

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Implementación y evaluación de dos biodigestores a diferente condición
térmica para la producción de biol y biogás a partir de residuos orgánicos de
la cementera UNACEM – Condorcocha

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR

Jean Brayan Coronel Flores

ASESOR

Armando Mendoza Centeno

Tarma, Perú

2022

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del autor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos del asesor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (obligatorio)	

Datos del Jurado

Datos del presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos del segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos del tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma (Normal ISO 639-3)	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 018 - 2023/UCSS/FIA/DI

Siendo las 11:00 a.m. del día 20 de diciembre de 2022 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|--------------------------------|-----------------|
| 1. José Luis Sosa León | presidente |
| 2. Fredy Román Paredes Aguirre | primer miembro |
| 3. Denis Izquierdo Hernández | segundo miembro |
| 4. Armando Mendoza Centeno | asesor |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Implementación y evaluación de dos biodigestores a diferente condición térmica para la producción de biol y biogás a partir de residuos orgánicos de la cementera UNACEM – Condorcocha**, que presenta el bachiller en Ciencias Ambientales, **Jean Brayan Coronel Flores**, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **SUFICIENTE** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 20 de diciembre de 2022.

José Luis Sosa León
PRESIDENTE

Fredy Román Paredes Aguirre
1° MIEMBRO

Denis Izquierdo Hernández
2° MIEMBRO

Armando Mendoza Centeno
ASESOR

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Ciudad, Tarma 10 de Agosto del 2023.

Señor(a),

Wilfredo Mendoza Caballero

Jefe del Departamento de Investigación/ Coordinador Académico de Unidad de Posgrado
Facultad / Escuela de Ingeniería Agraria - UCSS

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con título: Implementación y evaluación de dos biodigestores a diferente condición térmica para la producción de biol y biogás a partir de residuos orgánicos de la cementera UNACEM - Condorcocha, presentado por Jean Brayan Coronel Flores con código de estudiante 2013100936 y DNI 70233548 para optar **el título profesional**/ grado académico de Ingeniero Ambiental ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 3 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y **adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin**, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Blgo. Armando Mendoza Centeno
Asesor de proyecto de tesis

DNI N°: 40576386

ORCID: 0000-0001-5346-3314

Facultad de Ingeniería Agraria
UCSS

(*) De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, **será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.**

DEDICATORIA

Con mucho amor y agradecimiento a Dios, por su amor, por guiar mis pasos y brindarme su compañía en cada decisión que afronto en mi vida.

Con mucho cariño para mis queridos padres César Coronel Cortez y Julia Flores Guerrero quienes poseen un maravilloso espíritu, por brindarme su amor, por darme sus sabios consejos, por sus sacrificios brindados para que yo pueda ser mejor en la vida el cual recordaré hoy y siempre con eterno amor.

Para Henry Coronel Flores y Janeth Coronel Flores, mis hermanos que me brindaron su confianza, motivación y apoyo.

Los logros obtenidos se los dedico a mi familia ya que son la fuente de mi inspiración para seguir adelante sobrepasando adversidades.

JCF

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiar mi camino con sus bendiciones y siempre estar a mi lado durante mi formación profesional.

A mis queridos padres y hermanos por ser los que siempre estuvieron a mi lado apoyándome en cada decisión tomada, les brindaron su apoyo incondicionalmente durante este proceso de vida estudiantil.

A la jefatura de la compañía Unacem S.A.A. y Ecotec S.A.C, por brindar el permiso de la investigación.

A mi maestro y asesor, Biólogo Armando Mendoza Centeno, a quien admiro por ser un excelente profesional, una gran persona, con su ayuda y dirección pude alcanzar una de mis metas más preciadas.

A mi compañero de trabajo, Henry Sánchez Flores, por apoyarme en la construcción e implementación del proyecto.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE APÉNDICES	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Bases teóricas especializadas	7
1.2.1. Biodigestores	7
1.2.2. Tipos de biodigestores	8
1.2.3. Partes de un biodigestor	10
1.2.4. Biomasa	11
1.2.5. Tipos de biomasa	11
1.2.6. Productos obtenidos en los biodigestores	13
1.2.7. Biogás	13
1.2.8. Compuestos presentes en el biogás	14
1.2.9. Biol	14
1.2.10. Proceso de digestión anaeróbica	14
1.2.11. Etapas de la fermentación anaeróbica	17
1.2.12. Factores que influyen en la fermentación anaeróbica	20
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.1. Diseño de la investigación	23
Enfoque de la investigación	23
Nivel de la investigación	23
Diseño de la investigación	24
2.1.1. Lugar y fecha de la investigación	24
2.1.2. Descripción del experimento	25
2.1.3. Tratamientos	31

2.1.4.Unidad experimental.....	32
2.1.5.Identificación de las variables y su mensuración	32
Variables independientes	32
Variable dependiente	32
Mensuración de las variables.....	33
2.1.6.Análisis estadístico de datos	34
2.1.7.Materiales y equipos.....	34
CAPÍTULO III: RESULTADOS	36
3.1.Carga inicial del biodigestor A y B	36
3.2.Determinación de la temperatura promedio	36
3.2.1.Análisis estadístico de la temperatura	44
3.3.Determinar la calidad del biol obtenido en el proceso	46
3.3.1.Comparación de biol del biodigestor A y biodigestor B	47
3.4.Determinación de la calidad del biogás del digestor A y B.....	54
3.4.1.Comparación de biogás del biodigestor A y biodigestor B	55
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	63
CAPITULO V: CONCLUSIONES	66
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS	69
TERMINOLOGÍA	74
APÉNDICES	76

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Resumen de la composición química del biogás.....	14
Tabla 2 Desechos agrícolas y de animales con potencial para producir biogás.....	15
Tabla 3 Composición de desechos para la producción de biogás en área rural.....	16
Tabla 4 Generación mensual de residuos orgánicos Unacem	27
Tabla 5 Carga de residuos orgánicos para el digestor	31
Tabla 6 Materiales que se utilizara en el proyecto	35
Tabla 7 Carga inicial del biodigestor A y B	36
Tabla 8 Registro de control de temperatura del biodigestor A.....	37
Tabla 9 Registro de control de temperatura del biodigestor B	39
Tabla 10 Registro de temperatura promedio del biodigestor A y biodigestor B.....	41
Tabla 11 Análisis de la varianza (ANOVA) de la temperatura en los experimentos.....	44
Tabla 12 Resultados de laboratorio del biodigestor A	46
Tabla 13 Resultados de laboratorio del biodigestor B.....	46
Tabla 14 Comparación de resultados de biol del digestor A con el biodigestor B.....	47
Tabla 15 Resultado de biogás del biodigestor A	55
Tabla 16 Resultado de biogás del biodigestor B	55
Tabla 17 Parámetros de gases del biodigestor A y biodigestor B	56
Tabla 18 Comparación de la combustión de los biodigestores	56
Tabla 19 Comparación del monóxido de carbono de los biodigestores	57
Tabla 20 Comparación del dióxido de nitrógeno de los biodigestores.....	58
Tabla 21 Comparación del oxígeno de los biodigestores	59
Tabla 22 Comparación del sulfuro de hidrogeno de los biodigestores.....	60
Tabla 23 Comparación del dióxido de carbono de los biodigestores	61

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa del distrito de Tarma, provincia de Tarma.....	25
Figura 2. Mapa de procesos del desarrollo del Biodigestor	26
Figura 3. Promedio anual de residuos sólidos orgánicos.	28
Figura 4. Plano de vista lateral del modelo del digestor.....	29
Figura 5. Plano del invernadero.....	30
Figura 6. Temperatura promedio del digestor A y B.....	43
Figura 7. Comparación de las medias del experimento A y experimento B.	45
Figura 8. Comparación del potencial de hidrogeno.....	48
Figura 9. Comparación de la conductividad eléctrica.	48
Figura 10. Comparación de los sólidos totales.	49
Figura 11. Comparación de la materia orgánica.....	50
Figura 12. Comparación del nitrógeno total.....	50
Figura 13. Comparación del fosforo total.....	51
Figura 14. Comparación del potasio total.....	52
Figura 15. Comparación del calcio total.....	52
Figura 16. Comparación del magnesio total.....	53
Figura 17. Comparación del sodio total.	54
Figura 18. Comparación de la combustión de los biodigestores.	57
Figura 19. Comparación del monóxido de los digestores.	58
Figura 20. Comparación del dióxido de nitrógeno de los biodigestores.	59
Figura 21. Comparación del oxígeno de los biodigestores.....	60
Figura 22. Comparación del sulfuro de hidrogeno de los biodigestores.	61
Figura 23. Comparación del dióxido de carbono de los biodigestores.....	62

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Construcción del invernadero.....	76
Apéndice 2. Implementación del biodigestor A y del biodigestor B	76
Apéndice 3. Clasificación, picado y triturado de los residuos orgánicos	77
Apéndice 4. Carga inicial del biodigestor A y biodigestor B	77
Apéndice 5. Monitoreo de la temperatura	78
Apéndice 6. Análisis de gases y extracción de la muestra de biol	79
Apéndice 7. Formato de control de peso diario de los residuos sólidos de Unacem.....	79
Apéndice 8. Resultado de muestras del biodigestor A y biodigestor B	80
Apéndice 9. Ficha técnica.....	81

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló con la finalidad de reutilizar los desechos orgánicos producidos en la planta cementera Unacem, cuyo objetivo general fue evaluar dos biodigestores a diferente condición térmica para la producción de biol y biogás. Para ello se consideró un biodigestor A, bajo condiciones controladas (invernadero) y un biodigestor B, instalado a campo abierto (condiciones normales). El monitoreo de la temperatura de ambos biodigestores se dio por un lapso de dos meses y con una frecuencia de tres veces al día: 07:00, 12:00 y 17:00 horas. Al finalizar todo el proceso de monitoreo se tomó una muestra de un 1 litro de biol de cada biodigestor y se envió al laboratorio de la UNAM para su análisis respectivo.

Se obtuvo como resultado que la temperatura media del biodigestor A fue diferente al del biodigestor B. Así mismo, el análisis químico de los compuestos finales de la generación de biol del experimento B presenta resultados ligeramente más altos en los siguientes parámetros, la conductividad eléctrica con 15,30 dS/m, el nitrógeno con 1128,40 mg/l el potasio con 14,56 mg/l, el calcio con 245 mg/l, el magnesio con 226 mg/l y el sodio con 401 mg/l con respecto al experimento A que presenta valores elevados en sólidos totales con 24,92 g/l y fósforo con 194,85 mg/l. En cuanto a la calidad del biogás, es superior en el biodigestor A con respecto a la combustión con 26 LEL, el monóxido de carbono con 118 ppm, el dióxido de carbono con 9,99 % vol y el sulfuro de hidrógeno con 15 ppm, mientras que en el biodigestor B presenta mejores resultados en el dióxido de nitrógeno con 5 ppm y el oxígeno con 23 % vol. Con respecto al biol se puede definir que el biodigestor B produce un biol con mejores características químicas con respecto al biodigestor A. Por lo cual, el biol producido en el biodigestor B reúne excelentes condiciones nutricionales. Finalmente, se debe implementar el biodigestor del experimento B, que aprovecha de manera efectiva los residuos orgánicos en la producción de biol, con respecto a la calidad del biogás se sugiere implementar un biodigestor A puesto que contiene mejores condiciones químicas.

Palabra clave: *Biodigestor, biol, gas, análisis químico, residuos, abono y sólidos totales*

ABSTRACT

The present research work was developed with the purpose of reusing the organic waste produced in the Unacem cement plant, whose general objective was to evaluate two biodigesters at different thermal conditions for the production of biol and biogas. For this, a biodigester A was considered, under controlled conditions (greenhouse) and a biodigester B, installed in the open field (normal conditions). The monitoring of the temperature of both digesters was given for a period of two months and with a frequency of three times a day: 07:00, 12:00 and 17:00 hours. At the end of the entire monitoring process, a sample of 1 liter of biol was taken from each biodigester and sent to the UNAM laboratory for its respective analysis.

It was obtained as a result that the average temperature of biodigester A was different from that of biodigester B. Likewise, the chemical analysis of the final compounds of the biol generation of experiment B presents slightly higher results in the following parameters, the electrical conductivity with 15.30 dS/m, nitrogen with 1128.40 mg/l, potassium with 14.56 mg/l, calcium with 245 mg/l, magnesium with 226 mg/l and sodium with 401 mg/l with respect to experiment A that presents high values in total solids with 24.92 g/l and phosphorus with 194.85 mg/l. Regarding the quality of the biogas, it is higher in biodigester A with respect to combustion with 26 LEL, carbon monoxide with 118 ppm, carbon dioxide with 9.99% vol and hydrogen sulfide with 15 ppm, while in biodigester B it presents better results in nitrogen dioxide with 5 ppm and oxygen with 23% vol. With respect to biol, it can be defined that biodigester B produces a biol with better chemical characteristics compared to biodigester A. Therefore, the biol produced in biodigester B meets excellent nutritional conditions. Finally, the biodigester of experiment B must be implemented, which effectively uses organic waste in the production of biol, with respect to the quality of biogas it is suggested to implement a biodigester A since it contains better chemical conditions.

Keywords: *Biodigester, biol, gas, chemical analysis, waste, fertilizer and total solids*

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas ambientales de mayor interés en el Perú es la generación de los residuos sólidos. Hoy en día se ha vuelto más difícil controlar y gestionar los residuos sólidos, esto se debe al gran aumento de la población, al consumismo y a la educación ambiental que tienen los seres humanos como cultura de vida. Toda actividad humana es capaz de generar residuos sólidos, pero estos residuos no son dispuestos adecuadamente por lo cual son abandonados en ríos, calles y zonas rurales. Los desechos sólidos se colocan de manera inapropiada, y esto a consecuencia directa de la falta de rellenos sanitarios. Hay cincuenta rellenos sanitarios y seis rellenos de seguridad en Perú, los cuales son insuficientes para el volumen de residuos que se genera en el país (Ministerio del ambiente [MINAM], 2020).

La presente investigación se encuentra enfocada en la necesidad de crear una estrategia de mitigación ambiental que consiste en implementar y evaluar dos biodigestores a diferente condición térmica y poder reaprovechar los desechos orgánicos producidos en la planta cementera Unacem y así buscar la sostenibilidad y sustentabilidad de la producción del biol y biogás. El estudio es de gran importancia porque se realizará una adecuada gestión de los desechos orgánicos que se producen en los comedores de la cementera Unacem. Estos son una de las mayores fuentes de contaminación al no ser dispuestos adecuadamente, estos residuos orgánicos emiten gases a la atmósfera al descomponerse, creando una importante fuente de energía que aún no se ha aprovechado adecuadamente mediante procesos biotecnológicos, el residuo orgánico puede convertirse en valiosos productos para generar energía y producir insumos agrícolas de alta calidad.

En la investigación se tuvo como objetivo principal evaluar dos biodigestores a diferente condición térmica para medir la mejor producción de biol y biogás. En cuanto a la estructura de la investigación, se dividió en seis capítulos, en la primera parte se presenta el marco teórico, con los antecedentes y las bases teóricas especializadas de la investigación, en la segunda parte los materiales y métodos con el diseño de la investigación, el uso de los materiales y el uso de los equipos, seguidamente el tercer capítulo, donde se presentan los resultados llegando a los capítulos finales donde se tiene la discusión, las conclusiones, las recomendaciones, las referencias usadas, la terminología y los apéndices de la investigación.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar dos biodigestores a diferente condición térmica para medir la mejor producción de biol y biogás a partir de residuos orgánicos de la cementera Unacem - Condorcocha.

Objetivo específico

- a) Determinar la cantidad de residuos orgánicos que ingresará como carga inicial a los digestores A y B.
- b) Determinar la temperatura promedio de digestión en descomposición de los residuos orgánicos en los digestores A y B.
- c) Determinar la calidad del biol obtenido en el proceso de descomposición de los residuos orgánicos en los digestores A y B.
- d) Determinar la calidad del biogás obtenido en el proceso de descomposición de los residuos orgánicos en los digestores A y B.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

Lara (2016) tuvo como objetivo realizar un digestor para generar biogás a partir del estiércol vacuno en la finca Jersy Chugllin provincia de Chimborazo en Ecuador. El desarrollo del trabajo investigativo fue de diseño experimental - preexperimental, con un enfoque cuantitativo y un alcance exploratorio. El proceso metodológico consistió en realizar 2 digestores experimentales para el monitoreo de los parámetros de temperatura y la producción del biogás por lo cual realizó la toma de muestra de estiércol de seis vacas durante cinco días con un promedio de 7,5 kg/día. Fabricó dos biodigestores utilizando dos tambores de 20 litros con implementación de tuberías y válvulas, el primer biodigestor 1 lo instaló a temperatura ambiente y el segundo biodigestor 2 lo instaló en un área con mejores condiciones térmicas. Para los dos biodigestores realizó pruebas de temperatura, pruebas de probeta y pruebas de flama durante el proceso de producción de biogás. Durante el desarrollo se aplicó diseño de fórmulas para un digestor tubular para proyectar los resultados experimentales a 15 bovinos y así obtener resultados globales mediante los cuales seleccionó al digestor experimental 2 con los presentes resultados obtenidos: carga diaria 224 kg/día, tiempo de retención 38 días, total del volumen de la caldera 11,43 m³, con una longitud de 8.95m y con un diámetro de 1.27m. Llegó a la conclusión que la generación de metano fue de 2.83 m³/día, realizando así una entrega de 45 % del valor total que necesita la planta de incubación para cubrir las actividades donde utiliza el gas licuado de petróleo.

Paredes (2015) realizó el estudio sobre el diseño de un biodigestor para la obtención de biogás y biofertilizante a partir de residuos orgánicos en el Cantón Patate, provincia de Tungurahua en Ecuador cuyo objetivo fue diseñar un biodigestor para producir biogás y biofertilizante a partir de desechos orgánicos del Cantón Patate. El desarrollo del trabajo investigativo fue un diseño experimental con post prueba y sin un grupo de control y presentando un enfoque cuantitativo. El proceso metodológico consistió en realizar la construcción de un biodigestor Hindú mediante un análisis económico, la cantidad de

desechos y el área disponible en la zona del estudio experimental donde midió el volumen total de producción del biogas y la temperatura diaria y así poder determinar el tiempo de retención idóneo para el diseño del digestor. El autor concluyó que las dimensiones apropiadas para el biodigestor fueron: volumen del contenedor es 97 m^3 ; altura del biodigestor es 3,5 m, diámetro del biodigestor es 6 m, altura de la cúpula es 1,5 m, cámaras de entrada y salida del biodigestor es 2,21 m, con una producción diaria aproximada de $492 \text{ m}^3/\text{gas}$ diario, buscando así minimizar los impactos ambientales negativos generados por los desechos orgánicos del cantón de Patate.

