



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Química

**Construcción de un biodigestor como recurso didáctico del curso de diseño
de reactores**

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

Autor

Roberto Ulises Leña Tadeo

Asesor

Ing. Edelmira Torres Corcino



TORRES CORCINO
INGENIERA QUÍMICA
Reg. GIP. N° 117063

Huacho – Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

INFORMACIÓN

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Roberto Ulises Leaño Tadeo	48580982	25/06/2026
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Edelmira Torres Corcino	15649132	https://orcid.org/0009-0009-7903-4652
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Máximo Tomas, Salcedo Meza	15602588	https://orcid.org/0000-0003-1993-2513
Víctor Raúl, Coca Ramírez	15601160	https://orcid.org/0000-0002-2287-7060
José Alonso, Toledo Sosa	80302533	https://orcid.org/0000-0002-8278-1538

Leaño Tadeo Roberto 2026-027907

Construcción de un biodigestor como recurso didáctico del curso de diseño de reactores

 UNIDAD DE INVESTIGACION DE LA FIQyM - PREGRADO - 2026

 Unidad de Investigación de la FIQyM - 2026

 Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Detalles del documento

Identificador de la entrega

tm:oid::1:3548556038

85 páginas

Fecha de entrega

23 abr 2026, 10:08 p.m. GMT-5

10.988 palabras

62.496 caracteres

Fecha de descarga

23 abr 2026, 10:13 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS-LEA_O.docx

Tamaño del archivo

6.5 MB



Página 1 de 91 - Portada

Identificador de la entrega tm:oid::1:3548556038



Página 2 de 91 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega tm:oid::1:3548556038

16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cá...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por darme la sabiduría necesaria para culminar este trabajo de investigación. A mis padres por su apoyo y consejos, sin ellos no hubiera podido cumplir muchos de mis metas trazadas, entre ellos la culminación de mi carrera profesional y el desarrollo de mi trabajo de investigación

Leaño Tadeo, Roberto Ulises

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión por darme la oportunidad de estudiar y concluir mi carrera profesional, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos en esta etapa de mi vida. A mi asesor por brindarme todo el apoyo necesario durante el desarrollo de mi trabajo de investigación.

Leaño Tadeo, Roberto Ulises

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1. Descripción de la realidad problemática	19
1.2. Formulación del problema	19
1.2.1. Problema general	19
1.2.2. Problemas Específicos	19
1.3. Objetivos de Investigación	20
1.3.1. Objetivo General	20
1.3.2. Objetivos Específicos	20
1.4. Justificación de la Investigación	20

CAPITULO II. MARCO TEORICO	22
2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.1.1. Investigaciones internacionales	22
2.1.2. Investigaciones nacionales	23
2.2. Bases Teóricas	25
2.2.1. Biorreactores	25
2.2.2. Tipos de biorreactores	25
2.2.3. Clasificación	26
2.2.4. Biodigestor	26
2.2.5. Clasificación de Biodigestores	27
2.2.6. Tipos de Biodigestores	28
2.2.7. Funcionamiento	30
2.2.8. Material Didáctico	36
Definición	36
2.2.8.1. Importancia de las herramientas didácticas en el salón de clases	36
2.2.8.2. Características de los materiales didácticos	37
2.2.8.3. Funciones de los materiales didácticos:	38
2.2.8.4. Clasificación de materiales didácticos	39
2.2.9. Definición del aprendizaje	39
2.2.9.1. Aprendizaje del uso de internet	40

2.2.9.2. Aprendizaje por descubrimiento	40
2.2.9.3. Autoaprendizaje	40
2.3. Definición de términos básicos	41
2.4. Hipótesis de investigación	42
2.4.1. Hipótesis general	42
2.4.2. Hipótesis específicas	42
2.5. Operacionalización de las Variables	43
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	44
3.1. Diseño Metodológico	44
3.1.1. Revisión de la literatura	45
3.1.2. Construcción de un biodigestor	45
3.1.3. Manejo del biodigestor	47
3.1.4 Caracterización de materiales utilizados para la carga de biodigestor	47
3.2. Población y Muestra	49
3.2.1. Población	49
3.2.2. Muestra	49
3.3. Técnicas de recolección de datos	49
3.4. Técnicas para el procesamiento de la información	49
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	50
4.1. Construcción del Biodigestor	50

4.1.1.	Selección del material	50
4.1.2.	Construcción	50
4.2.	Carga del Biodigestor	51
4.2.1.	Composición de los materiales para la carga inicial	51
4.2.2.	Composición del Compost	52
4.2.3.	Materiales para la carga inicial	52
4.2.4.	Manual de construcción y funcionamiento	53
CAPÍTULO V. DISCUSION		54
5.1.	Discusión de resultados	54
CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		56
6.1.	CONCLUSIONES	56
6.2.	RECOMENDACIONES	56
CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		58
ANEXOS		62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de operacionalización de variables.....	43
Tabla 2 Composición Química de la materia prima para la primera carga (antes del compost)	52
Tabla 3 Composición del prefermentado	52
Tabla 4 Materiales para la carga inicial.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de un biodigestor hindú.	28
Figura 2. Biodigestor tipo chino o tapa fija.	29
Figura 3. Biodigestor tubular	29
Figura 4 Esquema de la digestión anaeróbica de materia orgánica compleja	30
Figura 5. Etapas que se siguieron para el desarrollo de la presente investigación:	44
Figura 6. Biodigestor por lotes.	51
Figura 7. Adecuación de la alfalfa	81
Figura 8. Mezcla heterogénea de las materias primas.....	81
Figura 9. Mezcla para el pre fermentado estiércol con alfalfa.	82
Figura 10. Homogenización del pre fermentado.....	82
Figura 11. Pre fermentado final	83
Figura 12. Instalación de las luces para el biodigestor.....	83
Figura 13. Instalación de los tubos PVC, Termómetro, manguera transparente en la tapa del contenedor.	84
Figura 14. Preparación de una solución agua con cal para el neutralizado de la carga.	84
Figura 15. Mezclado del estiércol fermentado con la solución de la cal y agua.	85
Figura 16. Agregado de agua para llegar al volumen requerido.....	85
Figura 17. Alimentación completa.....	86
Figura 18. Construcción del manómetro	86
Figura 19. Biodigestor cargado para el proceso de fermentado para la obtención del biogás.	87

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Manual del biodigestor	62
Anexo 2: Relación C/N de diversos desechos del medio rural	79
Anexo 3: Datos promedios del contenido de Sólidos Totales de diversos desechos	80
Anexo 4: Panel Fotográfico.....	81

RESUMEN

El presente proyecto tuvo como objetivo la construcción de un biodigestor como recurso didáctico para el curso de Diseño de Reactores en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Esta propuesta surge para fortalecer la vinculación entre la teoría y la práctica, facilitando un aprendizaje significativo de conceptos como cinética de reacciones, transferencia de masa y diseño de sistemas biológicos mediante la experimentación directa.

El biodigestor, construido a escala de laboratorio, emplea una mezcla optimizada de estiércol de vacuno y residuos vegetales (chala de maíz) con una relación carbono-nitrógeno de 30 y un porcentaje de sólidos totales del 6%. Se seleccionaron materiales accesibles y económicos, como polietileno y tuberías PVC, para garantizar la sostenibilidad y reproducibilidad del diseño. Se implementaron sistemas manuales para el control de temperatura, presión y agitación, permitiendo un manejo adecuado del proceso anaeróbico.

La metodología combinó revisión bibliográfica, construcción práctica y evaluación de la percepción estudiantil a través de observación directa y cuestionarios. Los resultados demostraron que el biodigestor funciona eficazmente como herramienta pedagógica, favoreciendo la comprensión teórica y mejorando la motivación y participación de los estudiantes.

Se concluye que el biodigestor como recurso didáctico aporta a la formación técnica y ambiental de los futuros ingenieros, promoviendo competencias analíticas y compromiso con la sostenibilidad. Se recomienda su inclusión formal en el plan curricular y el desarrollo de materiales complementarios que potencien su impacto educativo.

Palabras clave: biodigestor, recurso didáctico, diseño de reactores, aprendizaje significativo, ingeniería química.

ABSTRACT

The objective of this project was to build a biodigester as a teaching resource for the Reactor Design course at the Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering of the José Faustino Sánchez Carrión National University. This proposal was developed to strengthen the connection between theory and practice, facilitating meaningful learning of concepts such as reaction kinetics, mass transfer, and biological systems design through direct experimentation.

The biodigester, built on a laboratory scale, uses an optimized mixture of cattle manure and plant waste (corn husks) with a carbon-nitrogen ratio of 30 and a total solids percentage of 6%. Accessible and inexpensive materials, such as polyethylene and PVC pipes, were selected to ensure the sustainability and reproducibility of the design. Manual systems were implemented to control temperature, pressure, and agitation, allowing for proper management of the anaerobic process.

The methodology combined a literature review, practical construction, and assessment of student perceptions through direct observation and questionnaires. The results demonstrated that the biodigester works effectively as a teaching tool, fostering theoretical understanding and improving student motivation and participation.

It is concluded that the biodigester as a teaching resource contributes to the technical and environmental training of future engineers, promoting analytical skills and a commitment to sustainability. Its formal inclusion in the curriculum and the development of complementary materials to enhance its educational impact are recommended.

Keywords: biodigester, teaching resource, reactor design, meaningful learning, chemical engineering.

INTRODUCCIÓN

El proceso educativo en ingeniería química y carreras afines enfrenta constantemente el reto de vincular la teoría con la práctica, generando experiencias que faciliten el aprendizaje profundo y significativo. En particular, el curso de Diseño de Reactores que aborda conceptos complejos de cinética, transferencia de masa y diseño de sistemas químicos requiere de herramientas didácticas que permitan a los estudiantes visualizar y experimentar directamente dichos principios. En este sentido, la construcción de un biodigestor como recurso didáctico representa una oportunidad pedagógica valiosa para fomentar la comprensión aplicada del diseño de reactores biológicos, que son componentes fundamentales en procesos biotecnológicos y ambientales.

Un biodigestor es un sistema cerrado diseñado para la digestión anaerobia de materia orgánica, produciendo biogás y un efluente útil como fertilizante. Su operación involucra procesos dinámicos de cinética microbiana y transferencia de masa que se ajustan a los modelos y teorías estudiados en el curso. Incorporar la construcción y operación de un biodigestor en la formación académica permite a los estudiantes relacionar los parámetros teóricos con resultados experimentales reales, fortaleciendo competencias técnicas, analíticas y críticas.

Además, el empleo de un recurso didáctico tangible como el biodigestor promueve la motivación, el aprendizaje activo y la integración interdisciplinaria, aspectos esenciales para la formación integral de pregrado. Este proyecto no solo abre la posibilidad de experimentar con variables de diseño y operación, sino que también contribuye a sensibilizar sobre problemas ambientales y energéticos, alineando el aprendizaje con desafíos actuales de sostenibilidad.

En ese sentido, la presente investigación busca diseñar, construir y evaluar un biodigestor como recurso didáctico para el curso de Diseño de Reactores, enfatizando su potencial para mejorar la experiencia educativa y facilitar la comprensión de conceptos fundamentales. Este enfoque innovador responde a la necesidad de contar con materiales y metodologías que integren teoría y práctica de forma efectiva, fortaleciendo la formación profesional y el compromiso con soluciones tecnológicas sostenibles.

Este texto está orientado a nivel pregrado con un lenguaje formal y académico, subrayando la relevancia pedagógica y técnica del proyecto. Si se desea, puedo ampliarlo o incluir citas directas de fuentes específicas.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En la actualidad, la gestión adecuada de los residuos orgánicos se ha convertido en un desafío importante para la sociedad. Muchos de estos residuos terminan en vertederos o son incinerados, lo que genera impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública. Por otro lado, la dependencia de los combustibles fósiles y la necesidad de encontrar fuentes de energía renovables y sostenibles es un tema de gran relevancia a nivel global.

En este contexto, la construcción de un biodigestor como recurso didáctico en el curso de Diseño de Reactores podría brindar una solución innovadora y práctica a estos problemas. Un biodigestor es un sistema que permite la descomposición anaeróbica de la materia orgánica, produciendo biogás (una mezcla de metano y dióxido de carbono) que puede ser utilizado como combustible, y un efluente rico en nutrientes que puede ser utilizado como fertilizante.

Sin embargo, para que un biodigestor sea efectivo y eficiente, es necesario comprender los principios básicos de su funcionamiento, los factores que afectan su rendimiento y las consideraciones de diseño y construcción. Además, es importante evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de implementar un biodigestor en un contexto específico.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la construcción de un biodigestor puede ser utilizado como un recurso didáctico del curso de diseño de reactores?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cuáles son las etapas para la construcción de un biodigestor como recurso didáctico del curso de diseño de reactores?

¿Cuáles son los factores para la operación y funcionamiento de un biodigestor como recurso didáctico del curso de diseño de reactores?

1.3. Objetivos de Investigación

1.3.1. Objetivo General

Construir un biodigestor como recurso didáctico del curso de diseño de reactores.

1.3.2. Objetivos Específicos

Describir los procedimientos para la construcción de un biodigestor como recurso didáctico del curso de diseño de reactores.

Determinar los factores para la operación y funcionamiento de un biodigestor como recurso didáctico del curso de diseño de reactores.

1.4. Justificación de la Investigación

La construcción de un biodigestor puede utilizarse como un recurso didáctico en el curso de diseño de reactores por varias razones. En primer lugar, el biodigestor es un reactor químico que permite a los estudiantes comprender los principios de la cinética de las reacciones y la transferencia de masa y energía. En segundo lugar, el biodigestor es un sistema que puede ser monitoreado y controlado, lo que permite a los estudiantes familiarizarse con los conceptos y técnicas de instrumentación y control en reactores químicos. Además, la construcción de un biodigestor puede ser una experiencia práctica y enriquecedora para los estudiantes, ya que les permite aplicar los conceptos teóricos aprendidos en clase y desarrollar habilidades prácticas. Por último, el biodigestor es una tecnología sostenible y respetuosa con el medio ambiente, lo que permite a los estudiantes comprender la importancia de la sostenibilidad en los procesos químicos. En resumen, la construcción de un biodigestor puede ser una herramienta valiosa para enseñar los principios y técnicas de diseño de reactores químicos de manera práctica y sostenible.

