

BIODIGESTOR MODELO SERPENTÍN PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%	15%	2%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uaaan.mx Fuente de Internet	1%
4	vdocumento.com Fuente de Internet	1%
5	docplayer.es Fuente de Internet	1%
6	saber.ucv.ve Fuente de Internet	1%
7	oa.upm.es Fuente de Internet	1%
8	repositorio.imta.mx Fuente de Internet	<1%
9	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	



UNIVERSIDAD NACIONAL
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA
PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN
EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS**
(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.untels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

- 1). TESIS () 2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL (X)

DATOS PERSONALES

Apellidos y Nombres:	MAMANI DIAZ, SERGIO DEYUIS
D.N.I.:	44124088
Otro Documento:	
Nacionalidad:	PERUANO
Teléfono:	923 045 820
e-mail:	sdmamaniid@gmail.com

DATOS ACADÉMICOS

Pregrado

Facultad:	FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
Programa Académico:	TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Título Profesional otorgado:	INGENIERO AMBIENTAL

Postgrado

Universidad de Procedencia:	
País:	
Grado Académico otorgado:	

Datos de trabajo de investigación

Título:	"BIODIGESTOR MODELO SERPENTIN PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS"
Fecha de Sustentación:	10 DE MARZO DEL 2018
Calificación:	APROBADO CON DISTINCIÓN
Año de Publicación:	2024

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo X No autorizo _____

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO ABIERTO 12.1(*)	info:eu-repo/semantics/openAccess (Para documentos en acceso abierto)	<input checked="" type="checkbox"/>

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO RESTRINGIDO	info:eu-repo/semantics/restrictedAccess (Para documentos restringidos)	<input type="checkbox"/>
	info:eu-repo/semantics/embargoedAccess (Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo)	<input type="checkbox"/>
	info:eu-repo/semantics/closedAccess (para documentos confidenciales)	<input type="checkbox"/>

(*) <http://renati.sunedu.gob.pe>



UNIVERSIDAD NACIONAL
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

Motivos de la elección del acceso restringido:

MAMANI OIZA SERGIO DEYVIS

APELLIDOS Y NOMBRES

44124088

DNI



Firma y huella:



Lima, 06 de JUNIO del 20 24

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“BIODIGESTOR MODELO SERPENTÍN PARA EL APROVECHAMIENTO
DE RESIDUOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

MAMANI DIAZ, SERGIO DEYVIS

ORCID: 0009-0007-1754-2956

ASESOR

CHAVEZ ROJAS, DANILO

ORCID: 0000-0003-4399-1097

Villa El Salvador

2018

**Facultad de Ingeniería y Gestión – V Programa de Actualización Profesional
Conducente a Titulación por la Modalidad de Examen de Suficiencia**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

En Villa El Salvador siendo las 11:00:00 AM horas del día Sábado, 10 de Marzo del 2018, se reunieron en el Salón de Grados los Miembros del Jurado Evaluador del Trabajo de Suficiencia Profesional integrado por:

Presidente	: Mg. Lic. Bracho Pérez, Julio Cesar	CQP. N° 721
Secretario	: Mg. Blga. Ruiz Huamán, Carmen Milagros	CBP. N° 5179
Vocal	: Mg. Ing. Apesteagua Infantes, José Alfonso	CQFP. N° 06538

Nombrados según RESOLUCIÓN DE FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN N°052-2018-UNTELS-CO-VPAP-FIG, de fecha 08 de Marzo de 2018.