Criollo y Guzmán (2014) realizaron un estudio sobre el desarrollo del subproducto piloto de modelo tubular para la generación de gas con la utilización de residuos de estiércol de ganado en la casa de la comunidad del Tembo, provincia de Rio Bamba en el Ecuador, cuyo objetivo fue desarrollar un biodigestor tubular para la generación de biogás a partir de excremento de ganado. El desarrollo del trabajo investigativo fue un análisis a la muestra de estiércol vacuno donde se fundamentó en técnicas analíticas manejadas en varias etapas experimentales, descritas en los métodos estándar para el análisis de aguas potables y residuales (APHA; AWWA; WPCF; 17 ed) y presentado en un enfoque cuantitativo con un muestreo aleatorio de siete bovinos, cuya excreción se utilizó para hallar la carga diaria y su caracterización fisicoquímica, así mismo, recolectaron datos meteorológicos que los permitieran determinar el tiempo de retención. El proceso metodológico consistió en el diseño de un digestor tubular con la colocación en una trinchera termoaislante ubicada a 8,3 m y 1,2 m de la casa y el granero. En el periodo de los 46 días de monitoreo verificarán el potencial, la temperatura y la presión de hidrógeno como actúa en el desarrollo de generación de biogás incluyendo pruebas de olor y color de llama. Los resultados experimentales de la producción de biogás a partir de estiércol fresco fue en un 96,24 % y la cantidad de materia orgánica degradada oscilaba entre 60-90 %. Los autores llegaron a la conclusión que la generación diaria del gas en los días calurosos fue $1,5 \text{ m}^3$, dando 1,68 h de llama ardiente que puede hervir un recipiente de 40 litros de agua en 48 minutos, por lo tanto, la producción de biogás en comunidades a más de 3 000 m.s.n.m. es viable por su bajo costo y fácil operación.

Toala (2013) realizó el estudio sobre el diseño de un biodigestor de polietileno para la generación de biogás a partir de excremento de bovino de la finca Verónica de la provincia de Rio Bamba en el Ecuador, cuyo objetivo general fue diseñar un digestor de polietileno para obtener biogás a partir del estiércol de bovino. El desarrollo del trabajo investigativo fue un diseño experimental - pre experimental, con un enfoque cuantitativo y un alcance exploratorio con un muestreo aleatorio simple. El proceso metodológico consistió en realizar la recolección de muestras de estiércol a las 7:00 am en diferentes días aleatorios (2 muestras de 1 kg cada una), las muestras se trasladaron al laboratorio en un tiempo máximo de 1 hora y así poder analizar los parámetros bacteriológicos, físicos y químicos. Durante el desarrollo del diseño se analizó un factor de seguridad del 5 % con tiempo de retención de 40 días y con una capacidad de 4 849 litros, 1,54 m altura y 2 m de diámetro, con cuatro tanques de plastigama de 5 000 litros cada uno con válvulas de alivio a presión, tuberías de drenaje y un tanque de almacenamiento de biol. Concluyó que el tiempo de retención para la generación de gas y del biol según el piloto fabricado consta de 40 días asegurando así la funcionalidad del diseño y la generación de productos de gestivos anaeróbicos con un volumen de carga de 373 litros /día en relación 1:1 de agua - estiércol con una eficiencia de 90,42 % en relación a la energía producida en el proceso anaerobio.

Fuentes (2012) realizó el diseño y edificación de un digestor con un sistema automático para la producción de biogás en el fundo Tanguarín de la parroquia San Antonio de Ibarra en el Ecuador, cuyo objetivo general fue diseñar y edificar un digestor para la producción de biogás. El desarrollo del trabajo investigativo fue un diseño experimental con un enfoque cuantitativo. El proceso metodológico consistió en realizar el diseño de un digestor con sistema de control automático, el cual determina secuencialmente errores a través de la información brindada por los sensores que el nivel de sustrato, la temperatura, el sustrato, la presencia de gas metano, entre otros. Los resultados de la generación de gas fue desde el día 20 con un valor de 236 cm³ gas/día y un valor final de 264 cm³ biogás/día al día 100. La eficiencia del biodigestor está fundamentada en la generación de gas y biol ya que depende mucho de un buen control de las variables intervinientes del proceso, la calidad, el tipo del material y la relación de la materia prima con el agua. El autor llegó a la conclusión de que el sistema desarrollado y su aplicación en el sector agrario es económicamente rentable y factible con mucha eficiencia en la producción de biogás y biol así mismo el proyecto constituye una base para el desarrollo de energías renovables en el país.

Nacionales

Campos (2017) realizó el estudio sobre la propuesta de un digestor tubular de polietileno para generar gas a partir del agua del río Utcubamba y la paja de arroz en la ciudad de Bagua grande en el Amazonas, cuyo objetivo principal fue proponer un digestor tubular de plástico para generar gas a partir del agua del río Utcubamba y la paja de arroz. El desarrollo del trabajo investigativo fue un diseño cuasi experimental con un muestreo de 6 kg de la paja de arroz en época de lluvia y 6 kg de la paja de arroz en época de sequía y con una muestra de agua de 12 litros de la cuenca del río Utcubamba. El proceso metodológico consistió en realizar la construcción de tres digestores experimentales con una dimensión de 7,26 m de longitud y 1,5 m de ancho y con ello calcularon que la generación de 7,69 m³ de gas a partir de paja de arroz, el experimento lo realizaron bajo condiciones ambientales no controladas a una proporción de biomasa – agua 1:2 (2 kg de sustrato y 4 litros de agua). Para determinar el volumen del gas utilizó un manómetro de tubo en U y la ley de los gases ideales y el análisis de los datos obtenidos mediante el programa Statistics 23,0 a través de una prueba de comparación de medias. El autor llegó a la conclusión que el volumen del gas generado es de 541 ml en época seca y 534 ml en época húmeda con un diseño de digestor tubular de 5,23 m³ (7,69 m³ de gas diariamente) con un costo de 1174,90 soles y así sustituir la leña que emplea una familia promedio para cocinar sus alimentos.

Vega (2015) realizó el estudio sobre el diseño, construcción y evaluación de un biodigestor semicontinuo para la producción de biogás con la fermentación anaeróbica de excremento de cuyes y conejo para el colegio privado Cristiana Bereshi en la ciudad de Chimbote, cuyo objetivo principal fue obtener biogás a partir de la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy en un digestor semicontinuo. El desarrollo del trabajo investigativo fue un diseño descriptivo de tipo aplicativo con un enfoque cuantitativo. El proceso metodológico consistió en realizar el análisis del estiércol del cuy y conejo y así poder saber sus propiedades químicas que presenta, luego se realizó la construcción basados en el diseño de un digestor tipo Chino con una capacidad de 2,23 m³ evaluando la rentabilidad económica, los materiales a utilizar, la mano de obra con la finalidad de aprovechar mejor el estiércol, así mismo se utilizó un agente impermeabilizante (SIKA) para evitar fugas en el digestor. El autor llegó a la conclusión de que obtuvo gas a una generación global total de 6 m³ con una

tasa de generación de metano de 1.194 m³/día y una concentración de metano al 55 % dentro de la composición del gas.

Fernández *et al.* (2014) realizaron el estudio sobre la producción de energía renovable a partir de actividades ganaderas en la región de Madre de Dios, cuyo objetivo principal fue la producción de energía renovable reutilizando restos orgánicos de la ganadería. El desarrollo del trabajo investigativo fue un diseño experimental con un enfoque cuantitativo y un alcance exploratorio. El proceso metodológico consistió en realizar la instalación y la construcción de un biodigestor tubular de geomembrana de polietileno de 10 m³ con una capacidad de almacenamiento de 5 m³ que se generara a partir de la fermentación anaeróbica del excremento bovino y de cerdo. El análisis detalla que en condiciones normales ambientales se puede producir biogás con una combustión desde el día 10 en los cerdos y desde el día 12 en las vacas luego de la carga inicial del reactor con desechos orgánicos con un tiempo de residencia para el estudio de 30 días. Los autores llegaron a la conclusión de que se puede generar 5 m³ de gas metano en 48 horas mediante fermentación anaeróbica con un tiempo de retención hidráulica de 30 días con las cargas interdiarias de 0.5 de solución de estiércol con agua en proporción 1:3, por ello el autor propone implementar tecnologías de eliminación de desechos orgánicos en los sectores ganaderos y generar energía renovable.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Biodigestores

Es un contenedor o tanque cerrado que se puede construir con diferentes tipos de materiales (plástico, ladrillo, cemento o metal), tiene una entrada por donde ingresa el material orgánico con agua y una salida para el material descompuesto por acción bacteriana. Es un sistema natural que utiliza la descomposición anaeróbica de las bacterias que viven en el excremento para convertirlo en gas y biol (Marti, 2008).

1.2.2. Tipos de biodigestores

Según su construcción

a) Biodigestor de domo flotante (hindú)

Considerado como biodigestor semicontinuo, está compuesto por un tambor de acero con paredes hechos de ladrillo y hormigón. Este tipo de digestores presenta una campana flotante con el cual proporciona una presión frecuente que permite almacenar y disponer del gas producido para su uso. Las ventajas del biodigestor son: fácil operación, presión constante, no permite la formación de espuma y el aumento de la materia orgánica. Las desventajas del biodigestor son: los gasómetros de acero no están protegidos llegando a oxidarse (Hidalgo y Lara, 2015).

b) Biodigestor de domo fijo

Es un tanque construido íntegramente en mampostería y es muy popular en China, no presenta tapa móvil y está completamente enterrado. Al igual que el modelo hindú, recibe la carga fresca a través de un conducto que dirige hacia el fondo y entrega el efluente por desbordamiento hacia un tanque externo (Guardado y Vargas, 2008).

c) Biodigestor tipo bolsa

Consiste en una bolsa de PVC o goma con forma cilíndrica, se coloca a lo largo de un agujero en el suelo de manera que quede sujeta por los extremos laterales del suelo. Los nutrientes ingresan por un lado y se descargan por el otro lado opuesto.

El biogás se almacena en la parte más alta de la bolsa de PVC y así se infla parcialmente con una presión de funcionamiento baja, ya que no se puede superar la misma presión del sistema. Este tipo de reactor es muy rentable y fácil de trasladar por presentar un peso bajo. El biodigestor al ser herméticos las pérdidas se reducen, pero por presentar fragilidad se requiere de un buen manejo por parte de las personas que desarrollan el sistema ya que podrían dañarlo (Guardado y Vargas, 2008).

Según su operación en campo

a) Biodigestor continuo

Cuando en el biodigestor la descarga de biol es similar al sustrato inicial, la generación de biogás será homogénea al pasar el tiempo. El proceso de producción se desarrollara en zonas con residuos orgánicos ricos y digestores grandes mayores a 15 m³ y medianos a 6,3 y 15 m³.

Una de las características es la gran dilución de carga de tres a cinco veces de agua y uno de excreta, el manejo del proceso es fácil ya que se realiza de manera hidráulico el sistema y esto evita utilizar mano de obra en la operación. El reactor se carga diariamente con nuevas cantidades de lodo fresco (Ruiz, 2010).

b) Biodigestor semicontinuo

Una gran cantidad de desechos orgánicos siempre se considera como carga inicial nutricional, cuando el intercambio de gases disminuye gradualmente se agregan nuevos nutrientes y el efluente se libera con la misma proporción. El nutrimento inicial que se degradará ocupa aproximadamente el 80 % del biodigestor, mientras que el espacio libre del biodigestor que es el 20 % será para realizar cargas intermedias y cargas continuas por si la generación del biogás disminuye gradualmente. Este sistema presenta las desventajas y ventajas del sistema Batch, pero cuando se trata de biofertilizante, el aumento de sustancias ricas en nutrientes aumenta demasiado su calidad (Ruiz, 2010).

Un modo de funcionamiento puede ser cuando se incorpora una carga discontinua de residuos de cultivos al digestor y la carga continua es con la excreción de cerdo o del ser humano. Dado que el abastecimiento del nutrimento no es rutinario ni constante, el tiempo del proceso aumentará, por lo cual se acelera el proceso mediante el uso y control de factores favorables externos (Ruiz, 2010).

c) Biodigestor por lote

Las cargas de los digestores son con los nutrientes en un solo lote, si la generación de biogás desciende después del proceso de fermentación los biodigestores se retiran completamente los nutrientes y se retroalimentan nuevamente. Conocida como proceso por lotes. Las cargas de nutrientes se caracterizan por una gran concentración de sólidos que deben de inocularse adecuadamente, especialmente cuando se descomponen residuos vegetales (Ruiz, 2010).

1.2.3. Partes de un biodigestor

a) Tanques de digestión

Conocida como cámara de fermentación anaeróbica, donde se ubica el nutriente que permanecerá durante el periodo de retención y así producir la descomposición y liberación de biogás. Su forma y diseño es cilíndrica y su capacidad de almacenamiento está indicada por la cantidad de residuos orgánicos para descomponer (Arrieta, 2016).

b) Volumen del reservorio de gas

El almacenamiento del gas depende del consumo, por lo que el exceso de gas se puede almacenar en un reservorio realizado con las mismas propiedades que el digestor. Se considera que la cantidad de putrefacción y la capacidad de almacenamiento se debe de tener en cuenta la proporción de 5:1 para los ganaderos pequeños (Arce, 2011).

c) Ducto de ingreso y salida del nutriente

El ducto de ingreso y de salida del reactor es a través de una tubería de plástico de 4" y 6" dependiendo de las proporciones del reactor que se encuentra en la parte céntrica y de los laterales del PVC y así poder limitar a que el reactor presente fugas en el proceso, sus dimensiones son cada una de 0,5 m (Arce, 2011).

d) Ducto de salida del gas

El ducto que lleva el gas es de PVC, debe de presentar resistencia frente a corrosiones químicas, debe de ser de peso bajo y debe de ser rentable. Las opciones para usar es tubería de 1" o de ½" (Arce, 2011).

e) Válvula de seguridad

La presión dentro del biodigestor generada por el gas no debe de aumentar demasiado ya que podría superar la resistencia plástica y provocar fisuras que reduzcan la vida útil del dispositivo. Todo sistema de tubería de gas debe de tener una válvula de escape colocado muy cerca del reactor, esto debe de estar hecho de un botellón de PVC conteniendo agua y así permita observar el nivel de agua, la dimensión del ducto que entra el agua es dependiente de la presión del reactor, es posible controlar la presión dentro de la caldera. Por ello, se debe de tener en cuenta el nivel de agua que permanece constante ya que si se evapora puede dejar que el tubo se desgaste y hacer que entre aire a la caldera lo que afecta el proceso digestivo anaeróbico (Ruiz, 2010).

1.2.4. Biomasa

Son productos de grupos energéticos, restos de materia orgánica, residuos agrícolas y residuos de comida que se originaron como resultado del desarrollo de proceso fotosintético que son transformados a procesos térmicos y así producir energía. En conclusión, cualquier sustrato puede utilizarse como biomasa, siempre que contenga grasas, proteínas, carbohidratos, celulosa y hemicelulosa como componentes principales (Sánchez, 2006).

1.2.5. Tipos de biomasa

En general, se pueden utilizar como sustrato todos los tipos de biomasa siempre que su contenido en carbohidratos, proteínas, grasas, celulosa, y hemicelulosa sea mayor. Según Deublein y Steinhauser (2008), nos mencionan que al elegir la biomasa es importante considerar los siguientes aspectos:

- La materia orgánica debe ser apropiada para el proceso de fermentación.
- La sustancia orgánica debe tener valor nutricional, esto ayudar en la formación del biogás.
- El sustrato debe ser inocuo antes de la fermentación, ósea debe de estar libre de agentes patógenos y otros organismos.
- El compuesto químico del gas debe ser adecuado para una mayor aplicación.
- La descomposición de los desechos orgánicos debe de ser de la mejor manera ya que esta pueda utilizarse como abono orgánico.

Hay una variedad de materia orgánica que favorece el proceso de fermentación. A continuación, se describe la clasificación de los sustratos según su origen:

a) Residuo forestal

Son biomásas que se encuentran actualmente en procesos de transformación de madera, se calcula aproximadamente que cada árbol talado para la transformación solo el 20 % se utiliza comercialmente, el 40 % permanece en las raíces y ramas y el 40 % en el proceso de aserradero en forma de astillas, corteza y aserrín (Deublein y Steinhauser, 2008).

b) Residuo agrícola

La agricultura genera importantes cantidades de residuos, se estima que el porcentaje de residuos de campo es superior al 60 % y de residuos de proceso entre 20 y 40 % (Deublein y Steinhauser, 2008).

c) Residuo industrial

La gran cantidad de residuos orgánicos que genera la industria alimentaria se pueden utilizar como fuentes de energía ya que tratamiento de residuos de carne y hortaliza representan un costo adicional para cualquier industria (Deublein y Steinhauser, 2008).

d) Residuo doméstico

La población y las ciudades generan cantidad de desechos orgánicos de diversas formas, por ejemplo: desechos de alimentos, madera, papel y cartón. La falta de sistemas que ayuden en el tratamiento de estos desechos produce grandes problemas de contaminación del aire, suelo y agua, esto se debe a la inadecuada disposición de los residuos (Deublein y Steinhauser, 2008).

Por otro lado, la descomposición de residuos genera compuestos químicos contaminantes (metano, dióxido de carbono, entre otros) que ayudan a incrementar el efecto invernadero. Estos compuestos químicos contaminantes presentan valor energético (Deublein y Steinhauser, 2008).

1.2.6. Productos obtenidos en los biodigestores

La implementación de biodigestores trae beneficios económicos, así mismo produce gas el cual puede ser utilizado como un elemento energético para calentar e iluminar reduciendo el uso de la energía eléctrica convencional. Esta es una forma de producir energía que no es contaminante ni en el proceso de su producción ni en su combustión, contrario a lo que sucede con los combustibles fósiles (Varnero, 2011).

Además, como subproductos de la producción del biogás se obtiene un fertilizante orgánico de alta calidad de inmediata disponibilidad a los cultivos y que se puede integrar fácilmente al sistema de producción (Varnero, 2011).

1.2.7. Biogás

El gas es ligeramente más liviano que el aire, tiene un punto de inflamación de 800 °C y la temperatura de la llama es de 870 °C aproximadamente. Si el tiempo de retención hidráulica es mayor, la producción de metano es mayor así mismo el poder calorífico. Si el tiempo de retención hidráulica es corto el metano suele caer hasta en un 50 %. Cuando presenta metano al 50 % el biogás ya no es inflamable (Sánchez, 2006).

1.2.8. Compuestos presentes en el biogás

El biogás aproximadamente contiene metano entre 55 - 70 % y dióxido de carbono entre 35 - 40 %. Así mismo, presenta una pequeña cantidad de ácido sulfhídrico que da al gas un olor de huevos podridos (Marti, 2008). Según la Tabla 1 se puede apreciar la composición química del biogás y su porcentaje aproximado que presenta cada compuesto:

Tabla 1

Resumen de la composición química del biogás

Componente	Porcentaje (%)
Metano (CH ₄)	54 a 70
Dióxido de carbono (CO ₂)	27 a 45
Nitrógeno (N ₂)	0,5 a 3,0
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	0 a 0,1
Hidrógeno (H ₂)	1 a 10

Fuente: Guerrero (2012).

1.2.9. Biol

Es la parte líquida resultante del biodigestor. Este lodo se sedimenta obteniendo una parte líquida llamada biol. En el proceso de descomposición el 90 % del material que ingresa al biodigestor se transforma en biol y solo se eliminan los gases generados en el proceso que representan del 1 - 5 % del volumen total de la materia prima. La utilización del biol es para fortalecer el crecimiento y desarrollo de las plantas y esto se debe a la gran generación de hormonas vegetales que son residuos del metabolismo de bacterias típicos de este tipo de descomposición anaeróbica (Aparcana, 2005).

