante el aumento en el costo de los fertilizantes sintéticos y la contaminación ambiental que pueden generar cuando se utilizan de manera irracional, es imperativo identificar alternativas de fertilización que sean tanto económicas como eficaces. Una de las opciones más viables es la incorporación de materiales orgánicos como fuentes de nutrientes para las plantas (Tovar 2022).

El bioles es un fertilizante foliar orgánico en forma líquida, derivado de la fermentación anaeróbica de materiales orgánicos de origen animal y vegetal, tales como estiércol, vegetación verde y frutos, entre otros. Posee nutrientes que son asimilados con facilidad por las plantas, destacando principalmente por su función como fitorreguladores; esto es, en concentraciones reducidas, tienen la capacidad de estimular la actividad fisiológica y promover el desarrollo de las plantas. Una de las técnicas predominantes para la generación de bioles es mediante el uso de biodigestores (Arguelles *et al.* 2023).

Es pertinente señalar que los biofertilizantes desempeñan actualmente un papel fundamental en el ámbito agropecuario, dado que proporcionan y reincorporan los nutrientes y minerales esenciales al suelo, favoreciendo así el crecimiento óptimo de plantas, árboles,

arbustos, entre otros organismos vegetales. La problemática de la gestión de residuos es de gran magnitud a nivel global, dado que más de la mitad de los desechos generados diariamente corresponde a materiales orgánicos, es decir, aquellos que son susceptibles de descomposición acelerada por procesos naturales. En caso de que se optara por la conversión de estos residuos, se podría generar una considerable cantidad de abono orgánico, lo que permitiría mitigar la degradación de los suelos. La utilización de biofertilizantes derivados de residuos orgánicos constituye una estrategia eficaz para mitigar el impacto ambiental, puesto que permite la conversión de los desechos orgánicos en compost, el cual se posiciona como el primer eslabón en el proceso de reducción, reutilización y reciclaje (Marín 2019).

En las últimas décadas, el consumo de fertilizantes ha mostrado una tendencia al alza, lo que ha impactado en la disponibilidad de macronutrientes. Esto resalta la relevancia del control ambiental y la gestión agroindustrial. Existe una creciente necesidad de reciclar fósforo para su reutilización, considerando que las rocas de fosfato, que sirven como materia prima para la producción de fertilizantes, son recursos no renovables. Por ende, es fundamental aprovechar recursos renovables para la obtención de fósforo, incluyendo desechos de pescado tales como espinas, cabezas, huesos y vísceras. Los fertilizantes derivados de desechos pesqueros facilitan el reciclaje de nutrientes y fomentan una economía circular al reintegrar estos residuos en el ecosistema. La formulación de estos fertilizantes incluye proporciones relevantes de nitrógeno, fósforo y potasio, las cuales son adecuadas para satisfacer las necesidades nutricionales de las plantas (Bueno y García 2022).

Los fertilizantes orgánicos, obtenidos de manera manual a partir del lixiviado de raquis de plátano, pueden constituir un valioso complemento en la fertilización de cultivos durante fases específicas del desarrollo vegetal. No obstante, la práctica en cuestión únicamente logra recuperar una proporción relativamente limitada de nutrientes en relación con las demandas establecidas en los manuales técnicos de los cultivos. En este contexto, el lixiviado podría contribuir a la reducción de la aplicación de elevadas concentraciones de agroquímicos en el

suelo, favoreciendo así la recuperación ecológica de los nutrientes y de los organismos presentes en el mismo (Casallas y Vera 2021).

El raquis constituye un recurso orgánico de gran importancia. Al ser descompuesto y posteriormente incorporado al suelo, este material experimenta una transformación natural facilitada por los organismos edáficos y las lombrices, convirtiéndose en humus. Este proceso de descomposición libera los nutrientes previamente extraídos del suelo, y, en sinergia con los microorganismos que proliferan a su alrededor, proporciona a las plantas compuestos orgánicos tales como aminoácidos, azúcares, antibióticos y hormonas reguladoras del crecimiento, que son asimiladas por las raíces de la planta de banano. Asimismo, se ha evidenciado por parte de los investigadores que la materia orgánica del suelo desempeña un papel crucial en el control de nemátodos, bacterias y hongos patógenos que afectan las raíces, constituyéndose como el único factor capaz de incrementar la fertilidad del suelo, al mismo tiempo que optimiza sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Rada *et al.* 2017).

La elaboración de productos de valor agregado para el consumo humano derivados de recursos hidrobiológicos genera materiales residuales de las materias primas, los cuales se clasifican en coproductos, subproductos y residuos orgánicos sólidos y líquidos, los cuales, si no se gestionan adecuadamente, pueden generar efectos ambientales adversos. El uso de estos residuos con fines agrícolas merece ser investigado debido a su contenido de compuestos bioactivos y minerales de interés. Por ello, estos subproductos se emplean cada vez más en bioprocesos que utilizan métodos respetuosos con el medio ambiente, como la biodegradación aeróbica, la fermentación, la hidrólisis y la extracción, en particular en el contexto de las macroalgas (Florez *et al.* 2021).

El biol es un fertilizante orgánico en forma líquida, producido mediante la descomposición de residuos orgánicos a través de la digestión anaeróbica en un digestor. Este producto actúa como fertilizante y puede ser utilizado en la agricultura como alternativa a los fertilizantes químicos, ya que su composición incluye una variada gama de

fitorreguladores que, al ser aplicados a diversos cultivos, favorecen un incremento significativo en la cantidad de raíces de las plantas. Esto, a su vez, mejora el proceso fotosintético y optimiza tanto la producción como la calidad de las cosechas. Asimismo, los fertilizantes orgánicos líquidos se caracterizan por su alta concentración de nitrógeno, amoníaco, hormonas vegetales (auxinas y giberelinas), vitaminas (tiamina y riboflavina) y aminoácidos, los cuales contribuyen a la regulación del metabolismo de las plantas. Estos compuestos favorecen procesos como el enraizamiento, el crecimiento vegetativo, la floración, la germinación de semillas e incluso brindan protección contra potenciales plagas. En este contexto, el biol se presenta como una alternativa viable y eficiente en la categoría de fertilizantes (Ramírez *et al.* 2023).

Los productos derivados de los bioprocesos pueden clasificarse como fertilizantes orgánicos y/o bioestimulantes en función de su composición de macronutrientes, micronutrientes, aminoácidos, microorganismos y compuestos bioactivos. Sus efectos van desde mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas hasta mitigar los factores de estrés bióticos y abióticos en los cultivos, facilitando así su crecimiento sin obstáculos. Los fertilizantes orgánicos obtenidos de subproductos y efluentes residuales de la industria pesquera exhiben niveles apropiados de macronutrientes (N, P y K) y micronutrientes (Ca, Mg, S, B, Fe, Cu, Mn, Mo, Zn y Cl) esenciales para el crecimiento de las plantas, así como la presencia de péptidos y aminoácidos que son reconocidos como bioestimulantes. Por otra parte, la utilización de fertilizantes orgánicos y bioestimulantes abarca múltiples sectores, tales como la horticultura, la hidroponía y la producción de alimentos vivos. Los estudios revisados han señalado su potencial como instrumentos para fomentar la agricultura orgánica y facilitar la economía circular (Florez *et al.* 2021).

2.1.2. Procesos químicos y biológicos involucrados en la obtención de biofertilizantes y análisis de sus características fisicoquímicas.