1.5. Delimitaciones del estudio

1.5.1. Delimitación Temporal

El desarrollo del presente estudio ha sido llevado a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú.

1.5.2. Delimitación Espacial

El estudio se desarrolló en el periodo de marzo de 2022 a agosto de 2022.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Investigaciones internacionales

Toala (2013), en su investigación se planteó como objetivo general, efectuar la elaboración de biogás, con la construcción de un biorreactor de material de polietileno, siendo esta producción a base de estiércol de ganado; situado en el Rancho conocido como Verónica en el año 2013, como objetivos específicos tenemos que evaluar los factores químicos, físicos y bacteriológicos que se encuentran dentro del estiércol de ganado y verificar la determinación de la eficiencia con la que se desarrollara el biodigestor; para desarrollar lo que se planteó se utilizó la metodología cuantitativa para la especificación de los componentes primordiales del biodigestor, finalmente llego a concluir, que los resultados del proyecto cumplen con un factor determinante de seguridad del 5% en una duración de almacenamiento de 40 días y una retención global del biodigestor de 4.849 litros y que cada uno de los biodigestores, siendo de material de polietileno, operaran con un rendimiento del 90.42% en el proceso anaeróbico en función a la energía emitida.

Salazar y Arias (2016), en su pesquisa se formuló como objetivo general: diseñar y construir un biodigestor para producir biogás a base de estiércol vacuno en la finca denominada “Isabel” ubicado en la parroquia Taracoa, provincia de Orellana, siguiendo con los objetivos específicos fue preciso señalar que mediante un análisis microbiológico y fisicoquímico se dará a conocer las características del estiércol de ganado vacuno, también se busca su cuantificación; para desarrollar lo que se formuló inicialmente por el autor, se previno una cantidad de estiércol de 123 kg/día, por medio de un muestreo aleatorio simple donde se realizaron las pruebas de estiércol debido a que se elaborara los análisis microbiológicos y fisicoquímicos correspondientes ubicado en el laboratorio LABSU, por ultimo llego a la conclusión que el biogás obtenido por el biodigestor tipo chino a lo largo

del tiempo de almacenamiento de 25 días es de 2,16 m³, seguido de un factor de calor que disminuyo comparado con el GLP, se observó una llama de color azulejo y después de un tiempo de un color ámbar fuerte.

Hamodi, López y López (2014), en su artículo científico que tuvo como objetivo contribuir y promover la investigación, la modernización y la competitividad en evaluación, teniendo como resultado la promoción de una cultura de muy buena calidad y con muchas ventajas; siendo así líder y participe en proyectos coherentes, innovadores y útiles; dando un aprovechamiento al progreso y la mejora continua mediante el uso de métodos de investigación de vanguardia, teniendo como beneficio un mayor conocimiento y generando un valor agregado; produciendo e innovando diversas redes de investigadores y evaluadores; practicando, enseñando y promoviendo los conocimientos brindados y resultados emitidos en los seres humanos hoy en día, finalmente llego a la conclusión que hoy en día resulta difícil encontrar una diferencia clara y concisa en cuanto a los conceptos de “medios”, “tecnologías” y “herramientas” de evaluación del aprendizaje.

2.1.2. Investigaciones nacionales

Gurbillón, Alarcón, Angeles, Ramírez y Barrios (2019), en su artículo se planteó sistematizar la producción de biogás y bioabonos utilizando como materia prima estiércol de vaca, esto en la ciudad de Chachapoyas - Amazonas, o siguiente para poder determinar acerca del desarrollo de pasto para bovinos, necesitara saber cuánta será la eficiencia del biogás ya que esta será el reemplazo del combustible en función de los bioabonos, también se dio a conocer que para la elaboración diaria de los alimentos para una familia se puede utilizar el biogás producido y elaborado, siendo así el reemplazo del combustible usado normalmente en una cocina, a partir de todo lo investigado concluyo que el biodigestor tubular elabora una cantidad eficiente de biogás para la elaboración de los alimentos de una familia, siendo así se evitara la deforestación de la leña, minimizando la presión en los

bosques; puesto que también absorbe metano puesto que su finalidad es minimizar los gases de efecto invernadero emitido, utilizado como combustible.

Cruz (2017), en su trabajo de investigación científica titulada, ***“Diseño de un biorreactor para generar biogás a partir de desechos orgánicos de animales en la irrigación de Majes-Caylloma”***, para optar el Título de Ingeniero Ambiental, se planteó como objetivo general, elaborar un biorreactor para producir biogás por medio de desechos orgánicos de animales pueden ser así porcino, vacuno y ovino, como objetivos específicos dio a conocer que quería originar biogás a través del biorreactor para el consumo de la casa y plantear la reutilización del producto residual como un abono; para desarrollar lo que se propuso inicialmente por el autor, determino que el objetivo principal de la elaboración de un biorreactor es lograr un mayor almacenamiento de biomasa en su interior, puesto que deriva una mayor cantidad de elaboración de biogás y una alta minimización del volumen del biodigestor por la materia orgánica introducida, finalmente llego a concluir, la generación de biogás está en relación del tiempo de retención, debido a eso razona un alto TR para la elaboración del gas.

Lucar (2018), en su trabajo de investigación científica titulada, ***“Internet como recurso didáctico en la enseñanza del docente y el aprendizaje de los estudiantes de la Facultad de Educación de la Universidad Nacional Federico Villarreal”***, para optar el Grado Académico de Maestro en Docencia Universitaria, como objetivo general se ha propuesto, determinar de qué manera el internet es relevante como recurso didáctico en la formación y enseñanza de los docentes y estudiantes de la Facultad de Educación de la Universidad Nacional Federico Villarreal, como objetivos específicos debemos determinar en que se vincula el aprendizaje obtenido por el docente mediante el método de Investigación por el internet, para así trasmitirlo a los estudiantes de la Facultad de Educación de la Universidad Nacional Federico Villarreal y determinar cómo se vincula el internet, según

la Guía de Investigación Web, realizada por la formación del docente en el aprendizaje de los estudiantes de la Facultad de Educación de la Universidad Nacional Federico Villarreal; para desarrollar lo que se planteó se utilizó del patrón de correlación ya que tuvo como objetivo establecer relaciones entre las variables, finalmente llego a concluir, que el Internet se vincula como fuente de información y materiales didácticos en la enseñanza y aprendizaje de los docentes y estudiantes de la Facultad de Educación de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Biorreactores

Conceptualmente un biorreactor es un recipiente donde en su interior se crean procesos y reacciones químicas donde están involucrados microorganismos, este proceso puede ser anaeróbico o aeróbico. Un biorreactor es un recipiente donde se busca mantener las condiciones adecuadas para que se dé el proceso requerido.

También en los biorreactores se usan dispositivos que controlan el buen funcionamiento, así como sistemas para controlar algunos parámetros requeridos dentro del sistema.

2.2.2. Tipos de biorreactores

Existen varios tipos de biorreactores entre los más comunes son:

- Tanque agitado: estos pueden operar de forma continua o discontinua y las condiciones en las que operan son las mismas que para cualquier biorreactor
- Columna de burbujeo: este tipo de reactor no cuenta con un sistema de agitación mecánica, ya que, para homogenizar la mezcla se introduce gases al fondo mediante un disco perforado que se encuentra dentro de biorreactor.
- Reactor de tipo air lift: este tipo de reactor cuenta con dos cilindros concéntricos donde se introduce gas haciendo que la mezcla se homogenice y cuenta con una salida de gas en la parte inferior.

- Reactor de lecho empaquetado: este tipo de reactores se mantiene en estado estacionario y el agente biológico con la que trabaja enzimas que se encuentran ubicados en el soporte por donde llegar al sustrato.
- Reactor de lecho fluidizado: en este caso se requiere un alto flujo para conseguir las partículas de biocatalizador.

2.2.3. Clasificación

2.2.3.1. Clasificación operativa

Esta clasificación se realiza de acuerdo al modo de operación y estos pueden ser discontinuos, semicontinuos y continuos. Este tipo de biorreactores se puede determinar de acuerdo al modo de cultivo del sistema.

2.2.3.2. Clasificación biológica

Este tipo de sistemas deben tener contacto con el exterior para poder llevar a cabo el proceso, por ello, su clasificación es debido al metabolismo procesar dentro del sistema de cultivo como: aeróbico, anaeróbico y facultativo.

El metabolismo celular del cultivo está basado de acuerdo a los cultivos y fermentaciones. Por lo general el metabolismo será el que definirá las características operativas biológicas de diseño y elaboración del biorreactor, además de los parámetros.

2.2.4. Biodigestor

Según Loaiza y Alarcón (2020) Estos biodigestores son diseños para la elaboración de biogás, estos son recipientes que no tienen contacto con el exterior y pueden ser de cualquier tipo y herramienta; ya que se podrá almacenar los residuos o restos mezclados con H₂O, más conocido como agua, que al pasar los días estos se van a degradar en ausencia del oxígeno para producir biogás.

2.2.5. Clasificación de Biodigestores

Los biodigestores se clasifican según su complejidad, uso y según el modo de alimentación, a continuación, se describa cada uno de ellos.

2.2.5.1. Sistemas batch o intermitentes

En este tipo de biodigestores su alimentación es de forma intermitente, ya que se realiza una sola carga de materias primas hasta que termine el proceso. Después de ciertos días de fermentación, cuando el contenido de materia prima disminuya y la producción del biogás descienda, se procede a vaciar el contenido del biodigestor y nuevamente se realizará una alimentación para el siguiente proceso de fermentación.

2.2.5.2. Sistemas semicontínuos

Este proceso se realiza en partes, ya que, se procederá a realizar la primera alimentación. Posteriormente, se va agregar más materia prima nuevos, estos van estar calculado en función de la detención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Acá se va a descargar la misma cantidad de efluentes de acuerdo con el efluente que se incorporó al principio del proceso. Por lo general estos procesos son realizados en el medio rural, ya que, al tratarse de sistemas pequeños se puede usar de manera domestica

2.2.5.3. Sistemas Continuos

En este proceso el sistema de alimentación es interrumpido, el efluente que se va a descargar es similar al material de carga o al afluente, con producciones de biogás. Principalmente se aplica en el tratamiento de aguas residuales de tipo industrial, ya que se utilizan equipos para su alimentación, así como para proporcionarles calefacción para mantener la temperatura y un sistema de agitación.

2.2.6. Tipos de Biodigestores

Actualmente existen múltiples modelos de biodigestores, de los cuales los más usados son modelo hindú o también es conocido de domo flotantes, el chino o domo fijo y el tubular que esto consiste en una bolsa alargada.

2.2.6.1. Modelo Hindú

En este modelo de biodigestor tiene una cámara de digestión que tiene una forma cilíndrica sobre el cual flota una campana gasométrica, por lo general es construido con hierro. El rebalse se sitúa en la salida del efluente, la carga se realiza de forma continua ya sea diaria o cada dos.

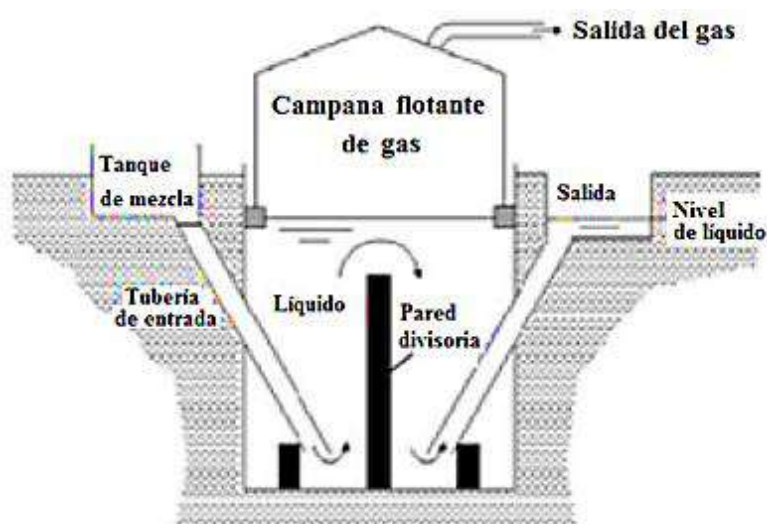


Figura 1. Esquema general de un biodigestor hindú.

2.2.6.2. Modelo Chino

Estos son biodigestores son de tipo cilíndrica con el piso y el techo en forma de domo. Al inicio del proceso, el digestor se va a llenar con desechos agrícolas junto con lodos activos que provenientes de la descarga de otro digestor, esto se realiza por la cubierta superior del

digestor que es removible. Una vez que es cargada, la alimentación puede ser de forma diaria con los residuos o desechos que se encuentren disponibles.

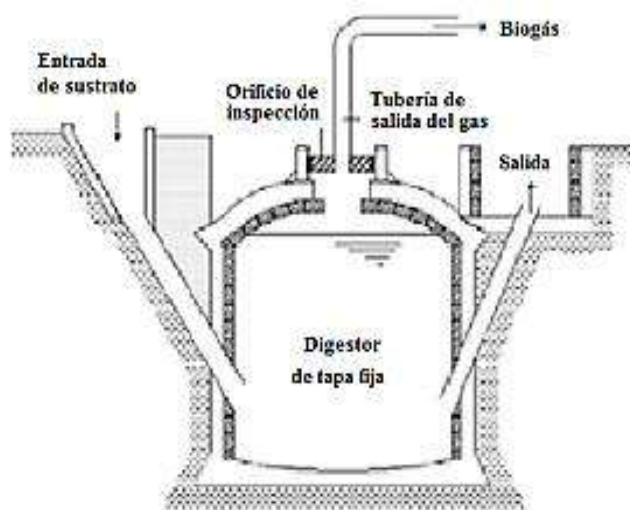


Figura 2. Biodigestor tipo chino o tapa fija.