1.2.10. Proceso de digestión anaeróbica

La fermentación anaeróbica son una serie de reacciones digestivas realizadas por diversas bacterias en un ambiente cerrado. Este proceso biológico realizado por reacciones bioquímicas se basa en la transformación de residuos a biogás y biofertilizante. La

fermentación anaeróbica es una biotecnología que ayuda a mantener una digestión sostenible de los desechos orgánicos (Llirod y López, 1995).

Las poblaciones de bacterias presentes en la fermentación anaeróbica deben de presentar un adecuado control de temperatura, control de pH, manejo de los sólidos en el sustrato, entre otros. Si no se controlan adecuadamente estas variables pueden afectar significativamente el proceso de manera crítica por ese motivo se debe de mantener dentro de los parámetros.

En la naturaleza se encontrará una variedad de desechos orgánicos de los que se puede generar gas. Estos incluyen desechos de mascotas, excreciones humanas, residuos de plantas como pastos, hojas secas y desechos domésticos (Llirod y López, 1995). En la Tabla 2 se puede apreciar los residuos orgánicos con potencial para producir biogás.

Tabla 2

Desechos agrícolas y de animales con potencial para producir biogás

Desechos Animales	Estiércol, desechos de alimentos, orina, etc.
Residuos Agrícolas	Ramas, tallos, pajas, semillas, bagazo de caña, etc.
Desechos Industriales	Desechos de pescado, carne, sangre, etc.
Residuos Agroindustriales	Desechos de tabaco, desechos de frutas, cascarilla de arroz, aserrín y desechos de vegetales.

Fuente: Llirod y López (1995).

La alimentación de los microorganismos anaeróbicos son básicamente el nitrógeno y el carbono. El nitrógeno sirve para la construcción de estructuras celulares y el carbono se consume como fuente energía (Llirod y López, 1995).

Los residuos orgánicos más utilizados en la producción del gas los encontramos en el estiércol de animal, cuya relación de carbono y nitrógeno es siempre inferior ya que presenta mayor contenido en el nitrógeno. Los residuos agrícolas suelen tener una relación carbono-

nitrógeno muy alta porque contienen poco nitrógeno, por lo que suelen mezclarse con desechos animales o un componente que presente nitrógeno. Su proporción perfecta es 30:1. Cuando el nitrógeno es menor al necesario, la producción de gas es limitada; por otro lado, si presenta un exceso se genera más amoníaco del necesario, esto inhibe el proceso y es tóxico. Lo recomendable para una localidad es utilizar varios residuos mezclándolos para un mejor uso en el reactor (Deublein y Steinhauser, 2008). En la Tabla 3 se puede apreciar la composición de los desechos orgánicos con respecto a la producción de biogás.

Tabla 3

Composición de desechos para la producción de biogás en área rural

Material	Humedad %	Sólidos Totales %	Carbono Base Seca %	Nitrógeno Base Seca %	Relación C/N en peso
ESTIÉRCOL					
Vacuno	79	21	32	1,5	21
Ovino	73	27	60	3,7	16
Equino	75	25	47	2,4	20
Porcino	69	31	73	2,6	28
Aves de corral	44	56	70	6,0	12
Auquenido	57	43	42	3,7	11
Cuyes	32	60	37	2,2	17
Conejos	20	80	47	2,02	23
DESECHOS AGRÍCOLAS					
Chala de maíz	15	85	39	0,7	56
Paja de arroz	8	92	41	0,7	59
Paja de cebada	7	93	42	0,8	48
Paja de trigo	8	92	46	0,53	87
Totora	35	65	41	0,23	178
Hoja de platano	89	11	42	1,10	38
Pastos	67	33	40	2,52	16
Hierbas, hojas	50	50	41	1,0	41

Fuente: Llirod y López (1995)

El gas es producido por los microorganismos quienes realizan la fermentación de los residuos orgánicos. Las bacterias anaeróbicas realizan la digestión por lo que no debe de

haber presencia de oxígeno. Por lo tanto, después de que se integre la primera carga, pasa un largo periodo de tiempo para que inicie su digestión (Llirod y López, 1995).

Durante el periodo aeróbico inicial (con oxígeno), las bacterias consumen todo el oxígeno disponible, produciendo gran cantidad de dióxido de carbono. Al acabarse el oxígeno comienza el proceso digestivo (Llirod y López, 1995).

Durante el proceso se desarrollan una serie de reacciones de las diversas bacterias anaeróbicas que se alimentan de los residuos orgánicos. Cuando se activan las bacterias desencadenan su actividad y a su vez alimentan a otras bacterias (Llirod y López, 1995).

Las bacterias metanogénicas son capaces de recuperar y mantener la energía de reducción de óxido contenida en los residuos que a través de una serie combinada de reacciones en las que parte de los compuestos se oxida a dióxido de carbono y la otra parte se reduce al metano (Llirod y López, 1995).

1.2.11. Etapas de la fermentación anaeróbica

Durante el proceso de generación de metano por la descomposición anaeróbica existen cuatro etapas:

- Etapa de hidrólisis
- Etapa de acidificación
- Etapa acetogénica
- Etapa metanogénica

a) Hidrólisis

Durante la etapa de la solubilización los compuestos como los lípidos, las proteínas y la celulosa son convertidos en monómeros por exoenzimas generados por las bacterias

anaeróbicas severos y facultativos. La solubilización de los carbohidratos toma unas pocas horas, la solubilización de proteínas y grasas en días. Por el contrario, la lignocelulosa y la lignina se degradan moderadamente y esta conversión suele ser incompleta (Deublein y Steinhauser, 2008).

Las bacterias anaeróbicas facultativos consumen el oxígeno disuelto en el agua y crean las condiciones mínimas de potencial redox que es muy necesaria para las bacterias anaeróbicas graves (Deublein y Steinhauser, 2008).

b) Acidificación

Los monómeros producidos en la etapa del hidrolisis son absorbidos por los diversos microorganismos facultativos y anaeróbicos y así ayudan a descomponer en ácidos de cadena corta (C1 – C5), así mismo se detallan ejemplos, dióxido de carbono, ácido butírico, acetato, ácido acético, ácido propiónico, hidrógeno y alcoholes. La concentración de los diversos compuestos perjudica el tipo de fermentación producida. Por ejemplo, cuando sube la presión del hidrógeno, se pierde otros compuestos como el acetato (Deublein y Steinhauser, 2008).

c) Acetogénica

Los productos generados en la etapa acidogénica se pueden utilizar como sustrato para otros microorganismos en la etapa acetogénica. Los cambios acetogénicas suelen ser endergónicas. Para la fermentación del ácido propiónico es necesario una energía de $\Delta G_f = +76,11$ KJ/mol y para la degradación del etanol $\Delta G_f = +9,6$ KJ/mol. En la etapa acetogénica las bacterias homoacéticos realizan constantemente una reducción exergónica de hidrógeno y dióxido de carbono a ácido acético.

Los microorganismos acetogénicos generan hidrógeno. La generación del compuesto de acetato por la oxidación de los ácidos grasos de cadena extensa se producen y esta a su vez aumenta su temperatura a una baja presión de hidrógeno. Los microorganismos toman la energía necesaria para su crecimiento y supervivencia, pero a bajas concentraciones de

hidrógeno. Si la presión del hidrógeno es baja, los microorganismos acetogénicas generan CO_2 y acetato (Deublein y Steinhauser, 2008).

El cambio anaeróbico de los ácidos grasos y alcoholes se realiza en la metanogénesis cuando tenemos la biomasa apropiada para el crecimiento de los microorganismos acetogénicas. La generación y la calidad del biogás dependen mucho de las bacterias acetogénicas. Los compuestos derivados de azufre y el nitrógeno suelen ser mineralizados a sulfuro de hidrógeno por la generación de amoníaco (Deublein y Steinhauser, 2008).

d) Metanogénica

El metano se produce en mayor cantidad en condiciones anaeróbicas y a este tipo de reacciones se les conoce como reacciones exergónicas. No todas las bacterias metanogénicas descomponen los tipos de biomasa. Las biomasa que las bacterias pueden descomponer se dividen en tres grupos:

Los que degradan:

CO_2	$\text{CO}_2, \text{HCOO}, -\text{CO}$
Grupo metilo	$\text{CH}_3\text{OH}, \text{CH}_3\text{NH}_3, (\text{CH}_3)_2\text{NH}_2, (\text{CH}_3)_3\text{NH}, + \text{CH}_3\text{SH}, (\text{CH}_3)_2\text{S}$
Grupo acetato	CH_3COO

Cuando se altera la producción de metano, se generan una acidificación. Estos problemas ocurren cuando los microorganismos acetogénicas realizan simbiosis con otras bacterias no metanogénicas que usan H_2 . Puede producir una simbiosis entre microorganismos en las aguas residuales, lo que resulta en una disminución de sulfato a sulfuro de hidrógeno. Por lo cual, los microorganismos presentan necesidades de hidrógeno y compiten con otros microorganismos metanogénicos. La metanogénesis baja y se genera menos metano. El sulfuro de hidrógeno también es tóxico para las bacterias metanogénicas. (Deublein y Steinhauser, 2008).

Las diversas reacciones que generan metano tienen diversos rendimientos energéticos. Sin embargo, del 27 - 30 % el metano se genera de la reducción mientras que el 70 % proviene del acetato durante la metanación (Deublein y Steinhauser, 2008).

1.2.12. Factores que influyen en la fermentación anaeróbica

Hay varios factores que influyen directamente en la descomposición metanogénica y son capaces de cambiar el ritmo de la fermentación. A continuación, se describen los factores que intervienen en la fermentación:

a) Material de carga para la fermentación metanogénica

Es el residuo orgánico que se introduce en un reactor para su fermentación. En el proceso de descomposición, las bacterias metanogénicas buscan nutrientes para generar gas. Por eso, debemos de contar con suficientes residuos orgánicos para que no se pierda el proceso digestivo. El material orgánico utilizado como carga inicial son residuos de cultivo, excreción humana y animal. Esto se puede dividir en dos grupos, desechos orgánicos rico en nitrógeno y desecho orgánicos rico en carbono. Los nitrógenos se utilizan para formar la estructura celular y el carbono se utiliza como fuente de energía (Saved y Vargas, 2008).

b) Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)

Los microorganismos consumen carbono y nitrógeno de la materia orgánica. Hay diversos criterios para la relación, aunque es aceptable una relación de C/N de 20 - 30:1 (Guevara, 1996).

Los desechos de animales y humanos presentan gran cantidad de nitrógeno con una relación C/N de menos de 25:1. Los residuos agrícolas en su mayoría identifican el cambio ya que presentan gran cantidad de carbono con una relación C/N superior a 30:1, pero con una producción más lenta de biogás, para lo que se genera todas las condiciones requeridas para que se pueda desarrollar en el proceso de digestión (Guevara, 1996).

c) Concentración de carga

Para tratamiento de aguas residuales y manejo de reactores no es aconsejable que la carga sea muy concentrada o diluida. Se recomienda una concentración del 5 % al 10 %. Para calcular el concentrado de lodo, la cantidad de agua y la relación de los componentes se tiene que conocer los sólidos totales de la carga (Guevara, 1996).

d) Temperatura

La temperatura influye en el tiempo de residencia para la digestión, degradación del material en el fermentador, donde la degradación aumenta geométricamente al aumentar la temperatura de trabajo y también aumentan la producción del gas. Hay otros que pueden generar metano a baja temperatura (0,6 – 1,2 °C), por ejemplo, el suelo con permafrost (Llirod y López, 1995).

Los microorganismos pueden vivir a una temperatura mínima de -11 °C. Las pequeñas fluctuaciones de temperatura provocan cambios en su actividad y lo más sensibles son las bacterias metanogénicas termofilicos. Por lo tanto, el rango de la temperatura 2 °C. Las temperaturas entre 40 y 45 °C son críticas para los microorganismos mesófilos ya que pierden proactividad en su desarrollo. Se recomienda altas temperaturas para la fase anaeróbica para la formación de metano ya que el oxígeno es menos soluble. Por otro lado, se recomiendan temperaturas más bajas para la fase de hidrólisis porque los microorganismos activos en esta etapa necesitan oxígeno para poder descomponer los compuestos complejos (Llirod y López, 1995).

e) Valor de pH

El pH óptimo para la fermentación metanogénica es 6,5 - 7,5 aunque las bacterias metanosarcina son las únicas que están por debajo del pH del 6,7, si por algún motivo desciende a 5 o pasa los 8 detienen el proceso de digestión. Cuando se utilizan residuos domésticos y agrícolas el pH por su cuenta se vuelve óptimo. Una disminución del valor de pH y un aumento de emisiones de dióxido de carbono nos indica que hay una alteración en el proceso de digestión (Deublein y Steinhauser, 2008).

Según Deublein y Steinhauser (2008), menciona los pasos que se pueden tomar para resolver este problema son:

- No suministrar más nutrimento y dejar que los microorganismos metanogénicos degraden al ácido.
- Mejora en el aumento del tiempo de retención.
- Eliminación de ácidos.
- Aumento de neutralizantes como leche de cal, carbono y solución de soda cáustica.
- Aumento de agua.
- Descargar e ingresar nueva carga al digestor.

f) Bacterias que promueven la fermentación

Las bacterias metanogénicas promueven la fermentación de desechos orgánicos y aumentan la generación de biogás. Los inhibidores son sustancias que ayudan la actividad de los microorganismos. Si el fermentador está cargado se le puede ayudar a generar biogás agregando celulosa, urea y carbonato cálcico. Los inhibidores debido a su naturaleza biológica afectan el desarrollo de las bacterias (Deublein y Steinhauser, 2008).

La aglomeración de ácidos volátiles (más de 2,000 ppm para la digestión mesófila y 3,600 ppm para termófilos). La aglomeración de amoníaco y nitrógeno destruye a los microorganismos, especialmente los venenos fuertes, incluso en elementos trazas podrían finalizar la descomposición normal. Muchas sales como los iones metálicos son potentes inhibidores (Deublein y Steinhauser, 2008).

g) Tiempo de retención

El tiempo de retención está relacionado con la temperatura, si la temperatura es alta significa que el tiempo de retención del digestor es rápida. Cuando presenta temperaturas bajas se sigue produciendo gas sin embargo si la temperatura es 5 °C la producción de gas es baja y las bacterias se duermen (Metcalf y Eddy, 2003).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La investigación del presente proyecto se desarrolló con la finalidad de reutilizar los residuos orgánicos generados en la planta Cementera Unacem, por lo cual se aplicó metodología experimental. Para ello se realizó dos biodigestores de pruebas piloto, el primer biodigestor B fue instalado a campo abierto y el segundo biodigestor A fue instalado dentro de un invernadero con la finalidad de aumentar la temperatura.

Enfoque de la investigación

La presente investigación pertenece al enfoque cuantitativo esto se debe a que presenta diferentes variables numéricas a evaluar. Las variables evaluadas están acreditadas por la Universidad Agraria la Molina validando los resultados numéricos que obtendremos de la calidad del biol y del biogás tanto para el biodigestor A y B. En las dos muestras se evaluó cual fue el tratamiento más eficiente al generar biogás y biol y para ello se evaluó diversos parámetros químicos.

Según Hernández *et al.* (2014), el enfoque cuantitativo es un conjunto de procesos secuenciales y probatorios donde se miden las variables de un determinado contexto y se analizan las mediciones.

Nivel de la investigación

Para la presente investigación presenta un alcance descriptivo ya que describe las propiedades químicas del biol analizados en laboratorio de la Universidad Nacional de la Agraria. Hernández *et al.* (2014), mencionan que el alcance descriptivo busca presentar las

características y propiedades de procesos, objetos o de cualquier fenómeno que se someta a un análisis.

Diseño de la investigación

El diseño de investigación que presenta es la clase experimental de tipo pre-experimental debido a que en la presente investigación se evaluó el factor térmico en los biodigestores, con el fin de determinar la eficiencia y eficacia para producir una óptima formación de biogás y biol.

2.1.1. Lugar y fecha de la investigación

La investigación se realizó en el Jr. José Gálvez/ pasaje las delicias N° 166 con la siguiente ubicación geográfica, -11,416280 y -75,695720. Se encuentra aproximado a 100 m del Colegio parroquial Las Clarisas, Distrito de Tarma, Provincia de Tarma, Departamento de Junín, Perú (Figura 1). El desarrollo de la implementación se inició el 15 de agosto del 2020 con una duración aproximada de 75 días.

Figura 1

Mapa del distrito de Tarma, provincia de Tarma



Fuente: Elaboración propia.

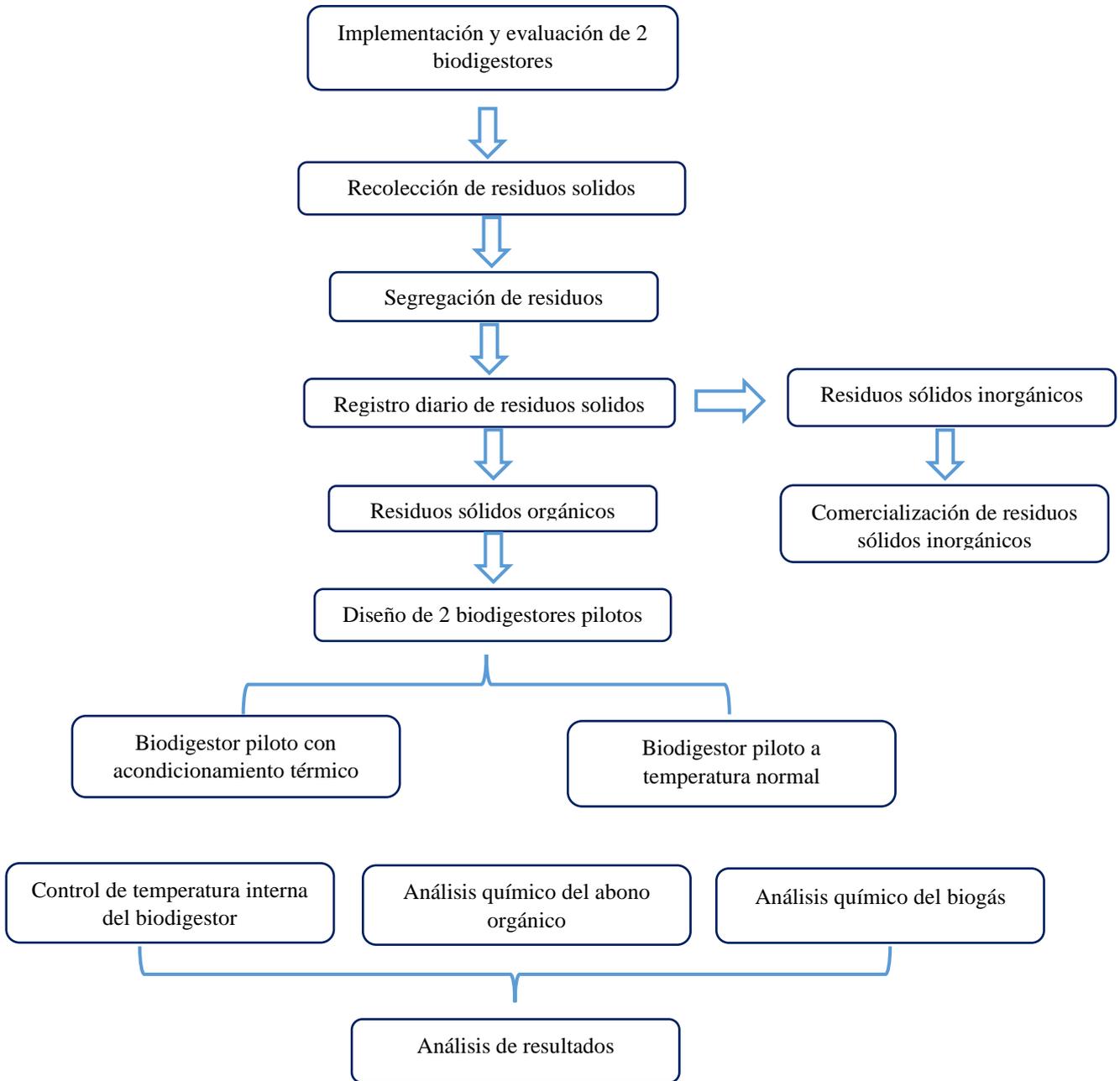
2.1.2. Descripción del experimento

Para el desarrollo del proyecto se recopiló datos de la recolección de residuos orgánicos de la empresa cementera Unacem durante el periodo 2019. La empresa Ecotec contratada para realizar la recolección de residuos sólidos, controla el peso de los residuos generados por día y culmina con el desarrollo y el llenado del registro de todos los residuos generados por día como se muestra en Apéndice 7.

