	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 12 de 62

Carlos Felipe Bosa Ochoa

Codirector

Javier Eduardo Cortés Cortés

Universidad de Cundinamarca - Seccional Ubaté

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Programa de Zootecnia

2023

Caracterización fisicoquímica de los efluentes obtenidos de un biodigestor alimentado con excretas porcinas en la Unidad Agroambiental el Tíbar, Ubaté, Cundinamarca.

Autoras

Ingrid Dayana Maldonado Rincón

Andrea Julieth Rodríguez Jiménez

Título


Zootecnista

Director

Carlos Felipe Bosa Ochoa

Codirector

Javier Eduardo Cortés Cortés

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 13 de 62

Universidad de Cundinamarca - Seccional Ubaté

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Programa de Zootecnia

2023

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios primeramente por permitirnos seguir siempre adelante sin rendirnos ante las adversidades que se presentaron, dándonos la fortaleza y el entendimiento para poder culminar y cumplir nuestros objetivos.

A nuestros padres por su gran apoyo, confianza, acompañamiento y seguridad en los momentos más duros, para continuar.

A la Universidad de Cundinamarca, Seccional Ubaté, a los docentes que hicieron parte de este proyecto logrando que fuera una realidad.


A nuestro director y codirector por su incondicional apoyo en cada etapa del proyecto, sin su colaboración no habría sido posible llegar a este punto.

A los jurados que estuvieron a cargo del seguimiento y desarrollo del proyecto, dándonos las herramientas para poder culminarlo.

A nuestras mascotas que hoy en día hacen parte fundamental de nuestro desarrollo como seres humanos, que nos acompañaron sin premura, en las largas jornadas nocturnas de lectura y escritura.

A familiares y amigos que nos aportaron un granito de arena para que pudiésemos alcanzar nuestra meta.

Gracias.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 14 de 62

La constancia es la virtud,
por la que todas las cosas,
dan su fruto.
Arturo Graf

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 15 de 62

Nota de aprobado

Director

Jurado

Jurado

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS..... 13

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 16 de 62

Resumen	11
Palabras clave.	21
Abstract.....	21
Keywords.....	22
INTRODUCCIÓN.....	22
OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	23
General:	23
Específicos:.....	24
MARCO DE REFERENCIA	24
Marco teórico.....	24
Los Biodigestores	25
Modo discontinuo o batch.	25
Modo semicontinuo o fed-batch.....	25
Modo continuo.....	26
Biodigestor domo fijo.....	26
Biodigestor domo flotante.	26
Biodigestor Tubular (Polietileno).....	27
Proceso de funcionamiento.....	28
Digestión Anaeróbica	28
Procesos	29
Hidrólisis:	29
Acidogénesis:	29

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 17 de 62

Acetogénesis:.....	29
Metanogénesis:	29
MARCO CONCEPTUAL	29
DISEÑO METODOLÓGICO	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
Temperatura ambiental del biodigestor.	34
Humedad ambiental del biodigestor.	31
Evaluación de los parámetros físicos y químicos de afluentes y efluentes. .	32
Variables.....	38
Temperatura del biol (T).....	38
PH.....	39
Conductividad Eléctrica (CE):.....	40
Demanda química de oxígeno (DQO)	41
Carbono orgánico (CO)	42
Sólidos Totales (TDS)	43
Determinación de calcio (Ca).....	44
Cuantificación de magnesio (MG):	45
Fósforo.....	40
Nitrógeno Amoniacal	41
Análisis de correlación multivariada.	49
CONCLUSIONES.....	52
RECOMENDACIONES	52

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 18 de 62

BIBLIOGRAFÍA 53

Anexos 50

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos de la temperatura ambiental del biodigestor. 34

Tabla 2. Humedad ambiental del biodigestor. 30

Tabla 3. Valores promedio y desviación estándar de parámetros físico y químicos evaluados del afluente y efluentes de un biodigestor anaerobio.. 37

Tabla 4. Análisis de datos obtenidos mediante análisis de correlación multivariado. **¡Error!**

Marcador no definido.

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de domo fijo. Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en ganaderos y lecheros, por Pérez. 2010. Universidad de Chile. 26

Figura 2. Esquema biodigestor de domo flotante. Fuente. Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en ganaderos y lecheros, por Pérez. 2010. Universidad de Chile. 27

Figura 3. Biodigestor de estructura Tubular (Polietileno). Fuente: Elaboración de un biodigestor piloto tubular para el manejo de estiércol porcino, en una de las viviendas de la asociación agropecuaria los Lúcumos de Pachacamac por Yauyo. 2016..... 27

Figura 4. Mediciones de campo, de Temperatura, pH y Humedad (A. Biodigestor B. Análisis de muestreo, C. Toma de datos, D. Toma de humedad, E. Toma de pH, F. Toma de temperatura, G. Comportamiento de gas, H. Discusión de datos y I. Muestra de efluente.. 31

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 19 de 62

Figura 5. Mediciones químicas, A. Triplicados de muestra, B. Filtración y preparación para espectrofotometría, C. Pesaje de reactivo, D. Conductividad eléctrica, E. preparación de muestras para análisis de Fósforo, F. Prueba de pH, G. Titulación H. Preparación de ácido base y I. Preparación de rojo metilo. 33

Figura 6. Comportamiento en la temperatura externa promedio °C del biodigestor en la Unidad Agroambiental el Tíbar. 39

Figura 7 Comportamiento de los valores promedio de pH del biodigestor ubicado en la Unidad Agroambiental El Tíbar. 39

Figura 8. Comportamiento de la conductividad eléctrica en Efluentes de un biodigestor en clima frío de la Unidad Agroambiental El Tíbar. 41

Figura 9. Comportamiento de la Demanda química de oxígeno de un biodigestor de clima frío en la Unidad Agroambiental el Tíbar. 42

Figura 10. Comportamiento del Carbono orgánico a partir del biodigestor en clima frío de la Unidad Agroambiental el Tíbar. 43

Figura 11. Comportamiento de los sólidos totales a partir del biodigestor de clima frío en la Unidad Agroambiental Tíbar. 44

Figura 12. Determinación en calcio a partir del biodigestor ubicado en la Unidad Agroambiental el Tíbar. 39

Figura 13. Comportamiento sobre la cuantificación de magnesio a partir de un biodigestor alimentado con excretas porcinas en la Unidad Agroambiental Tíbar. 46

Figura 14. Determinación de longitud de onda en fósforo a partir de efluentes de un biodigestor de la Unidad Agroambiental el Tíbar. 47

Figura 15. Nitrógeno Amoniacal a partir del biodigestor de clima frío ubicado en la Unidad Agroambiental Tíbar g /100 g 48

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 20 de 62


Resumen

La porcicultura es uno de los sectores más productivos de la economía colombiana, pero enfrenta desafíos en sus procesos sanitarios y de calidad, debido al impacto ambiental generado por el manejo inadecuado de las excretas frescas conocidas como porquinaza, que contaminan los cuerpos de agua, suelos y aire.

El objetivo de esta investigación fue caracterizar los parámetros físicos y químicos de muestras procedentes de un biodigestor alimentado con excretas porcinas. El experimento fue llevado a cabo en la Unidad Agroambiental el Tíbar (UAT) de la Universidad de Cundinamarca, ubicada en la Villa de San Diego Ubaté, donde se busca continuamente el desarrollo sostenible de las producciones animales, en procesos amigables con la función ecológica del territorio. En la UAT se instaló el biodigestor, que fue alimentado con excretas porcinas, para generar nuevos subproductos como bioles (biofertilizantes líquidos), para mejorar suelos y fertilizar cultivos, generando de manera directa un ciclo cerrado. Estos subproductos se obtienen de diferentes procesos, no afectan la salud humana, ni alteran los ecosistemas. Es importante resaltar que este biodigestor hizo parte de un proyecto financiado por MinCiencias, integrado por el Grupo Sistemas de Producción Sostenible /Sustentable (SISPROS) de Zootecnia Fusagasugá, y el Grupo de Investigación de Zootecnia Ubaté (GIZU).

La implementación del biodigestor comprendió su adaptación a las condiciones de clima frío, para ello fue cubierto externamente por un invernadero, para facilitar el proceso de fermentación llevado a cabo por los microorganismos. Su funcionamiento comprende unas condiciones adecuadas de temperatura, presión interna del gas, nivel de acidez generado, entre otros. Durante nueve semanas, se tomó una muestra del efluente cada siete días, se evaluaron los siguientes parámetros: pH, temperatura, humedad, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), demanda química de oxígeno (DQO), Fósforo, Calcio (Ca), Nitrógeno amoniacal (NH₃) y Magnesio (Mg).

Los parámetros más relevantes fueron: pH, con valores de 7,3 a 7,4 en un rango neutro, y Temperaturas del biol del biodigestor, con valores de 8 a 17,4 °C. Así mismo, del análisis de correlación ($\alpha=0.05$), las variables

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 21 de 62

relacionadas más significativas con valores cercanos a 1 fueron: conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos (correlación de 0,944); carbono orgánico y temperatura (0.676); y fósforo con magnesio (0.664), en comparación con las demás variables evaluadas, que presentaron valores de correlación más bajos.


Para la prueba de Anova ($\alpha=0.05$), los parámetros de demanda química de oxígeno y Calcio no presentaron diferencias estadísticas ($p= 0.094$, $p= 0.482$) respectivamente, en relación con las demás variables que sí presentaron diferencias. Esta información relevante de la mano con las condiciones climáticas externas, y la actividad de los microorganismos, hacen posible el proceso de funcionamiento del biodigestor.

Palabras clave: Biodigestor, Biol, Microorganismos, Parámetros, Afluentes, Efluentes

Abstract

Pig farming is one of the most productive sectors of the Colombian economy, but it faces challenges in its sanitary and quality processes, due to the environmental impact generated by the inadequate management of fresh excreta known as swine manure, which contaminates bodies of water, soil and air.

The objective of this research was to characterize the physical and chemical parameters in relation to the operation of a biodigester fed with swine excreta. The experiment was carried out at the Tíbar Agro-environmental Unit (UAT) of the University of Cundinamarca, located in the village of San Diego de Ubaté, where the sustainable development of animal production is continuously sought, and friendly with the ecological function of the territory. A biodigester prototype was installed at the UAT, which was fed with swine excreta to generate new by-products such as biols (liquid biofertilizers), with the purpose of improving soils and fertilizing crops, directly generating a closed cycle. These by-products are obtained from different processes that do not affect human health or alter ecosystems. It is important to highlight that this biodigester is part of a project financed by MinCiencias, integrated by the Sustainable Production Systems Group (SISPROS) of Zootecnia Fusagasugá, and the research group of Zootecnia Ubaté (GIZU).

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 22 de 62

The implementation of the prototype included its adaptation in cold climate conditions, and covered externally by a greenhouse, to facilitate the fermentation process carried out by the microorganisms. Its operation includes suitable conditions of temperature, internal gas pressure, level of acidity generated, among others. The following parameters were evaluated from samples taken from the biodigester: pH, Temperature, Humidity, electrical Conductivity (EC), total dissolved Solids (TDS), chemical oxygen Demand (COD), phosphorus (P), Calcium (Ca), ammonia Nitrogen (NH₃) and Magnesium (Mg).

The most relevant parameters were: pH, with values from 7,3 to 7.4 in a neutral range, biodigester the biol temperatures, with values from 8 to 17.4 °C, where the microorganisms were not affected. Likewise, from the correlation analysis ($\alpha=0.05$), the most significant related variables with values close to 1 were: electrical conductivity and total dissolved solids (0,944); organic carbon and temperature (0.676); and phosphorus with magnesium (0.664), compared to the other variables evaluated, which presented lower correlation values. For the Anova test ($\alpha=0.05$), the chemical oxygen parameter with a *p* value of 0.094 was the only parameter that did not present significant differences, in relation to the other variables that did present differences. This relevant information, together with the climatic conditions of the biodigester and the activity of the microorganisms, make possible the functioning work inside the biodigester.

Keywords: Biodigester, Biol, Microorganisms, Parameters, Afluents, Efluents.