Se da inició al Acto Pública de Sustentación y Evaluación del Trabajo de Suficiencia Profesional , para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, bajo la modalidad de Examen de Suficiencia Profesional. (Resolución de Comisión de Organizadora N° 023-2012-UNTECS de fecha 20 de setiembre 2012, se APROBÓ la ratificación del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Tecnológica del Cono Sur de Lima y el Reglamento del Examen de Suficiencia Profesional para la Obtención de Título Profesional, siendo que el Art. 6° del precitado Reglamento del Examen de Suficiencia Profesional para la Obtención de Título Profesional, que establece: "El Examen de Suficiencia Profesional comprende dos etapas: a) Examen de Conocimientos Profesionales y b) Sustentación de un Trabajo de Suficiencia Profesional"), en la que

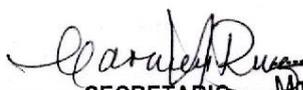
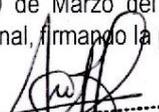
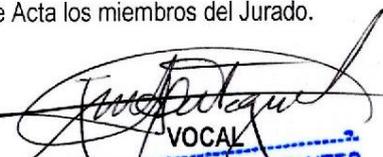
El bachiller: **MAMANI DIAZ, SERGIO DEYVIS**

Sustentó su Trabajo titulado: "**BIODIGESTOR MODELO SERPENTÍN PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGANICOS DOMESTICOS**"

Concluida la Sustentación del Trabajo, se procedió a la calificación correspondiente según el siguiente detalle:

Condición: *Aprobado e Distinción* con nota..... **18**.....
Equivalente... *Muy Bueno*... De acuerdo al Art. 74° del Reglamento General para el Otorgamiento de Grado Académico y Título Profesional de la UNTELS.

Siendo las **11:21**... horas del día Sábado, 10 de Marzo del 2018, se dio por concluido el acto de sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, firmando la presente Acta los miembros del Jurado.

 SECRETARIO CARMEN MILAGROS RUIZ HUAMÁN BIOLOGA C.B.P. 5179	 Mg. JULIO CESAR BRACHO PEREZ LIC. EN QUIMICA CQP 121 PRESIDENTE	 VOCAL JOSE A. APESTEGUIA INFANTES QUIMICO-FARMACEUTICO C.O.F.P. 06538
--	---	---

Nota: Art. 40°.- Para el inicio y desarrollo de la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, se requiere la presencia física y permanente de los integrantes del jurado. De faltar algunos miembros de jurado, la sustentación procederá con los dos integrantes presente. En caso de ausencia del presidente del jurado, asumirá la presidencia, el docente de mayor categoría. En caso de ausencia de dos o más integrantes del jurado, la Comisión de Legalidad y Supervisión, conducirá.

DEDICATORIA

El presente trabajo es enteramente dedicado a mi madre Bonifacia Diaz que sin su esfuerzo y sacrificio no habría logrado absolutamente nada.

¡Gracias Mamá!

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de seguir adelante, a mis familiares por apoyarme incondicionalmente en cada momento difícil de mi vida, a mí amada compañera fiel, mis amistades, y profesores que me ayudaron a alcanzar mis metas académicas.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I:	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	2
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO	4
1.3.1 Teórica	4
1.3.2 Temporal	4
1.3.3 Espacial.....	5
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.4.1 Problema general	5
1.4.2 Problemas específicos	5
1.5 OBJETIVOS	5
1.5.1 Objetivo General	5
1.5.2 Objetivos Específicos:	5
CAPITULO II:	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.2 BASES TEÓRICAS	9
2.2.1 Historia del Biodigestor	9

2.2.2	Componentes del Biodigestor	14
2.2.2.1	Cámara de digestión.....	14
2.2.2.2	Reservorio de biogás	15
2.2.2.3	Sistema de alimentación	16
2.2.2.4	Sistema de descarga	16
2.2.2.5	Sistema de purificación del biogás.....	16
2.2.3	Origen del biogás	18
2.2.4	Componentes del biogás.....	18
2.2.4.1	Metano	18
2.2.4.2	Dióxido de carbono	19
2.2.4.3	Sulfuro de hidrógeno.....	19
2.2.5	Formación del Metano.....	20
2.2.5.1	Metanogénesis a partir de CO ₂ y H ₂	22
2.2.5.2	Metanogénesis a partir de grupos metilo	23
2.2.5.3	Metanogénesis a partir de acetato	23
2.2.6	Proceso microbiológico	24
2.2.6.1	Bacterias Hidrolíticas	26
2.2.6.2	Fermentativas:	28
2.2.6.3	Bacterias Acetogénicas.....	28
2.2.6.4	Bacterias Metanogénicas.....	28
2.2.7	Ventajas del uso de biogás	29