El estudio de las propiedades físicas y químicas para determinar el contenido de

macronutrientes y micronutrientes en la producción de biofertilizantes se lleva a cabo en los Laboratorio de Suelos. El pH se determina mediante el uso de un medidor de pH en muestras de agua. Se lleva a cabo un análisis del contenido de nitrógeno utilizando el método de Kjeldahl. La concentración de K, Ca, Mg, Na, Fe y S a través de un proceso de digestión se establece mediante Espectrometría de Absorción Atómica utilizando llama de acetileno-aire. Finalmente, la determinación del contenido de P mediante digestión se lleva a cabo a través de la técnica de colorimetría utilizando azul de molibdeno (Ramos, 2016).

En la investigación sobre la lombricomposta, el guano, el humus de plátano y los lixiviados de calcio, se llevaron a cabo análisis para determinar sus propiedades fisicoquímicas, los cuales se realizaron en el laboratorio. En cada uno de los fertilizantes se evaluaron la conductividad eléctrica (CE) y el pH mediante el uso de un dispositivo multiparamétrico (marca YSI, modelo Professional Plus) (González, *et al.*, 2021).

Posteriormente, se recogieron 5 mL de cada uno de los fertilizantes para llevar a cabo la determinación de materia orgánica (MO), utilizando el método propuesto por Walkley y Black (1934). Este proceso incluyó la oxidación con una solución de dicromato de potasio 0.05 N, y la cuantificación se realizó mediante espectrofotometría a una longitud de onda de 650 nm (González, *et al.*, 2021).

Para la evaluación de los nutrientes presentes en los fertilizantes orgánicos, se realizaron filtraciones de 100 mL de cada tipo de abono, que incluyeron Lombricomposta, guano, humus de plátano y lixiviados de calcio. Este procedimiento se llevó a cabo utilizando membranas de nylon con un tamaño de poro de 0.45 μm (Millipore, HNWP) (González, *et al.*, 2021).

Subsiguientemente, los fertilizantes filtrados fueron analizados mediante un espectrofotómetro multiparámetro (marca Hach, modelo DR 3900), en conformidad con el protocolo del manual de operaciones correspondiente, empleando reactivos específicos destinados a la evaluación de las concentraciones de cada elemento. Nitrógeno presente en

diferentes formas: nitrógeno total (N T), amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-); fósforo total (P T), ion fosfato (PO_4^{3-}) y catión potasio (K^+) empleando un reactivo estándar como medida de control interno, con el propósito de comparar las absorbancias de cada elemento. Cada análisis fue realizado en triplicado (González, *et al.*, 2021).

Las propiedades físico-químicas de la hojarasca y el cascabillo del café se determinaron utilizando los siguientes métodos analíticos: textura (mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos), disponibilidad de fósforo (con el método de Olsen), contenido de materia orgánica (a través del método de Walkley y Black), pH (utilizando el método potenciométrico), nitrógeno total (mediante el método micro-Kjeldahl), fósforo total (a partir del método de Bray y Kurtz), potasio (mediante el método de digestión con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$) y conductividad eléctrica (a través del método conductimétrico) (Infante, 2021).

Para los análisis microbiológicos de Lombricomposta, guano de plátano y lixiviados de calcio, se recolectaron muestras en triplicado de cada uno de los fertilizantes utilizados en este estudio, empleando como referencia la identificación de *Salmonella* (González, *et al.*, 2021).

Características biológicas de los residuos de hojarasca y cascabel del café. En el análisis de la presencia de microorganismos, se contemplaron los siguientes grupos: bacterias, hongos y actinobacterias. Para ello, se emplearon medios de cultivo específicos, tales como Agar Nutriente (AN), Agar-Dextrose-Papa (ADP) enriquecido con Rosa de Bengala, y Agar Czapek-Dox (ACD), de manera correspondiente a cada grupo (Infante, 2021).

La cuantificación por Unidad Formadora de Colonias (UFC) de bacterias, actinobacterias y hongos totales se realiza a través de la preparación de diluciones seriadas y su posterior siembra en placas, abarcando un rango de dilución de 10^{-1} a 10^{-9} . Se pesó una muestra biológica de 10 g, la cual fue luego transferida a un matraz Erlenmeyer de 250 mL que contenía 90 mL de solución salina (0.85% NaCl). Esta mezcla se agitó de manera

homogénea, tras lo cual se tomó una alícuota de 1 mL que se colocó en un tubo de ensayo que contenía 9 mL de solución salina (0.85% NaCl) (Infante, 2021).

Consecutivamente, se agitó la mezcla durante cinco minutos en un vortex para asegurar su homogenización, denominándose a esta dilución como 10^1 . A continuación, utilizando una pipeta estéril, se tomó otra alícuota de 1 mL y se transfirió a un segundo tubo de ensayo que contenía la misma solución salina, constituyendo esta la dilución 10^2 . Este procedimiento se continuó de manera sucesiva hasta alcanzar la dilución 10^9 . Una vez preparados las diluciones, se procedió a verterlas en una placa estéril de vidrio. Se añadió 1 mL de la dilución correspondiente (las cuales fueron de 10^5 a 10^9 para bacterias y de 10^2 a 10^6 para hongos y actinobacterias), seguido de 15-20 mL de medio fundido (Infante, 2021).

Para lograr una adecuada homogenización, se realizaron seis movimientos de derecha a izquierda, seis en el sentido de las agujas del reloj, seis en sentido contrario y seis de atrás hacia adelante, sobre una superficie horizontal lisa. Una vez que el medio de cultivo fue gelificado, las placas se incubaron a 37 °C en posición invertida durante períodos de 24, 48 y 72 horas para bacterias, actinobacterias y hongos, respectivamente. Al finalizar el período establecido, se llevó a cabo el recuento de las colonias desarrolladas, seguido de los cálculos correspondientes para determinar el número de unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo (Infante, 2021).

Tabla 1.

Composición nutricional de insumos utilizados como biofertilizantes.

Insumo	%	N	P	K	Ca	Mg	Na
Melaza	--	0,34	0,14	1,87	1,10	0,30	0,15
Semolina	--	--	1,49	--	0,09	0,83	--
Ajo	--	--	1,40	4	0,14	--	0,30
Cebolla	--	--	--	10,1	1,75	--	0,11
Chile	--	--	0,13	1,70	0,06	0,08	0,05
Jengibre	--	--	0,60	--	0,20	--	--
Ceniza	--	--	1,80	5,50	23,20	2,20	--

Nota. Esta tabla demuestra la composición de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio de las materias primas utilizadas para biofertilizantes (Ramos, 2016).

Tabla 2.

Aserrín de pino como acolchado orgánico.

Macronutrientes					Micronutrientes					Propiedades químicas		
N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	Cu	Mo	CE	pH
0,325	0,010	0,172	0,216	0,004	0,032	7,75	12,10	65,90	11,80	1,86	4,10	5,45

Nota. Macro, micronutrientes y propiedades químicas del aserrín de pino utilizado como biofertilizante (Orozco, *et al.*, 2016).

Tabla 3.*Caracterización química de los residuos avícolas*

Biomasa	Gallinaza (GG)	Pollinaza (PO)	(GG-PO)
N (g/100g)	1,90	2,48	2,37
P (g/100g)	20578,72	12882,65	18312,17
K (g/100g)	34835,73	12470,29	24894,81
Na (g/100g)	7920,46	7208,20	9512,91
Ca (g/100g)	269822,48	272117,44	74349,30
Cu (g/100g)	56,51	42,82	55,02
Fe (g/100g)	6363,08	1770,82	3371,57
Mg (g/100g)	87539,58	30040,69	58580,32
Mn (g/100g)	493,95	364,56	423,49
Zn (g/100g)	425,53	380,38	421,83

Nota. Composición de macro y microelementos de los residuos agrícolas (Mata, 2023).