INTRODUCCIÓN

Mundialmente, las producciones animales generan una gran cantidad de residuos orgánicos, lo que se ha convertido en una problemática, debido a las afectaciones directas que ocurren en los ecosistemas, especialmente para la flora, fauna y fuentes hídricas. Esta contaminación se debe principalmente a un mal manejo de excretas que ocasionan empozamiento de aguas residuales, sobreacumulación de materia orgánica, deterioro de suelos, contaminación de aguas residuales y superficiales por escurrimiento. Adicionalmente, se acumulan compuestos orgánicos altos en Nitrógeno, Fósforo, Potasio, que generan malos olores, favoreciendo así la proliferación de plagas. Por tal motivo, los biodigestores se han utilizado como una alternativa de tratamiento de residuos para ayudar a solventar esta problemática.

La importancia de un biodigester es de carácter ecológico que, a través de la implementación, contribuye a la reducción de los problemas de contaminación de aguas residuales por excretas porcinas, logrando de esa forma, mantener un equilibrio ambiental y mejorar la estructura del suelo (Sánchez 2020). Un biodigester busca aprovechar los desechos de los animales, principalmente, generando una digestión anaeróbica de las bacterias mediante un proceso biológico de manera sustentable para convertirlo en biogás, fertilizantes y abonos, logrando así la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, disminución de uso de combustibles

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 23 de 62

fósiles, reducción de la contaminación de aguas y eliminación de vectores transmisores de enfermedades (Fideicomiso 2017).

La velocidad del proceso de digestión y el grado de conversión de biomasa en biogás (producción específica de metano) dependen directamente de la temperatura, puesto que la tasa de crecimiento de las bacterias se incrementa con la misma. Así, en el óptimo de temperatura mesofílica entre 32° y 38 °C el proceso de digestión es más rápido que en el rango psicofílico (< 25 °C). Al mismo tiempo, la producción de metano depende de otros parámetros, incluyendo: tipo, cantidad de inóculo, composición, características del sustrato, retención y adaptación de la biomasa bacteriana, y periodicidad de la variación de la temperatura, inclusive se han visto diferencias significativas de estas variables entre condiciones de clima frío y cálido (Poggio et al., 2009).

A pesar de todo ello, la utilización de digestores rurales en climas más fríos, o en zonas montañosas, ha tenido menos éxito a causa de la relación desfavorable entre la temperatura y la velocidad del proceso anaeróbico. Recientemente, se han llevado a cabo experiencias exitosas en este sentido tanto en zonas rurales como periurbanas (Poggio et al., 2009).

Los biodigestores favorecen a las comunidades rurales generando biogás para reemplazar el uso de estufas de carbón y madera que genera afectaciones respiratorias, en contraparte, el uso de gas natural requiere de mantenimientos, que en general tienen costos elevados que incrementan anualmente.

Los biodigestores implementados en el trópico alto son importantes en zonas como el municipio de Ubaté, ya que la región se caracteriza por depender económicamente de la producción bovina especializada de leche y empresas porcinas de pequeña escala, por tanto, implementar este tipo de ideas ayudan a mejorar el aprovechamiento de excretas, ya que son usados como abono en pasturas, lo que aporta a disminuir el uso de fertilizantes químicos.

La razón de haber realizado la investigación acerca de la caracterización de los efluentes y afluente procedentes del biodigestor en la UAT; para aprovechar las excretas provenientes de la producción del sistema porcino, así como la disminución de residuos contaminantes que se puedan generar, lo que beneficiaría también al sistema en cuanto a sistemas de calefacción y cocción necesarios en la UAT, e implementación del biol en pasturas. De acuerdo con la investigación se observó que los parámetros fisicoquímicos evaluados son limitados.

OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

General:

Caracterizar parámetros físicos y químicos de muestras de un biodigestor alimentado con excretas porcinas en la Unidad Agroambiental El Tíbar del municipio de Ubaté.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 24 de 62

Específicos:

1. Establecer la medición de los parámetros químicos y físicos de efluentes obtenidos a partir del biodigestor en clima frío.
2. Analizar los parámetros químicos y físicos de efluentes obtenidos del biodigestor en clima frío.

MARCO DE REFERENCIA

Marco teórico.

En la actualidad debido al cambio climático se han buscado alternativas renovables que ayuden a contrarrestar el impacto negativo medio ambiental que ha generado la humanidad, debido al desarrollo de actividades no amigables con los ecosistemas como lo son las producciones animales en cuanto a los desechos orgánicos. Una de las alternativas es la implementación de biodigestores, que funcionan a partir de la fermentación anaeróbica de las excretas, lo que da como resultado gas, energía y fertilizante orgánico como lo es el biol. Según ICA (2023), se describe la existencia de diferentes tipos de producción porcina a saber: traspatio, comercial, familiar, comercial industrial y producción tecnificada. A su vez, estas se pueden desarrollar en las siguientes categorías: hembras de cría, hembras de reemplazo, machos reproductores, y una categoría que agrupa los porcinos de levante y ceba. Para el municipio de la Villa de San Diego Ubaté el número total de animales específicos identificados por el ICA es de un total de 3.685 con un total de 195 predios porcícolas según la tabla de población reportada dedicados a la porcicultura.

Según Piñeiro & Montalvo (2015), en comparación con los datos anteriormente mencionados y este año que se realizó este estudio en Colombia habían cerca de 14.000 granjas porcícolas con capacidad para la cría de 1,7 millones de cerdos, de las cuales solo 3.838 se consideran granjas tecnificadas. De acuerdo con Gebauer., (2020), en Colombia no existe un dato exacto de cuántos biodigestores hay, sin embargo, para el año 2007 se llegó a tener un estimado no oficial de 5500 a 5700 unidades de biodigestores.

Según ICA, (2023), 9.658.204 total de animales censados de los cuales el 89,5% son animales de predios de producción comercial y tecnificada, y el restante 10,5% son animales de traspatio. El 64,3% del total de la población porcina del país se concentra en seis departamentos, Antioquia (26,6%), Valle del Cauca (14,7%), Meta (8,7%), Cundinamarca (7,3%) y Córdoba (7,0%).

En Colombia, la implementación y el uso de biodigestores no surgió como respuesta a las necesidades energéticas, como sí ocurrió en el continente asiático, sino para resolver problemas relacionados con el manejo de aguas residuales, estiércol y malos olores (Gebauer., 2020).

Sin embargo, en algunos sectores, se han encontrado problemáticas y dificultades que los pequeños productores y campesinos colombianos han tenido en la implementación de plantas de biodigestión. La falta de información y conocimiento para un adecuado dimensionamiento, montaje, mantenimiento y operación ha

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 25 de 62

sido hasta ahora una de las razones por las cuales la mayoría de los biodigestores instalados no funcionan y/o presentan múltiples fallas durante su operación (Gebauer., 2020).

Es de resaltar que el suelo es una mezcla heterogénea constituida por componentes orgánicos e inorgánicos, presentes en fases líquida, sólida y gaseosa, dichos componentes están permanentemente en bioactividad para generar características fisicoquímicas y bioquímicas específicas, lo cual determina su utilización en el sector agrícola y pecuario. Así mismo, la dinámica de los procesos bioquímicos en el suelo está relacionada con la presencia de microorganismos, los cuales, a través de reacciones bioquímicas enzimáticas (RBE) dadas en su metabolismo, se encargan de generar humus y ácidos húmicos, que son constituyentes básicos de la materia orgánica (Granados, 2019).

Los Biodigestores

Un biodigestor es una planta productora de biogás, biol y bioabonos, donde se realiza un proceso anaeróbico de descomposición (proceso de fermentación anaeróbica). La materia prima está constituida por materia orgánica, como desechos agrícolas, residuos animales, residuos humanos (Yauyo, 2016). Formado por un tanque cerrado que puede ser cilíndrico, rectangular, esférico o semiesférico, donde los residuos orgánicos mezclados con agua permanecen dentro del contenedor da un periodo de tiempo determinado para lograr la digestión anaerobia que da como resultado biogás, así como la contribución al medio ambiente ya que se disminuyen los residuos y de igual forma la carga contaminante; además, se genera el efluente que sirve como abono para cultivos (Mariño et al., 2021).

El proceso de biodigestión se da porque en las excretas existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos (desarrollo en ausencia de oxígeno), que en las excretas al actúa sobre el material orgánico lo transforman en biogás y fertilizante. El biogás es un excelente combustible y puede ser empleado en las cocinas, calefacción o iluminación, así como también produce biol siendo un fertilizante (Yauyo, 2016).

Tipos de biodigestores: Los modelos más usados o que más se han difundido son los de Carga, ya que se caracterizan principalmente por la forma en que el sustrato alimenta al tanque:

Modo discontinuo o batch. El crecimiento de microorganismos en batch se refiere a que las células se cultivan en un recipiente con una concentración inicial, sin que esta sea alterada por nutrientes adicionales o el lavado, por lo que el volumen permanece constante y sólo las condiciones ambientales del medio (pH, temperatura, velocidad de agitación, etc.) son controladas por el operador. El proceso finaliza cuando todo el sustrato es consumido por la biomasa. Esta forma de cultivo es simple y se utiliza extensamente tanto en laboratorio como a escala industrial (Yauyo, 2016).

Modo semicontinuo o fed-batch. En un cultivo semicontinuo o fed-batch, los nutrientes son alimentados al biorreactor de forma continua o semicontinua, mientras que no hay efluente en el sistema. Según la operación, la adición intermitente del sustrato mejora la productividad de la fermentación

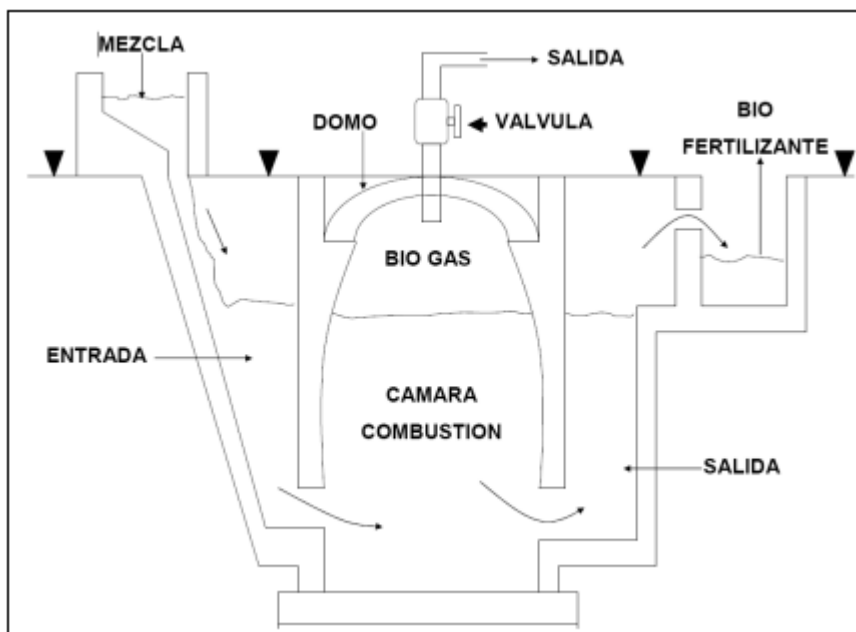
	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 26 de 62

manteniendo baja la concentración del sustrato. Un proceso de este tipo está restringido por la capacidad volumétrica del reactor (Yauyo, 2016).

Modo continuo. Un cultivo continuo consiste en alimentar nutrientes y retirar productos continuamente de un biodigestor. Bajo ciertas condiciones el cultivo puede alcanzar un estado estacionario, donde no existe variación con el tiempo del volumen del biodigestor. De esta manera se puede utilizar para producir sustancias biológicas a condiciones óptimas y para estudios fisiológicos (Yauyo, 2016).

Biodigestor domo fijo. Este reactor consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y los fondos son hemisféricos y están unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas de mortero para hacerlo firme. Su peculiaridad es la cúpula fija en la parte superior. Esta inmovilidad hace que la presión del gas en el interior varíe, en función de su producción y consumo (Pérez, 2010).

Figura 1. Esquema de domo fijo. Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en ganaderos y lecheros, por Pérez, 2010. Universidad de Chile.