2.2.6.3. Modelo Tubular

Cuenta con un cilindro hecho de una membrana impenetrable a los líquidos y gases en estos encontraremos (Caucho, PVC, Nylon y polietileno). Estos se instalan en forma horizontal en un hoyo que ya va estar excavada en el suelo. Este modelo trabaja con bajas presiones, estos no trabajan con residuos orgánicos fibrosos. Sus años de vida útil se estima 5 a 10 años. Su construcción es de bajo.

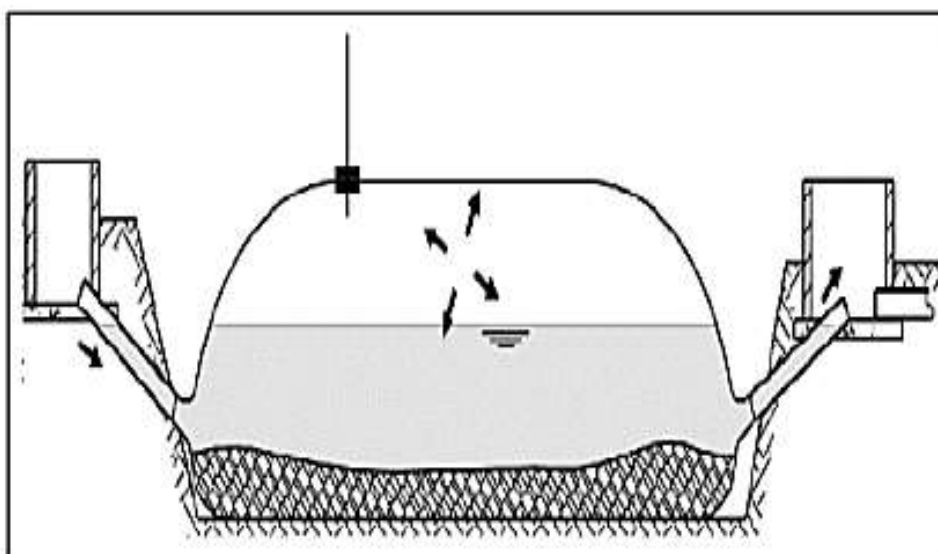


Figura 3. Biodigestor tubular

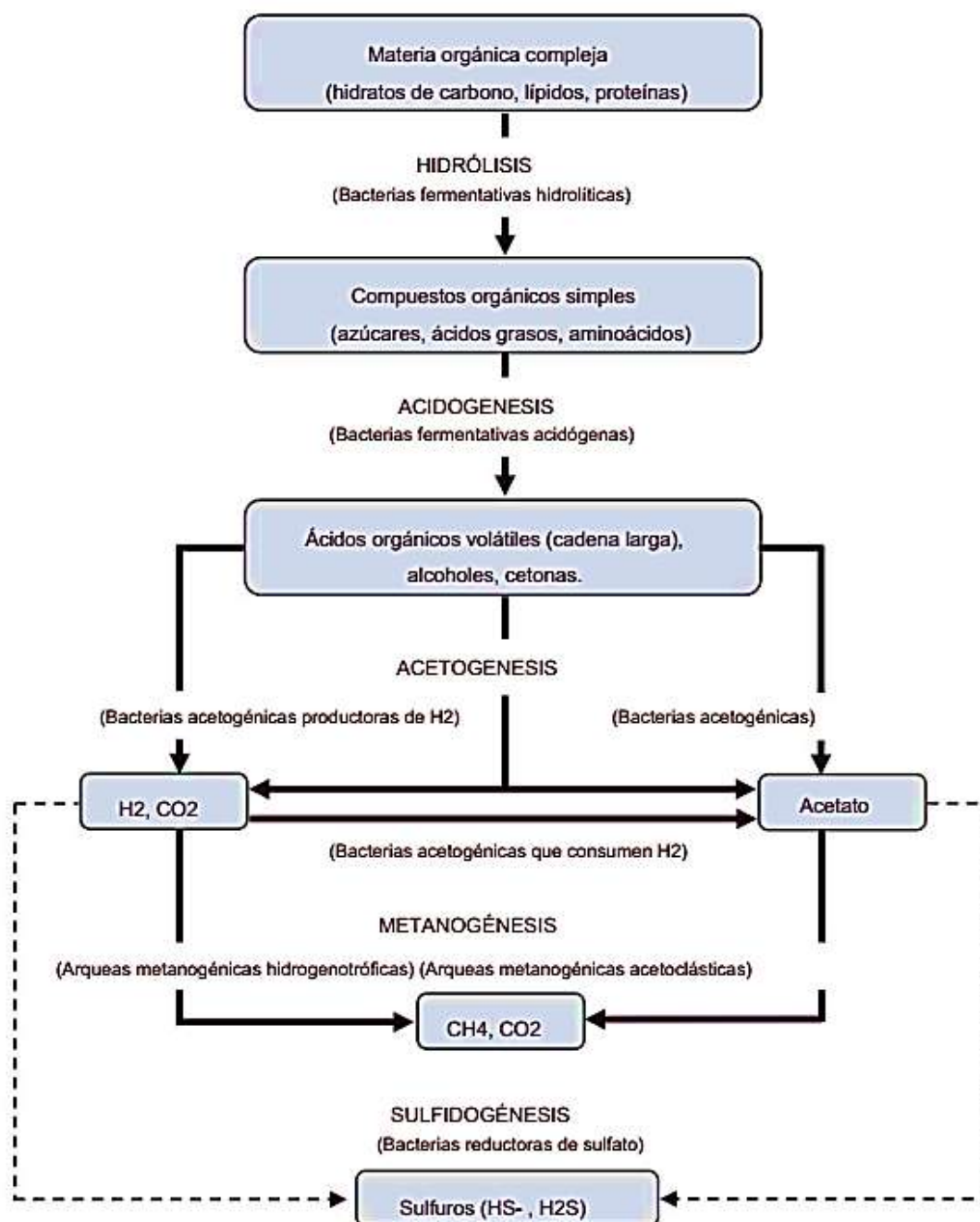


Figura 4 Esquema de la digestión anaeróbica de materia orgánica compleja, que describe los pasos y la población microbiana involucrada. “Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives” por B. S. Moraes et al, 2015, Renewable and Sustainable Energy Reviews 44, p. 888–903.

2.2.7. Funcionamiento

2.2.7.1. ¿Qué es lo que sucede en el interior?

En este caso para nuestra fermentación se hará de manera anaeróbica este es un proceso complejo ya que tiene un numero de reacciones bioquímicas por la cantidad de

microorganismos que se encuentran en ellas. Esto cuenta con 4 etapas o fases que a continuación se mencionara para el proceso de fermentación del estiércol.

A. Hidrólisis

Para iniciar la degradación anaeróbica es necesario realizar una hidrólisis, proceso que genera sustratos para la digestión anaeróbica en el que se encuentran proteínas, carbohidratos y grasas. Esto también depende de los parámetros durante el proceso como el PH, temperatura, la concentración de NH_4 .

B. Etapa fermentativa o acidogénesis

En el proceso de la fermentación, las bacterias metanogénicas (H_2 , ácido acético) son utilizadas directamente como moléculas orgánicas solubles, mientras que en los compuestos orgánicos podemos encontrar (propiónico, butírico, ácido acético). En el caso de las bacterias acetogénicas, están bacterias deben oxidarse, lo que se realiza en la siguiente etapa. Lo que se resalta es que estos eliminan cualquier traza de oxígeno que se encuentren en el sistema.

C. Etapa acetogénesis

En esta etapa se hará la formación de ácido acético producidos por las bacterias acetogénicas, en esta se encontrará el hidrógeno, ácido acético y el dióxido de carbono. Posteriormente mediante la hidrogenación acetogénica nos producirá H_2 , CO_2 y ácido acético. Recordemos que anteriormente el proceso se mencionó que las bacterias acetogénicas se deben oxidar es por eso que el proceso de deshidrogenación acetogénica se llevara a cabo esta oxidación.

En este se requerirá la producción de hidrógeno (bacterias acetogénicas) deben coexistir en la biocenosis (comunidad cerrada) con la presencia de las arqueas quienes se encargan del consumo de hidrógeno, en donde se consume el hidrogeno con el CO_2 durante la formación del gas metano, con esto se asegura un ambiente aceptable para las bacterias acetogénicas.

D. Etapa metanogénica

Aquí veremos una serie de bacterias anaeróbicas generadas a partir de los pasos anteriores ya mencionadas. Estos microorganismos metanogénica son considerados importantes del proceso anaeróbica porque con ellos se formará el metano y se eliminará productos de los grupos anteriores. Como conclusión podemos definir que se ha producido un alrededor de 70% de metano, recordemos también que esta etapa es susceptible a los cambios de PH, ya que si el PH disminuye a un 6.5 las bacterias metanogénicas tendrán pocas posibilidades a desarrollarse, por eso se recomienda hacerlo en un ambiente neutro o levemente alcalino.

2.2.7.2. ¿Qué se necesita para que funcione?

Para que los biorreactores funcionen de manera correcta exponemos aquí algunos aspectos fundamentales que influyen directamente en el proceso de fermentación anaeróbica:

A. Temperatura.

El proceso se lleva a cabo en un amplio rango de temperaturas, desde los 15°C hasta los 65°C. Sin embargo, para que las bacterias formadoras de biogás trabajen de forma óptima se requiere mantenerlas a temperaturas que oscilen entre los 30° y 65°C, dependiendo del tipo de bacterias que se adapten y desarrollen.

Para el desarrollo óptimo del proceso se distinguen dos rangos de temperaturas: Mesofílicos (de 30° a 40°C), y termofílicos (de 55° a 65°C). La actividad metanogénica más natural ocurre en el rango mesofílico, entre los 32° y 35°C. Estas temperaturas son fáciles de conseguir sin la ayuda de ninguna fuente de calor auxiliar y en un medio ambiente de 20° a 30°C. La producción de biogás es mayor en climas cálidos. Entre los 21° y 25°C, porque el digestor alcanza la temperatura óptima mesofílica de 32° a 35 °C.

B. Tiempo de retención.

Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica, la velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura, cuanto más elevada sea la temperatura menor será el tiempo de retención requerido para obtener una buena producción de gas.

El tiempo de retención en la cámara de fermentación es un factor importante para la elección del tamaño del digestor y depende de la temperatura de fermentación. A su vez, el tiempo de retención con el volumen del digestor están relacionados por:

$$\frac{\text{Volumen del digestor}(m^3)}{\text{Tiempo de retención}(días)} = \text{Vol. de carga diaria} (m^3/día)$$

Esta relación determina el volumen diario de carga que sería el necesario para alimentar el digestor en un sistema de carga continua.

En un digestor que trabaja en un sistema discontinuo, el tiempo de retención es el que transcurre entre la carga y descarga del sistema.

En el rango termofílico puede llegar a operarse con tiempo de retención de hasta 5 días. También hay desarrollos recientes de procesamiento de agua servidas y desechos industriales diluidos (menos de 2% de sólidos) en los cuales la carga es a flujo continuo y en estos casos se ha podido llegar a tiempos de retención hidráulica (T_{RH}) de hasta 10 horas.

C. Relación Carbono/Nitrógeno (C/N).

Prácticamente toda la materia orgánica produce biogás al ser sometida a fermentación anaeróbica, la cantidad y calidad del biogás producido dependerá de la composición del desecho utilizado. El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimentación de las bacterias metanogénicas, la relación ideal de C/N en la materia prima está en el rango de 20 - 30. pero estas bacterias consumen treinta veces más carbono que nitrógeno, por lo que una relación óptima sería de 30/1. Si hay demasiado carbono, el proceso es más lento; si

existe excesivo nitrógeno, éste se perderá como amoníaco gaseoso creando peligro de toxicidad y reduciendo el valor fertilizante de lodo.

Para conseguir una relación C/N óptima se debe de combinar los desechos de animales (orina, excreta etc.), cuya relación C/N es siempre menor que la óptima, debido a que contiene una cantidad importante de nitrógeno, el cual provee nutrientes para el crecimiento bacteriano; con residuos agrícolas (rastros, hojas secas, etc.) los que generalmente tienen relaciones C/N muy altas, ya que contienen muy poco nitrógeno, pero bastante celulosa, favorables para la producción de biogás. En el anexo 02 se presentan valores del contenido de carbono y nitrógeno para diferentes materias orgánicas presentes en el medio rural.

D. Porcentaje de sólidos.

La materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida, a esta última se le llama **sólidos totales**. El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digestor es también un factor importante para asegurar que el proceso sea óptimo. Si el contenido en sólidos totales en dilución es alto, la viscosidad de la mezcla es mayor y se impide el crecimiento bacteriano; si se tiene mucha agua en la dilución se reduce la capacidad de fermentación del tanque.

Experimentalmente se ha demostrado que una carga que contenga entre 7 y 9% de sólidos totales es óptima para la digestión. Aunque existen datos que muestran la posibilidad de trabajar con diluciones de 5% hasta 11%. El grado de dilución del material crudo con agua depende de la humedad de cada tipo de desecho.

En el anexo 03 se presentan los datos promedios sobre el contenido de sólidos totales y la cantidad de agua que hay que agregar por cada kilogramo de material para diversos desechos, para obtener el porcentaje de sólidos totales deseados. Como se dijo anteriormente, estos datos dependen de la humedad de cada desecho, así como también de la temperatura ambiente el tiempo que lleva expuesto al aire, etc.