2.2.7.1	Combustible confiable:.....	29
2.2.7.2	Compatibilidad con el medio ambiente	29
2.2.7.3	Suministro de energía accesible	30
2.2.7.4	Fertilizante	30
2.2.8	Factibilidad económica.....	30
2.2.8.1	Industria cárnica.....	31
2.2.8.2	Vitivinícola.....	31
2.2.8.3	Industria Láctea.....	32
2.2.8.4	Procesamiento de verduras	32
2.2.9	Métodos de generación de biogás	34
2.2.9.1	El biodigestor familiar de bajo costo.....	34
2.2.9.2	Producción de Biogás mediante lodos de las depuradoras	34
2.2.10	Parámetros operacionales	36
2.2.10.1	Relación carbono/nitrógeno de las materias primas	36
2.2.10.2	Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles.....	37
2.2.10.3	Temperatura.....	37
2.2.10.4	Tiempo de retención hidráulico	38
2.2.10.5	Rangos de pH	38
2.2.10.6	Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis	39
2.2.11	Acondicionamientos del sustrato.....	39
2.2.12	Aprovechamiento del subproducto.....	40

2.2.13	Fuentes de obtención de biomasa	41
2.2.14	Acondicionamientos del biogás.....	42
2.2.15	Usos del biogás	43
2.2.15.1	Producción de calor o vapor.....	43
2.2.15.2	Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad 43	
2.2.15.3	Combustible para vehículos:.....	44
2.2.16	Tipos de biodigestor.....	44
2.2.16.1	Pozos sépticos:.....	44
2.2.16.2	Biodigestor del domo flotante (hindú):.....	45
2.2.16.3	Biodigestor de domo fijo (chino):.....	46
2.2.16.4	Biodigestor de estructura flexible:	47
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	49
CAPITULO III:.....		51
DESARROLLO DEL OBJETIVO DE TRABAJO DE SUFICIENCIA.....		51
3.1	DISEÑO DEL REACTOR ANAEROBIO.....	51
3.2	PRETRATAMIENTO	53
3.3	REACCIÓN ANAEROBIA.....	53
3.4	ACUMULADOR DE BIOGÁS	58
3.5	DIGESTATO.....	60
3.6	MEDICIÓN DE PARÁMETROS	60
3.6.1	Generación de biogás:	61

3.6.2	Área instalada:	63
3.6.3	Superficie la sección líquida	64
	CONCLUSIONES	66
	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA	68
	ANEXOS	74

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Representación esquemática de la descomposición del exceso de lodo activado por digestión anaeróbica.	25
Figura 2: Biodigestor modelo hindú	45
Figura 3: Biodigestor modelo chino.....	47
Figura 4: Diagrama de un biodigestor tubular de plástico.	48
Figura 5: Acondicionamiento del biodigestor.	51
Figura 6: Detalle del segmento circular.....	52
Figura 7: Pendiente de cada sección del serpentín.	53
Figura 8: Acondicionamiento del residuo orgánico con molino manual.	53
Figura 9: Vista detallada del espacio gaseoso y líquido.....	54
Figura 10: Aislamiento del biodigestor con poliestireno expandido.....	54
Figura 11: Tasa de crecimiento relativo de microorganismos	54
Figura 12: Selección y molienda de precompost.	56
Figura 13: Primera carga del biodigestor.	58
Figura 14: medición de parámetros.....	60
Figura 15: Prueba de combustión del gas a los 20 días de instalación.	61
Figura 16: Biogás contenido en cámaras.....	63
Figura 17: certificado de calibración pH.....	75