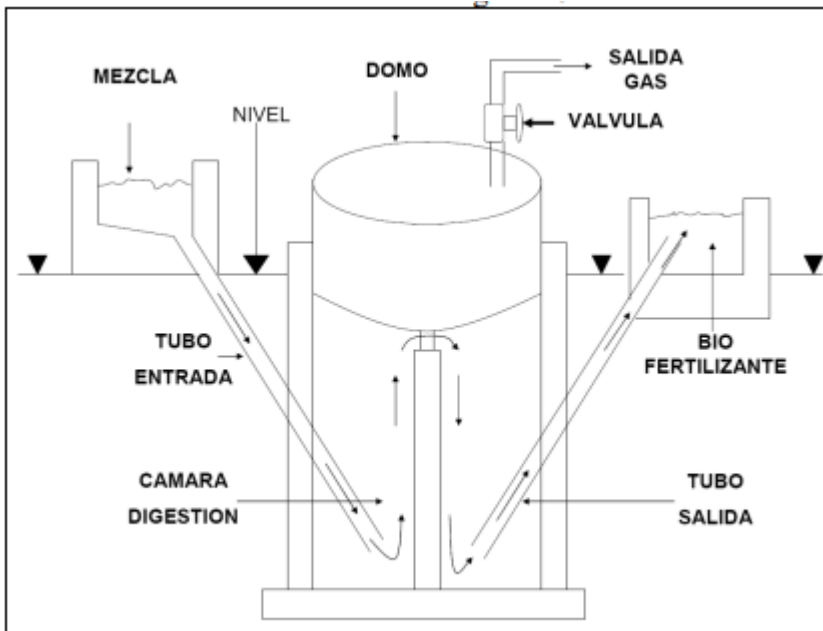


Fuente Pérez (2010)

Biodigestor domo flotante. Son muy parecidos a los anteriores, excepto por el hecho de que en los domo flotante la cúpula es flotante, es decir que sube o baja en función de la presión interna de biogás. El gas se acumula en la campana, haciéndola subir y luego vuelve a bajar cuando se extrae el gas a través de un tubo instalado en la misma. Para evitar que la campana se ladee, se construye un soporte de hierro como guía. Pérez, 2010).

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 27 de 62

Figura 2. Esquema biodigestor de domo flotante. Fuente. Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en ganaderos y lecheros, por Pérez. 2010. Universidad de Chile.

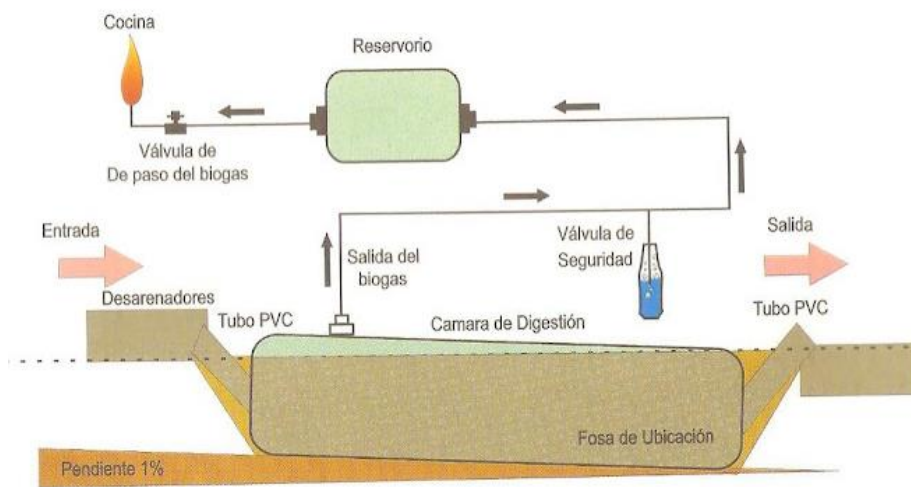


Fuente Pérez (2010)

Biodigestor Tubular (Polietileno). Estos biodigestores consisten en una manga de plástico a la que se le instalan unos tubos en los extremos que hacen las veces de tubos de entrada y salida. Este tipo de biodigestor es mucho más barato que los anteriores, pero con una vida más corta, debido a la menor durabilidad de sus materiales. (Yauyo, 2016)

Figura 3. Biodigestor de estructura Tubular (Polietileno). Fuente: Elaboración de un biodigestor piloto tubular para el manejo de estiércol porcino, en una de las viviendas de la asociación agropecuaria los Lúcumos de Pachacamac por Yauyo. 2016.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 28 de 62



Fuente: Yauyo (2016).

Proceso de funcionamiento

Los microorganismos aerobios transforman materia orgánica en biomasa celular, con tasas superiores a los anaerobios, y en compuestos oxidados, siguiendo reacciones exotérmicas que producen un incremento de la temperatura del medio y la consecución de otros procesos. El proceso catalizado por estos microorganismos en condiciones controladas recibe el nombre de compostaje y, a pesar de que no ha sido considerado como un sistema de valorización energética, tiene lugar gracias a la transformación de la energía contenida en la materia orgánica, para dar lugar a compuestos finales de utilidad agronómica. Por tanto, tiene un interés indudable desde el punto de vista de la gestión de residuos orgánicos. Los dos procesos, por separado o combinados, son conservativos para los nutrientes, estos se mantienen en el sistema cambiando tan solo su estado de oxidación. Por ello, son procesos clave en una estrategia de reciclado de nutrientes (Campos & Flotats, 2016).

Digestión Anaeróbica

En la digestión anaeróbica más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico (Pérez, 2010).

La digestión anaerobia es una degradación microbiológica en ausencia parcial o total de oxígeno, en donde se obtiene como resultado principal el biogás; el cual, es una mezcla gaseosa de metano (50%-70% de la composición), dióxido de carbono (30%-50% de la composición) y de otros componentes como el nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno. Durante la degradación los microorganismos trabajan en serie o grupo para llevar a cabo el proceso de degradación, a través de etapas que desencadenan las etapas como hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Mariño et al., 2021), los cuales se describen a continuación:

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 29 de 62

Procesos

Hidrólisis: Son un conjunto de microorganismos indisolubles hidrolíticos como la celulosa, proteínas y grasas son fragmentados en monómeros por enzimas (hidrolasa), estas enzimas provienen de bacterias de metabolismo anaeróbico y actúan sobre los polímeros orgánicos u otros materiales complejos despolimerizándolos enzimáticamente en los correspondientes monómeros o fragmentos más sencillos (Pérez, 2010).

La hidrólisis de los lípidos, estas moléculas se encuentran constituidas por ácidos grasos unidos a una molécula de glicerol; en este caso la hidrólisis depende de la solubilidad del ácido, que depende a su vez del pH. En la hidrólisis de las proteínas por medio de proteasas, se generan como producto proteasas, peptonas, péptidos y aminoácidos; estos aminoácidos al ser degradados dan lugar a productos como los ácidos grasos volátiles, dióxido de Carbono, Hidrógeno, Amonio y Sulfuro (Mariño et al., 2021).

Acidogénesis: La fase acidogénica sirven de sustrato para la formación de otras bacterias, las reacciones de esta etapa son endergónicas (Pérez, 2010). Proceso las moléculas orgánicas solubles pasan por un proceso de fermentación y se generan como productos el acetato, ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono para obtener los productos que se mencionan anteriormente, es necesario que ocurran los procesos de fermentación alcohólica, láctica y acética (Mariño et al., 2021).

Acetogénesis: En esta fase ocurre la oxidación del butirato y propionato con ayuda de los organismos acetógenos que actúan como productores obligados de hidrógeno con el fin de obtener como productos el acetato, el dióxido de carbono y el hidrógeno. (Mariño et al., 2021)

Metanogénesis: Formación del metano que se produce debido a la presencia de microorganismos del dominio Archaea, las especies más comunes en esta etapa son *Methanobacterium sp*, *Methanosarcina* y *Methanothrix* (Mariño et al., 2021).

MARCO CONCEPTUAL

Energía alternativa: La energía alternativa incluye todas las energías que no consumen combustibles fósiles. Están ampliamente disponibles y se desarrollan con el fin de poder cuidar el medio ambiente.

Desarrollo sostenible: Aquél capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 30 de 62

Biodigestor: Un biodigestor es una cámara hermética donde se acumulan residuos orgánicos (vegetales o excremento de los animales) mediante un proceso natural de bacterias (anaeróbicas) presentes en los excrementos que descomponen el material contenido en metano y en fertilizante.

Organismo anaerobio: Se denomina anaerobio al organismo que puede subsistir pese a la falta de oxígeno.

Digestión anaeróbica: proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” (CH₄, CO₂, H₂, H₂S, etc.) y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación.

Hidrólisis: Destrucción, descomposición o alteración de una sustancia química por el agua.

Acidogénesis: Proceso a través del cual las bacterias anaeróbicas producen acetato a partir de diversas fuentes de energía (por ejemplo, hidrógeno) y de carbono (dióxido de carbono). Las diferentes especies bacterianas que son capaces de realizar la acetogénesis se denominan colectivamente acetogénicos.

Metanogénesis: La metanogénesis es el proceso anaeróbico de aceptores en electrones (como el oxígeno, hierro, sulfato, nitrato y manganeso) se reducen, mientras que se acumulan hidrógeno (H₂) y dióxido de carbono.

en que el equivalente de electrón de la materia orgánica se utiliza para reducir el carbono a metano. La formación de metano puede ser biogénica y abiogénica.

Biogás: Combustible generado por la degradación de sustancias orgánicas.

Ecotecnología: Es una ciencia aplicada que integra los campos de estudio de la ecología y la tecnología, usando los principios de la permacultura. Su objetivo es satisfacer las necesidades humanas minimizando el impacto ambiental a través del conocimiento de las estructuras y procesos de los ecosistemas y la sociedad.

Impacto ambiental: “Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza” (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

DISEÑO METODOLÓGICO

El biodigestor se instaló en la Unidad Agroambiental El Tíbar (UAT), ubicada en la vereda Palo Gordo a 4.1 km de la Universidad, por la vía que conduce a Lenguazaque, a una altitud de 2.570 msnm, (latitud 5°19'37.8''N y longitud 73°47'31.2''W). El municipio Villa de San Diego de Ubaté está situado en la parte norte del departamento de Cundinamarca, a una distancia de 97 km de Bogotá.

Las mediciones y muestras tomadas para este estudio se obtuvieron de un biodigestor tubular de carga continua en la UAT, con la finalidad de demostrar su capacidad de funcionamiento en el trópico alto y comparar la similitud de resultados con otros estudios realizados en clima frío. Así mismo, ver qué tan similar puede

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 31 de 62

llegar a ser a un biodigestor de trópico bajo, y comprender la capacidad de procesar diariamente las excretas porcinas (afluente) ingresadas, en comparación al contenido total del mismo; para así lograr un ambiente favorable por medio de las bacterias metanogénicas, en la fermentación anaeróbica en la producción de biol y gas metano a partir de la conversión de sustratos monocarbonados o átomos de carbono unidos por un enlace covalente, como el acetato, H_2 , CO_2 , resultando compuestos químicos como metanol y algunas metilaminas, todo esto obtenido, a partir de las excretas porcícolas generadas en el sistema productivo.

Con el fin de lograr que el biodigestor contará con una simulación climática adecuada para el proceso de fermentación, se adecuó un invernadero a una sola agua, con plástico transparente para evitar cambios bruscos en la temperatura, y garantizar que se conserve más calor sobre el contenedor, en el mayor tiempo posible.

Figura 4. Mediciones de campo, de Temperatura, pH y Humedad (A. Biodigestor, B. Análisis de muestreo, C. Toma de datos, D. Toma de humedad, E. Toma de pH, F. Toma de temperatura, G. Comportamiento de gas, H. Discusión de datos y I. Muestra de efluente. Fuente: Autoras 2023.



A



B



C



	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 32 de 62

D



E



F



G

H

I

Fuente: Autoras 2023.