Tabla 4.*Parámetros físicos y químicos del compost*

Parámetro	Rango permisible
Humedad (%)	40-60
Tamaño de partícula (mm)	5-10
Materia orgánica %	25-50
Carbono orgánico %	8-50
Nitrógeno total %	0,4-3,5
Fosforo como P ₂ O ₅ %	0,3-3,5
Potasio como K ₂ O %	0,5-1,8
Cenizas %	20-65
Calcio como CaO %	20-65
Relación C:N	<15
pH	6,5-8

Nota. Determinación de los parámetros físicos y químicos del compost
(Briceño y Torpoco, 2022).

Tabla 5.*Parámetros de hojas de mora, estiércol de cuy*

Parámetro medido	Hojas de mora	Estiércol de cuy	MMS Microorganismos de montaña en medio sólido
Nitrógeno total NT	1,15	1,13	0,64
Materia orgánica (%)	23,08	22,66	12,90
Carbono orgánico (%)	13,39	13,12	7,48
Fósforo PO (%)	0,06	0,30	0,20
Potasio (%)	0,07	0,80	0,40
Humedad (%)	45,51	33,12	47,56
Potencial de hidrógeno (pH)	5,27	9,12	3,94
Conductividad eléctrica (mS/cm)	3,19	4,54	7,54

Nota. Composición de las hojas de mora y estiércol de cuy (Córdova, *et al.*, 2022).

Tabla 6.

Parámetros físicos – químicos del compost, medidos a distintos tiempos del proceso

Parámetro	Unidad	B-15D	B-30D	B-45D	B-12D
pH		10,2	10,1	9,9	9,1
CE	ds m ⁻¹	2,0	2,4	2,3	1,8
Pdias		0,38	0,32	0,33	0,36
Ptotal		3,95	3,77	3,44	3,63
MO	%	35,5	30,0	24,7	22,4
CO		18,6	15,8	13,1	11,9
NT		0,98	0,87	0,80	0,75
C/N		19,0	18,2	16,4	15,9
k		17,5	15,0	15,0	12,5
Na	g kg ⁻¹	0,8	0,8	0,7	0,5
Ca		6,1	5,7	5,7	5,6
Mg		0,5	0,7	0,8	0,9

Nota. Resultados en diferentes tiempos del proceso del compost (Monguzzi, *et al.*, 2020).

2.1.3. Impacto de los residuos orgánicos en la producción de biofertilizante mediante un biodigestor.

Un digestor de biorresiduos, también conocido como biodigestor, se define como un recipiente cerrado e impermeable que actúa como un reactor, en el cual se introducen materiales orgánicos destinados a la fermentación. Esta materia orgánica incluye desechos tanto animales como humanos, así como residuos vegetales, con la salvedad de que los materiales cítricos son excluidos debido a su potencial de acidificación. Se genera, como resultado, gas metano (biogás) y fertilizantes orgánicos que son ricos en nitrógeno, fósforo y potasio (Biol) (Mata, 2023).

Los biodigestores surgen como una solución tecnológica innovadora en los sectores

agrícola y ganadero, destinada al tratamiento y fermentación anaeróbica de la materia orgánica contenida en residuos alimentarios, residuos vegetales y estiércol animal, los cuales son aptos para experimentar dicho proceso de transformación. En términos generales, los biodigestores se clasifican como dispositivos herméticos y sistemas adiabáticos, concebidos con materiales que facilitan el proceso de biodigestión anaeróbica (Granados, *et al.*, 2022).

La función primordial de los biodigestores rurales consiste en la captura de las emisiones de metano (CH₄) que se generan a partir de la descomposición de la materia orgánica procedente de las actividades agrícolas. De este modo, se puede aprovechar estos residuos como fuente de energía, lo que a su vez permite reducir la emisión de gases de efecto invernadero en el entorno. Las explotaciones agropecuarias que incorporan residuos, en particular estiércol y agua miel, también muestran resultados positivos en su funcionamiento biológico (Mata, 2023).

Los biodigestores comienzan su operación mediante la incorporación de los insumos en su interior, lo que da inicio al proceso de biodigestión, el cual se desarrolla a lo largo de un periodo de 75 días. De esta forma, se generan aproximadamente 60 litros de biofertilizantes. Las muestras de alimentación de los residuos orgánicos destinadas al biodigestor fueron sometidas a un análisis en el Laboratorio de Química, dado que las propiedades bioquímicas que exhiben estos residuos deben ser propicias para favorecer el desarrollo y la actividad microbiana dentro del sistema anaeróbico (Arguelles, *et al.*, 2023)

El propósito de un biodigestor es preservar una actividad bacteriana constante, lo que facilita el establecimiento de diversas comunidades microbianas. Esto implica la regulación de parámetros como la carga orgánica máxima, el tiempo de retención hidráulica, el tiempo de retención de sólidos, la relación de carbono a nitrógeno en el sustrato, así como la temperatura, el pH, la alcalinidad y el potencial redox (González y Jurado, 2017).

El biol constituye la porción líquida derivada de los lodos generados en el biodigestor o digestor. Este 'lodo' se sedimenta o se acumula para generar una fracción líquida conocida

como 'biol'. Se estima que aproximadamente el 90% del material que se introduce en el biodigestor se transforma en biol. Por supuesto, esto está condicionado por la naturaleza del material que se somete a digestión y por las circunstancias específicas del proceso de fermentación (Mata, 2023).

La producción de biofertilizantes en biodigestores de tipo semicontinuo se muestra particularmente eficaz, dado que la cantidad diaria de materia orgánica que ingresaba favoreció una fermentación más controlada, evitando así la aparición de fermentaciones ácidas y resultando en un pH promedio de 8.81 y 9.91. Es imprescindible implementar un control más riguroso del pH. El biodigestor operó en condiciones mesófilas, lo que se traduce en un rango de temperaturas comprendido entre 20 y 40 °C. Bajo estas condiciones, el biol obtenido exhibió un porcentaje de sólidos totales de 10.3% y 10.9% (Arguelles, *et al.*, 2023)

Aproximadamente el 89 % del material ingresado al biodigestor se convirtió en biol, mientras que el 11 % se transformó en biosol. El análisis realizado al biol indica la presencia de nutrientes como fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) en bajas concentraciones, lo que sugiere la necesidad de abordar deficiencias nutricionales significativas en los cultivos. Además, la evaluación del contenido de macro y micronutrientes confirma que el proceso de fermentación láctica se mejora a través de la incorporación de fuentes de carbohidratos como la leche y el jugo de caña de azúcar (Arguelles, *et al.*, 2023)

Por lo tanto, se pueden lograr mejoras mediante la adición de estas u otras sustancias, así como ajustando las cantidades de los residuos utilizados. Los dos bioles obtenidos pueden ser empleados para llevar a cabo experimentos con cultivos. En particular, se observa que el biofertilizante aplicado a la germinación de la semilla de maíz presenta un porcentaje de inhibición de germinación (IG) superior al 80% en todas las diluciones evaluadas. Esto sugiere que no existe una presencia significativa de sustancias fitotóxicas, o que éstas se encuentran en concentraciones muy bajas. Así, se concluye que el desarrollo de la germinación de las semillas y el crecimiento de la radícula fueron adecuados (Arguelles, *et*

al., 2023)

Un biodigestor se define como un contenedor o tanque, caracterizado por un cierre hermético, que se utiliza para almacenar residuos orgánicos. En su interior, se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica, lo que resulta en la generación de biogás. Este biogás puede ser utilizado como combustible para la cocción de alimentos, el calentamiento de agua y la producción de energía eléctrica a través de un generador de gas (Ministerio del Ambiente y Desarrollo sostenible, 2023).