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Residuos dispuestos en rellenos con o sin captación de biogás.....	7
Tabla 2: Potencial del biogás a partir de RSU dispuestos en rellenos sanitarios... 7	
Tabla 3: Balance energético de la transferencia de hidrógeno interespecies.	21
Tabla 4: Biogás producido en función de los sólidos volátiles.	59
Tabla 5: Rango de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.....	59
Tabla 6: Relación entre la superficie de sección líquida y área de instalación.....	64
Tabla 7: Relación entre la sección de la superficie líquida y la altura líquida.....	64
Tabla 8: Cronograma	74
Tabla 9: Presupuesto	74
Tabla 10: Parámetros de diseño.	76

INTRODUCCIÓN

El tema abordado en este trabajo es el reciclaje de residuos, en específico el de los residuos orgánicos que se generan en las cocinas peruanas, se revisó bibliografía para demostrar que los residuos orgánicos tienen un impacto muy significativo en la vida cotidiana de las personas, y lo que se pretendió es sacar provecho de un problema aparente.

Para ello se propuso materiales que bajo ciertas circunstancias pueden perfectamente funcionar como cámaras de digestión anaerobias, por lo que se puso en marcha este nuevo prototipo, las mediciones demuestran que funciona tan igual o mejor en algunos aspectos frente a diseños tradicionales, para realizar estos cambios se tomaron en cuenta las proporciones de diseño recomendadas por la literatura, también se revisó literatura que explican las interacciones microbiológicas dentro de un biodigestor, y como es que algunos moléculas son esenciales para la producción de metano, tal es caso del hidrogeno, por lo que encontrar una zona rica en hidrogeno y dióxido de carbono puede aumentar la eficiencia del biodigestor, para ello se halla las relaciones de altura y área de contacto entre el efluente líquido y gaseosos.

CAPÍTULO I:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Uno de los grandes problemas que aqueja a las urbes es la gran cantidad de generación de residuos sólidos municipales, y Lima no es ajena a este problema, según estadísticas (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2016). Los residuos domiciliarios generados en Lima en el 2015 ascienden a la cifra de 2 millones 925 mil toneladas. Distintas municipalidades de Lima han llegado a determinar que estos residuos están comprendidos en mayor medida por materia orgánica, por ejemplo, la (Municipalidad Distrital de Ate, 2011), llegó a la conclusión de que el porcentaje de sus residuos sólidos orgánicos es del 59,28%, la (Municipalidad Distrital de San Bartolo , 2013) en su estudio de caracterización determino que sus residuos orgánicos comprenden el 54,62% del total de sus residuos domiciliarios, la (Municipalidad Distrital de Breña, 2016) concluyo de igual modo que el porcentaje de sus residuos orgánicos es de 55,14%, por último el (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015) indica que según el Ministerio del Ambiente, el total de residuos sólidos

municipales estimados para el año 2012 fueron de 7 millones 47 mil toneladas de los cuales el 50,9% correspondía a materia orgánica.

Estos estudios nos muestran que los residuos sólidos municipales están compuestos en mayor medida por materia orgánica. La materia orgánica mal dispuesta, trae consigo una serie de problemas, entre ellas la mencionada por (Rivas, 2015) “La presencia de puntos críticos representa un verdadero peligro para la salud pública, la acumulación de basura eleva la probabilidad de infecciones respiratorias y gastrointestinales, explica el director de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente, Juan Narciso. Agrega que los gases generados por la descomposición de materia orgánica son dañinos para las vías respiratorias” ello ocurre si los residuos terminan en botaderos, otro problema generado a partir de los residuos orgánicos es la generación de Gases de Efecto Invernadero el (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2016) presenta un cuadro con las emisiones de gases de efecto invernadero, según fuentes y sumideros donde indica que los residuos sólidos que terminaron en rellenos y botaderos, generaron un total de 285,96 Gigagramos de metano, el cual tiene un potencial de calentamiento global 25 veces la del dióxido de carbono.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Debido a la gran generación de residuos sólidos orgánicos, se tiene la necesidad de implementar un biodigestor capaz de aprovechar estos residuos en la misma fuente donde se producen, generando biogás, que puede ser utilizado para la cocción de alimentos y/o iluminación, también se genera biol, un abono líquido, el cual puede ser utilizado como fertilizante orgánico.