Para evaluar el funcionamiento del biodigestor, se llevaron a cabo mediciones *in situ* de temperaturas y de humedad del lugar cerca al biodigestor. Dada la disponibilidad de reactivos e insumos necesarios para analizar las muestras, algunos análisis se realizaron en el laboratorio de Química de la Universidad de Cundinamarca en la Seccional Ubaté, otros análisis se realizaron en el laboratorio de Nutrición de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, sede Fusagasugá. Así también, se contó con el apoyo del Laboratorio de nutrición animal de la facultad de medicina veterinaria y zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL). Se realizaron mediciones de parámetros fisicoquímicos a muestras líquidas recolectadas a partir del efluente. Las muestras fueron tomadas una vez por semana en un rango de 2 meses, para una totalidad de nueve muestras, y se tomó una muestra de tres repeticiones del afluente para analizar características de las cuales solo se realizó prueba de Nitrógeno. Se estableció previamente que la cantidad de excretas que se debe suministrar al biodigestor debe tener una relación 1:1 (Agua y Excretas), sin presencia de hojarasca o algún otro tipo de cama o sustrato, que puedan contaminar o alterar los resultados.

Para las diferentes muestras recolectadas del biodigestor se analizaron las siguientes variables: pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, ácidos grasos volátiles, Carbón orgánico, Calcio, Magnesio, Fósforo y Nitrógeno total, siguiendo los procedimientos descritos por Granados (2019).

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 33 de 62

Figura 5. Mediciones químicas, A. Triplicados de muestra, B. Filtración y preparación para espectrofotometría, C. Pesaje de reactivo, D. Conductividad eléctrica, E. preparación de muestras para análisis de Fósforo, F. Prueba de pH, G. Titulación, H. Preparación de ácido base, I. Preparación de rojo metilo. Fuente: Autoras 2023.



A



B



C



D



E



F

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 34 de 62



G



H



I

Fuente: Autoras 2023.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura ambiental del biodigestor.

En la tabla 1 se muestran los datos de la temperatura ambiental cercana al biodigestor, se observa que la semana 1 y 9 presentan las temperaturas más bajas, en comparación, con las semanas 2 hasta la 8 en las cuales no existe mayor variación.

Tabla 1. Datos de la temperatura ambiental del biodigestor. Fuente: Autoras 2023.

Semanas	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Promedio
1	19,1	19,5	19,3	19,7	19,4
2	27,6	25,2	24,4	24,8	25,5
3	25,5	26,4	22,6	27,6	25,5
4	25,5	24,4	24,5	23,2	24,4
5	25,2	25,9	25,9	22,6	24,9
6	27,2	25,8	28,1	27,6	25,7
7	39,9	30,1	26,1	33,3	32,3
8	25,9	26,8	24,7	26,3	25,9

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 35 de 62

9 16,4 17,2 17,5 18 17,3

Humedad ambiental del biodigestor.


En la tabla 2 se muestran los datos de humedad que variaron de acuerdo con las 9 semanas, incrementando la humedad en las últimas semanas.

Tabla 2. Humedad ambiental del biodigestor gr/100. Fuente: Autoras 2023.

Semanas	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Promedio
1	40	34	38	37	37,2
2	42	30	35	32	44,3
3	25	35	27	32	29,7
4	43	38	44	39	41
5	39	41	39	42	40,2
6	31	35	29	34	32,2
7	50	57	59	60	56,5
8	40	67	40	69	54
9	71	60	72	62	66,2

Fuente: Autoras 2023

Los resultados de las variables evaluadas a partir de las muestras fueron analizados mediante estadística descriptiva, además se implementó un análisis de correlación multivariado para establecer las comparaciones entre parejas de variables, y se realizó un análisis de varianza (ANAVA) para cada una de las variables a través de las 9 semanas. Los análisis se realizaron con un nivel de significancia de 0.05.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 36 de 62

Evaluación de los parámetros físicos y químicos de efluentes.

En la Tabla 3 se presentan los datos de los parámetros evaluados, que fueron analizados desde la semana 1 hasta la semana 9 de las muestras de efluentes.


	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 37 de 62

Tabla 3. Valores promedio y desviación estándar de parámetros físico y químicos evaluados del afluyente y efluentes de un biodigestor anaerobio. Fuente: Autoras 2023.

Sem.	pH	T °C	CE	ODS	CO	TDS	Ca	P	N	Mg
1	7,3 ± 0,01	14.8±0.2	0,8 ± 0,12	10.5±3.06	0.37±0.001	37±9.5	1.9±0.1	1.1±0.014	0.08±0.005	2.9±0.04
2	7,3 ± 0,01	17.1 ± 0.4	0.78±0.04	9.9±1.3	0.38±0.01	39.3±2.08	1.9±0.09	0.5±0.0005	0.09±0.001	2.5±0.17
3	7,3 ± 0,0	15.3 ± 0.4	0.71±0.01	12.6±0.8	0.45±0.04	35.6±9.2	1.8±0.02	0.5±0.01	0.10±0.004	2.8±0.08
4	7,4 ± 0,01	13.7 ± 0.4	0.83±0.01	11.1±1.5	0.4±0.06	41.3±0.57	2.72±0.07	0.5±0.02	0.06±0.003	2.7±0.02
5	7.4 ± 0.01	8.8 ± 0.3	0.7±0.006	9.6±1.6	0.3±0.005	39.3±0.5	1.77±0.2	0.79±0.02	0.10±0.06	2.7±0.11
6	7.4 ± 0.01	9.3 ± 0.2	0.83±0.01	8.4±0.17	0.28±0.021	42.0±0.0	2.3±0.3	0.76±0.02	0.06±0.02	3.35±0.05
7	7.3 ± 0.01	8.9±0.4	0.3±0.5	10.7±1.3	0.3±0.020	50.0±1.0	1.8±0.2	0.77±0.009	0.09±0.004	3.02±0.15
8	7.4± 0.01	8.9±0.3	0.86±0.012	9.6±1.03	0.32±0.02	43.3±0.5	1.75±1.1	0.76±0.007	0.09±0.004	2.6±0.1
9	7.3±0.00	8.6±0.4	0.82±0.01	11.8±1.1	0.36±0.036	41.3±0.5	1.9±0.045	0.72±0.02	0.08±0.03	2.8±0.05

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 38 de 62

Fuente: Autoras 2023.

Sem.: semana de muestreo; T: Temperatura (°C); CE: Conductividad eléctrica (mS/cm); ODS: Demanda química de oxígeno (g/dl); CO: Carbono orgánico (ppm); TDS: Sólidos totales disueltos (ppm); Ca: Calcio (mg/kg); P: Fósforo (mg/kg); N: Nitrógeno (gr/100); Mg: Magnesio (mg/kg).

Para cada parámetro por columna se presentan los valores obtenidos desde el más alto hasta el más bajo. A continuación, se describe cada una de las variables evaluadas.

Comparado los estudios de Bautista, Granados y Collahuaso en los cuales se observan parámetros similares al trabajo realizado, en el cual se evidencio que parámetros como la temperatura, pH, Conductividad, Demanda química de Oxígeno, Solidos totales y Magnesio, tienden a tener resultados cercanos a los estudios siendo estables.

Variables

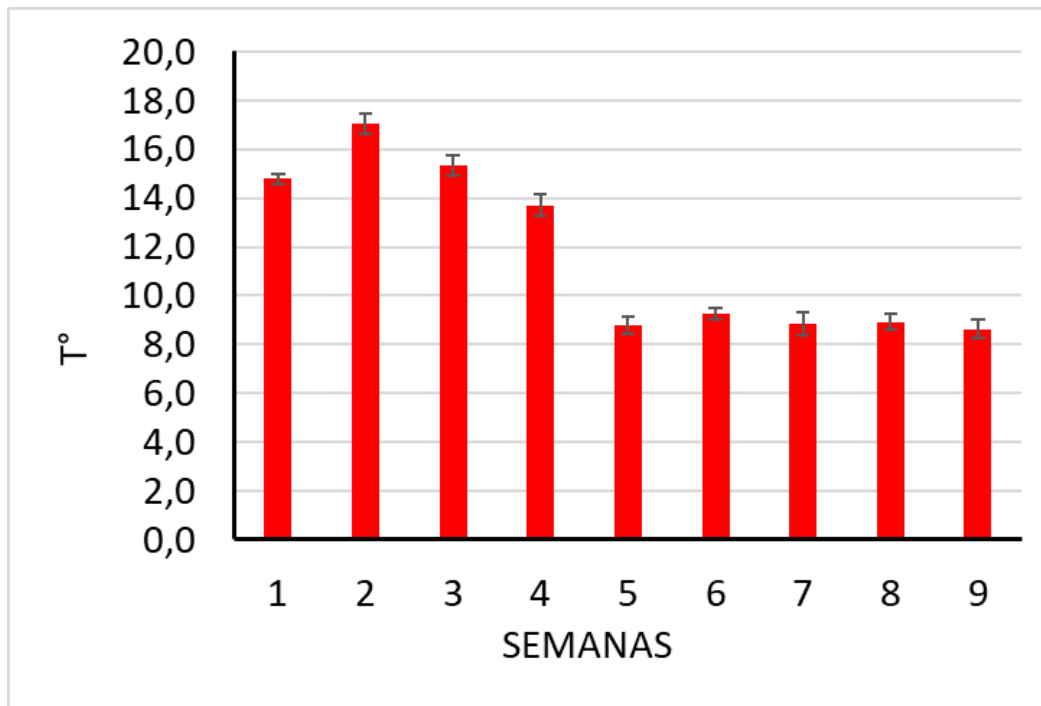
Temperatura del efluente (T)

Dentro de un biodigestor se observa que la eficiencia aumenta a medida que la temperatura ambiente externa es mayor. Según afirma Ordoñez (2022), existen tres rangos de temperatura en los cuales la digestión anaerobia es llevada a cabo, a un rango ambiental de (15-25 °C), un rango mesofílico (35–37° C) y el rango termofílico (50–60° C).

En la figura 6 se observan los resultados obtenidos en la medición de la temperatura a partir del biol, con un rango de valores entre 8°C a 17,4°C, siendo el mayor valor para la semana 2 de 17,4 °C y, a partir de la semana 5 hasta la 9 disminuyeron los valores, pero se mantienen estables. El análisis de varianza determinó diferencias altamente significativas para los valores de temperatura entre las semanas del estudio, con un valor p de $4,56 \times 10^{-17}$, $gl=8$ (grados de libertad), ($p < 0.001$). Este valor tan bajo pudo ser debido a la variabilidad del clima presente durante el experimento.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 39 de 62

Figura 6. Comportamiento de temperatura (°C) del efluente en el biodigestor en la Unidad Agroambiental el Tíbar. Fuente: Autoras 2023.




Fuente: Autoras 2023.

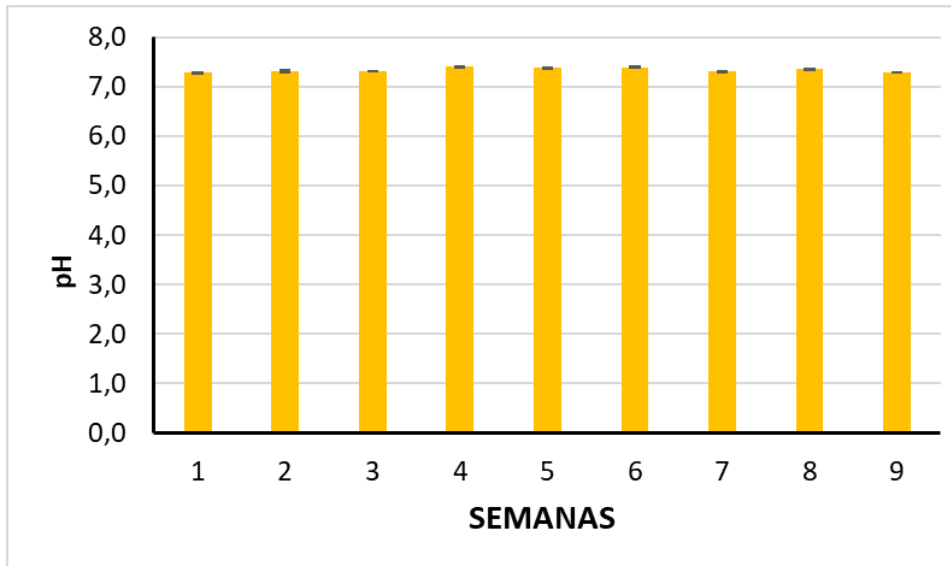
Según Granados et al., (2022), los valores de temperatura analizados indicaron rangos de 25.26°C y 25.51°C, por ende, la temperatura promedio no presentó grandes diferencias en clima templado. Según Ordoñez (2022), se observa un biodigestor en clima frío con temperaturas de 15.88°C y la desviación estándar de 4.275°C, de acuerdo con el comportamiento de la digestión anaerobia a Bajas Temperaturas durante todo el año, pero insuficiente para mantener el proceso microbiano de la digestión anaerobia. De acuerdo con el estudio realizado se observa que la temperatura está en un rango ambiental similar a otras literaturas, como lo es la de Ordoñez.