Los biodigestores son contenedores herméticos y sellados diseñados para la fermentación de materia orgánica, mezclada con una dilución específica de agua. A través del proceso de fermentación anaeróbica facilitado por microorganismos, se genera biogás y un subproducto líquido (denominado biol o digestato). Debido a sus propiedades como combustible, el biogás puede emplearse para la producción de energía térmica y/o eléctrica. En lo que respecta a la fracción biol, se distingue por poseer un significativo potencial fertilizante (Martí, 2019).

El subproducto resultante de este proceso, compuesto por efluentes y lodo, se emplea como biofertilizante. Durante el proceso de descomposición, la materia orgánica contenida en los excrementos experimenta una disminución que oscila entre el 50% y el 70%. Este procedimiento resulta en un producto final que carece de olores indeseables, y presenta la ventaja de ser aceptado por el ganado cuando se aplica sobre las pasturas (Ministerio del Ambiente y Desarrollo sostenible, 2023).

Un biodigestor opera utilizando la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y domésticos, así como los desechos de origen animal. En el interior de un biodigestor se crea un entorno biológico dinámico que, a través de la actividad de microorganismos, da lugar a un proceso de fermentación anaeróbica. Este proceso no solo facilita la generación de biogás, sino que también resulta en la producción de líquidos lixiviados, que son los residuos de la materia fecal tras su fermentación, y que pueden ser empleados como biofertilizantes

(González, *et al.*, 2022).

Los biodigestores ofrecen una solución eficiente y alternativa para la gestión de residuos orgánicos, convirtiéndolos en biofertilizantes, biogás o bioenergía. Se han documentado numerosas experiencias favorables en relación con la implementación de biodigestores en explotaciones lecheras de gran tamaño, aunque esta tecnología ha sido menos evaluada en contextos de menor escala (Rostagno, *et al.*, 2022).

El biodigestor se abastece de residuos orgánicos y agua. La materia fecal contiene microorganismos que llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica, resultando en la producción de metano. En consecuencia, y en función de las condiciones climáticas, se estima que el biogás puede ser aprovechado en un intervalo de 15 a 40 días. Una vez que se produce el metano, se procede a activar las válvulas que conectan el biodigestor con un contenedor alternativo destinado a su almacenamiento, y posteriormente se establece la conexión con una cocina o calentadores (González, *et al.*, 2022).

La introducción de mezclas diarias de materia fecal y agua en el biodigestor será sometida a un proceso de digestión anaeróbica llevado a cabo por bacterias, resultando en la generación de biogás. Sin embargo, por otro lado, se obtendrá un efluente que ha sido previamente digerido, el cual ha generado la máxima cantidad de biogás posible y que se transforma en un biofertilizante. Este tipo de biofertilizante es comúnmente conocido de manera general como Biol (Fiallos, 2022).

Las propiedades del biofertilizante elaborado están influenciadas por diversos factores, destacando el tipo de materia fecal empleada y el grado de dilución. El biofertilizante elaborado a partir de excretas de ganado vacuno o porcino presenta, en su contenido seco, concentraciones de nitrógeno que oscilan entre el 2 y el 3%, fósforo entre el 1 y el 2%, potasio en un 1%, y aproximadamente un 85% de materia orgánica (Fiallos, 2022).

El mercado presenta una amplia variedad de biodigestores en relación con su diseño,

materiales, precio, capacidad, eficiencia en la producción de energía y facilidad de mantenimiento, entre otros aspectos. La clave radica en identificar el modelo que mejor se acomode a cada contexto, no solo desde una perspectiva técnica, sino también económica, reconociendo que la capacidad de pago varía significativamente entre las grandes empresas y otras entidades (Rostagno, *et al.*, 2022).

La calidad del producto dependerá también de la duración de la retención en nuestro sistema, influenciada por las condiciones climáticas. Se establece un periodo mínimo de retención de 30 días, lo cual garantiza una descomposición óptima que, a su vez, favorece la disponibilidad y asimilación de nutrientes por parte de las plantas al incorporarse al suelo (Fiallos, 2022).

De 1 kilogramo de estiércol fresco de vaca lechera, es posible generar 40 litros de biogás, un gas combustible que exhibe un poder calorífico que varía entre 5.000 y 5.500 kcal/m³, en función de las fluctuaciones en el contenido de metano, las cuales son consecuencia de las diferentes combinaciones de residuos orgánicos empleadas en cada biodigestor (Rostagno, *et al.*, 2022).

El biogás derivado del estiércol de vacas lecheras presenta un contenido de metano que oscila entre el 65% y el 70%. En consecuencia, la digestión anaerobia de 1 kg de materia fecal fresca genera aproximadamente 28 litros de gas natural. El biogás puede ser empleado para la generación de energía eléctrica; específicamente, un volumen de 1.000 litros de biogás, que contiene un 65% de metano, tiene un valor energético equivalente a 6,41 kWh. El biogás producido puede ser empleado en cualquier dispositivo comercial diseñado para el consumo de gas natural (Rostagno, *et al.*, 2022).

Los residuos orgánicos o biológicos, en su forma más elemental, pueden ser aprovechados por los biorreactores. Este proceso se lleva a cabo en un recipiente cerrado y hermético sin la presencia de agua, conocido como reactor. En dicho reactor se dispone materia orgánica que es susceptible de ser digerida, incluyendo desechos de origen animal y

humano, así como residuos vegetales no regenerativos, que sufren un proceso de acidificación (Enríquez y Quirita, 2023).

La gestión o tratamiento de los residuos debe asegurar la minimización del impacto ambiental y sanitario potencial. Para lograrlo, se dispone de diversas técnicas aplicables, fundamentadas en procesos biológicos, físicos y químicos, que se implementan en diferentes contextos de gestión para el tratamiento, utilización o disposición de guano y camas de pollo. Entre estas técnicas se encuentran la deshidratación, la dispersión como fertilizante orgánico, el compostaje, la incineración y la digestión anaeróbica (Torregiani, 2021).

Este mecanismo permite la disolución del agua, la producción de gas metano y la generación de fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio mediante la fermentación anaeróbica, contribuyendo así a la reducción de la contaminación que de otro modo se transformaría en desechos. Con frecuencia, se emplean en el tratamiento de aguas residuales, especialmente en industrias de gran envergadura que cuentan con sistemas de control comerciales y procedimientos de regulación (Enríquez y Quirita, 2023).

Los productos fundamentales que resultan del proceso de digestión anaerobia en sistemas de alta carga orgánica y con mezcla completa son el biogás y un biofertilizante, que se presenta como un efluente estabilizado. El biogás se identifica como un combustible constituido predominantemente por una mezcla de gases, que incluye mayormente metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Las proporciones de estos componentes pueden fluctuar según el tipo de residuo empleado como materia prima en el biodigestor, siendo común que el metano represente aproximadamente el 50% de la composición total (Cruañez y Barlatey 2020).

Esta combinación de gases se genera durante el proceso de digestión anaerobia, el cual permite la liberación de la energía química presente en la materia orgánica. El bioabono se define como el residuo líquido que ha sido descompuesto, proveniente del proceso de digestión anaeróbica en el biodigestor (Cruañez y Barlatey 2020).