Por lo que aprovechar los residuos orgánicos domiciliarios en la fuente de generación, permitirá reducir la generación de residuos sólidos que perjudican al medio ambiente y sacar provecho generando biogás.

Por otra parte, implementar biodigestores en los hogares, trae una serie de retos, (Perez J. , 2010) menciona el problema que presentan los biodigestores tradicionales en la siguiente cita “Hay muchos tipos de plantas de biogás, pero los más comunes son el dosel flotante y el domo fijo, (...) La baja aceptación de muchos de estos biodigestores ha sido principalmente debida a los costos altos, la dificultad de instalación y problemas en la consecución de las partes y repuestos.” Por lo que implementar un tipo de biodigestor que supere toda esta clase de retos, permitiría aprovechar los residuos orgánicos como un recurso energético.

1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

1.3.1 Teórica

El diseño toma en cuenta los conceptos aplicados en los diseños tradicionales, tales como hermeticidad, residuos orgánicos, pH, temperatura, sección gaseosa, sección líquida, procesos microbiológicos anaerobios.

1.3.2 Temporal

La propuesta fue diseñada, implementada y monitoreada desde noviembre del 2017 hasta febrero del 2018

1.3.3 Espacial

El proyecto fue implementado en el vivero de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, ubicada en el distrito de Villa El Salvador

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1 Problema general

¿El uso de tubos de PVC permitirá el funcionamiento de un biodigestor modelo serpentín para uso doméstico?

1.4.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el área de instalación luego de utilizar tubos de PVC en un biodigestor modelo serpentín para uso doméstico?
- ¿Cuál es la superficie líquida en relación a la altura de la sección líquida luego de utilizar tubos de PVC en un biodigestor modelo serpentín para uso doméstico?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Generar gas metano empleando tubos de PVC en un biodigestor modelo serpentín para uso doméstico.

1.5.2 Objetivos Específicos:

- Calcular el área de instalación luego de utilizar tubos de PVC en un biodigestor modelo serpentín para uso doméstico.
- Calcular la superficie líquida en relación a la altura de la sección líquida luego de utilizar tubos de PVC en un biodigestor modelo serpentín para uso doméstico.

CAPITULO II:

MARCO TEÓRICO

1.6 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Los biodigestores anaerobios se conocen desde hace más de 100 años, habiéndose construido la primera instalación en la India por los años 1900 (Robalino, 2008), el ministerio de energía de Chile mediante la Comisión Nacional de Energía en su Proyecto sobre Energías Renovables No Convencionales en Chile, ha identificado a los Residuos sólidos urbanos, como fuente suficiente para generar biogás, para más información véase tablas 1 y 2 (Chamy & Vivanco, 2007), por lo que aprovechar estos residuos para la generación de biogás es totalmente factible, pero (Arce, 2011) menciona en su investigación la alta dependencia del costo de las materias primas como una desventaja en la utilización de biogás, los residuos orgánicos domiciliarios tienen un costo prácticamente nulo por lo que pueden ser perfectamente aprovechados para este fin; sin embargo uno de los problemas que se presentan en las mega instalaciones de biogás es la inadecuada segregación de residuos orgánicos en la fuente, ya que el alto contenido de otros residuos suele conducir a múltiples

problemas de operación que impiden funcionar a la instalación durante las horas estimadas (7.200 horas/año) (Andrés, Begoña, Paz, Xavier, & Belén, 2011), por lo que implementar un biodigestor en la misma fuente que genera los residuos orgánicos, permitirá evitar estos problemas a la hora de aprovechar los residuos.

Tabla 1: Residuos dispuestos en rellenos con o sin captación de biogás.

Tipo de relleno	Materia orgánica ton/año
c/ captación de biogás	1 925 856
s/ captación de biogás	894 516

(Chamy & Vivanco, 2007)

Tabla 2: Potencial del biogás a partir de RSU dispuestos en rellenos sanitarios.