PH

En la figura 7 se observan los valores promedio de pH por semana en el biodigestor. Se obtuvieron valores de pH entre 7.3 y 7.4, manteniendo un rango estable muy similar para todas las semanas, lo que indican estos valores es que la fermentación microbiana se mantiene dentro del contenedor adecuadamente. El Anova determinó diferencias estadísticas altamente significativas entre las semanas, con un valor p de $4,51 \times 10^{-12}$, $gl=8$, ($p < 0.001$).

Figura 7. Comportamiento de los valores promedio de pH a partir del biol ubicado en la Unidad Agroambiental El Tíbar. Fuente: Autoras 2023.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 40 de 62



Fuente: Autoras 2023.

Según Guevara (1996), el valor óptimo para una buena digestión por las bacterias metanogénicas debe estar entre 6.5 a 7.5, pero si el valor de pH es menor a 6 o superior a 7.5, se inhibe el proceso de fermentación afectando la actividad de los microorganismos. Por su parte, Soria et al. (2001), mencionan que el rango óptimo del pH para lograr una mayor eficiencia en el biodigestor es de 6.6 a 7.6. En los estudios de (Granados et al., 2022) en clima templado, obtuvieron un pH de 8.36 y 8.53. Y según Ordoñez, (2022), afirma que en los estudios de clima frío se observa un pH de entre 7.5 y 8, los valores presentados por el biol se encuentran dentro del rango óptimo establecido por la literatura. Según Amaya et al., (2021) el valor óptimo de ácido génico está entre 5,5 y 6,5, y el valor óptimo del metano genético está entre 7,8 y 8,2. El pH óptimo para cultivos mixtos está entre 6,8 y 7,4, y un pH neutro es ideal. Analizando la literatura se observó que es estudio realizado esta dentro de un rango de 7,3 a 7,4pH siendo un valor optimo, en el cual se encuentra valores muy similares a otros estudios realizados.

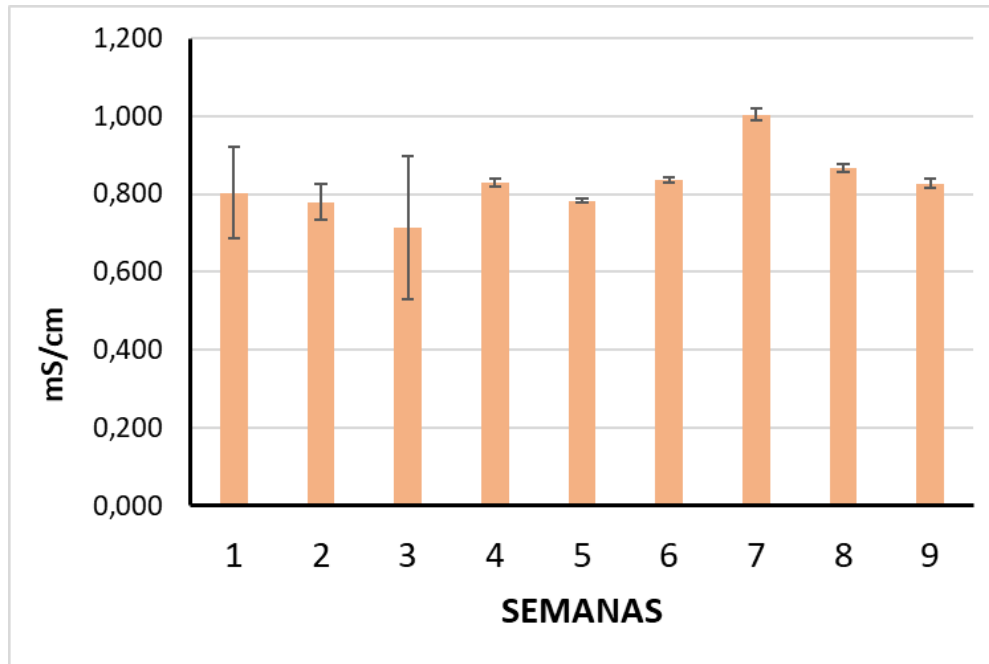
Conductividad Eléctrica (CE):

Según la ley de Ohm, las dos dimensiones están sujetas a la relación: $I = V / R$. Donde R es la resistencia, V es el voltaje conocido, e I es la corriente que va de un electrodo a otro. Por lo tanto, cuanto más elevada sea la corriente obtenida, mayor será la conductividad (Infoagro, 2022).

En la figura 8 se puede observar los resultados obtenidos en la medición de conductividad eléctrica, con un valor mayor de 0.867mS/cm y menor de 0.397 mS/cm, para las semanas 8 y 7, respectivamente. El análisis de varianza determinó diferencias significativas para los valores entre semanas, con un valor p de 0.016, $gl=8$, ($p<0.05$) este valor tan bajo pudo ser debido a la concentración de micronutrientes y sales presentes en la materia orgánica de las muestras.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 41 de 62

Figura 8. Comportamiento de la conductividad eléctrica en efluentes de un biodigestor en clima frío de la Unidad Agroambiental El Tíbar. Fuente: Autoras 2023.



Fuente: Autoras 2023.

Para la conductividad, Granados et al., (2022), obtuvieron un resultado de 1,04 mS/cm a 1,85 mS/cm para un biodigestor en clima templado. Por su parte, Soria et al., (2001) mencionan que la conductividad eléctrica indica la concentración de sales minerales disueltas en el agua, obteniendo un valor de 4,08 mS/cm a 5,8 mS/cm en clima cálido. En el presente estudio se encontraron menores valores de conductividad en comparación con estos autores, posiblemente por las condiciones de clima frío. Según Lara et., al (2009) el valor máximo fue de 0.00841 mS/cm y 0.00632 mS/cm el valor mínimo, la cual es relativamente baja, esto se debe a que la mezcla utilizada no tenía altos contenidos de sales. Observando los datos del trabajo realizado se evidenciaron valores de 0.867mS/cm y 0.397 mS/cm lo cual es relativamente baja, no tan baja como la conductividad de investigación de Lara et., al (2009), observando los otros dos trabajos se observan valores mayores a 1 indicando que son buenos.

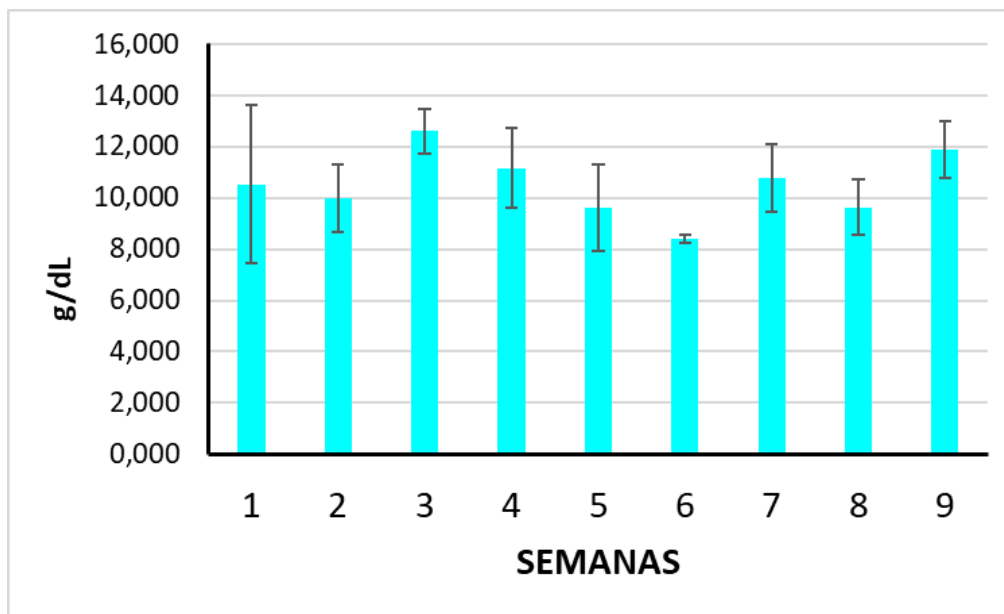
Demanda química de oxígeno (DQO)

Es el sistema que permite verificar el comportamiento del proceso para la degradación, determinando la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo (Rodríguez, 2007).

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 42 de 62

En la figura 9 se pueden observar los resultados obtenidos en la medición de demanda química de oxígeno, siendo la semana 3 el valor más alto 12,6g/dl y el más bajo 8,4g/dl en la semana 6. El análisis de varianza determinó que no hay diferencias significativas para los valores entre semanas, con un valor p de 0.094, gl=8, ($p>0.05$). Este valor pudo ser debido a la cantidad de oxígeno que puede contener la materia orgánica en el proceso, y que es mediado por agentes precursores como la temperatura.

Figura 9. Comportamiento de la demanda química de oxígeno de un biodigestor de clima frío en la Unidad Agroambiental el Tíbar. Fuente: Autoras 2023.



Fuente: Autoras 2023.

En la Demanda Química de Oxígeno, Granados et al., (2022), obtuvieron un resultado de 556,5g/dl y 627,6g/dl en clima templado. Según Lara et., al (2009) se obtuvieron valores de 0,96 g/dl siendo un valor bajo en clima cálido. Según Collahuaso et L., (2021) los valores obtenidos en el estudio fueron de 0,1983g/dl, estos con cargas sin mineralizar que pueden ser problemas potenciales de contaminación de suelo y de cuerpos de agua.

Analizando los diferentes reportes, se evidencia que son valores del estudio realizado son altos comparados con los estudios de Lara y Collahuaso, pero no superiores a Granados, lo que indican que son estables.

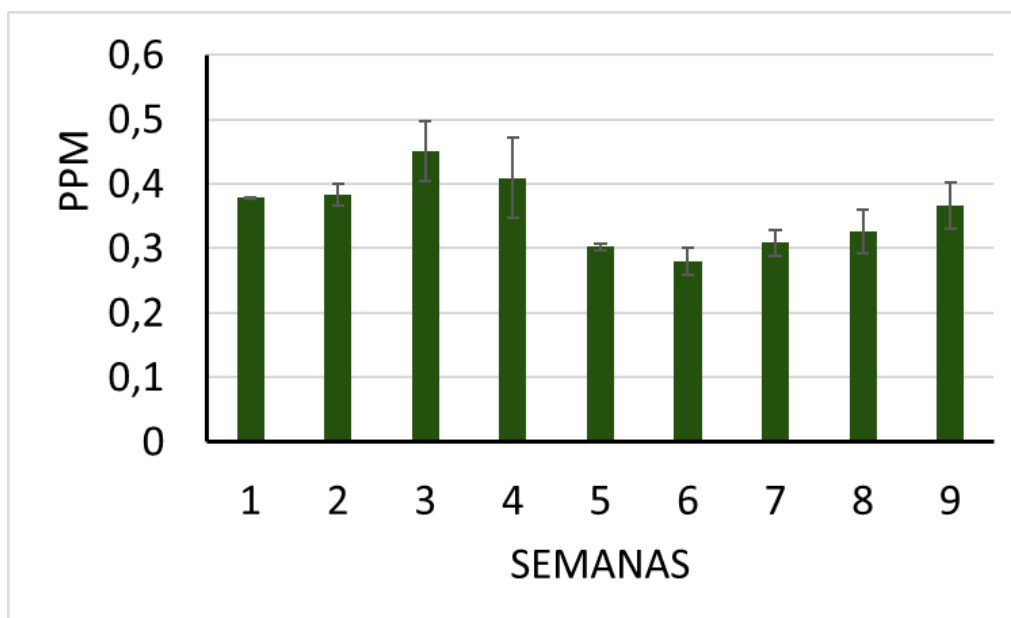
Carbono orgánico (CO)

A medida que progresa la oxidación de la materia orgánica disponible, la tasa de crecimiento bacteriano empieza a disminuir. Las fuentes de carbono orgánico disponibles se hacen limitantes y, por consiguiente, también se presenta una disminución en la tasa de consumo de oxígeno. Cuando la cantidad de materia orgánica disponible es apenas suficiente para garantizar la subsistencia de las distintas especies de microorganismos, éstos comienzan a auto oxidarse mediante su metabolismo endógeno (FAO, 2011).