E. Acidez y Alcalinidad.

La excesiva acidez impide la descomposición anaeróbica, es mejor mantener un PH neutro y con cierta débil alcalinidad. Un PH entre 7 a 8 es lo más recomendable, aunque el sistema puede tolerar un PH de 6,6 a 8,6; siendo 7 a 7,2 el óptimo.

Al inicio del proceso se forman ácidos orgánicos y CO_2 (el cual forma ácido carbónico) y el PH baja de 6 a 6,5; pero cuando estos ácidos se consumen al producirse el metano el PH aumenta amortiguando la mezcla. En algunos casos, el PH bajo y la excesiva acidez inicial pueden corregirse con adiciones de sustancias alcalinas como agua con cal.

F. Material Tóxico.

Existen sustancias que son tóxicas para las bacterias metanogénicas y la toxicidad disminuye algunas veces hasta cero la producción de gas. La toxicidad se debe principalmente a la presencia de amoníaco y a una mayor concentración de ácidos volátiles. Desechos altamente nitrogenados como estiércol de pollo son propensos a producir amoníaco e intoxicar las metanobacterias y la fermentación es inhibida cuando los ácidos volátiles se encuentran con una concentración mayor a 200 ppm. Concentraciones o trazas de productos químicos para los agricultores, sales solubles de metales pesados y alcalinos, detergentes, pesticidas orgánicos y otros hidrocarburos clorinados interrumpen completamente la fermentación. Algunos desechos de animales que han estado tomando antibióticos en exceso también inhiben la digestión.

G. Agitación.

Para que se produzca la biodigestión y se obtenga un buen rendimiento, la materia prima o sustrato y las bacterias deben estar en íntimo contacto, por lo que es necesario agitar la masa interna del digestor. A mayor agitación corresponde un aumento de la acción bacteriana y con ello la velocidad de producción de biogás.

En sistemas de carga continua con baja carga orgánica, se recomienda una agitación moderada, para evitar una pérdida bacteriana en los efluentes.

En la superficie de la mezcla se forman natas debido al material fibroso no digerible, por lo que disminuirá la producción de gas o se interrumpirá por completo, es por este motivo que estas deben romperse por medios externos para evitar la obstrucción del digestor.

2.2.8. Material Didáctico

Definición

Moreno (2004) expresa conceptualmente que los materiales pedagógicos y formativos en la mayoría de los casos son herramientas que permitirán al profesor o docente para la elaboración del conocimiento de sus estudiantes, constantemente están diseñados para impulsarnos en los procesos de la enseñanza. Las herramientas didácticas o pedagógicos son métodos de apoyos que junto al docente fomentan el aprendizaje, tiene el potencial de ser muy funcional y beneficioso, la tarea de enseñar es propio del docente y no es reemplazable.

Se puede visualizar como herramienta metodológica y educativa a cualquier producto u objeto que se mezclen como útil para la elaboración de enseñanza, teniendo como modelos elementos de la vida diaria con una finalidad de relacionar los aprendizajes aprendidos con lo que ya se conoce.

2.2.8.1. Importancia de las herramientas didácticas en el salón de clases

Condemarín, Medina, Mitrovich, y Venegas (2002), afirman debido a la apariencia de herramientas didácticas dentro del salón de clases maneja predomios positivos productora por la elaboración de aprendizajes en el tiempo de educación e instrucción en los alumnos.

La importancia de tener herramientas pedagógicas en el aula procede en los significativos motivos:

- a) Las herramientas metodológicas colaboran en un entorno letrado que produce procesos didácticos en los alumnos, contribuye la estimulación de lecto escritura en los niños y adolescentes, ya que este le favorece un mejor beneficio a la lectura de textos e imágenes.
- b) Permitir que los maestros puedan ofrecer actividades interesantes que sean relevantes para la situación del niño, diversas actividades recreativas que fomenten la participación de los estudiantes en una variedad de formas.
- c) Contribuye a la intervención de los estudiantes en su manejo propio en la elaboración de aprendizajes, los materiales pedagógicos desafían y plantean preguntas para crear diversos descubrimientos, y participan en distintas situaciones para que los estudiantes exploren su conocimiento.
- d) Incentivan el desarrollo de destrezas sociales, tales como el interactuar con los demás, esperar turno, ser cortés, saber ganar o perder, tomar decisiones difíciles y por último saber trabajar en equipo.
- e) Convierten un ambiente confortable que promueva el aprendizaje positivo tanto dentro como fuera del aula, además que desarrolle y aumente la inteligencia multifacética de los niños.
- f) Beneficia la planificación inteligente de actividades que permitan a los niños participar en un aprendizaje significativo y creativo por medio de la interacción y los juegos que se encuentren en su entorno.

2.2.8.2. Características de los materiales didácticos

Bautista (2010, como se citó en Pacheco, 2019, p. 32) afirma que es sumamente importante que los profesores verifiquen previamente todos los materiales utilizados en la lección para asegurarse que sean completamente funcionales ya que cualquier inconveniente podría malograr la concentración de los niños y perder su proceso de aprendizaje como desorganización del grupo o indiferencia de los mismos.

Los maestros pierden inconscientemente el ritmo de su trabajo y apenas pueden despertar completamente el interés del niño. Bautista (2010) afirma que los materiales didácticos deben tener temas relacionados con la lección para ser ayudas verdaderamente efectivas, las herramientas pedagógicas deben:

- Tener concordancias con los temas establecidos en el aula.
- El manejo debe ser fácil.
- Posee óptimas condiciones de operación.

2.2.8.3. Funciones de los materiales didácticos:

Rodríguez (2005) en investigación científica realizada expreso que: “Las herramientas didácticas poseen distintas características en las cuales el maestro debe estar al tanto; los docentes necesitan adaptar los materiales a sus grupos, teniendo en cuenta la necesidad de saber que utilizar en cada proceso o contenido que tratan en clase, siendo así que los alumnos se adopten a las nuevas metodologías”.

Teniendo distintos ejemplos de funciones tenemos:

- a. Proporcionar Información. Cada material proporciona una variedad de información que facilita la guía de estudio de un estudiante, les permite captar nuevos conocimientos, organizar conceptos, etc.
- b. Motivar. El uso de las herramientas didácticas ayuda a los estudiantes a mantenerse motivados para continuar con sus estudios.
- c. Evaluar conocimientos y habilidades. Pudiéndose evaluar de forma definitiva, con la ayuda de un tercero, capaz de una forma extraña o poco conocida que permita a los alumnos evaluar sus pasos por sí mismo y comprender que lo hicieron y no hicieron mal.
- d. Proporcionar simulaciones. Los estudiantes pueden consultar, buscar e interpretar la información revisada por ellos.

- e. Proporcionar entornos para la expresión y la creación. Proporciona herramientas convenientes para crear o editar gráficos.

2.2.8.4. Clasificación de materiales didácticos

Collantes et al. (2009, citado por Juárez, 2015, p. 31) afirman que surgen distintas formas de herramientas educativas que los maestros necesitan tener dentro de sus aulas para poder tener un correcto proceso de aprendizaje dentro del salón de clases. Las herramientas didácticas se clasifican:

- a) Materiales estructurados: Todas estas son herramientas diseñadas con fines educativos. Ejemplos: pelotas, muñecas o carritos.
- b) Materiales no estructurados: Estos materiales no están destinados con fines educativos o recreativos, pero puede usarse para uso educativa. Se pueden encontrar dentro de la comunidad. Ejemplos: frutos, agua, botellas, envases o plantas.
- c) Materiales manipulables: Se clasifican y recopilan por tamaño, forma, textura y color para proporcionar material para que los niños exploren con sus cinco sentidos. Ejemplos: sonajeros, pelotas, anillos, rompecabezas.
- d) Materiales para la motricidad: Son todos objetos, preferentemente fuera del aula, que permiten a los niños explorar su cuerpo y desarrollar su motricidad. Estas herramientas deben poder permitirles a los niños subir y bajar, salir y entrar. Ejemplos: toboganes, túneles, piscinas de bolas.
- e) Materiales de simulación: Todos estos materiales representar a la realidad en que nos encontramos. Ejemplos: Boletos de papel, juguetes hechos con cajas, frutas de plástico.

2.2.9. Definición del aprendizaje

Según nos dice Sovero (2002) la enseñanza puede definirse como la etapa de adquisición de diferentes habilidades, destrezas o procedimientos mediante una práctica constante. (p. 12)

2.2.9.1. Aprendizaje del uso de internet

Por un lado, Rodríguez (2004) nos menciona que el aprendizaje de uso del internet es un proceso para la construcción y conocimiento personal. Su importancia se encuentra en la capacidad de existir, funcionar y poder conectarse con la experiencia. (p. 286)

Por otro lado, Mas (2017) nos dice que es posible considerar que dentro del entorno socio-tecnológico actual el aprendizaje es visto como un suceso abierto, el cual tiene como entorno a la red informática por lo que, de manera conectiva el conocimiento evoluciona de manera constante mientras que, de manera individual y social lo hacen a un mismo ritmo pero que se basa en la colaboración, de otro lado, la manera transversal traspone los límites entre un ambiente formal e informal. (p. 22)

2.2.9.2. Aprendizaje por descubrimiento

Esto incluirá la recopilación de bases de datos y del contenido mediante una búsqueda activa. Es gracias al apoyo de las TIC que esta actividad se beneficia, además proporcionan navegadores en internet con los que el estudiante será capaz de realizar búsquedas por su cuenta de información que desconocía. (Jiménez.2015, p.170)

2.2.9.3. Autoaprendizaje

Es a través de este método y con la ayuda de las TIC que se desarrollan procesos de autoaprendizaje cognitivo, tales como se menciona a continuación:

- Motivación para aprender.
- Aumento del potencial creativo.
- Mejor aplicación de los conceptos aprendidos.
- Desarrollo de la capacidad para sintetizar, comprender y reconocer las ideas principales de los temas.
- Estimulación de la investigación.
- Uso optimo del tiempo empleado.

- Permite una autoevaluación. (Jiménez.2015, p.170)

Dentro de este sentido, Tejedor, Simón y Chordi (2000) nos dicen que para el alumno es necesario recordar los aprendizajes naturales con el objetivo de:

- Aprender mientras realiza la actividad, es decir, mientras analiza y toma decisiones. Es a través de esta práctica que se consigue la seguridad y confianza necesaria.
- Producir un aprendizaje de manera incidental, es decir apoyándose en material tanto grafico como textual o audiovisual.
- Crear aprendizaje a través de la reflexión, porque una vez que se ha encontrado el material necesario para comprender un tema, el estudiante obtiene la oportunidad de sintetizar, criticar, plantearse problemas, etc.
- Producir un aprendizaje que se base en casos, en otras palabras, aprendiendo de los aciertos, pero también de los errores.
- Producir un aprendizaje basado en la exploración, es decir explorando diferentes “puertas” dentro de las cuales encontrará, en ocasiones, respuestas acertadas. Esta exploración guiada por el interés propio del alumno es formada desde el enriquecimiento individual de cada estudiante. (p. 67)

2.3. Definición de términos básicos

- **Biodigestor:** Este un contenedor cerrado, hermético, puede tomar cualquier forma sea cilíndrica, esférico, etc. Con un sistema diseñado para la elaboración de biogás esto se desarrollará mediante los desechos orgánicos, en el cual la producción se hará mediante la digestión anaeróbico generando gas metano.
- **Biogás:** Definible como un gas producido tanto por medios naturales como por métodos artificiales; a través de diversas reacciones químicas presentes en la biodegradación del material orgánico mediante la acción de diversos microorganismos gracias a la ausencia de oxígeno.

- **Carga del biodigestor:** Proceso de alimentación de excretas o estiércol.
- **Combustión:** Es una reacción química que suele liberar mucho calor y luz. (Boyd, 2002)
- **Estiércol:** Se define el estiércol una sustancia compuesta por desechos metabólicos de animales y de otros desechos, depositándolo en un estercolero. En donde se amontonan los excrementos y los restos de plantas y otras sustancias aprovechables.
- **Fermentación anaeróbica:** Es un tipo de fermentación que no requiere de oxígeno, además de incluir una gran cantidad de microorganismos complejos con distintas características y capacidades. Como resultados finales obtenemos sustancias orgánicas, tales como el ácido acético, ácido propiónico, butano, etano, acetona, etc.
- **Materia prima:** Es el total de residuos orgánicos que se juntan y se usan para cargar el biodigestor. Dentro del presente trabajo se usan los términos residuos orgánicos y materia prima destacando la importancia de considerarlo como un recurso renovable (biomasa).
- **Metano:** El metano es una sustancia que se presenta como un gas y esta es incoloro e inflamable que se produce naturalmente por la descomposición de la materia orgánica. Es el principal componente del gas natural.

2.4. Hipótesis de investigación

2.4.1. Hipótesis general

La construcción de un biodigestor como recurso didáctico del curso de diseño de reactores repercute de manera positiva en el aprendizaje de los estudiantes sobre la cinética y diseño de reactores químicos.

2.4.2. Hipótesis específicas

El diseño y construcción del biodigestor serán adecuados para su uso didáctico en el curso de Diseño de Reactores.

El control de los factores clave de operación del biodigestor permitirá su funcionamiento eficiente como recurso didáctico.