A continuación, en la Figura 2 se detalla el mapa de procesos por lo cual se puede identificar las actividades principales con respecto al desarrollo del presente proyecto.

Figura 2

Mapa de procesos del desarrollo del Biodigestor



Fuente: Elaboración propia.

La empresa Ecotec realizó el registro del peso total mensual de residuos orgánicos durante el periodo 2019 como se observa en la Tabla 4. Con los datos mensuales obtenidos se verificó

que el residuo orgánico con mayor proporción son los desechos de comida por lo cual se realizó un promedio anual de los residuos de maleza, comida y estiércol.

Tabla 4
Generación mensual de residuos orgánicos Unacem

Mes	Residuo orgánico	Cantidad (litros)
Enero	Comida	7,22
	Maleza	1,965
	Estiércol	1,185
Febrero	Comida	8,35
	Maleza	3,22
	Estiércol	1,1
Marzo	Comida	8,58
	Maleza	3,17
	Estiércol	1,07
Abril	Comida	7,77
	Maleza	3,21
	Estiércol	1,031
Mayo	Comida	7,631
	Maleza	2,525
	Estiércol	1,15
Junio	Comida	7,58
	Maleza	1,825
	Estiércol	1,105
Julio	Comida	7,61
	Maleza	3,115
	Estiércol	1,14
Agosto	Comida	6,95
	Maleza	0,85
	Estiércol	1,095
Septiembre	Comida	7,71
	Maleza	3,055
	Estiércol	1,09
Octubre	Comida	8,965
	Maleza	1,64
	Estiércol	1,05
Noviembre	Comida	7,631
	Maleza	2,525

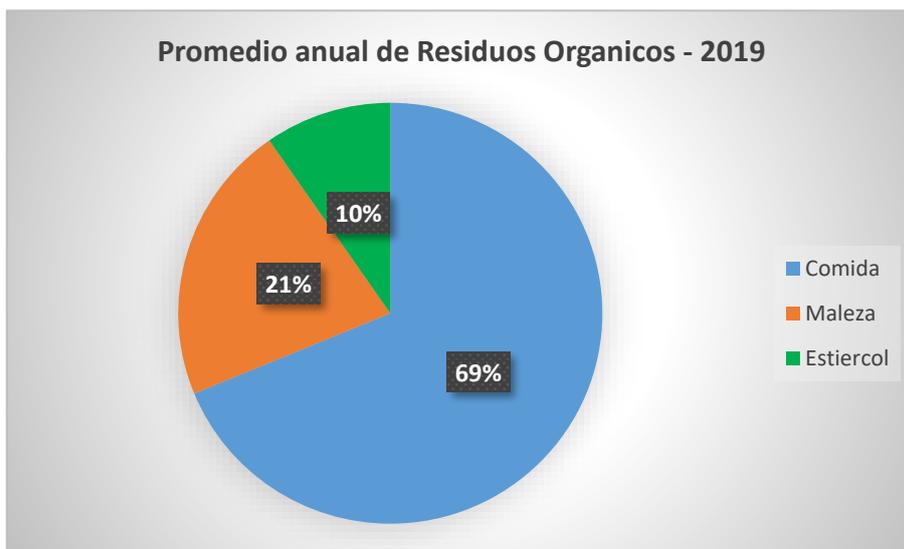
	Estiércol	1,15
	Comida	7,77
	Maleza	1,965
Diciembre	Estiércol	1,185

Fuente: Elaboración propia.

Los desechos generados por la cocción de los alimentos es un residuo heterogéneo, esto varía dependiendo de dónde se recoge el desecho, ya sea de un restaurante u otras instalaciones, dificultando la caracterización de los residuos en el proyecto (Banks *et al.*, 2012). A continuación, en la Figura 3 se detalla el promedio anual de los residuos orgánicos generados durante el periodo 2019.

Figura 3

Promedio anual de residuos sólidos orgánicos



Fuente: Elaboración propia.

- **Construcción e implementación del biodigestor A y B**

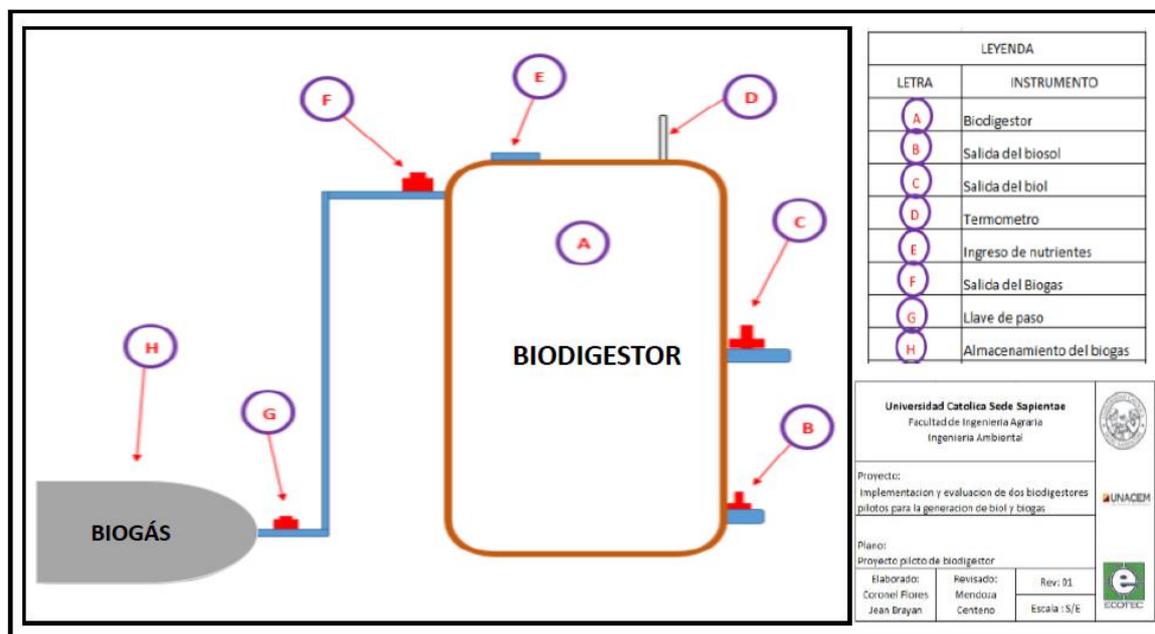
La construcción e implementación de dos biodigestores se desarrolló con 2 cilíndricos de 218 litros de capacidad, se soldaron 3 boquillas al cilindro metálico con sus respectivas llaves de paso, la primera boquilla de 0,5 pulgadas para la salida de biogás, la segunda boquilla de 2 pulgadas para la salida del biodigestor y la tercera boquilla de 3 pulgadas para la salida de biosol tal como se muestra en el Apéndice 2 (Silva, 2013).

Así mismo se instaló un grifo para la salida de biogás el cual se conecta con un tubo de 0,5 pulgadas hacia el nivel cero del cilindro, lo que conduce a otro grifo donde se apertura el almacenamiento de biogás en una bolsa herméticamente cerrada. Para evitar fugas en el sistema se coloca una abrazadera de 0,5 pulgadas que está ubicada entre la última llave de paso y la bolsa de almacenamiento y así garantizar que no se produzcan fugas durante el proceso de fermentación (Silva, 2013).

A continuación, se observa en la Figura 4 el diseño del digestor A y B con sus partes que la conforman con sus respectivos nombres técnicos.

Figura 4

Plano de vista lateral del modelo del digestor



Fuente: Elaboración propia.

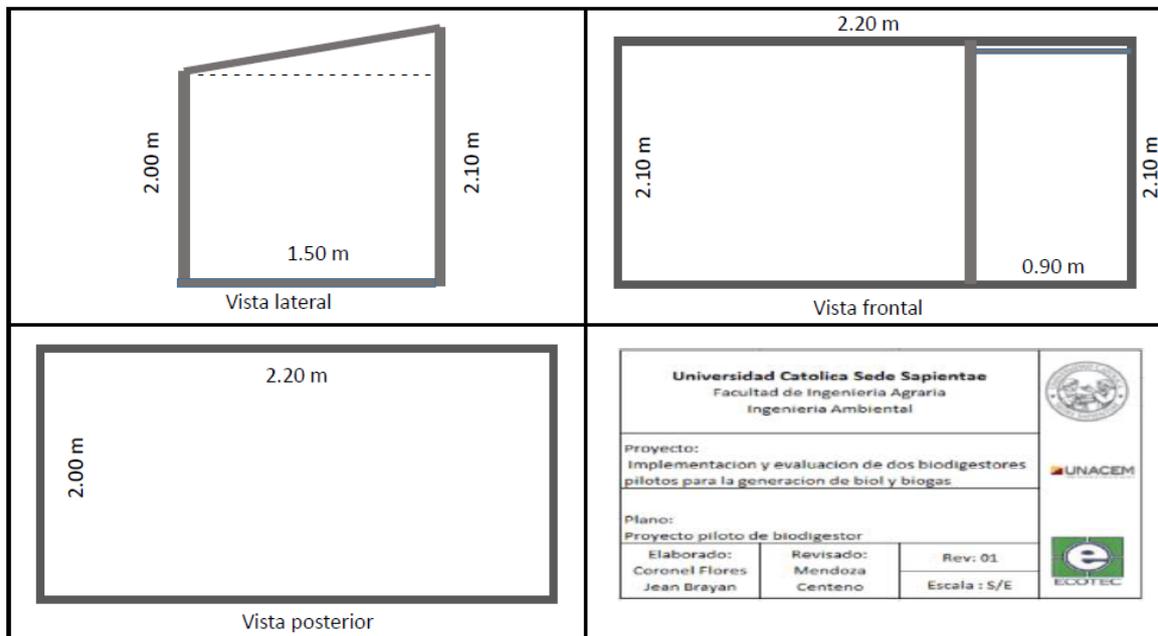
Para realizar la prueba de fuga del biodigestor A y B se procedió a llenar de agua el sistema completo del digestor, logrando identificar fugas en las llaves de paso, por lo cual se procedió a sellar las fugas utilizando teflón y soldimix tal como se muestra en Apéndice 2 (Lara, 2016).

- **Construcción e implementación del invernadero**

Para el biodigestor A se implementó un invernadero artesanal con la finalidad de aumentar la temperatura y poder acelerar la fermentación anaerobia y así comparar si existen diferencias significativas con el biodigestor B quien se encontró instalado a temperatura ambiente. La implementación del invernadero se realizó según el diseño de la Figura 5 que a continuación se muestra:

Figura 5

Plano del invernadero



Fuente: Elaboración propia.

La construcción del invernadero se realizó en forma de cubo con una caída hacia la parte posterior. Como paso inicial se realizó la base del invernadero por lo cual se soldó dos tubos cuadrados de 1,50 m x 2,20 m, luego se soldó la parte frontal dos tubos cuadrados de 2,10 m y un tubo cuadrado horizontal de 1,50 m. Posteriormente se soldó la parte trasera con dos tubos cuadrados verticales de 2,0 m, un tubo horizontal de 1,50 m y finalmente se unieron los extremos laterales con una inclinación de 10 cm hacia la parte posterior tal como se muestra en el Apéndice 1 (Lara, 2016).

Terminada de instalar la estructura metálica se procedió a colocar las calaminas de PVC de arriba hacia abajo. Seguidamente se colocó un manto de costal azul, dejando una abertura para el ingreso al invernadero. Los dos digestores experimentales y el invernadero se instalaron con todas las medidas de seguridad para posteriormente incorporar los nutrientes necesarios a los digestores (Lara, 2016).

2.1.3. Tratamientos

La capacidad máxima del biodigestor fue de 218 litros, solo se utilizaron 200 litros y se dejó un espacio de 18 litros para que el biogás pueda fluir suavemente hacia el grifo. Por lo tanto, se utilizaron 100 litros para la parte sólida y 100 litros para la parte líquida. A continuación, se muestra en la Tabla 5 el porcentaje de residuos orgánicos que ingreso al digestor basados en la cantidad de residuos que se genera en la planta cementera Unacem en el año 2019.

Tabla 5
Carga de residuos orgánicos para el digestor

Nº	Nutrimiento	Porcentaje %	Cantidad (litros)
1	Agua	40	90
2	EM-Compost	5	5
3	Melaza	5	5
4	Estiércol	5	10
5	Comida	34,5	69
6	Maleza	10,5	21
TOTAL		100	200

Fuente: Elaboración propia.

Se agregó EM-Compost para acelerar la descomposición de nutrientes en el biodigestor como se detalla en la ficha técnica Apéndice 9. Los microorganismos beneficiosos que desplazan a los microorganismos patógenos del medio en el que se aplican. La mezcla se realiza de la siguiente manera: 5 % EM • 1 y 5 % melaza, complementar el 90 % restante con agua dulce. Ejemplo: 10 litros EM • 1 + 10 litros melaza + 180 litros de agua dulce = 200 litros Active EM.

2.1.4. Unidad experimental

El ingreso de nutrimento a los biodigestores A y B se realizó el día 07-09-2021, ambos digestores con la misma proporción de residuos sólidos orgánicos que a continuación se mencionan: maleza (21 litros), estiércol (10 litros), comida (69 litros), agua (90 litros), microorganismos eficaces (5 litros) y melaza (5 litros) como se observa en el Apéndice 4. A partir de la primera carga se realizó el monitoreo controlado de la temperatura de cada biodigestor y de la temperatura del ambiente.

El biodigestor B fue instalado a temperatura ambiente, por consecuente el biodigestor A fue instalado dentro de un invernadero.

2.1.5. Identificación de las variables y su mensuración

La presente tesis se fundamenta con el objetivo de poder determinar las variables independientes y dependientes que a continuación se mencionan:

Variables independientes

Monitoreo de la temperatura

Variable dependiente

Eficiencia del biodigestor

- Calidad del biogás (Parámetros químicos)
- Calidad del biol (Parámetros químicos)

Mensuración de las variables

a. Control de la temperatura

Siguiendo a Lara (2016), para el monitoreo de la temperatura se utilizó el termómetro para alimento, con este se controló la temperatura, tanto del digestor A y B. El plan de seguimiento se estableció de la siguiente manera. La primera medición de temperatura fue 08:00 horas, la segunda, a las 13:00 horas y la última, a las 17:00 horas. Todo este proceso de monitoreo se repitió durante los 60 días, tal como se observa en el Apéndice 5.

b. Determinación de la calidad del Biol

Al finalizar el monitoreo de la temperatura se debe de proceder con el análisis químico de la calidad del biol. Se recolectó 1 muestra de biol de 1 litro de capacidad en una botella de vidrio por cada biodigestor cumpliendo el protocolo establecido tal como se muestra en el Apéndice 6.

Seguidamente se llevó al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria la Molina [UNALM] para brindar la validación de la muestra. Los parámetros para monitorear en el biol son:

- Nitrógeno total
- Fósforo
- Potasio
- Calcio
- Magnesio
- Sodio
- Potencial de Hidrógeno
- Conductividad eléctrica
- Sólidos totales
- Materia orgánica en solución

c. Determinación de la calidad del Biogás

Para realizar el análisis de la calidad del biogás se solicitó el préstamo del equipo MSA al departamento de seguridad industrial de Unacem para realizar la medición de gases de cada biodigestor tal como se muestra en el Apéndice 6.

El instrumento que se utilizó para medir la concentración de gases es el equipo de monitoreo MSA, es un instrumento que mide la concentración de gases inflamables, metano, propano, CO, entre otros.

2.1.6. Análisis estadístico de datos

Los datos recopilados del monitoreo de temperatura de los digestores fueron registrados en una hoja de cálculo de Excel de Windows. Luego son seleccionados para realizar un análisis descriptivo - comparativo con el paquete estadístico IBM® SPSS Statistics.

Según Hernández, *et al.* (2014) el sistema estadístico del SPSS se desarrolla de una forma muy dinámica y fácil: se desarrolla la matriz de datos en el Microsoft Excel, el usuario carga los datos al paquete SPSS posterior selecciona una serie de opciones, esta debe de ser la más adecuada para el análisis de los datos, de tal forma nos brinden los resultados necesarios.

2.1.7. Materiales y equipos

Durante el desarrollo de las diversas actividades se utilizaron los diversos equipos y materiales que a continuación se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6
Materiales que se utilizara en el proyecto

Materiales	Cantidad	Unidad	Observación
Cubo de polietileno	2	Unid	Capacidad 1 m ³
Niple	2	Unid	1 pulgada
Niple	2	Unid	2 pulgada
Codo	4	Unid	1 pulgada
Válvula de antirretorno	2	unid	1 pulgada
Tubo de PVC	1	unid	1 pulgada
Llaves de paso	6	unid	1 pulgada
Cámara de llanta de camión	2	unid	-----
Teflón	6	unid	-----
Termómetro Digital	2	unid	-----
Válvula de alivio	2	unid	1 pulgada
pegamento para tubo	2	unid	-----
Tubo de fierro con rosca	2	Unid	1 pulgada
Abrazadera	8	unid	1 pulgada
Grifo a tope de agua	2	unid	2 pulgada
Formador de empaquetadura	2	unid	-----
Calamina	8	unid	180x80 cm
Tubo cuadrado	8	unid	2 pulgada x 2 pulgada
Tubo cuadrado	2	unid	1,1/4 pulgada x 1,1/4 pulgada
bisagra	3	unid	3 pulgada
Plástico grueso	1	unid	Largo 10 m y ancho 2,10 m
Disco de corte	2	unid	7 pulgada
Disco de desbaste	1	unid	7 pulgada
Electrodo Cellacord	5	kg	-----
Perno auto perforante	60	unid	1 pulgada
Pintura anticorrosiva	1	Gal	-----
Thinner	1	gal	-----
Luna Transparente	3	unid	-----
Luna oscuras	1	unid	-----
Lapiceros	6	Unid	-----
Muestra del biol	3	N, P, K	-----
Muestra del biogás	5		-----
Termómetro manual digital	1	Unid	-----
Guantes	3	pares	-----
Cuaderno	1	Unid	-----
Bolsas de polietileno	4	Paquetes	-----
Cámara fotográfica	1	unid	-----

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1.Carga inicial del biodigestor A y B

La cantidad de desperdicio de alimentos que ingresa al biodigestor fueron determinados por la relación entre el sustrato y el agua, la proporción es 1: 1 esto debido a que el alimento tiene un alto contenido de agua.