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 43 de 62

En la figura 10 se observan los resultados obtenidos en la medición de carbono orgánico, con un valor mayor 0,45% y menor de 0,28%, siendo la semana 3 y 6, respectivamente. El análisis de varianza determinó diferencias altamente significativas para los valores entre semanas con un valor $p = 7.84 \times 10^{-5}$, $gl=8$, ($p < 0.001$) este valor tan bajo de oxidación generó una disminución de crecimiento bacteriano y es donde las fuentes de carbono orgánico se hicieron limitantes, por consiguiente, presentaron una tasa de disminución de oxígeno que escala a una auto oxidación endógena.

Figura 10. Comportamiento del Carbono orgánico a partir del biodigestor en clima frío de la Unidad Agroambiental el Tibar. Fuente: Autoras 2023.



Fuente: Autoras 2023.

En el estudio que se observa con un promedio de carbono orgánico en un rango de 1.89% hasta 2.57% (Granados et al., 2022). Evaluando el porcentaje obtenido en el estudio, fue de 0,45% y menor de 0,28% indicando que es muy bajo comparado con el de Granados.

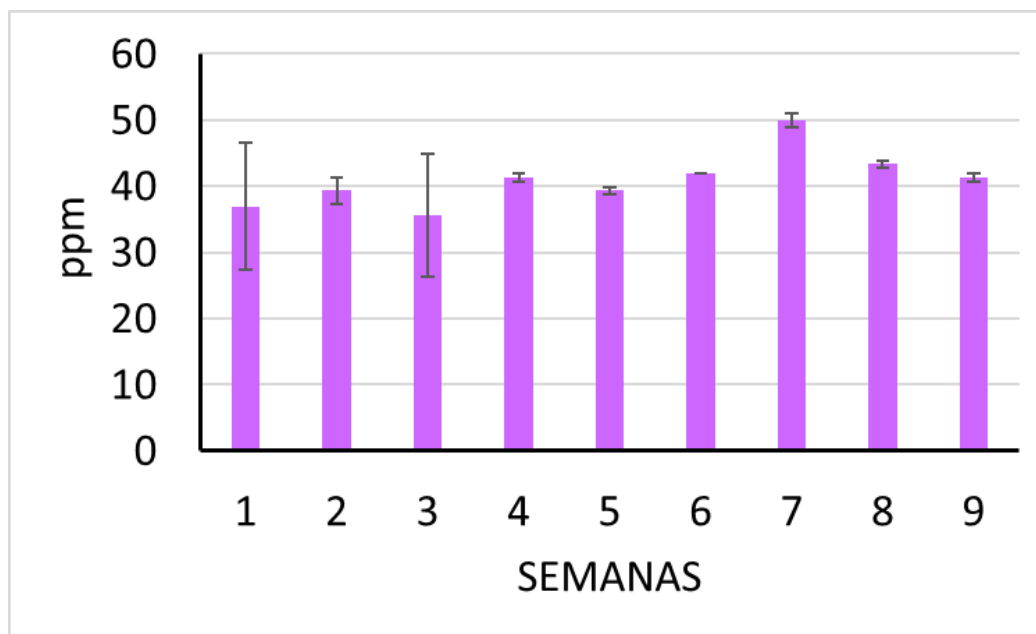
Sólidos Totales (TDS)

La importancia de los sólidos totales radica en el aporte de minerales solubles que se encuentran en este sustrato y que se incorporan al suelo (Estrada et al., 2008).

En la figura 11 Se pueden observar los resultados obtenidos en la medición de sólidos totales disueltos, con un valor mayor de 50% y menor de 35,6%, para las semanas 7 y 3, respectivamente. El análisis de varianza determinó diferencias significativas para los valores entre semanas, con un valor $p = 0.047$, $gl=8$, ($p < 0,05$), es bajo ya que presento una mayor cantidad de agua que de excretas.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 44 de 62

Figura 11. Comportamiento de los sólidos totales a partir del biodigestor de clima frío en la Unidad Agroambiental Tíbar. Fuente: Autoras 2023.



Fuente: Autoras 2023.

Según Granados et al., (2022), los sólidos totales disueltos están en un rango de 0,98% a 1,33%. Según Gutiérrez & Ochoa, (2019), quienes determinaron el potencial energético para la producción de biogás, fue a partir de la co-digestión anaerobia del co-sustrato de cascarilla de arroz con excretas porcinas, por tanto, se debe tener en cuenta que los componentes que contienen estos sólidos como los son metales pesados pueden impactar el suelo negativamente como lo llegaría a hacer las excretas, si se esparce naturalmente, ya que los sólidos totales disueltos contemplan minerales, metales y sales. Según Bautista, (2016) "Un rango promedio en sólidos totales en cerdos es de 15-49%. Según Amaya et al., (2021) el resultado obtenido en promedio de Sólidos totales es de 1,96% a 2,84% y Según Collahuaso et al., (2021) se observaron valores de 2450% considerándose los valore más altos. Indicando que el estudio realizado comparado con los estudios de Granados y Amaya son más altos, pero no menos que el de Collahuaso y similar al de Bautista.

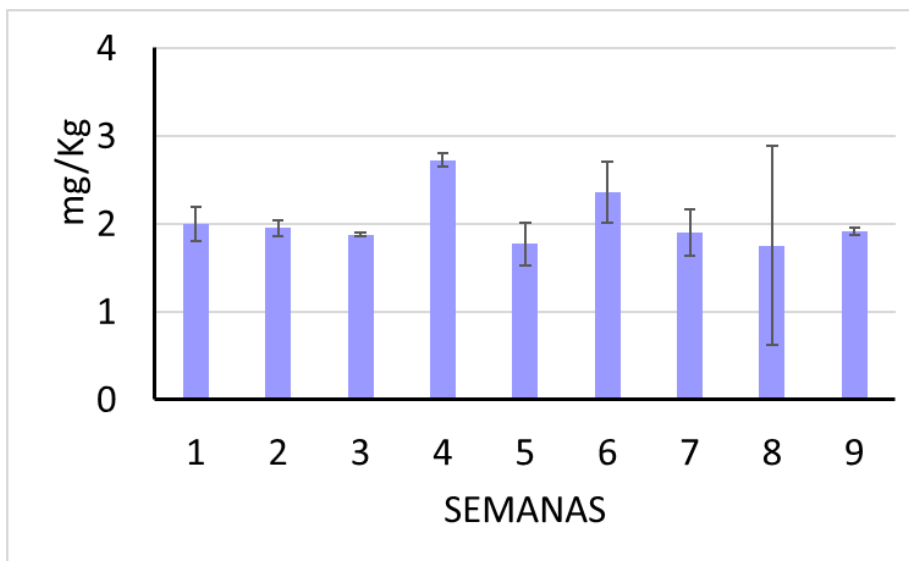
Determinación de Calcio (Ca)

Según Pozo, (2019), el contenido de calcio se puede encontrar en un valor de 0.06%, son los resultados de un biodigestor tradicional con bajos contenidos de macro y micronutrientes.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 45 de 62

En la figura 12 se pueden observar los resultados obtenidos en la medición de determinación de calcio, con un valor mayor de 2,72mg/kg y menor de 1,75mg/kg, para las semanas 4 y 8, respectivamente. El análisis de varianza no determinó diferencias estadísticas para los valores entre semanas, con un valor p de 0.482, $gl=8$, este efecto pudo ser debido a la alimentación que se suministró a los porcinos, ya que algunas bacterias usan el Calcio para la proliferación.

Figura 12. Determinación de Calcio a partir del biodigestor ubicado en la Unidad Agroambiental el Tíbar. Fuente: Autoras 2023.



Fuente: Autoras 2023.

En el calcio, según Collahuaso et al., (2021) presentaron valores de 0,0125 mg/kg, en comparación con la afirmación de Ciro et al., (2007), donde en clima frío se presentaron valores promedio de 0.13mg/kg a 4.32mg/kg. Según Bautista (2016) el porcentaje obtenido fue de 0,21mg/kg. Los resultados de Collahuaso y de Bautista son valores bajos en comparación al estudio realizado, y similar al estudio de Ciro indicando que son valores estables.

Cuantificación de Magnesio (Mg):

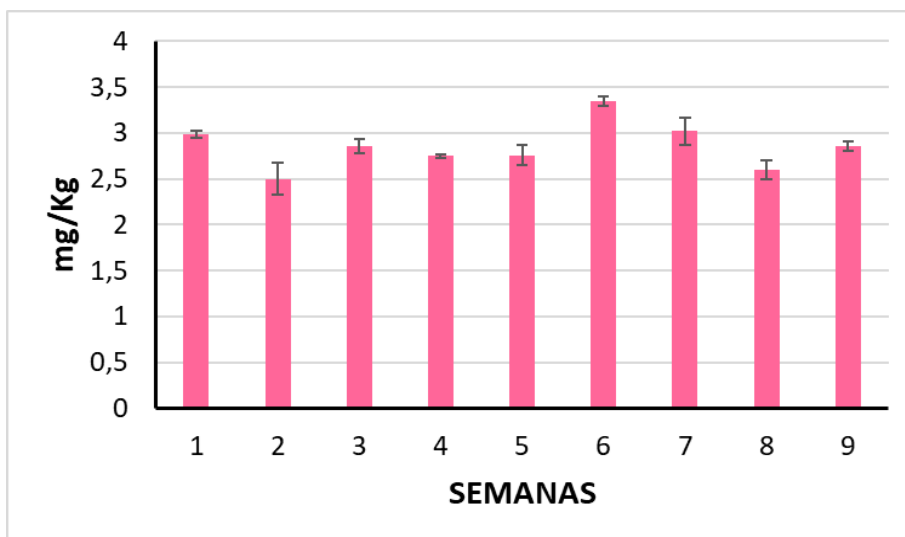
Según Estrada et al., (2008) de acuerdo con la cuantificación de magnesio, los microorganismos que hay dentro del biodigestor incrementan parte de los minerales disueltos con un valor de 3,65 mg/kg a 4,18 mg/kg.

En la figura 13 se puede observar los resultados obtenidos en la cuantificación de magnesio, con un valor mayor de 3,35 mg/kg y menor de 2,5 mg/kg, para las semanas 6 y 2, respectivamente. El análisis de varianza determinó diferencias altamente significativas para los valores entre semanas, con un valor p de 2.35×10^{-7} , $gl=8$,

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 46 de 62

($p < 0.001$) este valor tan bajo pudo ser debido a la alimentación suministrada en la (UAT), y la utilización por medio de los microorganismos. De acuerdo con la literatura este se encuentra en un rango similar.

Figura 13. Comportamiento sobre la cuantificación de magnesio a partir de un biodigestor alimentado con excretas porcinas en la Unidad Agroambiental Tíbar. Fuente: Autoras 2023.



Fuente: Autoras 2023.

Según Barras & Rosales, (2021), en la composición del estiércol en excretas de porcinos, la cuantificación de magnesio debe estar en un rango de 2,0 mg/kg a 0,04 mg/kg, el cual tiende a comportarse y mantenerse en esos valores en el presente estudio. Según Bautista (2016) se observó un resultado de 0,14mg/kg siendo un valor bajo. Según Collahuaso et al., (2021) obtuvo un resultado muy bajo de 0,000224mg/kg. Indicando que de acuerdo con los resultados obtenido de 3,35 mg/kg y 2,5 mg/kg son resultados similares al estudio de Barras y Rosales manteniendo un porcentaje alto.