2.5. Operacionalización de las Variables

V. Dependiente: Construcción de un biodigestor

V. Independiente: recurso didáctico

Tabla 1

Cuadro de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Variable Dependiente: Construcción de un biodigestor	La construcción de un biodigestor implica el diseño, ensamblaje y puesta en marcha de un sistema cerrado que permite la descomposición anaeróbica de materia orgánica, produciendo biogás y un efluente rico en nutrientes	Diseño del biodigestor	Selección del tipo de biodigestor adecuado para el uso didáctico
		Construcción del biodigestor	Determinación de dimensiones, materiales y configuración
			Desarrollo de manual explicativo con diagramas y especificaciones técnicas
			Adquisición de materiales necesarios
		Puesta en marcha	Ensamblaje de partes siguiendo manual
			Instalación de sistemas auxiliares (separador de sólidos, fosa de mezclado)
			Carga inicial con sustrato orgánico
			Monitoreo y control de parámetros (temperatura, PH, producción de biogás)
			Entrenamiento de estudiantes en actividades de carga, operación y descarga
Variable Independiente: Recurso didáctico	Un recurso didáctico es cualquier material o actividad que facilita el proceso de enseñanza-aprendizaje, permitiendo a los estudiantes adquirir conocimientos, habilidades y actitudes de manera más efectiva	Integración curricular	Abordaje de contenidos relacionados con gestión de residuos, crisis energética y problemática ambiental
		Estrategias didácticas	Vinculación con objetivos y competencias del curso de Diseño de Reactores
			Desarrollo de material gráfico y de difusión
			Realización de talleres de concienciación
			Participación de estudiantes en instalación, operación y observación del biodigestor

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Diseño Metodológico

Para la construcción de un material didáctico para el curso de Diseño de Reactores, el Tipo de investigación que se adecúa al estudio es Aplicado, porque se busca aplicar los conocimientos teóricos y prácticos para desarrollar un material que sea útil y efectivo en el proceso de enseñanza del curso de Diseño de Reactores. Se requiere de un Enfoque Mixto que permita recopilar la información detallada sobre los conceptos teóricos y prácticos del diseño de reactores, así como datos cuantitativos sobre su aplicación en la práctica. El Nivel de investigación es Descriptivo y Explicativo, se describen los conceptos y principios fundamentales del diseño de reactores, y luego se explica su aplicación en diferentes contextos y escenarios.

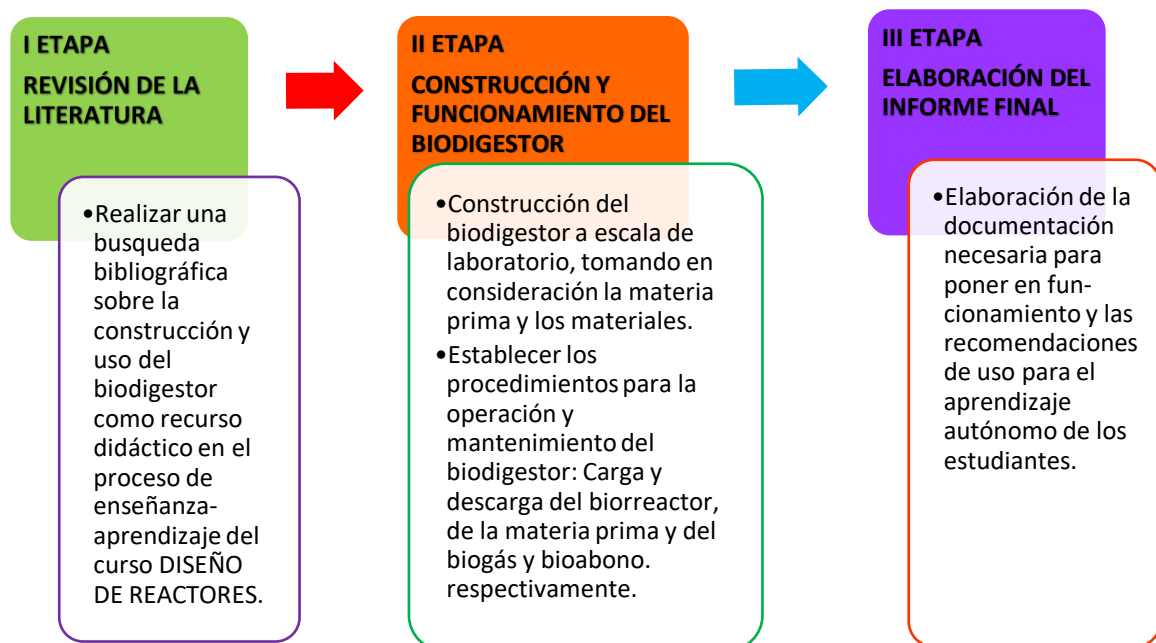


Figura 5. Etapas que se siguieron para el desarrollo de la presente investigación:

Para lograr los objetivos de la I Etapa se realizó una búsqueda bibliográfica en papers, revistas especializadas, tesis y libros relacionados con el tema de investigación, lo que nos permitirá comprender los principios y dar los fundamentos teóricos a la investigación. Para

la II Etapa, Construcción y Funcionamiento del Biodigestor, primeramente, se consideraron factores importantes tales como el tamaño del biorreactor, los materiales, variables como la temperatura y concentración de sustratos para el diseño y construcción del biodigestor; así mismo se establecieron los procedimientos para la operación y mantenimiento del biodigestor, tomando en consideración aspectos importantes como la carga del alimento, la producción del biogás, la descarga del bioabono, el control y monitoreo de las variables del proceso. Finalmente, para la III Etapa, se elaboró un Manual de uso y funcionamiento del Biodigestor, con la finalidad de que los estudiantes puedan comprender de una manera autónoma el funcionamiento del biodigestor.

3.1.1. Revisión de la literatura

Para la recolección de esta información se realizó una revisión de la literatura existente sobre el biodigestor, su funcionamiento, diseño y aplicaciones en el ámbito educativo, especialmente en el contexto de la enseñanza del curso Diseño de reactores, las reacciones químicas y la producción de biogás.

3.1.2. Construcción de un biodigestor

A. Materiales para el biodigestor

- Balde de plástico de 20 litros
- Tubos PVC
- Llaves de paso de PVC
- Manguera de plástico
- Manguera para gas
- Niples
- Cables eléctricos
- Lija
- Pegamento

- Caucho
- Triplay
- Papel milimetrado
- Cinta métrica
- Sócate
- Focos de 25 W

B. Materias Primas

- Estiércol de ganado
- Alfalfa
- Chala
- Inóculo (rumen de la vaca)

C. Reactivos

- Cal

D. Instrumentos

- Manómetro de baja presión
- Termómetro

E. Proceso de construcción

Para la elaboración del biodigestor casero a realizar se consideró el volumen del balde, seguido de ello se procedió a ponerle algunos accesorios de PVC que son unos tubos para a alimentación del fermentado (compost), dos tubos de salida una de lodo (abono) y otro del agua que está en la parte superior de la mezcla. Después de obtener el biogás y otro tubo que tendrá conectado un manómetro y una manguera que nos servirá como un sistema para la salida de gas producido

Todas las tuberías de entrada y salida están selladas con pegamento y caucho para evitar la entrada del aire y cuentan con válvulas de control manual. así mismo en la parte superior se incorporó un sistema de agitación que opera de forma manual.

Adicionalmente se le incorporo un termómetro y un sistema de control para saber el momento en el que se empezara a obtener el biogás

3.1.3. Manejo del biodigestor

- Tipo de carga: De acuerdo al volumen de biodigestor casero, la carga solo se dará en un 70% de total del volumen, la carga se hará de forma intermitente.
- Sistema de agitación: El sistema de agitación es de forma manual, esto se hará de 2 a 3 veces al día para mantener la mezcla homogénea, esto para evitar la concentración de gases que pueden provocar la explosión del biodigestor.
- Temperatura: La temperatura para producción de biogás debe ser de 25 °C para ello a la base donde estará depositado el biodigestor se instaló un sistema de calefacción que consta de focos calentadores para mantener una temperatura constante y adecuada durante el tiempo de producción.
- Tiempo de residencia de fermentado: La fermentación es con ausencia de oxígeno y puede durar de 35 a 60 días.

3.1.4 Caracterización de materiales utilizados para la carga de biodigestor

La caracterización de la materia prima nos permitirá encontrar la formulación adecuada para la carga del biodigestor. Para lo cual vamos a emplear la siguiente fórmula:

$$K = \frac{W_1 C_1 X_1 + W_2 C_2 X_2 + W_3 C_3 X_3 + \dots}{W_1 N_1 X_1 + W_2 N_2 X_2 + W_3 N_3 X_3 + \dots}$$

Donde:

K : Relación C/N de la mezcla de materias primas

W_i : peso fresco de la materia prima i (húmeda)

C_i : contenido de carbono (%) del material i

N_i : contenido de nitrógeno (%) del material i

X_i : Sólidos totales (%) del material i

Para el caso de dos materiales, especificando la masa de uno de ellos (W_1), la masa del segundo material se puede evaluar a partir de:

$$W_2 = \frac{W_1 N_1 \left(K - \frac{C_1}{N_1} \right) X_1}{N_2 \left(\frac{C_2}{N_2} - K \right) X_2}$$

Del mismo modo y con la finalidad de calcular la cantidad de agua a agregar para una disolución, que puede variar desde 6% a 10% de sólidos totales (X_T), se hace el balance, que para dos materiales sería:

$$X_1 W_1 + X_2 W_2 = X_T W_T$$

Donde:

X_T : Masa total de sólidos totales

W_T : masa total de lodo

Considerando que el peso total de lodo es igual al peso de los substratos más el agua a agregar tenemos:

$$W_T = (W_1 + W_2) + W_w$$

Donde:

W_w : peso o masa de agua a agregar

Por lo tanto, el agua a agregar será:

$$W_w = W_T - (W_1 + W_2)$$

Con estos datos se procede a cargar el digestor a estudiar.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

La población de estudio está delimitada por los alumnos que lleven el curso de Diseño de reactores en la Facultad de Ingeniería Química en la Universidad José Faustino Sánchez Carrión.

3.2.2. Muestra

Está conformada por los alumnos del VIII ciclo 2022-I de la Escuela de Ingeniería Química.

3.3. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas utilizadas para la realización de este trabajo de investigación fueron:

- Revisión Bibliográfica: que consistió en la recopilación y el análisis de las fuentes bibliográficas existente sobre el diseño, la construcción, el funcionamiento y las aplicaciones educativas, referidas a los biodigestores.
- Observación Directa: que nos proporciona la información necesaria respecto al desempeño y participación de los alumnos durante la construcción y operación del biodigestor.
- Cuestionario, diseñados para evaluar la percepción y satisfacción de los alumnos respecto al uso del biodigestor como recurso didáctico.

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información

Para procesar la información se ha empleado procesadores de texto, así como también herramientas para la construcción de Tablas y Gráficos, y también la construcción de Mapas conceptuales, que ilustren los conceptos aprendidos durante el proceso educativo con el biodigestor.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Construcción del Biodigestor

4.1.1. Selección del material

Para la construcción del biodigestor se pueden utilizar materiales como el plástico: Polipropileno (PP), polietileno (PE), polietileno de alta densidad (PEAD), cloruro de polivinilo (PVC) o acrílico; o metálicos: de acero laminado en frío o acero inoxidable. Se seleccionó el polietileno transparente, para la construcción del biodigestor, y para las conexiones el PVC, tomando como criterio su bajo costo y que son materiales de fácil adquisición y mantenimiento, así como también que son materiales que los mismos alumnos pueden reciclar.

4.1.2. Construcción

Para la construcción del biodigestor se empleó un balde de plástico de 20 litros de capacidad, recipiente en el que se llevará a cabo la fermentación anaeróbica, seguidamente se procedió a colocar las válvulas y tuberías de PVC, las que van a servir para la alimentación, así como para las descargas del efluente líquido (en el lado lateral) y de los lodos (en el fondo del recipiente); un agitador para mantener la homogeneidad de la mezcla; un termómetro para el control de la temperatura; dos manómetros para el control de la presión, uno de Bourdon y otro de tubo en U (construido manualmente); el sistema de calentamiento para mantener la temperatura estable, compuesto por bombillas incandescentes conectadas en serie.



Figura 6. Biodigestor por lotes.

4.2. Carga del Biodigestor

4.2.1. Composición de los materiales para la carga inicial

La materia prima evaluada consistió en una formulación de desechos con estiércol de vacuno y chala de maíz, cuya composición química era la siguiente.

Tabla 2*Composición Química de la materia prima para la primera carga (antes del compost)*

MATERIALES	%H	%S,T	%C	%N	C/N
Estiércol Vacuno	84,6	15,4	31,04	1,95	15,92
Chala de maíz	9,20	90,80	49,21	1,04	47,32

C/N: Relación Carbono / Nitrógeno de las materias primas.

4.2.2. Composición del Compost

Una vez seleccionada las muestras se sometieron a un pre-fermentado (compost), con la finalidad de reducir la capa cerosa del material celulósico y facilitar la digestión anaeróbica. Se agregó agua de cal al 2,0% para controlar el pH. La composición química posterior al pre-fermentado fue la siguiente:

Tabla 3*Composición del prefermentado*

MATERIALES	%H	%S.T	%C	C/N
Estiércol Vacuno	62,50	37,50	31,04	15,92
Chala de maíz	46,45	53,55	49,21	47,32

4.2.3. Materiales para la carga inicial

Para preparar la carga inicial con la materia prima seleccionada, se han considerado los siguientes datos:

- Volumen del digestor, V_d :

$$V_d = 20 \text{ litros} = 0.020 \text{ m}^3.$$

- Volumen de la cámara de digestión, V_{cd} , (considerando el 85% del V_d)

$$V_{cd} = 17 \text{ L} = 0.017 \text{ m}^3$$

- Relación C/N = 30

- Peso carga W_T (considerando una densidad de $1,025 \text{ g/cm}^3$, para diluciones de 6 a 10% de sólidos totales)

$$W_T = V_T * \rho_T = 17,00 \text{ L} * 1,025 \text{ kg/L} = 17,425 \text{ kg}$$

- Peso carga en dilución S (6,0%): $S = W_T * X_T = 17,425 * 0,06 = 1,0455 \text{ kg}$
- Con los datos de la Tabla 2 y los datos anteriores se realizó el balance de materiales para calcular la cantidad de estiércol (A) y chala (B) a emplear para la carga inicial, compuesta además de las anteriores la cantidad de agua (W_{H_2O}) a agregar

Tabla 4

Materiales para la carga inicial

MATERIALES	W, kg
Estiércol Vacuno	1,10
Chala	1,18
Agua	15,14 ^(*)

^(*) Aquí está considerado la cantidad de inóculo y el agua de cal.