A continuación, se muestra en la Tabla 7 el porcentaje de residuos orgánicos que se ingresó como carga inicial al biodigestor A y B, todo ello, basado en el promedio anual de la cantidad de residuos orgánicos que se genera en la planta cementera Unacem en el año 2019.

Tabla 7
Carga inicial del biodigestor A y B

Nº	Nutrimiento	Porcentaje	Cantidad	Unidad
1	Agua	40	90	litro
	Microorganismo			
2	eficaz	5	5	litro
3	Melaza	5	5	litro
4	Estiércol	5	10	litro
5	Comida	34,5	69	litro
6	Maleza	10,5	21	litro
	TOTAL	100	200	litro

Fuente: Elaboración propia.

3.2.Determinación de la temperatura promedio

El monitoreo de la temperatura interna del biodigestor A se realizó tres veces al día durante 60 días a continuación, se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8*Registro de control de temperatura del biodigestor A*

Fecha	8:00 horas (°C)	13:00 horas (°C)	17:00 horas (°C)	Promedio temperatura (°C)
07/09/2020	19,6	21,3	28,3	23,1
08/09/2020	17,5	20,6	27,5	21,9
09/09/2020	15,8	22,1	26,5	21,5
10/09/2020	15,9	20,2	25,5	20,5
11/09/2020	16,8	21,2	26,4	21,5
12/09/2020	16,5	20,9	26,6	21,3
13/09/2020	15,3	23,6	27,2	22,0
14/09/2020	17,1	25,4	28,3	23,6
15/09/2020	16,7	22,8	24,3	21,3
16/09/2020	15,9	23,9	28,1	22,6
17/09/2020	16,5	22,5	26,1	21,7
18/09/2020	16,7	28,5	25,3	23,5
19/09/2020	15,9	25,7	22,4	21,3
20/09/2020	15,4	25,9	22,3	21,2
21/09/2020	20,3	22,2	23,5	22,0
22/09/2020	15,1	21,6	26,3	21,0
23/09/2020	17,5	29,9	27,3	24,9
24/09/2020	18,6	24,8	26,1	23,2
25/09/2020	15,6	24,4	27,3	22,4
26/09/2020	14,5	25,8	26,4	22,2
27/09/2020	19,8	24,3	28,2	24,1
28/09/2020	15,3	28,4	26,4	23,4
29/09/2020	18,3	23,9	28,3	23,5
30/09/2020	17,9	25,3	27,4	23,5
01/10/2020	15,3	23,1	28,4	22,3
02/10/2020	15,9	28,5	26	23,5
03/10/2020	20,7	23,6	27,5	23,9
04/10/2020	21,9	34,1	30,1	28,7
05/10/2020	24,1	27,8	29,3	27,1
06/10/2020	23,7	26,9	26,8	25,8
07/10/2020	21,9	28,4	29,3	26,5

Fecha	8:00 horas (°C)	13:00 horas (°C)	17:00 horas (°C)	Promedio temperatura (°C) (continuación)
08/10/2020	22,2	27,3	31,3	26,9
09/10/2020	23,1	26	28,3	25,8
10/10/2020	22,4	28,6	27,3	26,1
11/10/2020	21,1	24,3	27,4	24,3
12/10/2020	20,3	28,6	29,3	26,1
13/10/2020	22,4	27,3	32,1	27,3
14/10/2020	24,5	29,3	33,4	29,1
15/10/2020	25,5	29,8	30,1	28,5
16/10/2020	26	26,3	28,3	26,9
17/10/2020	24	24,5	35,5	28,0
18/10/2020	25	25,5	34,3	28,3
19/10/2020	25,5	24,9	33,2	27,9
20/10/2020	24,3	25,1	34,3	27,9
21/10/2020	22,3	24,3	33,2	26,6
22/10/2020	21	24	37,3	27,4
23/10/2020	22,1	23,4	34	26,5
24/10/2020	18,3	24,1	25,3	22,6
25/10/2020	19,4	25,3	26	23,6
26/10/2020	19,3	26,3	24,6	23,4
27/10/2020	20,1	22,1	27,3	23,2
28/10/2020	18	20,1	26,3	21,5
29/10/2020	17,6	23,1	27,4	22,7
30/10/2020	19,2	21,3	24,3	21,6
31/10/2020	18,2	22,3	26,3	22,3
01/11/2020	19,1	20,1	25,3	21,5
02/11/2020	18,2	21,8	23	21,0
03/11/2020	19,2	20,8	22,3	20,8
04/11/2020	18,1	22,4	24,1	21,5
05/11/2020	18,0	20,5	22,3	20,2

Fuente: Elaboración propia.

El monitoreo de la temperatura interna del biodigestor B se realizó tres veces al día durante 60 días, a continuación, se detalla en la Tabla 9.

Tabla 9
Registro de control de temperatura del biodigestor B

Fecha	8:00 horas (°C)	13:00 horas (°C)	17:00 horas (°C)	Promedio temperatura (°C)
07/09/2020	15,2	20,3	20,1	18,5
08/09/2020	18,6	21,9	20,3	20,3
09/09/2020	16,6	19,2	22,1	19,3
10/09/2020	16,2	21,8	23,5	20,5
11/09/2020	16,4	20,1	23,2	19,9
12/09/2020	18,1	22,3	23	21,1
13/09/2020	14,7	24,9	22,6	20,7
14/09/2020	16,5	23,9	25,5	22,0
15/09/2020	16,2	17,8	24	19,3
16/09/2020	16,7	19,1	21,3	19,0
17/09/2020	16,6	20,9	21,5	19,7
18/09/2020	15,3	21,6	18,5	18,5
19/09/2020	17,5	23,3	19,6	20,1
20/09/2020	18,5	21,9	23,3	21,2
21/09/2020	18,9	20,7	24,2	21,3
22/09/2020	18,5	21,4	25,7	21,9
23/09/2020	18,3	22,1	23,5	21,3
24/09/2020	16,8	19,9	21,1	19,3
25/09/2020	16,9	21,1	22,6	20,2
26/09/2020	18,3	21,7	23,1	21,0
27/09/2020	16,3	19	21,5	18,9
28/09/2020	17,5	23,6	19,7	20,3
29/09/2020	18,2	24,1	19,5	20,6
30/09/2020	18,3	22,5	20,4	20,4
01/10/2020	14,6	25,9	26	22,2
02/10/2020	17,3	19,7	21,7	19,6
03/10/2020	17,3	24,3	21,1	20,9
04/10/2020	16,9	24,1	21,3	20,8
05/10/2020	15,6	21,9	22,3	19,9
06/10/2020	16,8	24,5	21,4	20,9
07/10/2020	17,9	23,1	23,3	21,4
08/10/2020	16,3	24,3	22,1	20,9

09/10/2020	18,2	25,6	23,3	22,4
Fecha	8:00 horas (°C)	13:00 horas (°C)	17:00 horas (°C)	Promedio temperatura (°C) (continuación)
10/10/2020	16,3	24,6	22,4	21,1
11/10/2020	18,6	23,5	21,1	21,1
12/10/2020	19,1	24,3	20,4	21,3
13/10/2020	20,1	25,1	21,3	22,2
14/10/2020	22,1	27,3	20,5	23,3
15/10/2020	21,1	28,9	25,6	25,2
16/10/2020	23,1	29,3	26	26,1
17/10/2020	20,6	30,2	24,8	25,2
18/10/2020	21,3	31,2	26,4	26,3
19/10/2020	22,3	30,8	24,3	25,8
20/10/2020	24	29,8	26,4	26,7
21/10/2020	23,2	28,3	28,3	26,6
22/10/2020	22,5	29,3	21,3	24,4
23/10/2020	18,4	23,2	22,2	21,3
24/10/2020	18	24,3	21,5	21,3
25/10/2020	17,3	25,1	22,4	21,6
26/10/2020	16,3	24,9	23,3	21,5
27/10/2020	17,3	23,9	22,4	21,2
28/10/2020	15,3	25,6	23,1	21,3
29/10/2020	18,3	24,5	21,5	21,4
30/10/2020	18,4	25,7	20,5	21,5
31/10/2020	15,8	26,7	22,8	21,8
01/11/2020	17,3	25,4	21,3	21,3
02/11/2020	16,3	26,3	24,3	22,3
03/11/2020	17,3	24,7	22,5	21,5
04/11/2020	15,8	23,3	23,5	20,9
05/11/2020	16,5	22,4	24,6	21,2

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar un análisis correcto de comparación térmica entre los dos biodigestores (A y B) se compararon la temperatura promedio de ambos, tal y como se detalla en la Tabla 10:

Tabla 10

Registro de temperatura promedio del biodigestor A y biodigestor B

Día	Fecha	Prom. Exp. A (°C)	Prom. Exp. B (° C)
1	07/09/2020	23,07	18,53
2	08/09/2020	21,87	20,27
3	09/09/2020	21,47	19,30
4	10/09/2020	20,53	20,50
5	11/09/2020	21,47	19,90
6	12/09/2020	21,33	21,13
7	13/09/2020	22,03	20,73
8	14/09/2020	23,60	21,97
9	15/09/2020	21,27	19,33
10	16/09/2020	22,63	19,03
11	17/09/2020	21,70	19,67
12	18/09/2020	23,50	18,47
13	19/09/2020	21,33	20,13
14	20/09/2020	21,20	21,23
15	21/09/2020	22,00	21,27
16	22/09/2020	21,00	21,87
17	23/09/2020	24,90	21,30
18	24/09/2020	23,17	19,27
19	25/09/2020	22,43	20,20
20	26/09/2020	22,23	21,03
21	27/09/2020	24,10	18,93
22	28/09/2020	23,37	20,27
23	29/09/2020	23,50	20,60
24	30/09/2020	23,53	20,40
25	01/10/2020	22,27	22,17
26	02/10/2020	23,47	19,57
27	03/10/2020	23,93	20,90
28	04/10/2020	28,70	20,77
29	05/10/2020	27,07	19,93
30	06/10/2020	25,80	20,90
31	07/10/2020	26,53	21,43
32	08/10/2020	26,93	20,90
33	09/10/2020	25,80	22,37

Día	Fecha	Prom. Exp. A (°C)	Prom. Exp. B (° C) (continuación)
34	10/10/2020	26,10	21,10
35	11/10/2020	24,27	21,07
36	12/10/2020	26,07	21,27
37	13/10/2020	27,27	22,17
38	14/10/2020	29,07	23,30
39	15/10/2020	28,47	25,20
40	16/10/2020	26,87	26,13
41	17/10/2020	28,00	25,20
42	18/10/2020	28,27	26,30
43	19/10/2020	27,87	25,80
44	20/10/2020	27,90	26,73
45	21/10/2020	26,60	26,60
46	22/10/2020	27,43	24,37
47	23/10/2020	26,50	21,27
48	24/10/2020	22,57	21,27
49	25/10/2020	23,57	21,60
50	26/10/2020	23,40	21,50
51	27/10/2020	23,17	21,20
52	28/10/2020	21,47	21,33
53	29/10/2020	22,70	21,43
54	30/10/2020	21,60	21,53
55	31/10/2020	22,27	21,77
56	01/11/2020	21,50	21,33
57	02/11/2020	21,00	22,30
58	03/11/2020	20,77	21,50
59	04/11/2020	21,53	20,87
60	05/11/2020	20,97	21,17

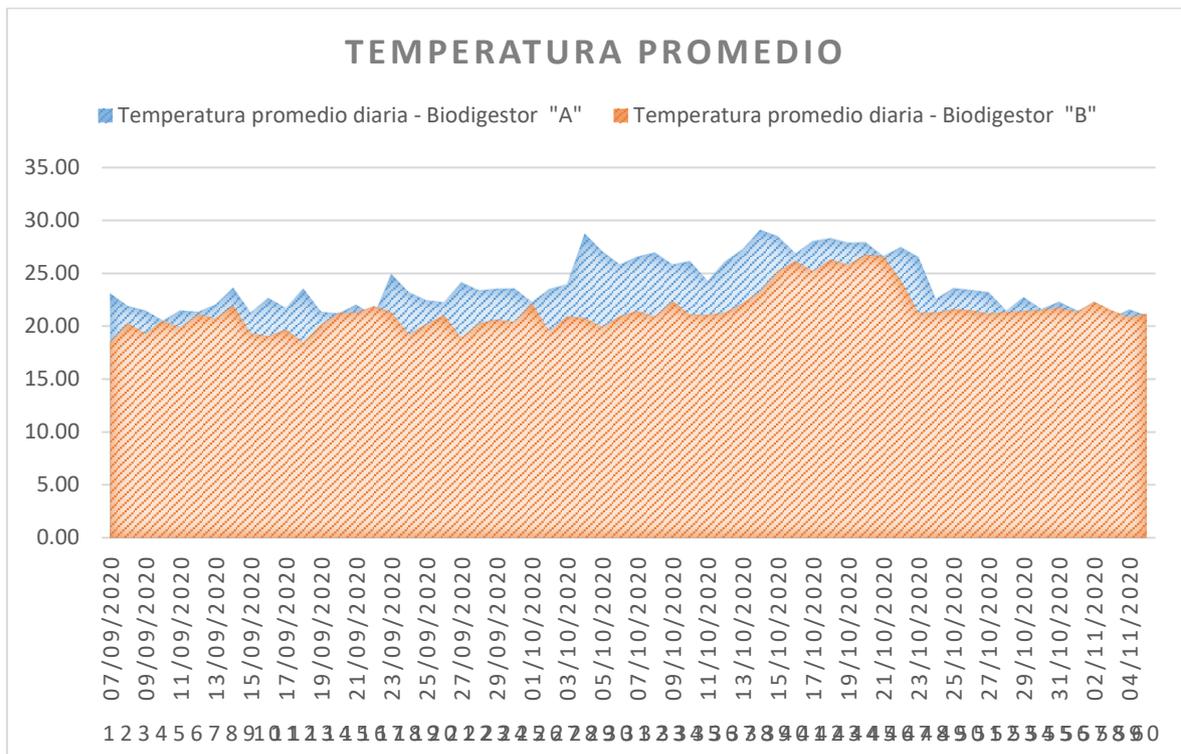
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6 se detalla gráficamente las temperaturas promedio de los biodigestores A y B, por lo cual se pudo identificar que el día 38 de fermentación en el digestor A se presentó la temperatura promedio más alta con 29,07 °C, en cambio, el digestor B presentó la temperatura más alta en el día 44 de fermentación, llegando a 26,73 °C. Así mismo en los primeros 10 días hubo una variación de la temperatura de 1 a 2 °C entre el biodigestor A y B, esto debido a que los microorganismos se encontraban en el biodigestor en una condición de adaptabilidad.

Del día 10 al día 25 hubo una variación de la temperatura entre 3 y 4 °C en el digestor B, con respecto al digestor experimental A. Esto fue debido a que los microorganismos ya se habían adaptado al medio en que estaban expuestas. Del día 25 al 40, las temperaturas obtenidas se adecuaban a las condiciones climáticas de la zona de Tarma, por lo cual, en los días de bajas temperaturas, se podía observar una mejor generación de biogás. La fecha del 4 y 5 de octubre del 2020 se pudo verificar que el reactor ubicado en la zona con aumento térmico (digestor A) aumentó considerablemente la temperatura alcanzando un cambio de 7,1 a 7,9 °C, con relación al reactor B.

Figura 6.

Temperatura promedio del digestor A y B.



Fuente: Elaboración propia.

El 2 de noviembre del 2020 se pudo observar que la temperatura era más alta en el reactor B, pero a partir de esa fecha, y hasta el 5 de noviembre, la temperatura descendió. A partir del día 28 de fermentación, la temperatura en los dos reactores (A y B) fluctuaba entre 5 y 7 °C.

3.2.1. Análisis estadístico de la temperatura

a) Planteamiento de hipótesis

Hipótesis de la investigación

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

H_0 : No existe una diferencia significativa de la temperatura entre los experimentos $p \geq 0,05$

H_a : Existe una diferencia significativa de temperatura entre los experimentos $p < 0,05$

b) Nivel de Significancia

$$\alpha = 0,05$$

c) Comparación de valores

La suma de cuadrados total presenta 776,562 con la media cuadrática entre grupos con 176,079 y con media cuadrática dentro de grupos de 5,089 como nos detalla en la Tabla 11.

Tabla 11

Análisis de la varianza (ANOVA) de la temperatura en los experimentos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	176,079	1	176,079	34,601	0,000
Dentro de grupos	600,483	118	5,089		
Total	776,562	119			

Fuente: Elaboración propia.

$$F_{\text{obs}} > F_{\text{calc}}$$

$176,079 > 3,926$ Rechaza H_0

Valor de $p < \alpha$

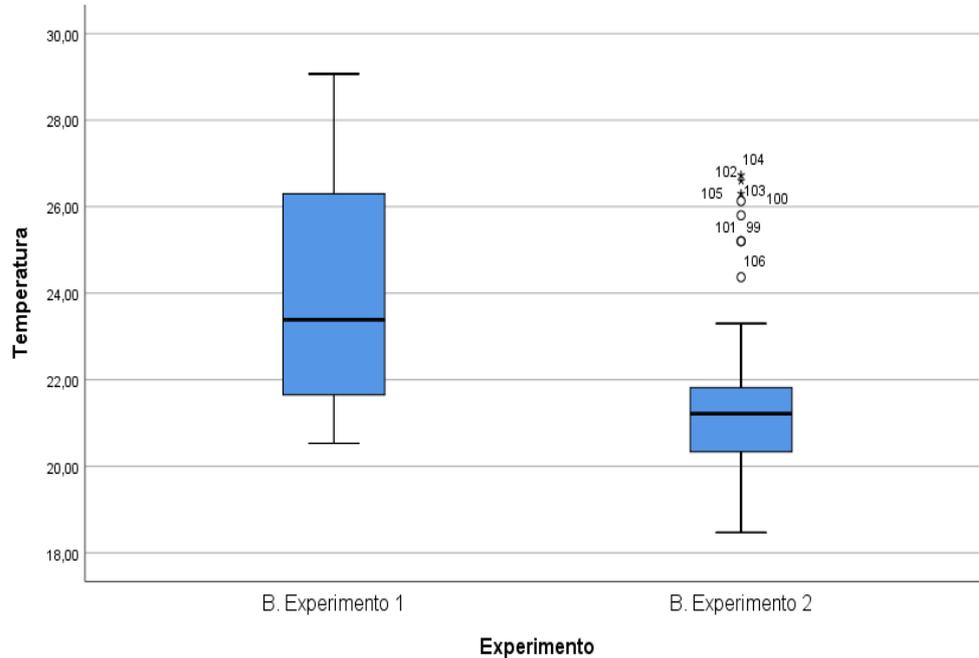
$0 < 0,05$ Rechaza la H_0

d) Conclusión

Basado en los valores existentes se puede asumir que se acepta H_a debido a las pruebas analizadas se encuentran en una zona de aceptación y el valor p es mayor al nivel de significancia. Por lo tanto el reactor experimental A presenta una temperatura promedio muy diferente a la temperatura promedio a la del reactor B, esto se remarca en la Figura 7.

Figura 7.