Fósforo

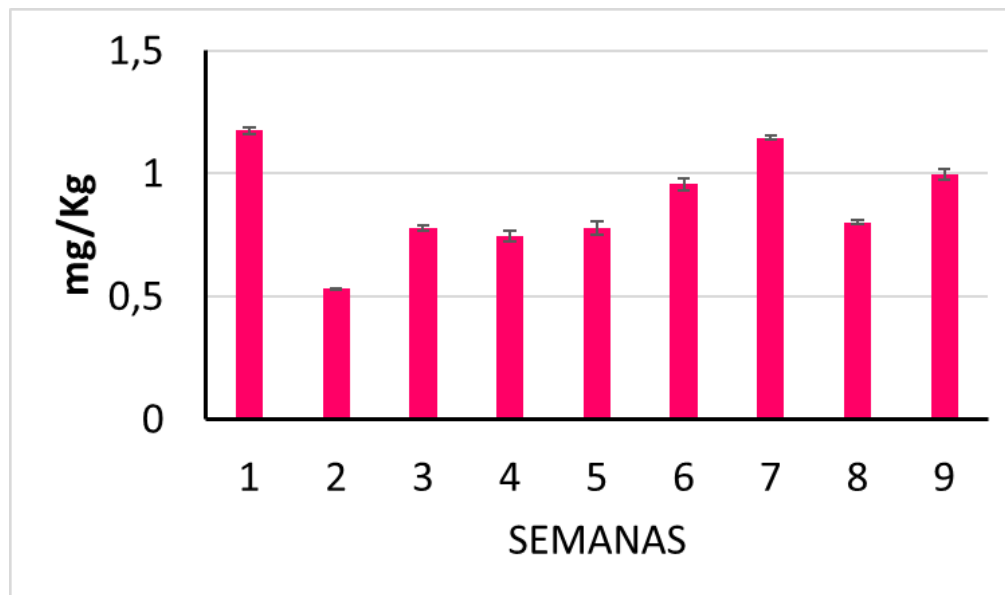
Según Tlalnepantla, (2022), la determinación del contenido de fosfatos solubles en una muestra de agua mediante espectrofotometría. Es usada para identificar compuestos por su espectro de absorción y conocer la concentración de un material o sustancia, esto último permite conocer la concentración de compuestos, por tanto, seguir el curso de reacciones químicas y enzimáticas.

En la figura 14 se pueden observar los resultados obtenidos en la medición de fósforo por longitud de onda mediante espectrofotometría, con un valor mayor de 1,17 mg/kg y menor de 0,532 mg/kg, para las semanas 1 y 2, respectivamente. El análisis de varianza determinó diferencias altamente significativas para los valores entre

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 47 de 62

semanas, con un valor p de 9.23×10^{-19} , $gl=8$, ($p < 0.001$) este valor tan bajo pudo ser debido a los mecanismos de solubilización con que cuentan los microorganismos, los cuales facilitan la absorción de todos los compuestos incluido el Fósforo.

Figura 14. Determinación de longitud de onda en Fósforo a partir de efluentes de un biodigestor de la Unidad Agroambiental el Tíbar. Fuente: Autoras 2023.



Fuente: Autoras 2023.

El Fósforo es un elemento presente en los compuestos biofertilizantes. Para Granados et al., (2022) en los estudios realizados obtuvieron niveles en el muestreo final de 0,57 mg/kg – 0,75mg/kg. Según Collahuaso et al., (2021) los resultados obtenidos fueron de 290 mg/kg mostrando valores importantes en la concentración. Y Según Bautista (2016) el valor de fósforo fue de 350mg/kg siendo un valor alto y bueno ya promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces. De acuerdo a los resultados obtenidos del estudio con un porcentaje de 1,17 mg/kg y 0,532 mg/kg, son similares al estudio de Granados indicando que son valores muy bajos comparados con los resultados de Collahuaso y de Bautista.

Nitrógeno Amoniacal

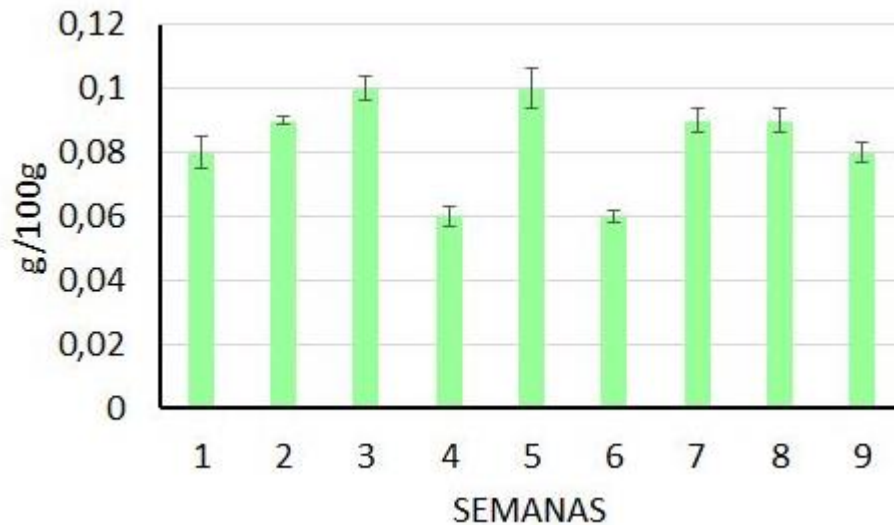
En condiciones normales la fuente de Nitrógeno amoniacal en aguas superficiales proviene de la degradación natural de la materia orgánica presente en la naturaleza. Es uno de los componentes transitorios en el agua, porque es parte del ciclo del nitrógeno, y se ve influido por la actividad biológica. En ambos casos el nitrógeno amoniacal, se origina de la degradación del nitrógeno orgánico y, este a su vez, por acción bacteriana, se va oxidando gradualmente a Nitritos y finalmente a Nitratos. En condiciones normales la fuente de Nitrógeno

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 48 de 62

amoniacal en aguas superficiales proviene de la degradación natural de la materia orgánica presente en la naturaleza (González, 2016).


En la figura 15 se puede observar los resultados obtenidos del Nitrógeno amoniacal, con un valor mayor de 0.10 g/100g y menor de 0.06 g/100g, para las semanas 10 y 6, respectivamente. El análisis de varianza determinó diferencias altamente significativas para los resultados entre semanas, con un valor p de 0.001, gl=8, ($p < 0.01$). Esta cifra fue posiblemente debido al tiempo transcurrido entre la toma de las muestras y la realización de los análisis de Nitrógeno, por lo cual parte de la concentración de este se hubiera evaporado, por la volatilidad que presenta.

Figura 15. Nitrógeno Amoniacal a partir del biodigestor de clima frío ubicado en la Unidad el Tíbar g /100 g Fuente: Autoras 2023.



Fuente: Autoras 2023.

Según (Granados et al., 2022), el Nitrógeno total encontrado se encuentra dentro de un rango de 1,97% a 2,98% en clima templado. Según (Gómez et al., 2010), afirma que el sistema digestivo de los porcinos es ineficiente para asimilar los nutrientes, y por esta razón se desperdician altos porcentajes de alimentos, cerca del 1.3% de su excreta contiene Nitrógeno, Fósforo y Potasio; los cuales son fertilizantes primarios y como fertilizantes secundarios están, el Calcio, Cloro, Azufre y Sodio, lo que les confiere buenas características como biofertilizante. Según Collahuaso et al., (2021) se observan resultados de 201% presentando mayores valores de concentración, no provocando efectos adversos en el poder de degradación microbiano. Según Bautista (2016) se observa resultado de 56%. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede decir que los valores de 0,10 a 0,06% muestran una diferencia significativa demasiado baja comparada con los otros estudios.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 49 de 62

Análisis de correlación multivariada.

Finalmente, se realizó un análisis de correlación con un nivel de significancia de 0.05, para determinar qué parámetros o variables están relacionadas, y posiblemente influenciando el comportamiento del biodigestor (Tabla 4). El análisis de correlación tiene como objetivo resumir en dos o más columnas la información numérica. Este calcula estadísticas resumidas para cada variable, así como la correlación y la covarianza entre ambas.


	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 50 de 62

Tabla 4. Análisis de datos obtenidos mediante análisis de correlación. Fuente: Autoras 2023.


	pH	T °C	ODS	TDS	CE	CO	Ca	Mg	P
pH									
T°C	-0,27								
ODS	-0,30	0,23							
TDS	0,05	-0,42	-0,28						
CE	-0,01	-0,41	-0,17	<u>0,94</u>					
CO	-0,31	<u>0,67</u>	0,59	-0,47	-0,49				
Ca	0,38	0,17	-0,18	0,08	0,06	0,14			
Mg	0,23	-0,32	-0,25	0,16	0,22	-0,36	0,31		
P	-0,36	-0,41	0,02	0,25	0,40	-0,27	-0,05	<u>0,66</u>	
N	-0,70	0,32	0,24	-0,08	-0,08	0,36	-0,50	-0,30	-0,01

Fuente: Autoras 2023.

Se observa en la Tabla 4 los siguientes resultados, el más cercano a uno es el valor para la correlación de TDS y CE (0.944), que significa que hay una relación alta y positiva, al igual que para CO y T°C (0.676). En ausencia de correlación se observa que la relación entre N y P es de (0,02) siendo nula. En relación con N y pH se observa una correlación de (-0,70) cercana a -1 siendo significativa. La relación entre P y Mg de (0,66) es de una correlación moderada. En la mayoría de los datos, la correlación tiende a ser débil. Este análisis indica, que posiblemente las variables TDS y CE son las que más influyen de manera significativa en el

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 51 de 62

comportamiento y funcionamiento del biodigestor, para las condiciones utilizadas en este estudio. Esto posiblemente se deba a la relación de sales y minerales presentes en las excretas de porcinos que necesitan los microorganismos.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 52 de 62

CONCLUSIONES

Este proyecto de investigación permitió ampliar los estudios del funcionamiento del biodigestor en clima frío y comparar con varios estudios.

Acorde a los resultados, se observa que el proceso de biodigestión de excretas porcinas contribuye al reciclaje de nutrientes, ya que muchos compuestos bioprocesados aportan al ecosistema en su estabilización y crecimiento desde el punto de vista biótico, facilitando así el establecimiento de plántulas de producción porcina más amigables con el ecosistema en el trópico alto andino colombiano.

Del análisis de correlación, las variables más significativas son TDS y CE con un valor cercano a 1, siendo posiblemente los que influyen en los procesos de funcionamiento del biodigestor.


Los biodigestores son una tecnología útil en los sistemas de producción, especialmente en el manejo de la materia orgánica como lo son las excretas, generando gas, energía, bioles y abonos; logrando reducir costos y, generando un ciclo cerrado, en base a los estudios indagados se identificó que incluso en climas fríos se logra la fermentación, pero no es similar a las regiones cálidas.

RECOMENDACIONES

- Se aconseja tener un control en el manejo de las excretas al ser ingresadas al biodigestor, para no generar represamiento o que estas pasen directo al efluente en menor tiempo ocasionando que no ocurra el procesamiento de fermentación.
- Es importante que para el análisis de compuestos nitrogenados, se disponga de la rapidez suficiente para realizar el proceso con el objeto de evitar pérdidas en las muestras destinadas para tal fin, se observó que el material obtenido del efluente no mostraba los contenidos esperados en cuanto a Nitrógeno amoniacal debido a que dentro de las muestras la volatilidad del compuesto es muy alta y por ende los resultados se truncan, de allí que debe diseñarse un método práctico para evaluar la muestra de este elemento dentro del espacio del biodigestor. Es importante tener en cuenta que las variaciones climáticas afectan directamente el proceso
- Se sugiere que las excretas se encuentren libres de residuos vegetales no digeribles fácilmente como la cama o sustrato, en este caso cascarilla de arroz. (sustrato diferente al estiércol), para no dificultar el procesamiento de las muestras a analizar.