4.2.4. Manual de construcción y funcionamiento

En el anexo se presenta el Manual de uso y funcionamiento del Biodigestor, en el cual se detallan los beneficios del biodigestor, sus componentes, los materiales y pasos para su construcción, las características, su operación, funcionamiento y mantenimiento, así como también todas las etapas a seguir para ponerlo en marcha. Adicionalmente se acompaña de algunas tablas de datos muy importantes para realizar los cálculos de balance de materiales.

CAPÍTULO V. DISCUSION

5.1. Discusión de resultados

El proyecto de construcción de un biodigestor como recurso didáctico se fundamenta en antecedentes internacionales y nacionales que ha demostrado la viabilidad y relevancia del uso de biodigestores para la producción de biogás a partir de estiércol y residuos orgánicos. Investigaciones tales como las de Toala (2013), Salazar y Arias (2016), y Gurbillon et al. (2019) muestran que el diseño y operación eficiente de biodigestores permite un rendimiento significativo en la producción de biogás, con aplicaciones energéticas domésticas y agroindustriales que contribuyen a la sostenibilidad ambiental.

En el ámbito educativo, el empleo de materiales didácticos tangibles que vinculan la teoría con la práctica, como lo plantea Moreno (2004) y Condemarín et al. (2002), ha sido reconocido como una estrategia eficaz para potenciar el aprendizaje significativo, promover la motivación estudiantil y desarrollar competencias técnicas y analíticas en estudiantes de pregrado.

La integración de un biodigestor como recurso didáctico en el curso de Diseño de reactores introduce un enfoque interdisciplinario donde los estudiantes pueden experimentar directamente con conceptos complejos como cinética, transferencia de masa y control de procesos biológicos, que muchas veces resultan abstractos en la enseñanza tradicional. Esto se alinea con los principios del aprendizaje por descubrimiento y autoaprendizaje mencionados en el marco teórico (Jiménez, 2015; Tejedor et al., 2000)

El proyecto evidencia como el diseño, la construcción y el manejo del biodigestor a escala de laboratorio posibilitan un espacio de aprendizaje activo, donde la manipulación y monitoreo de variables reales fortalecen la comprensión de teorías

y fomentan habilidades practicas y de investigación. Estos resultados coinciden con hallazgos de investigaciones previas sobre la utilidad de recursos didácticos en la ingeniería, que a su vez contribuyen a la formación integral y a la conciencia ambiental de los estudiantes.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La construcción de un biodigestor funcional a escala de laboratorio como recurso didáctico en el curso de Diseño de Reactores permite una aplicación práctica de los principios teóricos, facilitando la comprensión de conceptos como la cinética de reacciones y diseño de sistemas biológicos.
- Técnicamente, el biodigestor diseñado cumple con los parámetros operativos óptimos basados en la literatura y en investigación previa, asegurando estabilidad en la producción de biogás y un manejo adecuado del proceso anaeróbico, lo que valida su utilidad para la experimentación educativa
- Pedagógicamente, el uso del biodigestor promueve un aprendizaje activo y significativo, incrementa la motivación estudiantil, y fortalece la adquisición de competencias técnicas, analíticas y críticas, además de fomentar la conciencia sobre la sostenibilidad y el manejo responsable de recursos.
- La integración de este recurso didáctico en el programa curricular contribuye a superar la desconexión entre teoría y práctica, fortaleciendo la preparación profesional de los estudiantes para enfrentar retos contemporáneos en diseño de reactores y procesos biotecnológicos.

6.2. RECOMENDACIONES

- Incorporar formalmente la construcción y operación del biodigestor en el plan de estudios del curso Diseño de Reactores, asegurando espacios prácticos y recursos para su mantenimiento y uso continuo.

- Desarrollar materiales complementarios como manuales, guías y actividades didácticas, que faciliten el autoaprendizaje y permitan a los estudiantes profundizar en aspectos técnicos y operativos del biodigestor
 - Fomentar la evaluación continua y el monitoreo experimental dentro de la experiencia educativa, promoviendo el análisis crítico de resultados y la mejora continua en el diseño y manejo del biodigestor
- Ampliar la aplicación del recurso a otras asignaturas afines, como Procesos Biotecnológicos o Ingeniería Ambiental, para potenciar la interdisciplinariedad y el enfoque sostenible en la formación de ingenieros
- Incentivar proyectos de investigación estudiantil que utilicen el biodigestor para explorar nuevas variables y optimizaciones, promoviendo la innovación y la generación de conocimiento en la institución educativa

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbasi, T., Tauseef, S., & Abbasi, S. (2012). *Biogas Energy* (1st ed. 2012.). New York, NY: Springer New York: Imprint: Springer.
- Ayala, S. A., Jijón, P. F., & Chacha, P. M. (2022). Estudio de un sistema de energía renovable para la producción de biogás a partir del estiércol de ganado en la hacienda Nueva Esperanza (Cotopaxi, Ecuador). *Espacios*. Obtenido de <https://revistaespacios.com/a22v43n05/a22v43n05p05.pdf>
- Bravo, S. G., Vargas, M. E., Sánchez, A. H., & Padilla, J. U. (marzo de 2017). Evaluación del potencial de generación de estiércol como materia prima para la producción de biogás en la Zona Altamira, Tamaulipas. *Revista de Sistemas Experimentales*, 4(10), 34-40.
- Condemarín, M., Medina, A., Mitrovich, D., & Venegas, M. (2002). Guía de utilización del material didáctico. República de Chile: Jansa Impresores. Obtenido de <https://docplayer.es/2933836-Guia-de-utilizacion-del-material-didactico.html>
- Eyner, T. M. (2013). *Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica*. Riobamba-Ecuador.
- FAO. (2006). *Larga sombra del ganado*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO): https://gaz.wiki/wiki/es/Livestock%27s_Long_Shadow#:~:text=Livestock%27s%20Long%20Shadow%3A%20Environmental%20Issues%20and%20Options%20es,enfoques%20t%C3%A9cnicos%20y%20pol%C3%ADticos%20para%20la%20mitigaci%C3%B3n%20%22.
- Garavito Ruas, O. P. (2018). *Relación entre la producción de biogás y biol a partir de restos de trucha y estiércol vacuno*. Lima.

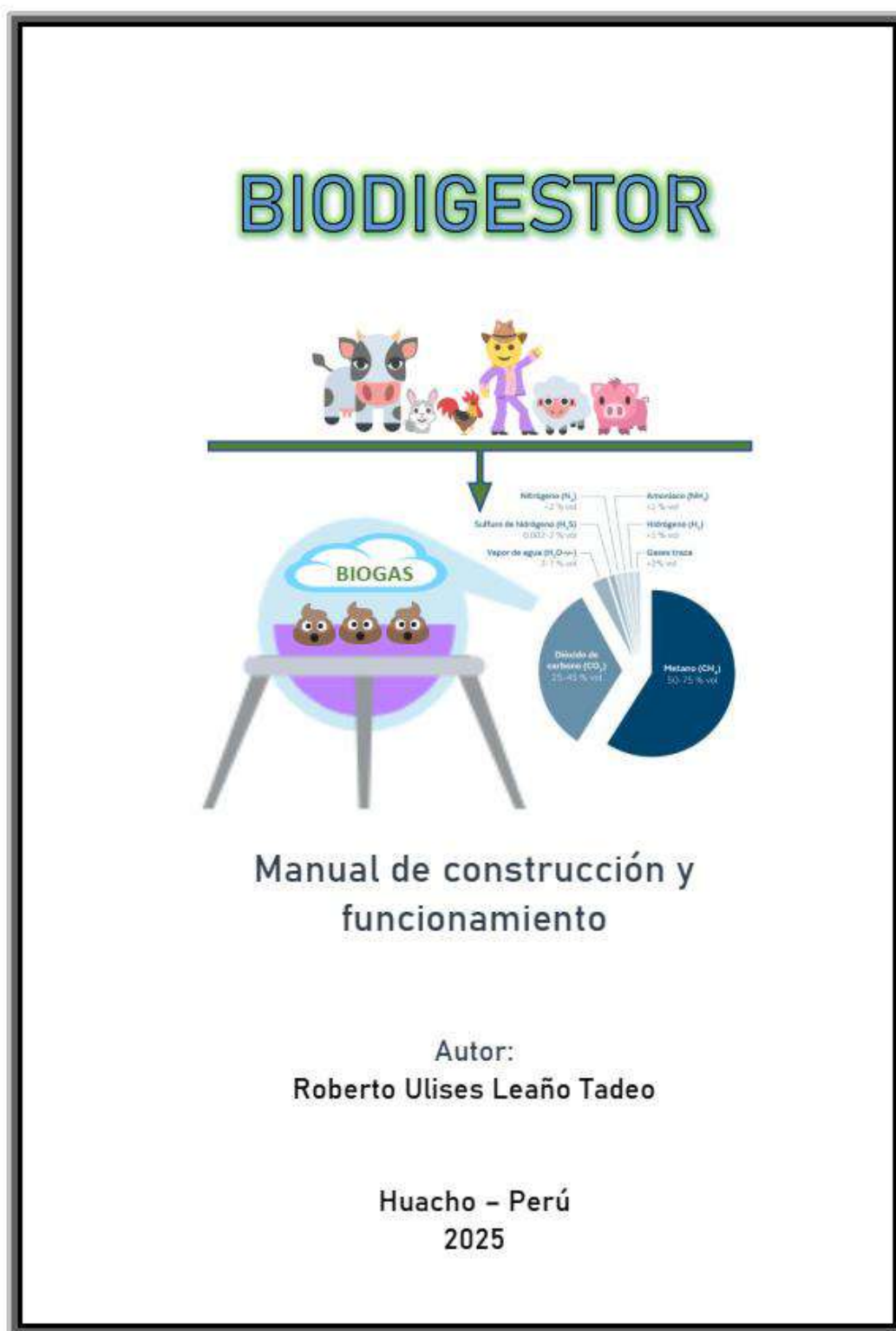
- Gurbillón, M. A., Alarcón, F. C., Ángeles, W. G., Ramírez, C. M., & Barrios, J. R. (2019). *Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú*. Obtenido de Scielo: <http://dev.scielo.org.pe/pdf/arnal/v26n2/a14v26n2.pdf>
- Helguero Gutiérrez, A., Bustillos Peña, L., & Gonzalo Hernani, J. (2018). *Obtención de biogás mediante la fermentación anaerobia de estiércol*.
- Jiménez, J. (2015). Estudio sobre los estándares TIC en educación en los futuros docentes de la Facultad de Educación de la Universidad Complutense de Madrid. (Tesis de doctorado), España: Universidad Complutense de Madrid.
- Juárez, A. (2015). *Material Didáctico y Aprendizaje significativo* [Tesis de pregrado en Licenciatura en Educación Inicial y Preprimaria, Universidad Rafael Landívar]. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/05/84/Juarez-Anali.pdf>
- Llactahuaman, M. (2020). Material Didáctico en el aprendizaje del área comunicación en niños y niñas de 5 años de la institución educativa inicial N°321 “Divino niño Jesús” de Ayacucho, 2019 [Tesis de pregrado en Educación Inicial, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/3412/TESIS-SEG-ESP-FED-2020-LLACTAHUAMAN%20SULCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mas, X. (2017). El tejido de Weiser. Claves, evolución y tendencias de la educación digital. Barcelona: UOC, 2017.
- Moreira, E. E. (2013). *Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el Rancho Verónica* [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Obtenido de Dspace - ESPOCH: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3406>

- Moreno, I. (2004). *La utilización de medios y recursos didácticos en el aula*. Recuperado de: <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/doe/profe/isidro/merecur.pdf>
- Pacheco Acosta, M. G. (2019). *Los materiales didácticos y el rendimiento académico en idioma inglés en los estudiantes del sexto grado del nivel primario de la Institución Educativa N° 2084 Trompeteros, Santa Isabel, Carabayllo, 2015*. Recuperado de: <https://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/4651>
- Palacios, W. A. (junio de 2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado [Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánico-Eléctrica] Universidad de Piura*. Obtenido de Facultad de Ingeniería: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf
- Pinos, J. M., López, J. C., Avelino, L. Y., Huerta, J. A., González, C. G., & Patiño, F. T. (2012). *Impactos y regulaciones ambientales de estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de américa*. Obtenido de Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP): <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n4/v46n4a4.pdf?fbclid=IwAR0QatMP>
- Rodríguez, D. (2004). *La teoría del aprendizaje significativo: Conferencia de mapas conceptuales en Pamplona. España*.
- Rodríguez, M. (2005). *Materiales y Recursos en educación infantil. Manual de usos prácticos para el docente*. Vigo: Ideaspropiasl.
- Sovero, F. (2002). *Diccionario Educacional glosario de terminología Pedagógica*. Lima, Perú: Abedul. E.I.R.L.
- Tejedor, C., Simón, J., & Chordi, A. (2000). *Utilizando Internet como fuente de innovación y cambio en la enseñanza-aprendizaje de una asignatura*. *Revista Informática Educativa*, 59-69.

Tutacano, E. G. (2017). *Diseño de un bioreactor para generar biogás a partir de desechos orgánicos de animales en la irrigación de Majes-Caylloma*. Arequipa.