Comparación de las medias del experimento A y experimento B.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico se puede visualizar que existe una diferencia significativa entre el biodigestor expuesto a la temperatura ambiente y el biodigestor acondicionado con la temperatura mejorada, llegando en este caso a obtener una temperatura de 22 °C.

3.3.Determinar la calidad del biol obtenido en el proceso

Para la determinación de la calidad del biol se envió al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina una muestra de 1 litro de cada biodigestor para su análisis correspondiente. Los resultados obtenidos del análisis químico del biol del biodigestor A se muestran en la Tabla 12 como es el nitrógeno total, fosforo total, potasio total, calcio total entre otros elementos que a continuación se muestran.

Tabla 12

Resultados de laboratorio del biodigestor A

N° LAB – 501 - CLAVES A										
		Sólidos	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Na	
Ph	C.E.	Totales	en Solución	Total	Total	Total	Total	Total	Total	
	dS/m	g/litro	g/litro	mg/litro	mg/litro	mg/litro	mg/litro	mg/litro	mg/litro	
	4,86	14,40	24,92	15,35	1058,40	194,85	1168,00	187,00	146,00	280,00

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos del análisis químico del biol del biodigestor B se muestran en la Tabla 13 como es el nitrógeno total, fosforo total, potasio total, calcio total entre otros elementos que a continuación se muestran.

Tabla 13

Resultados de laboratorio del biodigestor B

N° LAB – 502 - CLAVES B										
		Sólidos	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Na	
pH	C.E.	Totales	en Solución	Total	Total	Total	Total	Total	Total	
	dS/m	g/litro	g/litro	mg/litro	mg/litro	mg/litro	mg/litro	mg/litro	mg/litro	
	5,06	15,30	24,01	14,23	1128,40	170,16	1456,00	245,00	226,00	401,00

Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Comparación de biol del biodigestor A y biodigestor B

A continuación, en la Tabla 14 se puede visualizar la comparación de los parámetros químicos del biol obtenidos en el biodigestor A y biodigestor B, se puede definir que el biodigestor B presenta mejores resultados con respecto al digestor A esto debido a que el nitrógeno total, potasio total, calcio total, magnesio total y sodio total presenta un resultado ligeramente más alto en el biodigestor B.

Tabla 14

Comparación de resultados de biol del digestor A con el biodigestor B

Parámetros	Unidad	Biodigestor A	Biodigestor B
pH		4,86	5,06
C.E.	dS/m	14,40	15,30
Sólidos Totales	g/litro	24,92	24,01
M.O. en Solución	g/litro	15,35	14,23
N Total	mg/litro	1058,40	1128,40
P Total	mg/litro	194,85	170,16
K Total	mg/litro	1168,00	1456,00
Ca Total	mg/litro	187,00	245,00
Mg Total	mg/litro	146,00	226,00
Na Total	mg/litro	280,00	401,00

Fuente: Elaboración propia

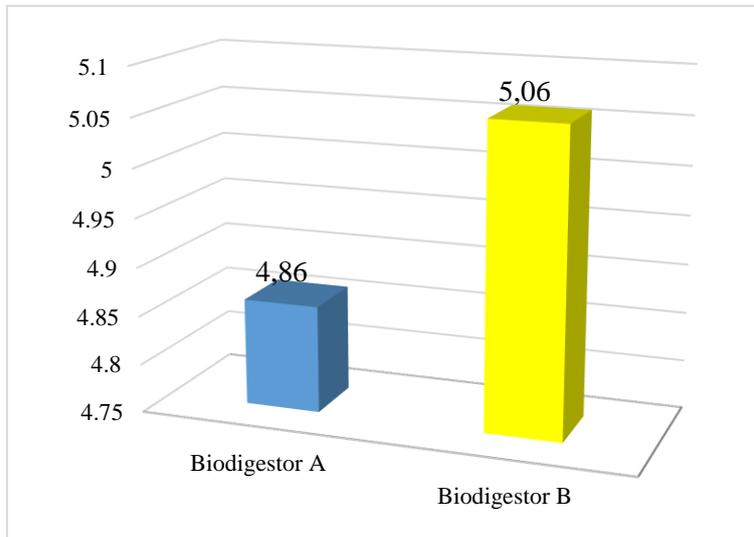
A continuación, se detalla la comparación de los parámetros químicos del biol del biodigestor A con el biodigestor B.

- Variable/Parámetro pH

El potencial de hidrógeno que se presenta en ambos experimentos (digestor A y B) no tiene mucha diferencia, (Figura 8) y están clasificados como fuertemente ácidos ya que el mayor valor se presenta en el digestor B y presenta un resultado de 5.06.

Figura 8

Comparación del potencial de hidrogeno



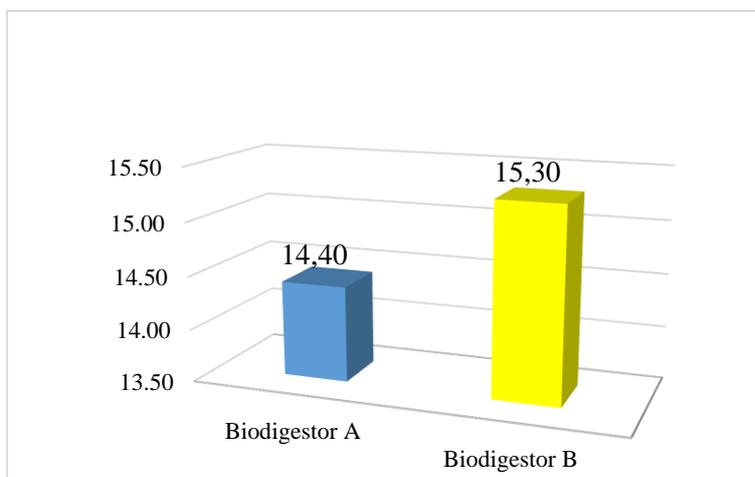
Fuente: Elaboración propia.

- Conductividad eléctrica

Respecto a la conductividad eléctrica de los experimentos, el valor fue muy baja en las dos variantes y osciló entre 14,40 dS/m y 15,30 dS/m como se observa en la Figura 9.

Figura 9

Comparación de la conductividad eléctrica



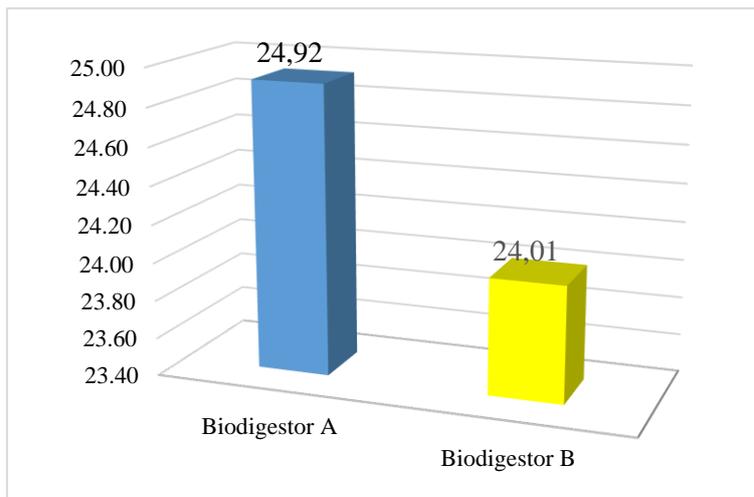
Fuente: Elaboración propia

- Sólidos totales

Los resultados obtenidos entre el biodigestor A y B se encuentran en el rango de 5,4 a 5,6 % con valores 24,92 g/litro y 24.01 g/litro respectivamente como se observa en la Figura 10.

Figura 10

Comparación de los sólidos totales



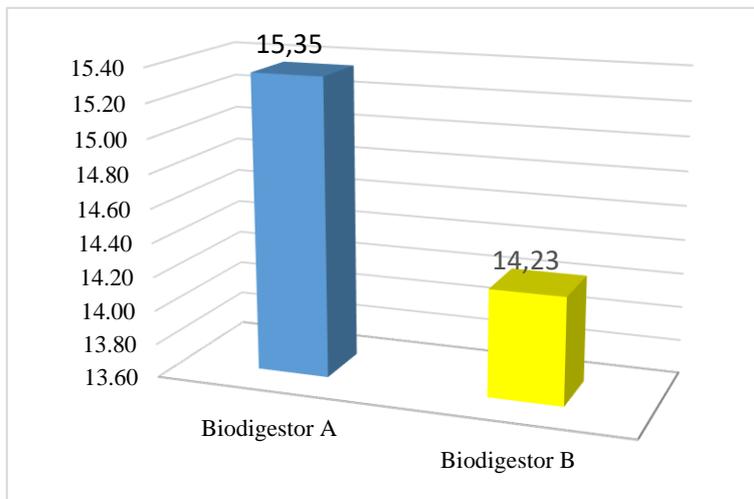
Fuente: Elaboración propia.

- Materia orgánica en solución

En cuanto a la materia orgánica en solución podemos mencionar que los resultados nos muestran una baja presencia de materia orgánica con los siguientes valores de 14,23 g/litro y 15,35 g/litro en los biodigestores A y B respectivamente como se observa en la Figura 11.

Figura 11

Comparación de la materia orgánica



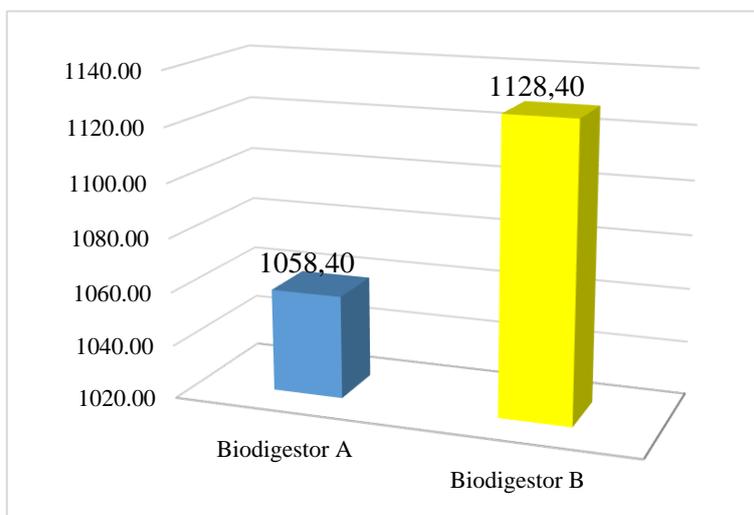
Fuente: Elaboración propia.

- Nitrógeno total

Los resultados obtenidos entre el biodigestor A y biodigestor B se encuentran con valores altos de 1058,4 mg/litro y 1128,4 mg/litro respectivamente como se observa en la Figura 12.

Figura 12

Comparación del nitrógeno total



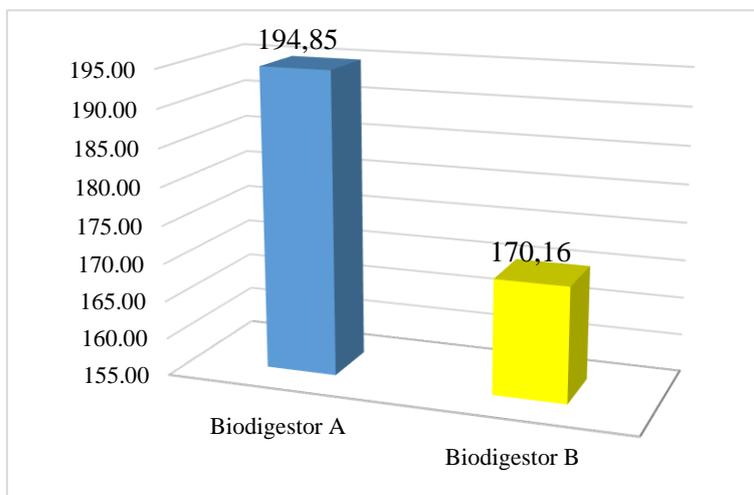
Fuente: Elaboración propia.

- Fósforo total

En cuanto al fósforo total podemos mencionar que los valores de análisis obtenidos en este caso fue de 194,85 mg/litro para el biodigestor A y 170,16 mg/litro en el biodigestor B, como se observa en la Figura 13.

Figura 13

Comparación del fosforo total



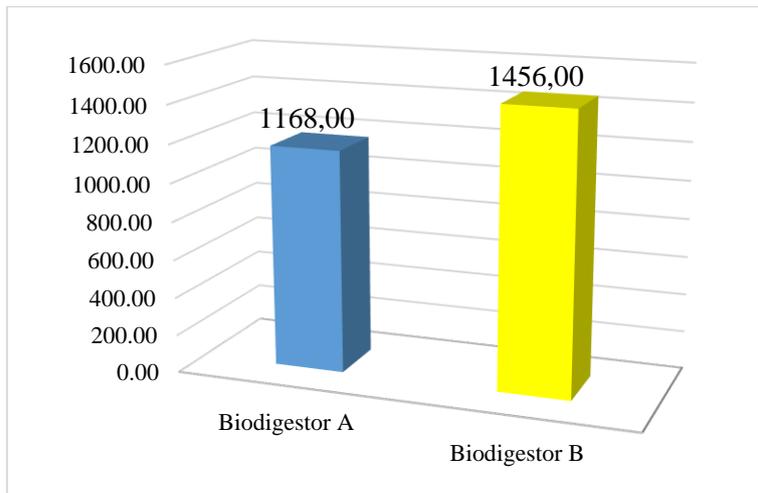
Fuente: Elaboración propia.

- Potasio total

Los resultados obtenidos entre el biodigestor A y biodigestor B se encuentran con valores altos de 1168,00 mg/litro y 1456,00 mg/litro respectivamente como se observa en la Figura 14.

Figura 14

Comparación del potasio total



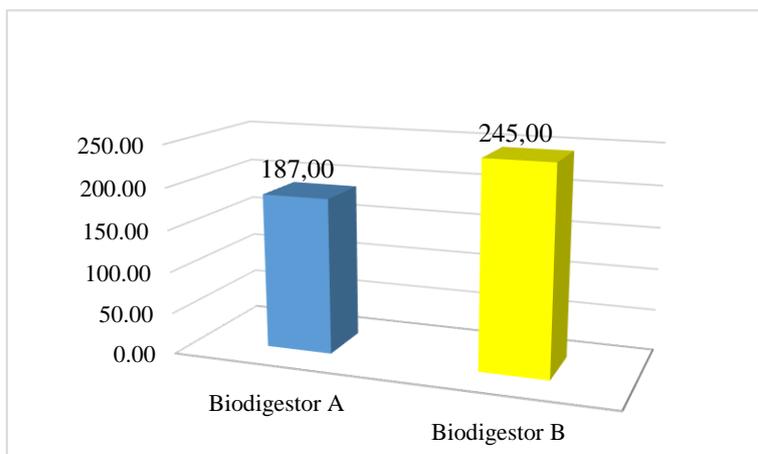
Fuente: Elaboración propia.

- Calcio total

En cuanto al calcio total podemos mencionar que los valores de análisis obtenidos en este caso fue de 187,00 mg/litro para el biodigestor A y 245,00 mg/litro en el biodigestor B, como se observa en la Figura 15.

Figura 15

Comparación del calcio total



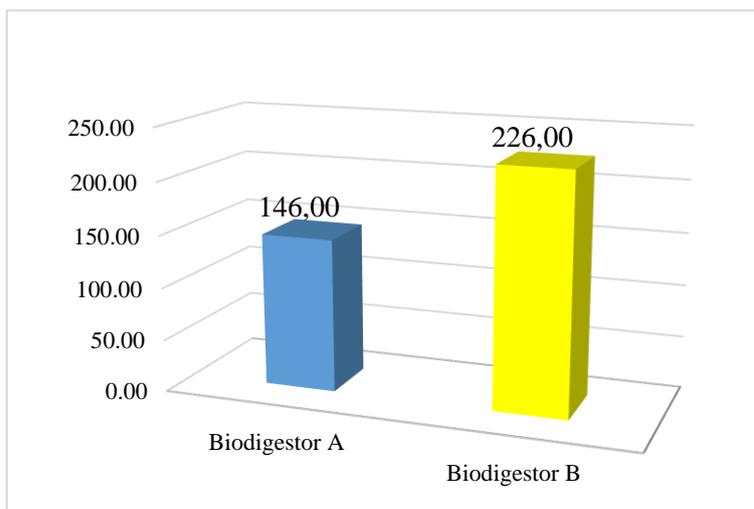
Fuente: Elaboración propia.

- Magnesio total

Los resultados obtenidos entre el biodigestor A y biodigestor B se encuentran con los siguientes valores 146 mg/litro y 226 mg/litro respectivamente como se observa en la Figura 16.

Figura 16

Comparación del magnesio total



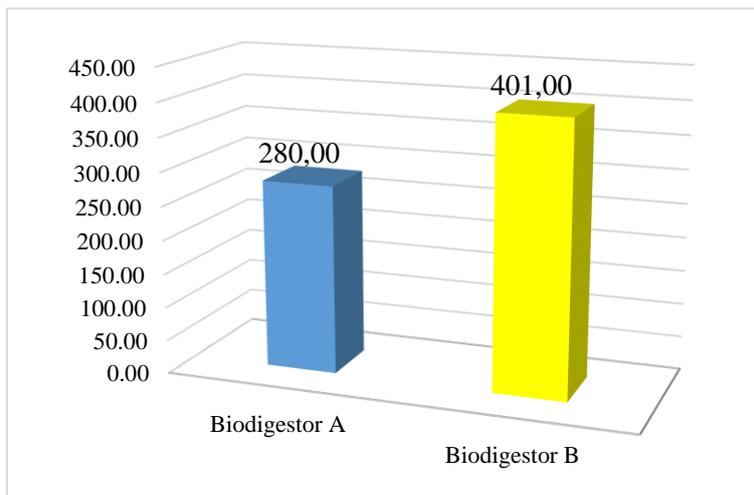
Fuente: Elaboración propia.

- Sodio total

En cuanto al sodio total podemos mencionar que los valores de análisis obtenidos en este caso fue de 280,00 mg/litro para el biodigestor A y 401,00 mg/litro en el biodigestor B, como se observa en la Figura 17.

Figura 17

Comparación del sodio total



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Análisis de datos con Tukey

El pH del biodigestor A es significativamente más ácido que el biodigestor B. Las concentraciones de materia orgánica revelan que el biodigestor A presenta una cantidad de materia orgánica mayor a la del biodigestor B. Con respecto al contenido de nutrientes minerales, el biodigestor B presenta concentraciones más altas con referencia al biodigestor A. Se puede afirmar entonces que el biodigestor B presenta un biol con mejores características químicas con respecto al biodigestor A. Así mismo se puede afirmar que el biodigestor B reúne mejores condiciones nutricionales.

3.4. Determinación de la calidad del biogás del digestor A y B

El instrumento que se utilizó para medir la concentración de gases es el equipo de monitoreo MSA, es un instrumento que mide la concentración de gases inflamables, CH₄, propano, CO, CO₂, entre otros. Los resultados del análisis del biogás del biodigestor A según los análisis de datos del PENTANO y STEL se observa en la Tabla 15:

Tabla 15*Resultado de biogás del biodigestor A*

N°	Parámetro	A	B	Unidad
1	Combustión	26	-	LEL
2	CO	118	7	ppm
3	NO ₂	-	-	ppm
4	O ₂	0,4	0,1	% vol
5	H ₂ S	137	9	ppm
6	CO ₂	9,99	0	% vol

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis del biogás del biodigestor B según los análisis de datos del PENTANO y STEL se observa en la Tabla 16.