Tipo de relleno	Biogás	Biogás	Metano
	m3/mes	Miles m3/año	Miles m3/año
c/captación	9 629 306	115 551	57 775
s/captación	4 472 620	53 671	26 835

Fuente: (Chamy & Vivanco, 2007)

La propuesta de implementar un biodigestor en una casa trae una serie de retos, tales como: el espacio necesario para implementar el biodigestor, la cantidad de residuo orgánico necesario para que su implementación sea factible,

la cantidad del volumen de gas generado, la eficiencia de generación del biogás, el control de los parámetros de operación y la generación de malos olores.

Por ejemplo (Perez J. , 2010) menciona que los digestores cerrados deben ubicarse a distancia mínima de 500 metros de las urbanizaciones, lo que en un domicilio sería una condición imposible de cumplir, otro de los aspectos que se repite recurrentemente en todos los diseños de biodigestores, es la geometría, por ejemplo (Monar & Martínez, 2011) hace uso del modelo “Hindú” el cual es básicamente de una cámara hermética cilíndrica; (Perez & Tinedo, 2005) utilizan en su diseño el modelo “modelo Chino” que también presenta una cámara de fermentación con una sección casi cilíndrica, esta geometría genera espacios corto circuitos donde el sustrato no se descompone de forma ordenada como cuando se tiene un reactor de carga continua, para ello se propone un reactor anaerobio compuesto por tubos de PVC de 10 pulgadas, los detalles se explicaran en la metodología.

En la ciudad de Tacna, se instaló un biodigestor familiar de 2,24m³, aprovechando las buenas condiciones climáticas que presenta esa ciudad en el verano (Salazar, Amusquivar, Llave, & Rivasplata, 2012); lo que implica tener un especial cuidado con la temperatura ya que de esta depende la eficiencia de descomposición.

1.7 BASES TEÓRICAS

1.7.1 Historia del Biodigestor

El uso del biodigestor se remonta a épocas milenarias, y su uso se extendió a países que no gozan con reservas de energías fósiles, pero que, al ser las energías fósiles, recursos no renovables, en el futuro posiblemente el uso de estos sistemas se masifique en todo el mundo, para una mejor idea se hizo una breve línea de tiempo de acuerdo a (ad3energy, 2012):

3000 a.c.	Los Sumerios practicaban la limpieza anaerobia de sus residuos
X a.c.	Los asirios usaban biogás para calentar sus baños públicos.
50 d.c.	Plinio describe el brillo de luces en pantanos.
XVI	Constancia escrita de biogás por persas.
1840	Construcción de un digestor en Otago Nueva Zelanda.
1859	Biogás con aguas residuales en un asilo hospital leproso India
1630	Baptista Van Helmont determinó que la descomposición de materia orgánica generaba gases inflamables.
1667	Shierley identifica al gas de los pantanos como causante de los “fuegos fatuos”

- 1682 R. Boyle y Papin predijeron la posibilidad de obtener gas a partir de residuos animales y vegetales en descomposición
- 1764 Benjamín Franklin descubrió al biogás como causante de incendio de un lago brumoso poco profundo.
- 1776 Alejandro Volta publica una carta "Aria inflammabile native delle paludi" donde relaciona la cantidad de material orgánico con la cantidad de gas inflamable en un lago e identifica a su causante el metano.
- 1804 John Dalton describe la estructura de química del metano asociado al biogás.
- 1806 William Henry dedujo la identidad probable del gas de los pantanos.
- 1808 Humphry Davi, genera gas metano en su laboratorio a partir de estiércol de ganado.
- 1821 Avogadro describe por primera vez la estructura final del metano.
- 1856 Reuset encontró que el metano se libera al descomponen estiércol amontonado.
- 1860 Mouras desarrolla el primer tratamiento de agua de alcantarilla en una cámara de aire hermética simple.