Como consecuencia del proceso de fermentación que tiene lugar en el biodigestor, se genera un lodo o fango, conocido como digestato, el cual posee una calidad agronómica alta. La relación entre el peso y el volumen de este digestato en comparación con los residuos que ingresan al sistema varía entre 0,9 y 1 (Sánchez, 2022).

Preservar los nutrientes esenciales de la materia orgánica utilizada, incluyendo potasio, nitrógeno y fósforo, entre otros, se presenta como un fertilizante altamente efectivo. Todo este proceso se lleva a cabo en un dispositivo denominado biodigestor, que es un contenedor o tanque herméticamente cerrado, en el cual se desarrolla el proceso de biodigestión (Cruañez y Barlatey 2020).

Este subproducto de la biodigestión anaeróbica constituye un biofertilizante de notable calidad que puede ser fraccionado en dos componentes: -A. La fracción líquida, denominada BIOL, que constituye el volumen más significativo -B. la fracción sólida, referida como BIOSOL. Ambos componentes poseen notables características agronómicas que resultan beneficiosas para el desarrollo de los cultivos. El valor de los nutrientes (P, K, N, Mg, etc.) del biofertilizante es de aproximadamente 1:1 en comparación con los materiales de desecho ingresados, dependiendo del tipo específico de desecho que se fermenta y del método de separación utilizado (Sánchez, 2022).

2.2. Marco metodológico

El presente estudio, sustentado por un enfoque práctico, fue elaborado mediante la recolección de información variada con propósitos de investigación, obtenida de múltiples sitios web, artículos científicos, fuentes y repositorios bibliográficos accesibles a través de plataformas digitales.

La información fue recopilada utilizando técnicas de análisis, síntesis y resumen, con el propósito de proporcionar datos específicos en relación con esta investigación, destacando así sus fundamentos generales para facilitar la aceptación académica y social por parte del

lector.

2.3. Resultados

La materia orgánica destinada a la producción de compost incluye desechos crudos provenientes de la cocina, tales como los restos de verduras y frutas, los cuales es recomendable triturar. Además, se pueden utilizar los posos de café y de cualquier infusión, como el té. Asimismo, es posible emplear residuos de pan, café, frutas, verduras, arroz, pasta, cáscaras de huevo, yogures en estado de caducidad, así como material orgánico proveniente del jardín, que incluye hojas, aserrín, ramas y excreciones de animales.

El compostaje representa un proceso bio-oxidativo en el cual los residuos orgánicos de diversas procedencias, tales como paja, cáscaras, cortezas, subproductos de la agroindustria y estiércol, son transformados mediante la descomposición y humificación, mediado por una variedad amplia de procesos biológicos y bioquímicos. Como resultado de esta transformación, se genera un producto que presenta características de estabilidad relativa, está exento de fitotoxicidad y patógenos, y contiene un alto nivel de sustancias húmicas.

El compostaje es un proceso que facilita la reutilización de residuos orgánicos, generando materia orgánica adecuada para su aplicación en el suelo, lo que contribuye a disminuir el impacto ambiental asociado a la gestión de residuos.

El análisis de las muestras para determinar sus propiedades fisicoquímicas se lleva a cabo en un laboratorio. En cada uno de los fertilizantes se evaluaron la conductividad eléctrica (CE) y el pH mediante el uso de una sonda multiparamétrica de la marca YSI, modelo Professional Plus. Posteriormente se colectaron muestras de 5 mL de cada fertilizante para la determinación de materia orgánica (MO), la cual se realizó mediante el método de Walkley y Black, el cual consistió en una oxidación con dicromato de potasio 0,05 N y se cuantificó mediante espectrofotometría a una longitud de onda de 650 nm.

Las propiedades biológicas se establecen mediante la utilización de medios de cultivo, tales como el Agar nutritivo (AN), el Agar-Dextrosa-Papa (ADP) complementado con Rosa de Bengala, y el Agar Czapek-Dox (ACD).

Un biodigestor opera utilizando la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y domésticos, así como los desechos de origen animal. En el interior de un biodigestor se establece un entorno biológico dinámico que, mediante la acción de microorganismos, facilita un proceso de fermentación anaeróbica. Este fenómeno propicia la generación de biogás, así como la obtención de líquidos lixiviados resultantes de la descomposición de la materia fecal, los cuales pueden ser aprovechados como biofertilizantes.

Los biodigestores proporcionan una solución efectiva y alternativa para la gestión de residuos orgánicos, al convertirlos en biofertilizantes, biogás o biocombustibles. Se han documentado numerosas experiencias favorables relacionadas con la implementación de biodigestores en establecimientos lecheros de gran envergadura, aunque esta tecnología ha sido menos reconocida en aplicaciones a menor escala.

2.4. Discusión de resultados

Los residuos orgánicos destinados a la elaboración de compost provienen de desechos de frutas y verduras, posos de café, así como de infusiones como el té. Asimismo, se incluyen restos de alimentos tales como pan, arroz, pasta, cáscaras de huevo, yogures en estado de caducidad, así como material orgánico del jardín, que abarca hojas, serrín y ramas, así como excretas de animales, así lo indica Huerta de la Peña, *et al.*, (2019) que las materias primas utilizadas en la producción de estos fermentos pueden derivarse de fuentes animales, vegetales y/o minerales, tales como: excrementos de ganado, el contenido del rumen, suero lácteo, hierbas frescas y melaza. Es posible enriquecerlos con minerales, tales como ceniza y harina de rocas, así como con sales, incluyendo sulfatos. Es fundamental destacar la relevancia de los inóculos microbianos presentes en los biofertilizantes, los cuales se obtienen a partir de diversas fuentes, tales como el estiércol,

el contenido del rumen de los animales, el suero de leche y, en contraste, los microorganismos nativos de entornos montañosos. La utilización de estiércol en la elaboración de estos biofertilizantes es objeto de controversia debido a su concentración de coliformes fecales.

Las propiedades fisicoquímicas de las muestras se analizan en un entorno de laboratorio. En cada uno de los fertilizantes se llevó a cabo la determinación de la conductividad eléctrica (CE) y el pH, así como el análisis del contenido de nitrógeno mediante el método de Kjeldahl. La identificación de los niveles de K, Ca, Mg, Na, Fe y S mediante digestión se lleva a cabo utilizando la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica en llama de acetileno-aire. Finalmente, la cantidad de fósforo contenido en la muestra se determina mediante la técnica de colorimetría utilizando azul de molibdeno. Las características biológicas se establecen mediante la utilización de medios de cultivo como el Agar-Dextrosa-Papa (ADP), esto lo indica Ramos (2016) que el análisis de las propiedades físicas y químicas, destinado a determinar el contenido de macronutrientes y micronutrientes para la obtención de biofertilizantes, se lleva a cabo en el Laboratorio de Suelos. El pH se determina mediante el uso de un pH-metro en una muestra de agua. Se lleva a cabo un análisis del contenido de nitrógeno utilizando el método Kjeldahl. La concentración de K, Ca, Mg, Na, Fe y S se determina mediante un proceso de digestión y se analiza utilizando espectrometría de absorción atómica con llama de acetileno-aire. Finalmente, el contenido de fósforo por digestión se determina mediante la técnica de colorimetría utilizando el azul de molibdeno.