ANEXOS

Anexo 1: Manual del biodigestor



INTRODUCCIÓN

El presente Manual tiene la finalidad de servir de Guía al estudiante del curso de Diseño de Reactores para que pueda construir y poner en funcionamiento el Biodigestor, de manera grupal, es decir formando un equipo de trabajo. La Importancia que tiene el Biodigestor es que en él podrá seguir paso a paso el proceso de transformación de los Desechos Orgánicos, que se pueden encontrar en cualquier hogar, mediante la Ingeniería de las Reacciones Químicas en UN producto útil y valioso como el Biogás, que es un Biocombustible que presenta muchas ventajas respecto a los combustibles fósiles. Así mismo, del proceso de esta Biodigestión, la fermentación Anaeróbica, se obtiene subproductos líquido y sólido que se conocen como Biol y Biosol respectivamente que son excedentes abonos orgánicos o Biofertilizantes, potenciando más de esta manera este Proceso de Fermentación.



BIODIGESTOR

Un biodigestor, también conocido como planta de biogás o digestor anaeróbico, es un sistema que convierte los desechos orgánicos en biogás y fertilizante orgánico mediante un proceso biológico natural llamado digestión anaeróbica. Es una solución sostenible y ecológica para la gestión de residuos y la producción de energía renovable.



BENEFICIOS DEL BIODIGESTOR

1. Producción de Biogás: Los biodigestores generan biogás, una fuente de energía renovable compuesta principalmente por metano (CH_4), que puede ser utilizada como combustible para cocinar, calefacción y generación de electricidad.
2. Bioabono: El proceso de biodigestión produce bioabono, un fertilizante orgánico rico en nutrientes que mejora la fertilidad del suelo y ayuda a recuperar su estructura, a diferencia de los fertilizantes sintéticos.
3. Tratamiento de Efluentes: Los biodigestores permiten tratar residuos orgánicos y efluentes, reduciendo la contaminación y mejorando la calidad del agua al descomponer materia orgánica en un entorno controlado.
4. Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero: Al utilizar residuos orgánicos en lugar de combustibles fósiles, los biodigestores contribuyen a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, haciendo que su uso sea más sostenible.
5. Energía Distribuida: Los biodigestores pueden ser instalados en áreas rurales o comunidades pequeñas, permitiendo la generación y uso local de energía sin depender de grandes plantas centralizadas.
6. Ahorro Económico: La producción de biogás a partir de residuos es generalmente más económica que el uso de combustibles tradicionales, lo que puede resultar en un ahorro significativo para los usuarios.
7. Menor Espacio Requerido: Comparado con tratamientos tradicionales, los biodigestores requieren menos espacio y energía para operar, lo que los hace más prácticos en diversas configuraciones.

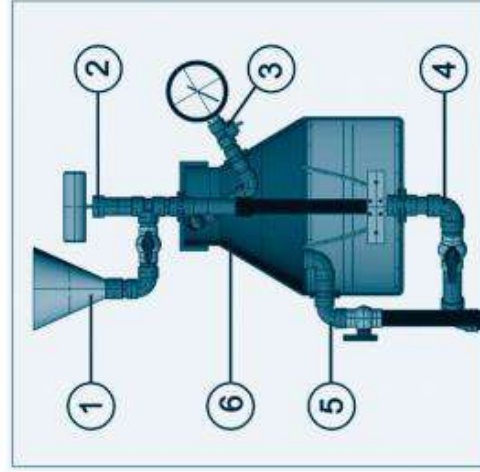
COMPONENTES DEL BIODIGESTOR

- Tanque de fermentación
- Tubo de entrada de materia orgánica
- Tubo de salida de biogás
- Tubo de salida/retiro del líquido digerido
- Tubo de descarga del lodo digerido
- Tanque de almacenamiento de biogás
- Termómetro
- Agitador
- Manómetro de baja presión
- Sistema de calefacción
- Válvulas y conexiones de PVC
- Manómetro en U

MATERIALES PARA LA REALIZACIÓN DEL BIODIGESTOR

- Balde de plástico de 20 litros
- Tubos PVC
- Llaves de paso de PVC
- Manguera de plástico
- Manguera para gas
- Niples
- Cables eléctricos

- Lija
- Pegamento
- Caucho
- Triplay
- Papel milimetrado
- Cinta métrica
- Súcates
- Focos de 25 W



Nota: Componentes del biodigestor: 1. Línea de carga diaria. 2. Conducto de carga diaria, agitador. 3. Línea de gas y de control de presión. 4. Conducto de vaciado completo. 5. Línea de efluente diario. 6. Recipiente reactor. Tomado de "Biodigestor" Pizarro, S. 2005, N° 11, Serie "Recursos Didácticos"

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

Para la construcción del biodigestor se utilizarán materiales de PVC que se encuentra al alcance, y no son muy costosos.
El diseño y construcción será de tipo batch, el cual tendrá los siguientes componentes.

COMPONENTES	
1- Línea de carga diaria Aquí ingresa la porción de sustrato que debemos agregar si queremos realizar un proceso continuo de obtención de biogás. Compuestas por: • 1 llave de paso de 2" • 1 codo de 90° ¼" polipropileno. • 1 cupla ¼" polipropileno. • 1 llave de paso • 1 entrosque de ¼"	
2- Control de presión o línea de gas Esta línea está ubicada en lo más alto del recipiente. Debe estar lo más cercano a la tapa. De manera que el orificio no quede hacia arriba ni permita ingresar algo del sustrato de la primera carga, lo que podría obstruir el conducto. Los materiales usados son:	

• 1 polipropileno ½" • 1 codo de 90° • Niple 8 cm. • Adaptador tanque. • Tee. • Manómetro 0-1 kg/cm2. • Enchufe de rosca macho.	
3- Agitador Para agitar, debemos conectar el exterior con el interior del biodigestor, interior que, en determinados momentos, tiene una determinada presión. Por esto, la varilla eje del agitador debe rotar sobre determinados orificios por los cuales no se debe escapar el gas que se encuentra a presión. Utilizamos: • Mango madera. • Tapa ¼" polipropileno. • Niple 8 cm. • Tee. • Rosca con tuerca. • Adaptador tanque. • Enchufe rosca hembra 1". • Manguera negra polietileno. • Extremo agitador. • Retenes de válvulas.	

4- Línea de efluente diario Nos permite retirar el mismo volumen que ingresamos como carga diaria, manteniendo el volumen constante del reactor. Utilizamos: • Válvula de paso. • Rosca con tuerca. • 3. Codo 90°. • 4. Adaptador tanque.		Recomendamos no vaciar completamente el biodigestor. • Enchufe rosca macho 1". • Codo 90°. • Niple 4 cm. • Válvula de paso. • Rosca con tuerca. • Adaptador tanque.	
5- Recipiente reactor El recipiente elegido como reactor es de, aproximadamente, 36 litros y cuenta con una boca amplia no menor de 130 mm; este recaudo es importante, ya que facilita la carga del primer sustrato. • Bidón de o balde de plástico con tapa.		7- Manómetro en U Sirve para poder determinar la cantidad de biogás producido a partir de la diferencia de niveles del líquido manométrico, con lo que obtenemos la presión manométrica. • Un pedazo de Triplay de aprox. 0,30 m * 1,20 m • Papel milimetrado • 3,00 m de manguera de plástico de 1/4" • Grapas o tachuelas	
6- Conducto de vaciado completo Es posible que el vaciado resulte dificultoso debido a la densidad del sustrato. Recordemos que los vaciados se realizan en periodo largos, debido a que deja de producir biogás, esto hará que se necesite compost nuevo.			

CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

Una vez decidido el volumen del recipiente a utilizar, se tiene en cuenta que un 75% del volumen total serán ocupados por la carga inicial y que en el resto se almacenara el gas; por ejemplo, un recipiente de 30 litros va a ocupar 22,5 litros de sustrato y 7,5 litros para la acumulación del gas. Conocer el nivel del sustrato, nos facilita la ubicación de la perforación para instalar el efuente diario.

Realizadas las perforaciones, comprobamos si los adaptadores a tanque pasan por los orificios sin dificultad y si permiten su fijación. Luego de verificar esto, pintamos la superficie externa del recipiente con pintura sintética mate color negro. Una vez seca la pintura, procedemos al armado definitivo del biodigestor, utilizando los componentes que construimos, y el sellador.

Dejamos secar 24 horas y realizamos una prueba de fuga de gas y una hidrica:

De gas:

- Por la llave de salida de biogás, conectamos la manguera de aire de un inflador.
- Elevamos la presión del biodigestor a 2 bar.

- Si la presión del biodigestor baja (usamos, para esto, el manómetro), estamos frente a una fuga; entonces, controlamos las uniones con espuma de detergente.



Hidrica:

- Por la línea de carga diaria, incorporamos agua hasta el nivel de sustrato.

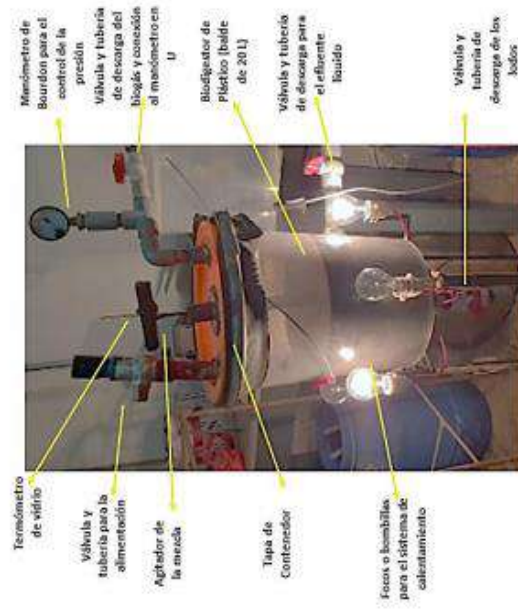
- Comprobamos si no hay pérdidas en el adaptador al tanque de la línea de vaciado completo y en el adaptador a tanque de la línea de efluente diario.



Superadas estas pruebas, estamos en condiciones de utilizar el biodigestor; hemos logrado la hermeticidad, tanto hídrica como gaseosa, necesarias para lograr la fermentación anaeróbica.

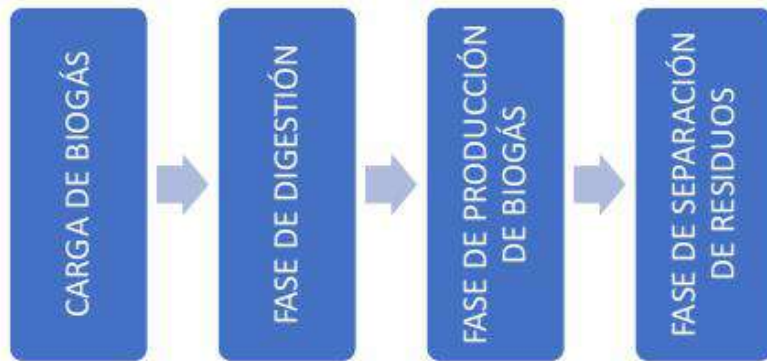
CARACTERÍSTICAS DEL BIODIGESTOR

El dispositivo biodigestor que proponemos es un construido de un balde de 20 lbs., de plástico transparente, con la finalidad de que se pueda observar lo que sucede internamente durante todo el proceso que dura la fermentación.





PROCESO DE FUNCIONAMIENTO



OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL BIODIGESTOR

Pre-fermentado:

- Para la primera carga es conveniente mezclar los desechos de animales con los residuos agrícolas, en una relación óptima de C/N de 30.
- Una vez seleccionados los materiales que se van a cargar al biodigestor, estos deben ser sometidos a una adecuación (pre-fermentado) con la finalidad de mejorar el proceso de fermentación, pues acelera la degradación de la materia orgánica, homogeniza la mezcla, reduce la carga parasitaria y mejora la calidad del alimento que va a ingresar a la etapa de Fermentación.
- El pre-fermentado se realiza de la siguiente manera:
 - Cortar los desechos vegetales en trozos lo más pequeño que se pueda y luego dividirlo en 5 partes.
 - Dividir el estiércol en 7 partes.
 - Formar una pila con los desechos de la siguiente manera: primero se forma una capa con los residuos orgánicos y encima otra de los desechos de los animales. Entre capa y capa se le debe de agregar agua de cal al 2% en peso.
 - Repita el procedimiento intercalando los desechos hasta completar 5 capas de vegetales y 4 de estiércol.

- Formar una masa pastosa con una quinta parte del estiércol y cubrir toda la pila con ella, luego rocíe agua de cal sobre ella y hacerle un agujero en el centro con la finalidad de airear la pila
- Al cabo de 7 días revolver la pila hasta obtener una mezcla homogénea. Apilarla nuevamente y cubrirla con una sexta parte del estiércol y rociarla con agua de cal.
- Después de 7 días, revuélvase nuevamente la pila y repita el procedimiento anterior cubriendo la pila con la última parte del estiércol.
- Al término de 3 días ya se podrá tener listo el pre-fermentado para alimentar el biodigestor.

Fermentación:

Para la alimentación al biodigestor se debe tener aparte del pre-fermentado los siguientes materiales:

- El "todo activado" o "inóculo", que consiste en un coctel de bacterias, principalmente metanogénicas, que pueden provenir del líquido ruminal de las vacas, o de aguas estancadas en descomposición (lodos negros), o lodos provenientes de la descarga de otro biodigestor. Corresponde aproximadamente el 10% del volumen de carga del biodigestor.
- Agua, en cantidad suficiente para completar entre el 85% – 75% del volumen total del biodigestor, es decir el volumen en digestión, V_{ad} .

- Agua de cal al 2% en peso.

Carga inicial:

Una vez que ya se cuenta con todos los materiales necesarios, se procede a la carga del biodigestor:

- Se dividen el pre-fermentado y el inóculo en tres partes iguales.
- Se introduce primero una parte del inóculo y encima se le agrega una parte del pre-fermentado, luego agitar para homogenizar la mezcla.
- Repetir la operación anterior con las partes restantes del inóculo y el pre-fermentado, agitando constantemente con la finalidad de obtener una mezcla uniforme.
- Finalmente agregar el agua en una cantidad suficiente para completar, entre el 85% – 75% de carga del biodigestor. Agitar la mezcla hasta homogenizarla.
- Agregar un poco de agua de cal para corregir el pH, lo recomendable es que se mantenga entre 7 y 7.2.
- Una vez completada la carga cerrar herméticamente el biodigestor.