Dirección: Cra. 6 #7-1 Ubaté – Cundinamarca
 Teléfono: [310 8775905](tel:3108775905) Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*


	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 53 de 62

BIBLIOGRAFÍA

- Amaya, S. A., & Sánchez D. A. (2021) *implementación de un biodigestor alimentado por excretas porcinas con co-sustrato de caña de azúcar en la finca agropecuaria fundo bonito en puerto Gaitán – Meta* Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/44115/2022diegosanchez.pdf?sequence=1>
- Barras, J. S., & Rosales, E. M. (2021). *Excretas Porcinas para la Producción de Biofertilizante Mediante Digestión Anaeróbica, en la Localidad Saracoto Alto, Luriganchó, Chosica – 2021.* Obtenido de. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/71995/Baras_HJZ-Rosales_REM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bautista, V. M. (2016). *Evaluación de la generación biogás a partir de excretas porcinas en la granja agroinporc y diseño de un biodigestor bidigital.* Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16514/1/CD-7185.pdf>
- Bennet, A., Cano, M., Silva, E., Robles, S., Sainos, U., & Castorena, H. (2016). *Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas.* Recursos naturales renovables. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000400471
- Campos, E., & Flotats, X. (2016). *Procesos biológicos: La digestión* . Obtenido de Procesos biológicos: (PDF) [Procesos biológicos: La digestión anaerobia y el compostaje \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/311111111)
- Ciro, H., Gonzáles, H., y Osorio, J., (2007). *Evaluación de un sistema de biodigestores en serie para clima frío.* *Rev. Fac. Nac Agron, vol.6, No.2., p.4145-4162.* 2007. Obtenido de [Redalyc](https://www.redalyc.org/). [EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE BIODIGESTIÓN EN SERIE PARA CLIMA FRÍO](https://www.redalyc.org/doc/4442/44421001.html)
- Collahuaso, E., Diéguez, K., Peñafiel, P & Pérez, A (2021) *Caracterización del funcionamiento de un biodigestor tubular alimentado con estiércol porcino en la amazonia ecuatoriana.* Obtenido de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2306>.
- Estrada, J., Gómez, G., y Jaramillo, A. (2008). *Efecto del biodigestor plástico de flujo continuo en el tratamiento de aguas residuales de establos.* Obtenido de <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/vetzootec/article/view/5719/5161>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 54 de 62

- Fao. (2011). *MANUAL DE BIOGÁS*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Fideicomiso de riesgo compartido (2017) *Biodigestor, obra ingenieril comprometida con el medio ambiente* Obtenido de [https://www.gob.mx/firco/articulos/biodigestor-obra-ingenieril-comprometida-con-el-medio-ambiente?idiom=es#:~:text=de%20un%20biodigestor%3A-Reduccion%20de%20emisiones%20de%20gases%20de%20efecto%20invernadero%20\(GEI\),de%20vectores%20transmisores%20de%20enfermedades](https://www.gob.mx/firco/articulos/biodigestor-obra-ingenieril-comprometida-con-el-medio-ambiente?idiom=es#:~:text=de%20un%20biodigestor%3A-Reduccion%20de%20emisiones%20de%20gases%20de%20efecto%20invernadero%20(GEI),de%20vectores%20transmisores%20de%20enfermedades)
- Gebauer, A. González, S. Sidartha, Z., Kaiser, F. L., Mendoza, J. C., S., (2020). *Guía de biogás para el sector Porcícola en Colombia*. <https://porkcolombia.co/>. Obtenido de https://porkcolombia.co/wp-content/uploads/2020/06/Guia-Biogas-sector-porcicultor_Porkcolombia.pdf
- Gómez, A., Pinos, J., García, J., Cruz, E., Luna, C., & Sánchez, R. (2010). *Home*. YouTube. Retrieved April 22, 2023, from Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11250-010-9678-z>
- González, L. (2016). *Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación*. revista utp. Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/download/334/pdf/#:~:text=En%20condiciones%20normales%20la%20fuente,influido%20por%20la%20actividad%20biol%20C3%B3gica1>.
- Granados, J. (2019). *Caracterización fisicoquímica de afluentes y efluentes (materia prima)*. Obtenido de https://mailunicundiedu-my.sharepoint.com/:b/g/personal/idmaldonado_ucundinamarca_edu_co/Ea5t7WxgrENBvt29Xt7bPMsBM7Klej4tWWRu0ivkxuCA6A?e=mhy9Ue
- Granados, J. E., abril, D. A., y Mogollón, A. (2022). *Estudio biofísicoquímico de biodigestores alimentados con excretas porcinas y bovinas en la provincia de Sumapaz, Colombia*. <http://scielo.sld.cu/>. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542022000300002&lng=pt&nrm=iso&tlng=es
- Guevara, A. (1996). *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales*. Obtenido de [Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales: producción de gas y saneamiento de efluentes | Semantic Scholar](#)
- Gutierrez, L., y Ochoa L., (2019). *Determinación del potencial energético para la producción de biogás, a partir de la co-digestión anaerobia del co-sustrato* Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18402/2019catalinagutierrez?sequence=6&isAllowed=y>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 55 de 62

- ICA, I. C. A. C. A. (2023). *ICA. Instituto Colombiano Agropecuario - ICA*. Obtenido de <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>
- Infoagro. (2022). *El Conductividad eléctrica (CE)*. Obtenido de https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_conductividad_electrica.asp?k=53#:~:text=Medida%20de%20la%20conductividad,-Es%20posible%20diferenciar&text=Seg%C3%BAAn%20la%20ley%20de%20Ohm.obtenida%2C%20mayor%20ser%C3%A1%20la%20conductividad
- Lara, S., y Torregreaza, A., (2009) *Diseño y evaluación de biodigestores utilizando excretas de cerdo y ganado vacuno generadas en la granja club campestre de Santa Marta* Obtenido de <https://core.ac.uk/download/270125060.pdf>
- Mariño, D., Rivera, L. V., y Villanueva, A. M. (2021). *Desarrollo de un sistema de producción de biogás en un biodigestor de flujo discontinuo en condiciones medioambientales de campus Chía Universidad El Bosque*. repositorio.unbosque.edu.co. Obtenido de https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/6411/Mari%C3%B1o_Parada_Daniela_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Montalvo, G., y Piñeiro, C., (2015). *Guía de mejores Técnicas disponibles para el sector porcícola en Colombia*. Porkcolombia. Obtenido de <https://www.porkcolombia.co/wp-content/uploads/2018/07/Guia-MTD-en-la-Porcicultura-de-Colombia.pdf>
- Ordoñez, O. L. (2022). *Digestión anaerobia a bajas temperaturas*. repositorio de utp. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/4c3ebf01-11eb-40ee-b130-f027ffc15342/content>
- Pérez, J. A. (2010). *Estudio y diseño de un biodigestor para la aplicación en pequeños ganaderos y lecheros* repositorio.uchile. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103926/cf-perez_jm.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Pozo, G. G. (2019). *Ingeniero agropecuario repositorio digital Universidad Estatal Amazónica* Obtenido de <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/632/1/T.AGROP.B.UEA.1152>
- Rodríguez, C. H. (2007). *Demanda química de oxígeno por reflujo cerrado y volumetría ideam*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c->

Dirección: Cra. 6 #7-1 Ubaté – Cundinamarca
Teléfono: **310 8775905** Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 56 de 62

[c124b9ab5adb#:~:text=La%20Demanda%20Qu%C3%ADmica%20de%20Ox%C3%ADgeno,agente%20oxidante%2C%20temperatura%20y%20tiempo](#) .

Sánchez, M., Martillo, I., y Fiallo, D (2020) *El biodigestor como medida ecológica para la generación de gas en las empresas de crías de animales* Obtenido de

<https://fipcaec.com/index.php/fipcaec/article/view/159/243#:~:text=Los%20biodigestores%20son%20de%20car%C3%A1cter,mejorar%20la%20estructura%20del%20suelo>.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Impacto ambiental y tipos de impacto ambiental* | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | gob.mx.

Gobierno de México. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental>

Soria, M. J Ferrero, R., Erchevers, J., Alcántar, G., Trinidad, J., Borges, L., y Pereyda, G (2001) *Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo* Obtenido de

[Preparación de biol a partir de residuos orgánicos. | Revista RedBioLAC](#)

Tlalnepantla. (2022). *Espectrofotometrometro*. calibracion.com.mx. Obtenido de

<https://www.calibracion.com.mx/espectrofotometro.html#:~:text=La%20espectrofotometr%C3%ADa%20es%20usada%20para,enzima%20y%20prote%C3%ADnas%20incluso%20C3%A1cidos>

Yauyo, L. M. (2016). *“Elaboración de un biodigestor piloto tubular para el manejo de estiércol porcino, en una de las viviendas de la asociación agropecuaria de lúcumos de Pachacamac”*. Obtenido de

http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/245/1/Yauyo_Luz_Trabajo_Profesional_2016.pdf


Anexos

Estadística descriptiva

<i>Variable Ph</i>	
Significancia	7,337
Error estándar	0,017

Dirección: Cra. 6 #7-1 Ubaté – Cundinamarca
 Teléfono: [310 8775905](tel:3108775905) Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 57 de 62

Mediana	7,310
Moda	7,280
Desviación Estándar	0,051
Variación de la muestra	0,003
curtosis	-2,059
Oblicuidad	0,231
Rango	0,123
Mínimo	7,280
Máximo	7,403
Suma	66,033
Contar	9,0


Conductividad Eléctrica

Significancia	0,827
Error estándar	0,026
Mediana	0,827
Moda	#N/D
Desviación Estándar	0,079
Variación de la muestra	0,006
curtosis	3,163
Oblicuidad	1,246
Rango	0,290
Mínimo	0,713
Máximo	1,003
Suma	7,443
Contar	9

Temperatura

Significancia	11,711
Error estándar	1,149


Dirección: Cra. 6 #7-1 Ubaté – Cundinamarca
 Teléfono: [310 8775905](tel:3108775905) Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 58 de 62

Mediana	9,267
Moda	#N/D
Desviación Estándar	3,447
Variación de la muestra	11,879
curtosis	-1,869
Oblicuidad	0,493
Rango	8,433
Mínimo	8,633
Máximo	17,067
Suma	105,400
Contar	9

Oxígeno Disuelto

Significancia	10,504
Error estándar	0,426
Mediana	10,533
Moda	#N/D
Desviación Estándar	1,277
Variación de la muestra	1,631
curtosis	-0,155
Oblicuidad	0,092
Rango	4,200
Mínimo	8,400
Máximo	12,600
Suma	94,533
Contar	9

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 59 de 62


Sólidos totales disueltos.

Significancia	41,037
Error estándar	1,383
Mediana	41,333
Moda	39,333
Desviación Estándar	4,148
Variación de la muestra	17,207
curtosis	2,301
Oblicuidad	1,132
Rango	14,333
Mínimo	35,667
Máximo	50,000
Suma	369,333
Contar	9

Carbono orgánico.

Significancia	0,3561
Error estándar	0,0186
Mediana	0,3665
Moda	#N/D
Desviación Estándar	0,0558
Variación de la muestra	0,0031
curtosis	-0,8106
Oblicuidad	0,2733
Rango	0,1705
Mínimo	0,2800
Máximo	0,4505
Suma	3,2045
Contar	9

Significancia

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 60 de 62

Calcio

Significancia	2,027
Error estándar	0,105
Mediana	1,915
Moda	#N/D
Desviación Estándar	0,315
Variación de la muestra	0,099
curtosis	2,515
Oblicuidad	1,707
Rango	0,970
Mínimo	1,755
Máximo	2,725
Suma	18,240
Contar	9


Significancia

Magnesio

Significancia	2,854
Error estándar	0,083
Mediana	2,855
Moda	#N/D
Desviación Estándar	0,250
Variación de la muestra	0,063
curtosis	0,997
Oblicuidad	0,682
Rango	0,850
Mínimo	2,500
Máximo	3,350
Suma	25,685
Contar	9

Dirección: Cra. 6 #7-1 Ubaté – Cundinamarca
 Teléfono: [310 8775905](tel:3108775905) Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 61 de 62


Fósforo

Significancia	0,879
Error estándar	0,069
Mediana	0,801
Moda	#N/D
Desviación Estándar	0,207
Variación de la muestra	0,043
curtosis	-0,484
Oblicuidad	0,015
Rango	0,643
Mínimo	0,533
Máximo	1,176
Suma	7,908
Contar	9

Nitrógeno

Significancia	0,291
Error estándar	0,208
Mediana	0,090
Moda	0,090
Desviación Estándar	0,657
Variación de la muestra	0,431
curtosis	9,987
Oblicuidad	3,160
Rango	2,100
Mínimo	0,060
Máximo	2,160
Suma	2,910

Dirección: Cra. 6 #7-1 Ubaté – Cundinamarca
 Teléfono: [310 8775905](tel:3108775905) Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 62 de 62

Contar

10

Dirección: Cra. 6 #7-1 Ubaté – Cundinamarca
 Teléfono: [310 8775905](tel:3108775905) Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*