Tabla 16*Resultado de biogás del biodigestor B*

N°	Parámetro	A	B	Unidad
1	COMB	20	-	LEL
2	CO	100	100	Ppm
3	NO ₂	5	5	Ppm
4	O ₂	23	-	% vol
5	H ₂ S	15	15	Ppm
6	CO ₂	1,5	0,5	% vol

Fuente: Elaboración propia

3.4.1. Comparación de biogás del biodigestor A y biodigestor B

A continuación, en la Tabla 17 se puede observar la comparación de los parámetros de concentración de gases obtenidos en el biodigestor A y biodigestor B con respecto al denominador PENTANO, por lo cual se puede visualizar que, en los parámetros de combustión, CO, H₂S y CO₂ del biodigestor A presenta mejores resultados con respecto al biodigestor B.

Tabla 17*Parámetros de gases del biodigestor A y biodigestor B*

N°	Parámetro	A	B	Unidad
1	Combustión	26	20	LEL
2	CO	118	100	ppm
3	NO ₂	-	5	ppm
4	O ₂	0.4	23	% vol
5	H ₂ S	137	15	ppm
6	CO ₂	9,99	1,5	% vol

Fuente: Elaboración propia

Se toma en cuenta la comparación de medidas del gas del biodigestor A con el gas de biodigestor B.

a) Combustión (LEL)

Los resultados de comparación de la combustión con la unidad de límite de explosividad (LEL) del gas del biodigestor A con el gas de biodigestor B se observa en la Tabla 18:

Tabla 18*Comparación de la combustión de los biodigestores*

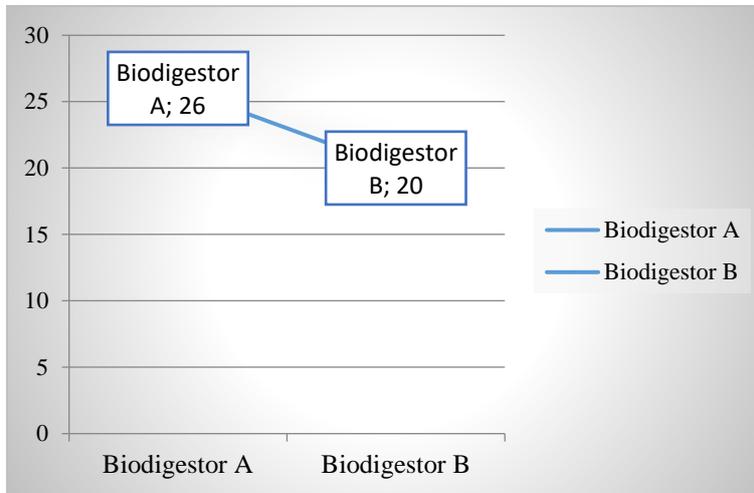
N°	Parámetro	A	B	Unidad
1	Combustión	26	20	LEL

Fuente: Elaboración propia.

El potencial de comparación de la combustión de los biodigestores determina con mayor resultado es en el biodigestor A ya que presenta 26 de límite de explosividad como se observa en la Figura 18.

Figura 18

Comparación de la combustión de los biodigestores



Fuente: Elaboración propia.

b) Monóxido de carbono (CO)

Los resultados de comparación del monóxido de carbono por ppm del gas del biodigestor A con el gas de biodigestor B se observa en la Tabla 19:

Tabla 19

Comparación del monóxido de carbono de los biodigestores

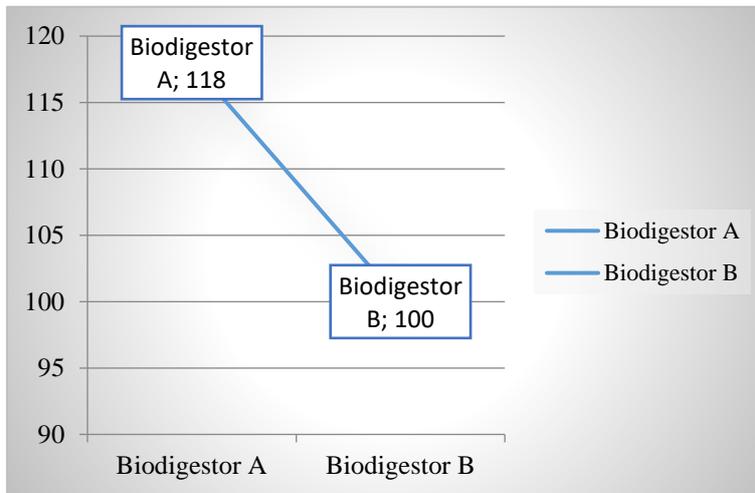
N°	Parámetro	A	B	Unidad
2	CO	118	100	ppm

Fuente: Elaboración propia.

El potencial de comparación del monóxido de carbono de los biodigestores determina con mayor resultado es en el biodigestor A ya que presenta 118 partículas por millón como se observa en la Figura 19.

Figura 19

Comparación del monóxido de los digestores



Fuente: Elaboración propia.

c) Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Los resultados de comparación del dióxido de nitrógeno por ppm del gas del biodigestor A con el gas de biodigestor B se observa en la Tabla 20.

Tabla 20

Comparación del dióxido de nitrógeno de los biodigestores

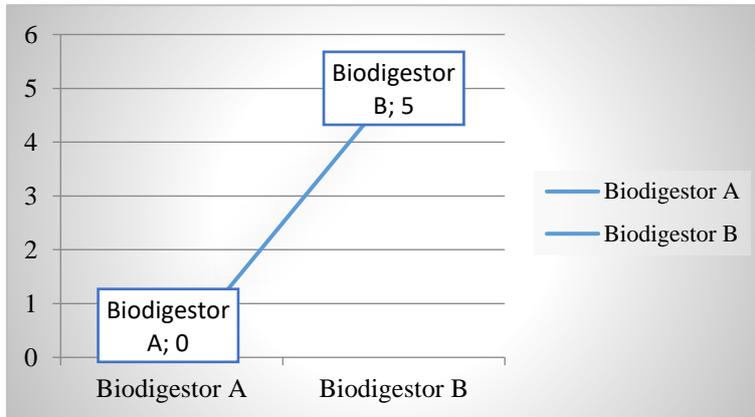
N°	Parámetro	A	B	Unidad
3	NO ₂	-	5	Ppm

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de comparación del dióxido de nitrógeno por ppm del gas del biodigestor A con el gas de biodigestor B se observa en la Figura 20.

Figura 20

Comparación del dióxido de nitrógeno de los biodigestores



Fuente: Elaboración propia.

d) Oxígeno (O₂)

Los resultados de comparación del oxígeno (% vol.) del gas del biodigestor A con el gas de biodigestor B se observa en la Tabla 21.

Tabla 21

Comparación del oxígeno de los biodigestores

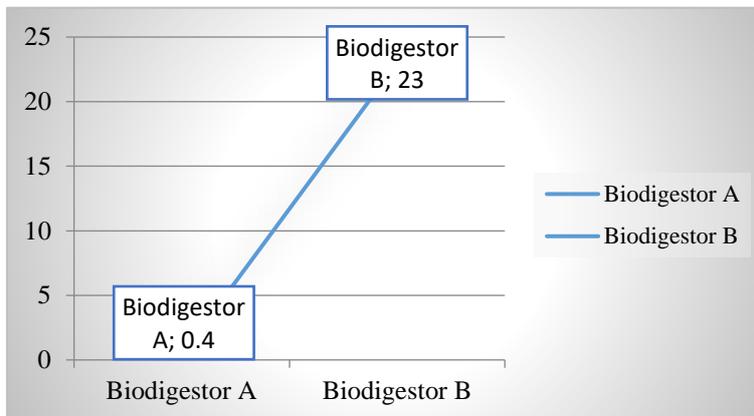
N°	Parámetro	A	B	Unidad
4	O ₂	0,4	23	% vol

Fuente: Elaboración propia

El potencial de comparación del oxígeno de los biodigestores determina con mayor resultado está en el biodigestor B ya que presenta 23 % vol como se observa en la Figura 21.

Figura 21

Comparación del oxígeno de los biodigestores



Fuente: Elaboración propia.

e) Sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Los resultados de comparación del sulfuro de hidrogeno por ppm del gas del biodigestor A con el gas de biodigestor B se observa en la Tabla 22.

Tabla 22

Comparación del sulfuro de hidrogeno de los biodigestores

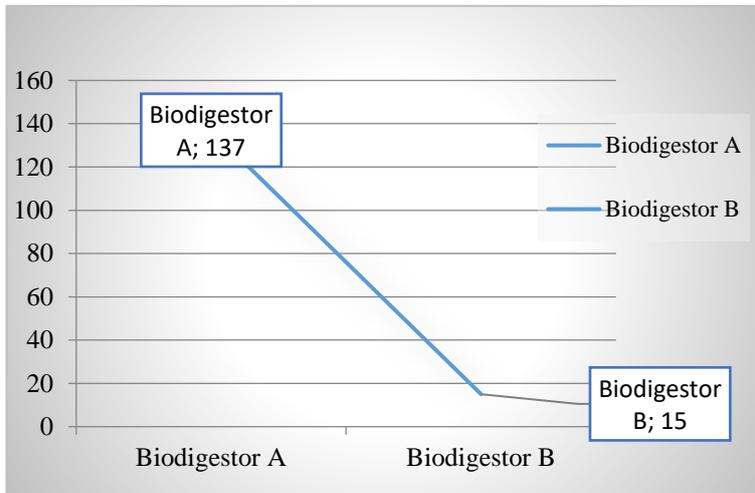
N°	Parámetro	A	B	Unidad
5	H ₂ S	137	15	ppm

Fuente: Elaboración propia

La comparación de sulfuro de hidrogeno de los biodigestores, determina con mayor resultado es en el biodigestor A con 137 partículas por millón como se observa en la Figura 22.

Figura 22

Comparación del sulfuro de hidrogeno de los biodigestores



Fuente: Elaboración propia.

f) Dióxido de carbono (CO₂)

Los resultados de comparación del dióxido de carbono por % vol. del gas del biodigestor A con el gas de biodigestor B se observa en la Tabla 23.

Tabla 23

Comparación del dióxido de carbono de los biodigestores

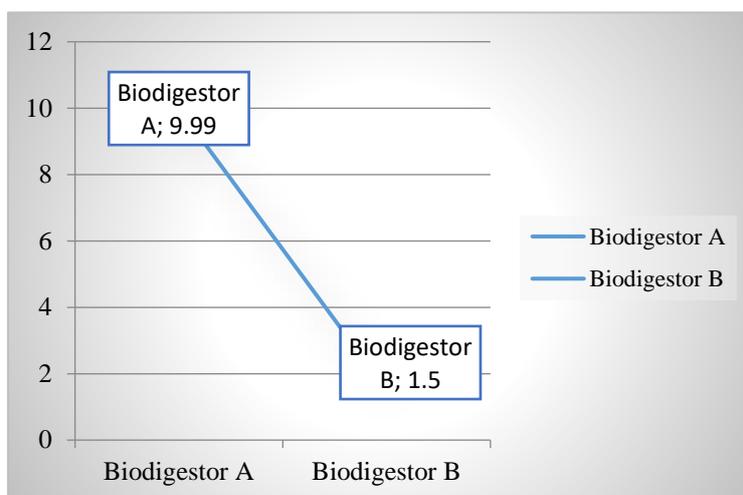
N°	Parámetro	A	B	Unidad
6	CO ₂	9,99	1,5	% vol

Fuente: Elaboración propia

El potencial de comparación de dióxido de carbono de los biodigestores determina con mayor resultado es en el biodigestor A ya que presenta 9,99 % vol. como se observa en la Figura 23.

Figura 23

Comparación del dióxido de carbono de los biodigestores



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

4.1. Determinación de la cantidad de residuos orgánicos que ingresó como carga inicial al biodigestor

Según los datos de la recolección de residuos de la planta Unacem durante el periodo 2019 se puede identificar que los residuos orgánicos son aproximadamente el 10 % del total de residuo generado en la planta por ello se ha considerado que se produce 12, 01 t mensuales de residuos orgánicos como promedio anual, de esos datos tenemos que el estiércol es el 10 %, la maleza el 21 % y la comida el 69 % de la generación de los residuos orgánicos en comparación con Paredes (2015), nos menciona que en el canton de Patate se genera 1934,4 kg de residuos diarios considerando que el 90 % son residuos organicos, por lo cual se puede determinar que los residuos generados en la planta Unacem en su gran mayoría son residuos recuperables (vidrio, metalicos, madera, etc).

Como se puede verificar en el Canton de Patate los residuos solidos con mayor proporcion son los residuos organicos con un total de 90 % a diferencia de la planta Cementera Unacem que solo genera un 10 % de residuos organicos del total, esto se debe a que en la planta cementera hay mayor interaccion de proyectos de infraestructuta y mantenemiento de sus operaciones en sus diferentes procesos.

4.2. Determinar la temperatura promedio del biodigestor A y B

Según el control de temperatura diaria del biodigestor A y B se determinaron que el promedio más alto de las temperaturas fue en el día 38 en el biodigestor A con una temperatura promedio de 29,07 °C y la temperatura promedio más alta del biodigestor B fue en el día 44 con un 26,73 °C, estas altas temperaturas influyeron en la calidad del biol y del biogás en comparación con Fernández *et al*, (2014), nos menciona que obtuvieron variaciones de la temperatura que oscilaron de 25 a 32 °C con una temperatura media de 28,3

°C, estas temperaturas no representan mayor inconveniente en referencia a la fermentación del residuo dentro del reactor. Así mismo Lara (2016) nos menciona que se logró la homogeneidad de la generación de biogas en los dos biodigestores por lo cual se llega a la conclusión que la temperatura en los dos espacios no influyó en la generación de biogás, debido a esto, se considera que a mayor temperatura mayor generación de biogas y que en zonas menores a los 2000 m s.n.m se genera aún mayor producción de biogas.

Se puede verificar que en el proyecto de Lara (2016) y Fernández *et al*, (2014) nos mencionan que el proyecto lo trabajaron a una altitud de 2000 y 2200 m s.n.m consecutivamente a diferencia del proyecto que se trabajó a una altitud de 3090 m s.n.m. debido a ello se puede identificar que las temperaturas en horas de la mañana fluctúan mucho a diferencia de los antes mencionados.

4.3. Determinar la calidad del biol obtenido en el proceso

En los resultados del análisis químico del biol realizado por la Universidad Agraria la Molina nos demuestra que el biol con mejores resultados se encuentra en el biodigestor B ya que presenta mejores resultados con respecto al potencial de hidrógeno con 5,06, la conductividad eléctrica con 15,30 $\mu\text{S}/\text{m}$, el nitrógeno con 1128,4 mg/litro, sodio total con 401 mg/litro, potasio total con 1456 mg/litro, magnesio con 226 mg/litro y calcio total con 245 mg/litro en comparación Fernández *et al*, (2014), nos menciona que obtuvo valores promedios de potencial de hidrógeno que fue 6,89, la conductividad eléctrica fue de 150 $\mu\text{S}/\text{m}$, el nitrógeno total fue de 1190,3 mg/litro, el fósforo fue de 250,5 mg/litro, el potasio fue de 3150,5 mg/litro, el sodio 1230,1 mg/litro, el calcio 980,3 mg/litro, el magnesio 490,8 mg/litro presentando resultados casi similares con el presente proyecto. Se puede determinar que el biol obtenido es a una altitud de 3090 m s.n.m. y el biol que obtiene Fernández es a 2000 m.s.n.m. verificando una diferencia significativa en su generación de valores

4.4 Determinar la calidad del biogás obtenido en el proceso

En los resultados del análisis realizado con el equipo MSA medidor de gases se presenta mejores resultados de biogás en el biodigestor A ya que presenta mejores resultados con respecto al potencial de comparación del límite de explosividad 26 LEL, el monóxido de carbono con 118 ppm, el sulfuro de hidrogeno 137 ppm y el dióxido de carbono 9,99 % con respecto Fernández *et al.* (2014), nos menciona que los resultados obtenido de la evaluación del parámetro químico del biogás obtuvo como promedio total de metano 52 % y 37,4 % de dióxido de carbono en la mezcla de un $\frac{1}{4}$ entre el estiércol y el agua y con un promedio de 36.9 % de dióxido de carbono y 53 % de metano en una mezcla de un $\frac{1}{5}$ en relación de estiércol y agua respectivamente.

Por tanto, existen coincidencias entre el trabajo realizado con nuestra investigación que apoya el desarrollo de la actividad con nuestro proyecto. Así mismo, en cada una de las tesis nos mencionan el análisis químico del biol y del biogás en cada una de las muestras para luego verificar cuál es el más idóneo con respecto a la eficiencia y eficacia del producto obtenido.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

1.- La cantidad de residuos orgánicos que genera la empresa Unacem es aproximadamente el 10 % del total de los residuos sólidos. Según los datos de recolección de los residuos orgánicos obtenidos durante el año 2019 se pudo determinar que el 10 % es estiércol, el 21 % es maleza y el 69 % es comida. La capacidad máxima de ambos biodigestores fueron 218 litros por lo cual solo se utilizaron 200 litros y se dejó un espacio de 18 litros para que pueda fluir el biogás suavemente hacia el grifo. Por lo tanto, se utilizaron 100 litros para la parte sólida y 100 litros para la parte líquida, la proporción fue 1: 1 esto debido a que el alimento contiene un alto contenido de agua.

2.- El proceso de fermentación desde el día 10 hasta el día 25 se puede apreciar un aumento de temperatura aproximadamente de 3 a 4 °C en el digestor experimental B con respecto al digestor experimental A, esto debido a que los microorganismos ya se han adaptado al medio. Del día 25 al día 40 las temperaturas obtenidas fluctúan debido a las condiciones climáticas de la zona de Tarma, por lo cual en los días de bajas temperaturas de la zona de Tarma se puede observar una mejor generación de biogás. La fecha del 4 y 5 de octubre del 2020 se puede verificar que el reactor ubicado en la zona con aumento térmico A aumenta considerablemente la temperatura alcanzando un cambio de 7,1 a 7,9 °C con relación al reactor B.

3.- El análisis químico de las muestras realizadas en la universidad de la Molina nos determinó la calidad de biol del biodigestor A y del biodigestor B.

a) En el biodigestor B, el potencial de hidrógeno, la conductividad eléctrica, el nitrógeno total, sodio total, potasio total, magnesio y calcio total presentan mejores resultados frente al biodigestor A.

- b) En el biodigestor A los sólidos totales, materia orgánica en solución y el fósforo total determina mayor resultado con respecto al biodigestor B.

Por lo cual se puede determinar que en el biodigestor B hay presencia de un mejor biol y se puede concluir que el biodigestor que se encuentra a temperatura ambiente genera el biol con mejores propiedades nutricionales.

4.- El análisis de datos realizados con el medidor de gases MSA se determinó la calidad de biogás del biodigestor A y biodigestor B.

- a) El potencial de comparación del límite de explosividad, el monóxido de carbono, sulfuro de hidrogeno y dióxido de carbono, determina con mayor resultado en el biodigestor A.
- b) El potencial de comparación del dióxido de nitrógeno y el oxígeno determina con mayor resultado en el biodigestor B.