Al realizar esta operación verificar que todas las llaves se encuentren cerradas para evitar cualquier tipo de fugas de gas.

- Concluida esta etapa, se debe de esperar entre 5 a 10 días para que se note la producción de gas. Inicialmente el gas que se obtiene es el CO₂, por lo que se debe de abrir las válvulas y dejar escapar al

ambiente. Después de los 10 días podemos decir que ya hay presencia de metano.

Carga Periódica

Debido a que la carga inicial va sufriendo una reducción como consecuencia de la acción propia del proceso de fermentación, es necesario que el material se vaya renovando diariamente o periódicamente. Esta renovación debe hacerse después de los treinta días de haberse iniciado con la carga inicial, o en su defecto a medida que se vaya observando la disminución de la producción de biogás. Esta nueva alimentación debe de realizarse retirando a la vez la misma cantidad del lodo digerido.

CARGA DE BIOGÁS

Primera carga

Para la primera carga, se mezcla los desechos vegetales y animales, en las proporciones adecuadas para obtener una relación C/N conveniente, ya que estos elementos son el alimento que las bacterias necesitan para crecer y reproducirse el carbono es consumido más pronto que el nitrógeno.

Para la primera carga de nuestro biodigestor hemos tenido en cuenta la relación C/N de 25 a 30, ósea 25 a 30 veces más carbono que nitrógeno, para una mejor fermentación. La relación óptima es de 30.

Agregar una pequeña cantidad de inóculo iniciador para la biodigestión, esta cantidad corresponde del 5 al 10% del volumen de carga del biodigestor, dependiendo si el estiércol a utilizar es fresco o no. Esto ayudará a introducir las bacterias necesarias para iniciar el proceso de fermentación anaeróbica.

Agregar una cantidad adecuada de solución de cal al 2% en peso (*), para ajustar el pH de la mezcla a un nivel óptimo para la actividad bacteriana. La cantidad exacta dependerá del pH inicial de los residuos y del agua utilizada.

(*) 1 litro de agua*0.02 = 0.02 litros de agua de cal

Es decir, 20 mililitros de agua de cal.

Transfiere cuidadosamente la mezcla preparada al biodigestor de 20 litros. Llenar el biodigestor hasta aproximadamente un 50-70% de su capacidad total. Esto dejará espacio para la generación de biogás y el movimiento del material durante la fermentación.

FASE DE DIGESTIÓN

Durante la fase de digestión del biodigestor, los microorganismos descomponen los residuos orgánicos y producen biogás, un combustible renovable y una fuente de energía sostenible.

FASE DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Durante la fase de producción de biogás, el biodigestor recolecta y almacena el biogás generado a partir de la descomposición de los residuos orgánicos. Este biogás, compuesto principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), es un valioso recurso energético que puede ser utilizado para diversas aplicaciones.

FASE DE SEPARACIÓN DE RESIDUOS

En esta fase del biodigestor, se lleva a cabo la separación de los residuos sólidos y líquidos resultantes del proceso de digestión. La separación de los residuos es un paso crucial para el funcionamiento eficiente del biodigestor y la obtención de biogás de alta calidad.

Durante esta fase, los residuos sólidos se separan de los líquidos mediante diversos métodos, como la filtración o la sedimentación. Una vez separados, los residuos sólidos pueden ser utilizados como fertilizante orgánico, mientras que los líquidos se someten a un proceso adicional de purificación antes de ser utilizados como fertilizante líquido o descargados de manera segura. La fase de separación de residuos es esencial para garantizar un proceso de biodigestión eficiente y sostenible, y para maximizar los beneficios ambientales y económicos del biodigestor.

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

El rendimiento aproximado de un biodigestor puede variar según una serie de factores, incluyendo la composición de los residuos, la temperatura ambiente, el tiempo de retención hidráulica, entre otros. Sin embargo, puedo proporcionarte una estimación general del rendimiento esperado para residuos de animales y plantas en un biodigestor.

En las referencias se encuentran diferentes tablas de datos que estiman la cantidad de biogás que se puede obtener a partir de diferentes materias primas (m.p.). Estos reportes pueden expresar la relación entre la cantidad de biogás producido por kilogramo de sólidos volátiles (SV) de diferentes m.p., otras en función del material húmedo y en otros casos como función del porcentaje de materia seca (MS).

MANTENIMIENTO DEL BIODIGESTOR

Es importante realizar una limpieza regular del biodigestor para mantener su funcionamiento óptimo.

1. Limpiar las paredes internas del biodigestor con agua y detergente suave.
2. Asegurarse de que las tuberías de entrada y salida estén limpias y sin obstrucciones.
3. Inspeccionar visualmente las tuberías y válvulas en busca de signos de desgaste o corrosión.
4. Reparar o reemplazar cualquier tubería o válvula dañada o defectuosa.
5. Realizar pruebas de presión en las tuberías para asegurarse de que no haya fugas.

CONCLUSIONES

El biodigestor casero es una forma sostenible y económica de tratar los desechos orgánicos.

Permite la generación de biogás, una fuente de energía renovable.

Es importante seguir las instrucciones y medidas de seguridad al construir y utilizar el biodigestor casero.

Se debe tener en cuenta la calidad y cantidad de los desechos orgánicos utilizados para obtener un buen rendimiento.

El mantenimiento regular del biodigestor es esencial para su correcto funcionamiento y durabilidad.

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y ENERGÉTICAS DEL BIOGÁS

Tabla 1.1
Composición del biogás

Componente	Concentración (% volumen)
Metano - CH ₄	50-75
Dióxido de carbono - CO ₂	25-45
Vapor de agua - H ₂ O	2-7
Oxígeno - O ₂	<2
Nitrógeno - N ₂	<2
Amoníaco - NH ₃	<1
Hidrógeno - H ₂	<1
Sulfuro de hidrógeno - H ₂ S	20-20 000 ppm

Nota: Tomado de "Typical composition of biogas", por T. Pullen, 2015, *Anaerobic Digestion - Making Biogas - Making Energy*, p. 6, Copyright 2015 por T. Pullen.

Tabla
Poder calorífico de varios combustibles

Combustible	Valor calorífico (aproximado)
Gas natural	8600 kcal m ⁻³
Gas licuado de petróleo	10800 kcal kg ⁻¹
Queroseno	10300 kcal kg ⁻¹
Diésel	10700 kcal kg ⁻¹
Biogás	5000 kcal m ⁻³

Nota: Tomado de "Comparison of the calorific values of various fuels", por T. Abbasi, S.M. Tauseef, S.A. Abbasi, 2012, *Biogas Energy*, p. 2, Copyright 2012 por Tasneem Abbasi.

EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS DEL BIOGÁS



1000 litros (litros) de biogás equivalen a:	
9477 kcal	Energía (85% CH ₄)
6,58 kWh	Energía (85% CH ₄)
1,6 kg	Madera
1,2 kg	Basta seca
1,1 litros	Alcohol
0,25 litros	Gasolina
0,08 litros	Gas-oil
0,26 m³	Gas natural
0,7 kg	Carbón
2,1 kWh	Celer oil (85% CH ₄ , rendimiento 30%)
2 kWh	Electricidad (85% CH ₄ , rendimiento 30%)

Desechos utilizados en la fermentación anaeróbica existentes en el medio rural

Características	H%	S.T%	C%(seco)	N%(seco)	C/N
Vacunos	79	21	32	1,5	21
Ovinos	73	27	60	3,7	16
Equinos	15	25	47	2,4	20
Porcinos	69	31	73	2,6	28
Gallinazas	44	56	70,2	5,85	12
Auquénidos	57	43	42	3,7	11
Cuyes	32	68	37,2	2,22	17
Conejos	20	80	47,2	2,02	23
Chala de maíz	15	85	39	0,7	56
Paja de arroz	8	92	41,2	0,7	59
Paja de cebada	7	93	42,0	0,88	48
Paja de trigo	8	92	46	0,53	87
Totorales	35	65	41	0,23	178
Hojas de plátano	89	11	42	1,10	38
Pasto	67	33	40	2,52	16
Hierbas, hojas secas	50	50	41	1	41

Nota: Adaptado de "Como construir un Biodigestor" IT INTEC, 1983, Manual N° 4, Serie "HÁGALO UD. MISMO"

m³ de biogás producidos en función de diferentes tipos de estiércol

Estiércol	kg húmedo/día	Relación C/N	m³ biogás/kg húmedo
Bovino (500 kg)	10,00	25	0,04
Porcino (50 kg)	2,25	13	0,06
Aves (2 kg)	0,18	19	0,08
Ovino (32 kg)	1,50	35	0,05
Caprino (50 kg)	2,00	40	0,05
Equino (450 kg)	10,00	50	0,04
Conejo (3 kg)	0,35	13	0,06
Excretas humanas	0,40	3	0,06

Nota: Adaptado de "GUÍA TEÓRICO-PRÁCTICA SOBRE EL BIOGÁS Y LOS BIODIGESTORES" FAO, 2019, Colección de Documentos Técnicos N°12.

Litros (L) de CH₄ producidos en función de los kg de sólidos volátiles (SV)

Sustratos	L de CH ₄ /kg SV	Referencia
Residuos sólidos municipales	360	Vogt <i>et al.</i> , 2002.
Residuos de frutas y de madereros	850	Foster-Carneiro <i>et al.</i> , 2007.
Purines de cerdos	337	Ahn <i>et al.</i> , 2010.
Paja de arroz	350	Lei <i>et al.</i> , 2010.
Ensilado de maíz	312	Mumme <i>et al.</i> , 2010.
Residuos orgánicos ricos en lignina	200	Jayasinghe <i>et al.</i> , 2011.
Estiércol de cerdo y aguas residuales	348	Rialto <i>et al.</i> , 2011.
Restos de comida	396	Zhang <i>et al.</i> , 2011.

Nota: Adaptado de "GUÍA TEÓRICO-PRÁCTICA SOBRE EL BIOGÁS Y LOS BIODIGESTORES" FAO, 2019, Colección de Documentos Técnicos N°12.

Litros (L) de biogás y de CH₄ producidos en función
de los kg de materia seca (MS)

Sustratos	L de biogás/kg de MS	L de CH ₄ /kg de MS
Lodos aguas residuales urbanas	0,43	0,34
Basuras urbanas	0,61	0,38
Desechos de papel	0,23	0,14
Contenido intestinal matadero	0,47	0,35
Contenido vísceras matadero	0,09	0,04
Sangre matadero	0,16	0,08
Lodos industria láctea	0,98	0,74
Residuos cerveceros	0,43	0,33
Estiércol vacuno	0,40	0,90
Estiércol porcino	0,26	0,21
Hojas de papa	0,53	0,40
Hojas de maíz	0,49	0,41
Hojas de remolacha	0,46	0,39

Nota: Adaptado de "GUÍA TEÓRICO-PRÁCTICA SOBRE EL BIOGÁS Y LOS BIODIGESTORES" FAO, 2019, Colección de Documentos Técnicos N°12.

Anexo 2: *Relación C/N de diversos desechos del medio rural*

**RELACION CARBONO: NITROGENO DE DIVERSOS DESECHOS
DISPONIBLES EN EL MEDIO RURAL**

Material	o/o N (base seca)	o/o C (base seca)	C:N
Desechos Animales			
Bovinos	1.7	30.6	18:1
Equinos	2.3	57.6	25:1
Ovinos	3.8	83.6	22:1
Porcinos	3.8	76.0	20:1
Aves	6.3	50.0	7.9:1
Excretas humanas	0.85	2.5	3:1
Desechos Vegetales			
Paja de trigo	0.53	46.0	87:1
Paja de arroz	0.63	42.0	67:1
Rastrojo de maíz	0.75	40.0	53:1
Hojas secas	1.00	41.0	41:1
Rastrojo de soya	1.30	41.0	32:1

Anexo 3: *Datos promedios del contenido de Sólidos Totales de diversos desechos*

**DATOS PROMEDIO SOBRE EL CONTENIDO DE SOLIDOS TOTALES
DE DIVERSOS DESECHOS**

Material	Sólidos Totales (o/o)	Litros de agua por kilogramo de desecho para obtener 8o/o de sólidos totales. (lt/kg)
Heces humanas	17.0	1.1
Estiércol de vaca	20.0	1.5
Caballos, bueyes y mulas	25.0	2.1
Cerdos	18.0	1.3
Ovejas	32.0	3.0
Gallinas	44.0	4.5
Cáscara de cacahuete	96.6	11.1
Hojas secas	50.0	5.3
Paja de arroz	92.6	10.6
Rastrojo y hojas de maíz	77.0	8.6
Papel periódico	93.0	10.6

Anexo 4: *Panel Fotográfico*



Figura 7. Adecuación de la alfalfa



Figura 8. Mezcla heterogénea de las materias primas



Figura 9. Mezcla para el pre fermentado estiércol con alfalfa.



Figura 10. Homogenización del pre fermentado.



Figura 11. Pre fermentado final



Figura 12. Instalación de las luces para el biodigestor



Figura 13. Instalación de los tubos PVC, Termómetro, manguera transparente en la tapa del contenedor.



Figura 14. Preparación de una solución agua con cal para el neutralizado de la carga.



Figura 15. Mezclado del estiércol fermentado con la solución de la cal y agua.



Figura 16. Agregado de agua para llegar al volumen requerido.



Figura 17. Alimentación completa



Figura 18. Construcción del manómetro



Figura 19. Biodigestor cargado para el proceso de fermentado para la obtención del biogás.