Un biodigestor opera utilizando la fracción orgánica de los desechos sólidos urbanos y domésticos, así como los residuos de origen animal. En el interior de un biodigestor se establece un entorno biológico dinámico en el cual la actividad de microorganismos provoca la fermentación anaeróbica, facilitando así la producción de biogás, así como la generación de líquidos lixiviados que pueden ser empleados como biofertilizantes, ya que Torregiani (2021) menciona que la gestión y el tratamiento de los residuos deben asegurar una

disminución del posible impacto ambiental y en la salud pública. Para lograrlo, se dispone de diversas técnicas aplicables que se fundamentan en procesos biológicos, físicos y químicos, las cuales pueden implementarse en diferentes contextos de manejo para el tratamiento, utilización o disposición de guano y camas de aves. Entre estas técnicas se incluyen la deshidratación, la dispersión como fertilizante orgánico, el compostaje, la incineración y la digestión anaeróbica.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

Para la producción de biofertilizantes, es posible emplear residuos orgánicos de origen culinario, tales como los restos de vegetales, frutas, posos de café y residuos derivados de cualquier tipo de infusión, como el té. Asimismo, es posible emplear residuos de pan, arroz, pasta, cáscaras de huevo, yogures vencidos, así como desechos provenientes del jardín, tales como hojas, aserrín, ramas, y material orgánico derivado de animales.

Las propiedades fisicoquímicas de los biofertilizantes se evalúan a partir de las muestras en un entorno de laboratorio. En cada uno de los fertilizantes se mide la conductividad eléctrica (CE) y el pH utilizando una sonda multiparamétrica de la marca YSI, modelo Professional Plus. Posteriormente se extraen muestras de 5 mL de cada fertilizante para la determinación de materia orgánica (MO), utilizando el método de Walkley y Black, que implica la oxidación con dicromato de potasio 0,05 N.

La cuantificación se realiza mediante espectrofotometría a una longitud de onda de 650 nm. Asimismo, se lleva a cabo el análisis del contenido de nitrógeno mediante el método de Kjeldahl. La cuantificación de K, Ca, Mg, Na, Fe y S a través de digestión se lleva a cabo mediante espectrometría de absorción atómica utilizando llama de acetileno-aire. Por último, el contenido de fósforo (P) mediante digestión se determina a través de colorimetría utilizando azul de molibdeno. Las características biológicas se establecen mediante el uso de medios de cultivo tales como el Agar nutritivo (AN), el Agar-Dextrosa-Papa (ADP) complementado con Rosa de Bengala, y el Agar Czapek-Dox (ACD).

Un biodigestor opera utilizando la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y domésticos, así como los desechos de origen animal. En el interior de un biodigestor se crea un entorno biológico dinámico que, a través de la actividad de microorganismos, induce un proceso de fermentación anaeróbica. Este proceso resulta en la generación de biogás, así como la obtención de líquidos lixiviados que pueden ser empleados como biofertilizantes.

Los biodigestores ofrecen una solución eficaz y alternativa para la gestión de residuos orgánicos, al convertirlos en biofertilizantes, biogás o bioenergía. Se han documentado numerosas experiencias favorables respecto al empleo de biodigestores en establecimientos lecheros de gran escala, aunque se considera que esta tecnología ha sido menos evaluada en contextos de menor envergadura.

Los biodigestores representan una alternativa viable para transformar la gestión de los residuos orgánicos, ya que estos sistemas no solo facilitan el tratamiento de los desechos y contribuyen al reciclaje de nutrientes a través de la utilización del fertilizante producido, sino que también proporcionan una oportunidad para el aprovechamiento energético mediante la captura y utilización del biogás generado.

Un manejo adecuado de los residuos puede representar para la granja una oportunidad de ahorro económico al permitir la autosuficiencia en la producción de energía eléctrica y térmica. Además, se puede aprovechar el bioabono como fertilizante, constituyendo una alternativa para la reposición de nutrientes extraídos por los cultivos, lo que genera efectos beneficiosos tanto para el suelo como para las plantas.

3.2. Recomendaciones

Formar a los pequeños productores sobre la relevancia de los residuos orgánicos como recursos fundamentales en la producción de biofertilizantes.

Conducir estudios de investigación sobre la implementación de biodigestores con el objetivo de producir biofertilizantes.

Desarrollar opciones que fomenten la adquisición de propiedades físico-químicas y biológicas de los biofertilizantes en los laboratorios de la región.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. Referencias bibliograficas

- Ajaweed, A.N.; Hassan, F.M.; Hyder, N.H. (2022). Evaluation of Physio-Chemical Characteristics of Bio Fertilizer Produced from Organic Solid Waste Using Composting Bins. *Sustainability*, 14, 4738. Disponible en <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/8/4738>
- Álvarez-Palomino, L., Vargas-Bayona, J. E., & García-Díaz, L. K. (2018). Abono orgánico: aprovechamiento de los residuos orgánicos agroindustriales. *Spei Domus*, 14(28-29), 1-10. Disponible en <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/sp/article/view/3556/3049>
- Arguelles, C. W., Pintor, D. C. A., Mesinas, C. M., Márquez, H. L., & Becerra, E. V. (2023). Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel laboratorio. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 5241-5258. Disponible en <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/4827/7314>
- Arguelles, C. W., Pintor, D. C. A., Mesinas, C. M., Márquez, H. L., & Becerra, E. V. (2023). Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel laboratorio. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 5241-5258. Disponible en <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/4827>
- Asadu, C., Ike, I., Onu, Ch., Egbuna, S., Onoh, M., Mbah, G., Eze, Ch. 2020. Investigation of the influence of biofertilizer synthesized using microbial inoculums on the growth performance of two agricultural crops, *Biotechnology Reports*, Volume 27, e00493, ISSN 2215-017X. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X20303581?via%3Dihub>
- Asses, N., Farhat, W., Hamdi, M., Bouallagui, H. (2019). Large scale composting of poultry slaughterhouse processing waste: Microbial removal and agricultural biofertilizer application, *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 124, Pages 128-136, ISSN 0957-5820. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095758201831019X?via%3Dihub>

- Briceño Torrejon, D. P., & Torpoco Tamayo, G. D. (2022). Generación de biofertilizante mediante el aprovechamiento de los lodos activados de una PTAR en Independencia, Lima–2022. Disponible en https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/116633/Brice%c3%b1o_TDP-Torpoco_TGD-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bueno Vizcarra, V. Y., & Garcia Aparicio, Y. G. (2022). Aprovechamiento de los residuos de pescado para la elaboración de fertilizantes. Revisión sistemática 2022. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91428>
- Carvalho, A., & Ciri3n, E. (2022). Compostaje y biodigestores como soluci3n al problema de los residuos org3nicos en el medio rural. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 990-1013. Disponible en <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/2641>
- Casallas Daniel, O., & Vera Rada, O. H. (2021). *Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de una empresa dedicada a la fabricaci3n de fertilizantes y plaguicidas, a base de residuos org3nicos del cultivo de pl3tano en el Municipio de Ortega Tolima* (Doctoral dissertation, Corporaci3n Universitaria Minuto de Dios). Disponible en <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/13830>
- Chakravarty, I., Mandavgane, S. 2020. Valorization of fruit and vegetable waste for biofertilizer and biogas. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpe.13512>
- C3rdova Procel, Juan, Vargas Guambo, Blanca, Naranjo Vargas, Eugenia, & Vega Cort3z, Pa3l. (2022). OBTENCI3N DE COMPOST A PARTIR DE HOJAS DE MORA Y ESTI3RCOL DE CUY. *Perfiles*, 1(28), 29-35. <https://doi.org/10.47187/perf.v1i28.181>
- Cort3s, M. y Serrano, C. (2023). Dise3o de biodigestor casero para producci3n de biog3s y fertilizante. *Revista Multidisciplinaria de Investigaci3n-REMI*, 65-71. Disponible en <https://revistas.ues.edu.sv/index.php/remi/article/view/2748/3100>
- Crua3ez, M. J., & Barlatey, M. A. (2020). Estimaci3n del potencial de biog3s a partir de tambos en la provincia de Entre R3os con destino al autoconsumo. *OPTIMIZACI3N DE LOS PROCESOS DE EXTRACCI3N DE BIOMASA S3LIDA PARA USO ENERG3TICO*,

217. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/B-Velazquez-Marti/publication/357872051_Cuadernos_Red_Iberomasa_2020/links/61e4873870db8b034c9d761d/Cuadernos-Red-Iberomasa-2020.pdf#page=224

Enríquez Supanta, F., & Quirita Carrillo, B. Y. (2023). Calidad del biofertilizante obtenido de estiércol de vaca y residuos domésticos de una zona urbana–rural del distrito de Lurín–Lima. Disponible en https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/113351/Enriquez_SF-Quirita_CBY-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Enríquez, A. (2022). Diseño de un bio digestor de excretas animales en la comunidad El Calvario, parroquia Veracruz, cantón Pastaza, Ecuador. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 28-43. Disponible en <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/928/661>

Ferreira, C. J. F. R. J., García, R., Lopes, E. F., de Melo García, J. L., da Costa, M. E. L., Neres, T. C., Borgonovi, T. F. (2023). UMA BREVE REVISÃO: TIPOS DE BIODIGESTORES. *Simpósio InterAgro*, 1(1), 49-52. Disponible en <http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/handle/123456789/16054>

Fiallos Velasco, P. J. (2022). *“Generación de biogás en el grupo avícola San Vicente de la ciudad de Riobamba en el año 2021, a partir de las excretas de las aves de corral. Propuesta de diseño de un biodigestor”* (Master's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)). Disponible en <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9082>

Florez-Jalixto, M., Roldán-Acero, D., Omote-Sibina, J. R., & Molleda-Ordoñez, A. (2021). Biofertilizantes y bioestimulantes para uso agrícola y acuícola: Bioprocesos aplicados a subproductos orgánicos de la industria pesquera. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 635-651. Epub 00 de octubre de 2021. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.067>

González, E. T., & Jurado, P. C. (2017). Sustratos y producción de biogás en biodigestores. Una revisión sistemática. *Ingeciencia*, 2(1), 44-64. Disponible en https://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2352

- González, M. E., Hernández, F., & Percovich, A. 2022. Evaluación Del Impacto De La Reactivación Del Biodigestor De La Escuela Agraria De Durazno Sobre Los Aspectos Económico/Productivos, Ambientales Y Sociales. Disponible en <https://alejandria.edu.uy/wp-content/uploads/2022/12/Reactivacion-Biodigestor-en-Escuela-Agraria-Durazno.pdf>
- González-Márquez, L. C., Félix-Gastélum, R., Sandoval-Romero, J. A., Escobedo-Urías, D. C., & Longoria-Espinoza, R. M. (2021). Caracterización de biofertilizantes utilizados en el valle agrícola de Guasave, Sinaloa, México. *Terra Latinoamericana*, 39. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=
- Granados-Moreno, J. E., Herrera, D. A. A., & Reina, A. M. (2022). Biophysicochemical study of biodigesters fed with pig and bovine manure, in Sumapaz Province, Colombia. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 31(3). Disponible en <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1640>
- Heano Castrillon, E., & Arango Cifuentes, S. (2024). Elaboración de un biofertilizante de uso agrícola aprovechando residuos de coladura de café inoculados con micelium (*mycelium volvariella*) en el huerto de la Universidad Autónoma de Occidente. Disponible en <https://red.uao.edu.co/entities/publication/8d9b32ba-cf0e-4a6a-816b-bc6c8332641c>
- Hernández Ramos, J. R. (2021). Biodigestor en la propagación de microorganismos eficientes para la degradación de residuos orgánicos domiciliarios en la obtención de abono orgánico Ocucaje-Ica 2020. Disponible en https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/63466/Hernandez_RJR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Huerta de la Peña, A., García, F., Villarreal, L., Salazar, J. (2019). Agricultura sostenible “Por la tierra, por la vida”. ISBN: 978-607-715-390-0. Disponible en https://www.academia.edu/41010698/Libro_SOMAS
- Infante, Y. (2021). CARACTERIZACIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE ELABORADO A BASE DE MICROORGANISMOS DE MONTAÑA EN ACTEAL, CHENALHO,

- CHIAPAS (Doctoral dissertation, INSTITUTO DE BIOCIENCIAS). Disponible en <https://sii.ecosur.mx/Content/ProductosActividades/archivos/52147/textocompleto-29-11-2022-12-23.pdf>
- Kah, M., Tufenkji, N. & White, J.C. (2019). Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. *Nat. Nanotechnol.* 14, 532–540. Disponible en <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0439-5>
- Kapoor, R., Ghosh, P., Kumar, M., Sengupta, S., Gupta, A., Kumar, S., Vijay, V., Kumar, V., Kumar V., Pant, D. 2020. Valorization of agricultural waste for biogas based circular economy in India: A research outlook, *Bioresource Technology*, Volume 304, 123036, ISSN 0960-8524. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852420303059?via%3Dihub>
- Maçik, M., Gryta, A., Fraç, M. 2020. Chapter Two - Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms, Editor(s): Donald L. Sparks, *Advances in Agronomy*, Academic Press, Volume 162, Pages 31-87, ISSN 0065-2113, ISBN 9780128207673. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211320300274?via%3Dihub>
- Marín, D. J. (2019). Impacto del uso de biofertilizantes a base de residuos orgánicos en los suelos. *Conciencia Tecnológica*, (58), 47-50. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7253417>
- Martí Herrero, J. E. (2019). Experiencias Latino Americanas en la democratización de los biodigestores: Aportes a Ecuador. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/334431607_Experiencias_Latinoamericanas_en_la_democratizacion_de_los_biodigestores_Aportes_a_Ecuador
- Mata Navarrete, C. S. (2023). Diseño del proceso industrial para la obtención de un fertilizante líquido orgánico. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/20290/1/96T00899.pdf>