Por lo cual se puede determinar que en el biodigestor A hay presencia de un mejor biogás y se llegó a la conclusión que si se aumenta mejoras térmicas al digestor produce biogás de mejor calidad.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda realizar la implementación del proyecto en época de sequía
2. Se recomienda seguir realizando investigaciones con la utilización de desechos orgánicos que contengan mayores compuestos químicos que favorecen el desarrollo del biogás.
3. Se recomienda diseñar modelo de biodigestores que pueden ser implementados en domicilios o en lugares rurales donde no cuentan con combustible a fin de ser una alternativa saludable su utilización como energía limpia.
4. Se recomienda seguir realizando trabajos en favor de conseguir energías saludables que no contaminan al medio ambiente.
5. Se recomienda continuar con los estudios y difundir a nivel de la colectividad a fin de buscar una mejor energía a un menor costo, que favorece al medio ambiente y que no genere contaminación ambiental.

REFERENCIAS

- Alvarez Bermudez, X. (2015). Modelo conceptual de la eutrofización y proliferación de cianobacterias.
http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/524/Modelo_conceptual_de_la_eutrofizaci%C3%B3n.pdf?sequence=1
- Amigo de la tierra. (2020). Recursos naturales y residuos.
<https://www.tierra.org/compostaje/>
- Aparcana, S. (2005). Estudio Sobre el valor fertilizante de los productos del proceso "fermentación anaeróbica" para producción de biogás. Madrid, España: Pearson Prentice hall.
- Arce Cabrera, J. J. (2011). Diseño de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos animales aplicable en la zonas agrarias del Litoral. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1593/15/UPS-GT000209.pdf>
- Arrieta , W. (2016). Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. Piura: Universidad de Piura.
https://pirhua.udpe.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf
- Banks, C., Chesshire, M., Heaven, S., y Arnold, R. (2012). Anaerobic digestion of source segregated domestic food waste. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.005>
- Campos Peralta, C. (2017). Propuesta de un biodigestor tubular de polietileno para producir biogás a partir de paja de arroz y agua del río Utcubamba en la ciudad de Bagua grande -Amazonas, 2016. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Amazonas, Chachapoyas.
- Criollo Quizhpi, E., y Guzman Guaraca, A. (2014). Elaboración de un biodigestor piloto tubular para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno, en una vivienda de la comunidad de Tembo.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3398>

- Deublein, D., y Steinhauser, A. (2008). Biogas from waste and renewable resource. Alemania. <http://pubs.sciepub.com/ajme/3/3/2/index.html>
- Duran, J, Retamal, N., y Moratiel, R. (2016). pH: Concepto, medida y aplicaciones en agricultura y medioambiente. Madrid. https://www.infoagro.com/documentos/ph_concepto_medida_y_aplicaciones_agricultura_y_medioambiente.asp
- Fernández R, V., Rodríguez A, L., y Aquino Acharte, N. (2014). Generación de energía renovable a partir del desarrollo de actividades pecuarias en el departamento de Madre de Dios. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5072955>
- Fuentes L. A. (2012). Diseño y construcción de un biodigestor con sistema automatico para generación de biogás en la finca Tanguarin de la parroquia San Antonio de Ibarra. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1912>
- Guardado, A., y Vargas, D. (2008). Aportes sobre el biogas como fuente energia. Maule, Chile. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942018000200001
- Guerrero, L. (2012). ¿Que es el biogas?. <http://www.aboutspanol.com/que-es-el-biogas-3417682>
- Guevara V. A. (1996). Fundamentos basicos para el diseño de biodigestores anaerobicos rurales. Lima: Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria. <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=51547&indexSearch=ID>
- Gutierrez A. J. (2009). Medio ambiente y desarrollo sostenible. http://files.uladech.edu.pe/docente/17817631/mads/Sesion_1/Temas%20sobre%20medio%20ambiente%20y%20desarrollo%20sostenible%20ULADECH/14.Impacto_ambiental_lectura_2009_.pdf
- Hacckel, E. (1919). Xataka Ciencia. <https://www.xatakaciencia.com/otros/definiendo-la-ecologia>.
- Hernández S. R., Fernández C. C., y Baptista L. M. (2014). Metodología de la investigación. Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. www.freelibros.com

- Hidalgo C. M., y Lara G. E. (14 de 01 de 2015). Diseño de un biorreactor y conduccion de biogas generado por las excretas de ganado vacuno. 28-37. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1652/1/236T0056.pdf>
- Huere P. J., Alcántara E. E., y Surichaqui G. F. (04 de Marzo de 2013). Producción de biogás en un protoipo de biodigestor a condiciones ambientales de Huancavelica.
- Iglesias M. L. (1995). Diseño de muestra y estimación en pequeñas áreas. 3-6. http://oa.upm.es/394/1/LUIS_IGLESIAS_MARTINEZ.pdf
- Lara, M. F. (2016). Diseño de un biodigestor para la producción de biogás por las excretas de ganado vacuno, en el criadero Jersey Chugllin. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6261>
- Llirod, M., y López, J. (1995). Producción de Biogás y Bioabono a partir de Desechos Sólidos en el Camal Yugqfrio de Trujillo. Trujillo, Peru.
- Marti H. J. (2008). Guía de diseño y manual de instalación de Biodigestores. Bolivia: Creative Commons. <http://pigtrop.cirad.fr/sp/content/pdf/5821>
- Metcalf, y Eddy. (2003). Fundamentos de los tratamientos biológicos del agua residual, tratamiento y rehuso (4ta ed.). (G. Hill, Ed.) New York.
- Miner, J. e. (2000). Managing livestock wastes to preserve environmental quality. New York - U.S.A.: AMESIA.
- Ministerio del ambiente. (2016). Residuos y áreas verdes. Lima, Perú. <http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-2.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-2.pdf>
- Ministerio del ambiente. (13 de Marzo de 2020). MINAM. Recuperado de Listado de rellenos sanitarios: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/671937/Listado_de_Rellenos_13.01.2020.pdf
- Nizami, A., Singh, A., y Murphy, J. (2011). Design, commissioning, and star-up of a sequentially fed leach bed reactor complete with an Upflow anaerobic sludge blanket digesting grass silage. (E. a. Fuels, Ed.). <http://doi.org/10.1021/ef101739d>

- OEFA. (2015). Residuos Sólidos. Peru. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=6471
- Paredes B. A. (2015). Diseño de un biorreactor para la obtención de biogás y bioabono a partir de residuos orgánicos en el Cantón Patate. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4091>
- Perez P. J., y Merino, M. (2015). Definicion de abono <https://definicion.de/abono-organico/>
- Pinos R. y M, J. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. Mexico. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952012000400004&script=sci_abstract&tlng=en
- Redagrícoloa. (2017). Lo básico para entender el biogás. <https://www.redagricola.com/cl/lo-basico-entender-biogas/>
- Roman, P., Martinez, M., y Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. (FAO, Ed.) Santiago, Chile. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Ros , M., Morales , B., Insam , H., Ayuso, M., y Pascual, J. (2013). Dinámica de la comunidad arquea y características abióticas en un proceso de digestión anaeróbica mesófila que trata los residuos de procesamiento de frutas y verduras con residuos de alcachofas frescas picadas. Biotecnología ambiental 136. <http://www.10.1016/j.biortech.2013.02.058>.
- Ruiz, A. (2010). Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del parque Porcino de Ventanilla mediante un sistema de biodigestion y manejo integral de residuos solidos y liquidos (3ra Edicion ed.). Peru: Creative Commons.
- Sánchez, P. (2006). La biomasa y la energia (2da Edicion ed.). Mexico: Paraninfo.
- Sepulvela, F. (29 de 04 de 2010). Manejo de residuos organicos e inorganicos derivados de la actividad agropecuaria en el valle de Azapata, en la region Arica y Parinacota. *Centro de Investigación Agropecuaria del Desierto y Altiplano*. http://platina.inia.cl/ururi/docs/proyecto7/seminario_1/c_FabiolaSepulveda.pdf
- Sistema biobolsa. (2020). Manual de biol. Instituto Internacional de Recursos Renovables, A.C. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SISTEMA%20BIOBOLS A%20s.f.%20Manual%20de%20BIOL.pdf

Toala, E. (2013). Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3406>

Varnero Moreno, M. (2011). *Manual de biogas*. Santiago, Chile: Proyecto CHI/00/G32. Obtenido de <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

Vega Arquiao, J. (2015). Diseño, construcción y evaluación de un biodigestor Semicontinuo para la generación de biogas con la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo para la institución educativa Privada Cristiana Bereshi Chimbote - Perú. <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2000/30744.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

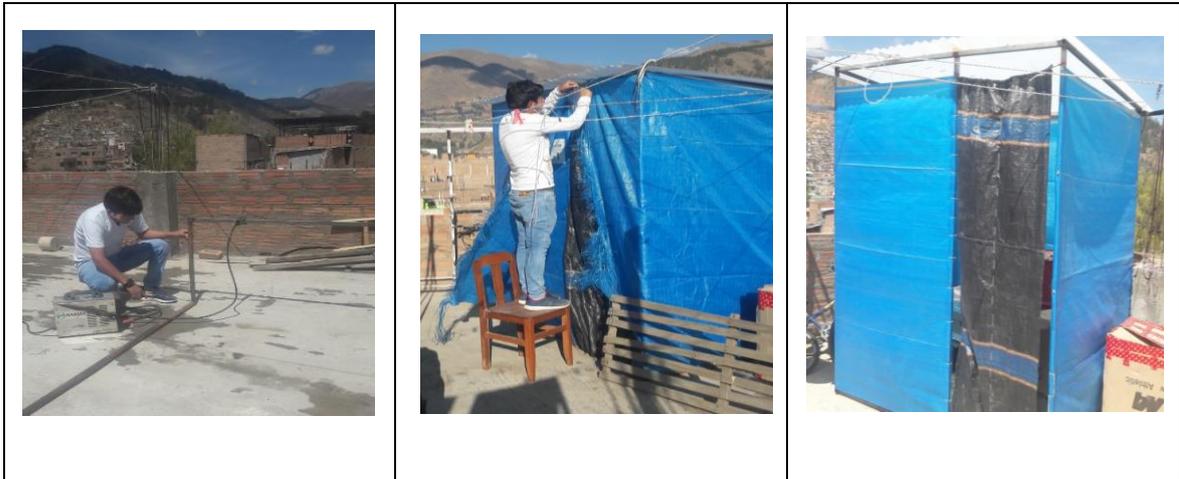
TERMINOLOGÍA

- **Bioabono.** Es un tipo de fertilizante que se produce a partir de plantas, animales u hongos. Distinto es el caso de los abonos inorgánicos, que derivan de actividades mineras o de combustibles fósiles y requieren de un proceso industrial para su fabricación (Pérez *et al*, 2015).
- **Biol.**- El Biol es un abono orgánico líquido que se origina a partir de la descomposición de materiales orgánicos, como estiércoles de animales, plantas verdes, frutos, entre otros, en ausencia de oxígeno. Es una especie de vida (bio), muy fértil (fertilizante), rentables ecológica y económicamente. Contiene nutrientes que son asimilados fácilmente, por las plantas haciéndolas más vigorosas y resistentes. La técnica empleada para obtener biol es a través de biodigestores (Sistema biobolsa, 2020).
- **Biogás.** - Gas combustible que se forma a partir de la descomposición de materia orgánica (biomasa). El compuesto que le da su valor energético es el metano, CH₄, el cual representa entre un 50 y un 75 % del gas. Casi todo lo demás corresponde a dióxido de carbono (CO₂), pero suele tener otros compuestos, los cuales actúan como impurezas y puede ser necesario retirarlos, dependiendo del uso final (Redagrícola, 2017).
- **Compost.** Es la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes (Román *et al*, 2013).
- **Compostaje.** la materia orgánica supone más del 40 % de nuestra bolsa de basura. Además, la materia orgánica es imprescindible para nuestros suelos, muchos de ellos en procesos de desertificación. Es indispensable poner en marcha una gestión adecuada de estos residuos a través de la práctica del compostaje descentralizado y la separación selectiva en origen donde el compostaje tenga que ser centralizado (Román *et al*, 2013).
- **Ecología.** La Ecología es el estudio de las relaciones entre los organismos y el medio ambiente; cómo se puede observar (Hacckel, 1919).

- **Impactos ambientales.** Se entiende el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos (Gutiérrez, 2009).
- **Eutrofización.** es un proceso que tiene lugar a lo largo de cientos de miles de años en ecosistemas acuáticos. Consiste en el aporte de materiales procedentes del suelo y otros transportados por las aguas que afluyen a dicho medio (Álvarez, 2015).
- **Lixiviado.** Corresponde al agua que drena, por la sobresaturación (exceso de humedad) del material, durante el proceso de compostaje (Román *et al.*, 2013).
- **Fitotoxicidad.** En un material que no haya terminado el proceso de compostaje correctamente, el nitrógeno está más en forma de amonio en lugar de nitrato (Román *et al.*, 2013).

APÉNDICES

Apéndice 1. Construcción del invernadero



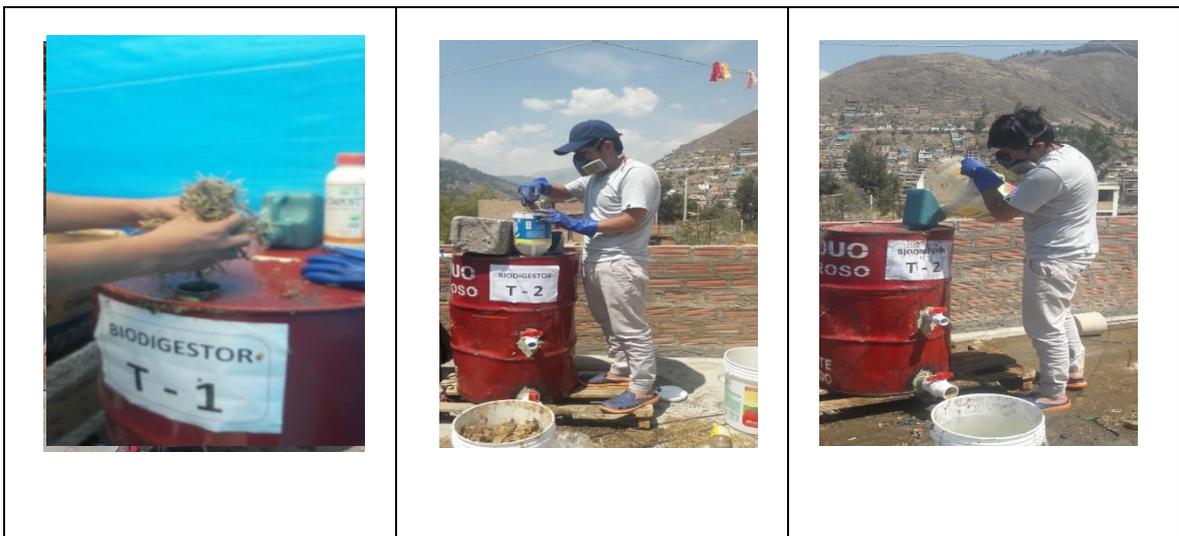
Apéndice 2. Implementación del biodigestor A y del biodigestor B



Apéndice 3. Clasificación, picado y triturado de los residuos orgánicos



Apéndice 4. Carga inicial del biodigestor A y biodigestor B





Apéndice 5. Monitoreo de la temperatura



Apéndice 6. Análisis de gases y extracción de la muestra de biol



Apéndice 7. Formato de control de peso diario de los residuos sólidos de Unacem.

BASE DE DATOS DE GENERACION DE RESIDUOS										UNACEM	
FECHA	ORIGEN N° OT u otro	TIPO DE RESIDUO	ELIGROS NO PELIGROS	Re-aprovechamiento (Kg)			Disposición Final (Kg)			EMPRESA	OBSERVACIONES
				Reuso	Recuperación	Reciclaje	Almacenamiento Central de rrs.	Planta de Compost	Relleno de Sanitario		
		PAPEL REC.		X						ECOTEC	
		CARTON REC.		X							
		TEXTIL NO REC.		X							
		PLASTICOS PET REC.		X							
		PLASTICOS DUROS REC.		X							
		MANIFAS PLASTICAS REC.		X							
		MANGAS USADAS REC.		X							
		BOLSAS PLASTICAS NO REC.		X							
		ZUNCHOS NEGROS NO REC.		X							
		VIDRIO REC.		X							
		LOSA REC.		X							
		LATAS REC.		X							
		CHATARRA REC.		X							
		MADERA REC.		X							
		JEBE NO REC.		X							
		RRSS NO RECUPERABLES		X							
		RESTOS DE COMIDA REC.		X							
		MALEZA REC.		X							
		ALGAS NO REC.		X							
		ESTIERSOL REC.		X							
		ACEITE USADO		X							
		GRASA USADA		X							
		TIERRA CONTAMINADA		X							
		TRAPOS CONTAMINADOS		X							
		RRSS PELIGROSOS		X							
		RRSS HOSPITALARIOS		X							
		RAEE		X							
SUB-TOTAL (Kg)					0	0	0	0	0		
% Residuos Reaprovechados				= _____							

Apéndice 8. Resultado de muestras del biodigestor A y biodigestor B



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : JEAN CORONEL FLORES
PROCEDENCIA : JUNIN/ TARMAN/ TARMA
MUESTRA DE : BIOL
REFERENCIA : H.R. 73204
BOLETA : 4329
FECHA : 02/12/2020

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
501	A	4.86	14.40	24.92	15.35	1058.40	194.85	1168.00
502	B	5.06	15.30	24.01	14.23	1128.40	170.16	1456.00

N° LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
501	A	187.00	146.00	280.00
502	B	245.00	226.00	401.00



Braulio La Torre Martínez
Mg. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Apéndice 9. Ficha técnica



Jr. Pedro Torres Malarín N°355-Pueblo Libre-Lima
RPM: *11282 / #0045663 / #656656
Movistar: 943603740 / 952086694 / 943629819
Oficina: 01-4630329
informes@bioem.com.pe
www.bioem.com.pe



FICHA TÉCNICA

EM•COMPOST®
MICROORGANISMOS EFICACES™

ORIGEN

El **EM•COMPOST®** es un **producto natural** que contiene microorganismos benéficos. Fue desarrollado en la década de los 80 por el Dr. Teruo Higa, de la Universidad de Ryukus, Okinawa, Japón. Actualmente se utiliza en más de 180 países a nivel mundial.

DESCRIPCIÓN

El **EM•COMPOST®** es una mezcla de diferentes microorganismos naturales. Estos microorganismos no son nocivos, ni patógenos, ni genéticamente modificados, ni químicamente sintetizados. Son microorganismos que promueven procesos de fermentación benéfica, aceleran la descomposición de la materia orgánica y promueven el equilibrio de la flora microbiana, reduciendo la presencia de nematodos en los suelos.

CONTENIDO MÍNIMO UFC/mL

- * Bacterias ácido lácticas 10^4
- * Bacterias Fotosintéticas 10^3
- * Levaduras 10^3
- * Enzimas

DATOS FÍSICOS

Apariencia: Líquido color marrón-amarillo

Olor: Fermento-agradable

pH: 3.5

COMPATIBILIDAD

- Es compatible con aceites minerales y fertilizantes.
- No es compatible con cloro, desinfectantes, sulfato de cobre, oxidantes y pesticidas (fungicidas, insecticidas y bactericidas).