- 1866 Antoine Béchamp demuestra concluyentemente que el metano resulta de un proceso biológico.
- 1868 Béchamp identifica una población mixta de microorganismos que convierten etanol en metano.
- 1875 Propoff descubre que la formación del metano solo se produce en anaerobiosis.
- 1876 Herter informó que el acetato encontrado en aguas residuales forma cantidades estequiométricas iguales de metano y dióxido de carbono.
- 1884 Louis Pasteur y Ulysse Gayon obtienen 100 litros de biogás por metro cubico de estiércol mezclado con agua a 35°C sin presencia de oxígeno.
- 1886 Omeliaski comprobó la formación del metano a partir del estiércol de vaca.
- 1887 Hoppe-Seyler comprobó la formación del metano a partir del acetato.
- 1890 Donald Cameron diseño una gran fosa séptica para la ciudad de Exeter donde un año después alimento con biogás el alumbrado público.
- 1894 Pasteur afirma que el biogás producido por sus experiencias podía cubrir las necesidades de energía para la iluminación callejera de Paris, pero tomar estiércol

de caballo para cubrir dicha demanda es tomado como broma.

- XIX finales Se construyen al sur de china las primeras plantas de biogás tal como se conocen actualmente.
- 1901 Shengon, describió detalladamente las características morfológicas de las metanobacterias.
- 1911 En Europa se instalan los primeros digestores para obtener biogás a partir de residuos orgánicos (UK)
- 1914 Inhoff y Blunk patentaron numerosos procedimientos para mejorar la eficiencia de los biodigestores.
- 1921 En Birmingham se instaló el primer motor para utilizar el gas de lodos de 25HP y tuvo tanto éxito que se instalaron luego motores de 150HP y 400HP en 1927 y 1928 respectivamente.
- 1923 En Alemania se vendió el primer gas metano a la red pública de gas.
- 1926 Comienza la digestión industrial a alta temperatura con digestores continuamente calentados
- 1930 Boruff y Buswell publicaron diversos artículos sobre la producción de metano de diversos residuos.

- II guerra mundial Se desarrollaron en Alemania un gran número de instalaciones de digestión anaerobia con el fin de potenciar nuevas fuentes de energía.
- 1927 Bates modifica su coche para que funcione con biogás, el coche funcionó exitosamente por 17 años más.
- 1965 Chung Po publicó diseños para biodigestores fermentadores de tamaño familiar y el uso posterior del lodo para fertilizar.
- 1977 En China había más de 5 millones de digestores anaerobios por la economía de los materiales empleados.
- 1970-1980 Oleada de construcción de digestores a raíz de la “crisis del petróleo” pero se frenó por la escasa producción de metano y el elevado coste de las instalaciones.
- 1984 Construcción de la primera planta centralizada de biogás en Dinamarca, se esfuerzan en demostrar el potencial de las grandes plantas como productoras de energía eléctrica.
- 1990 Alemania produce una oleada de construcción de digestores que se mantienen gracias al pago de kWh producido.

1.7.2 Componentes del Biodigestor

El biodigestor o digestor, es el recipiente hermético donde se llevan a cabo las reacciones anaerobias para generar metano, a partir de sustratos orgánicos.

1.7.2.1 Cámara de digestión.

Es el lugar donde se desarrollan las reacciones químicas, es necesario que sea totalmente hermético, ya que las bacterias que realizan las reacciones viven en un medio sin oxígeno.

Esta cámara de digestión puede variar de geometría y material de construcción, siempre y cuando se respete la hermeticidad, (Perez J. , 2010) diseña un digestor con una geometría cilíndrica con una relación Diámetro/Largo de $\frac{1}{4}$, siendo el largo paralelo al piso, el material que utiliza para su construcción es acero. (Toala, 2013) para su tesis utiliza tanques tipo botella de PE Plastigama de una capacidad nominal de 5000 litros, demostrándose de este modo que este tipo de recipientes también pueden cumplir la función de digestores, (Bolívar & Ramírez, 2012) utilizan mangas de polietileno tubular de calibre 8 de 80 metros de largo, el cual fue instalado en una zanja.

Por lo que podemos decir que la geometría de un digestor puede variar de acuerdo a la disponibilidad materiales de construcción, siendo las más económicas las que son implementadas.