- Ministerio del Ambiente y Desarrollo sostenible. (2023). Biodigestores: los residuos como generadores de energía. Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/interior/ambiente/accion/biodigestores>
- Monguzzi, F. N., Mignone, R., Hernández, J. F., & Dionisi, C. P. (2020). Aprovechamiento de residuos mediante el uso de microorganismo en el proceso de compostaje en la localidad de Unquillo, Córdoba. *Nexo agropecuario*, 8(2), 70-73. Disponible en <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/30859/31700>
- Namay Villanueva, L., Chimoy Gomez, J. G., & Cárdenas Durand, A. G. (2022). METANOGÉNESIS Y BIODIGESTORES. *Recuperado Octubre, 30*. Disponible en <https://acortar.link/PnBP2U>
- Orozco Corral, Alfonso Luis, Valverde Flores, Martha Irene, Martínez Téllez, René, Chávez Bustillos, Carlos, & Benavides Hernández, Ramón. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 441-456. Recuperado en 30 de julio de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000400441&lng=es&tlng=es.
- Osorio-Reyes, J.G.; Valenzuela-Amaro, H.M.; Pizaña-Aranda, J.J.P.; Ramírez-Gamboa, D.; Meléndez-Sánchez, E.R.; López-Arellanes, M.E.; Castañeda-Antonio, M.D.; Coronado-Apodaca, K.G.; Gomes Araújo, R.; Sosa-Hernández, J.E. (2023). Microalgae-Based Biotechnology as Alternative Biofertilizers for Soil Enhancement and Carbon Footprint Reduction: Advantages and Implications. *Mar. Drugs*, 21, 93. Disponible en <https://www.mdpi.com/1660-3397/21/2/93>
- Poggio, D., Ferrer Martí, I., Batet Miracle, L., & Velo García, E. (2018). Adaptación de biodigestores tubulares de plástico a climas fríos. *Livestock research for rural development*, 21(9), 1-14. Disponible en <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/7989/2575167.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rada, P., Ariza, H., Barrios, I., Tovar, C., López, I. 2017. Aprovechamiento del raquis del

banano y otros residuos biodegradables como fertilizantes orgánicos en el cultivo de esta fruta. Disponible en http://app.infotepvlg.edu.co/cienaga/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_524.pdf

Ramírez, Luis Arturo Gil, Cabrera, Frans Allinson Leiva, Escobedo, Martha Karina Lezama, Vásquez, Cecilia Betzabet Bardales, & Torres, Carlos Alberto León. (2023). Biofertilizante “biol”: caracterización física, química y microbiológica. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(20), 336-345. Epub 20 de mayo de 2023. Disponible en <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219>

Ramos, L. (2016). Caracterización físico-química del biofertilizante Microorganismos de Montaña (MM) para la Finca Agroecológica Santa Inés, Zamorano, Honduras. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/28c5819a-545c-4112-90cd-7edf2e920727/content>

Rodríguez, V., & López, G. (2020). Basura Cero. Gestión de residuos sólidos urbanos en México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas: RICSH*, 9(18), 130-150. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7734665>

Rostagno, M. N, Castignani, M. I, Mansilla, M, Rossler, N, & Osan, O. (2020). Evaluación económica y financiera de la implementación de un biodigestor en un tambo de la cuenca lechera Santafesina. *Fave. Sección ciencias agrarias*, 19(1), 67-79. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1666-77192020000100006&lng=es&tlng=es.

Salas, V. (2023). Elaboración de abono liquido (biol) mediante biodigestor a partir de vísceras de pollo y pescado de la zona metropolitana de Huánuco, Huánuco 2022. Disponible en <http://distancia.udh.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14257/4484/Salas%20Rojas%2c%20Lhynn%20Virginia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez Rodrigo, S. (2022). Estudio energético y de viabilidad económica de una planta de biometano en la comunidad autónoma de Cantabria. Disponible en

<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/25418>

Tarrillo Jara, M. M. (2020). Obtención de biofertilizante a partir de desechos orgánicos domésticos en el distrito de Querocoto. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/50745>

Torregiani, I. M. (2021). *Implementación de un biodigestor para el aprovechamiento de los residuos orgánicos en una granja avícola. Caso: Avícola Monte Buey, Córdoba, Argentina* (Bachelor's thesis). Disponible en https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/547388/Implementaci%c3%b3n%20de%20un%20biodigestor%20para%20el%20aprovechamiento%20de%20%20los%20residuos%20org%c3%a1nicos%20en%20una%20granja%20avicola_Torregiani.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Torres, N., Otero Meza, D. D., Salcedo Mendoza, J., & Hernández Ruydiaz, J. E. (2023). Valorización de residuos orgánicos para producir biofertilizantes: revisión bibliométrica de tendencias y avances. Disponible en <https://repositorio.cecar.edu.co/handle/cecar/10000>

Tovar, R. N. E. (2022). Ecofertilización: episteme transdisciplinaria para la transformación en fertilizantes desechos orgánicos de los mataderos: ecofertilization: transdisciplinary episteme for transforming organic waste from slaughterhouses into fertilizers. *Revista Transdisciplinaria del Saber*, 4. Disponible en <http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/rtsa/article/view/1889/1677>

Vega C., Lili T., Vega C., Daniel A., & Poveda A., Fernando A. (2020). Evaluación de un digestado como fertilizante orgánico. *Idesia (Arica)*, 38(3), 87-96. Disponible en <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000300087>

Zárate, R., de la Cruz, A. F. C., Rojas, R. C. A., Huincho, E. Q., & Rocio, M. (2022). Producción de Biofertilizante Líquido Acelerado. Disponible en <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-midagri-pe-20.500.13036-1275/Description>

4.2. Anexos

Figura 1.

Modelo de biodigestor de residuos orgánicos



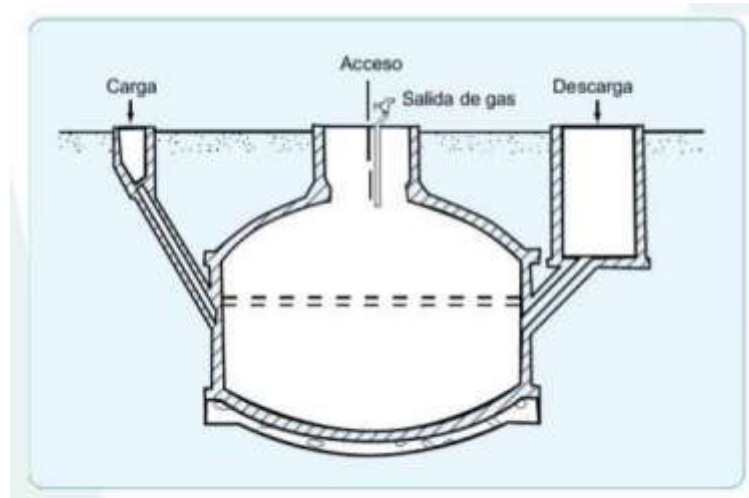
Nota: La fotografía represente el modelo de un biodigestor para degradación de residuos orgánicos para obtener biofertilizantes (Hernández, 2021).

Figura 2.

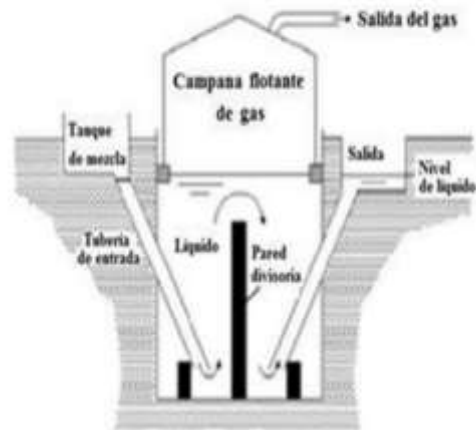
Extrusor para el filtrado del abono orgánico.



Nota: Equipos básicos para la producción biofertilizante (Zárte, *et al.*, 2022).

Figura 3.*Biodigestor chino*

Nota: el gobierno chino adaptó esta tecnología a sus propias necesidades, ya que China tenía un gran problema sanitario (Ferreira *et al.* 2023).

Figura 4.*Biodigestor hindú*

Nota: El biodigestor hindú fue desarrollado en la India después de la segunda guerra mundial en los años 50, surgió por necesidad ya que los campesinos necesitaban combustible para los tractores y calefacción para sus hogares (Namay *et al.* 2022).

Figura 5.*Biodigestor de PVC*

Nota: Son provistos de doble salida, para el sobrenadante y los sólidos sedimentados (Poggio *et al.* 2018).