1.7.2.2 Reservorio de biogás

Su construcción puede ser de diversos materiales al igual que la cámara de digestión, debe ser hermético, su función es acumular el exceso de gas generado, por lo que su dimensionamiento debe ser adecuado para evitar fugas o riesgos innecesarios, existen diversos tipos los cuales se detallan a continuación:

De cúpula fija, este tipo de acumuladores se encuentra en el mismo tanque digestor, el gas va acumulándose en el mismo digestor, por lo que se debe dimensionar la cámara de digestión tomando en consideración este espacio extra.

De campana flotante, se encuentra en el mismo digestor, asciende conforme se va generando biogás, la presión interna debido al peso de la campana, permite un flujo continuo del biogás hacia su uso, también puede ubicarse fuera del digestor, en este caso se coloca al interior de depósitos de aguay conforme va generándose el biogás, se va elevando la campana.

De material plástico, Están constituidos por materiales plásticos tales como PVC, caucho, polietileno y pueden ir junto a la cámara de digestión o separada de ella, (Bolívar & Ramírez, 2012) utilizan una bolsa reservorio de polietileno, (Toala, 2013) utilizan un tanque de Plastigama para acumular su biogás, el inconveniente de este tipo de acumuladores es que la presión es irregular.

1.7.2.3 Sistema de alimentación

El ingreso al biodigestor debe tener una estructura propia para este fin, allí se acondiciona el residuo, se realiza la mezcla y homogenización del agua con el sustrato y se recolectan los componentes gruesos, puede ser instalado con diferentes materiales, también se pueden hacer fosas impermeables con un nivel por encima del digestor, los cuales se pueden implementar para digestores tipo manga.

1.7.2.4 Sistema de descarga

Su función es garantizar una adecuada descarga del biol, resultante de la descomposición de la materia orgánica, debe estar por debajo del nivel del digestor, ya que se aprovecha la diferencia de presión hidrostática para la salida del biol.

1.7.2.5 Sistema de purificación del biogás

El biogás es un conjunto de gases, entre ellos el metano que es el que nos interesa, pero también gases que no son necesarios para la combustión, además gases que son perjudiciales para los sistemas que se alimentan de biogás, entre los principales perjudiciales tenemos:

El sulfuro de hidrógeno, es el gas más perjudicial del biogás, sus perjuicios se deben porque al mezclarse con agua genera ácido sulfhídrico el cual corroe las piezas metálicas de los sistemas que usan biogás en su funcionamiento. Para ello se utilizan filtros capaces de retener este gas, se emplean elementos

metálicos en presentaciones finas, tal es el caso de la lana de acero, virutas de hierro, los cuales pueden ser colocados en tubos de 2 pulgadas y ubicadas en las cañerías de conducción del biogás, se debe hacer el análisis del contenido de sulfuro de hidrogeno en el biogás para calcular el tiempo útil del filtro.

El dióxido de carbono compone aproximadamente entre el 30 a 40% (Toala, 2013) del biogás producido y su eliminación puede aumentar el poder calórico del biogás y reducir costos de almacenamiento, para reducir este gas se deben implementar filtros con soluciones básicas a base de hidróxidos fuertes, por ejemplo hidróxido de sodio al 10% en una frasco de 1000ml (Bogota, Diaz, & Ramos, 2008) el cual se encargará de absorber el dióxido de carbono generado y también se debe calcular la concentración exacta del dióxido de carbono para tener en cuenta el tiempo de vida del filtro.

El biogás también puede contener vapores de agua que al condensar pueden formar pequeñas cantidades de agua los cuales pueden obstruir las cañerías de conducción del biogás por lo que su eliminación se hace necesaria para evitar estos problemas, la solución parte de instalar un recipiente en la parte más baja de la tubería de gas, este recipiente permite el drenado del agua y su posterior eliminación.

1.7.3 Origen del biogás

El biogás se genera a partir de compuestos orgánicos, estos compuestos deben de encontrarse en condiciones anaerobias, luego de que estos requisitos se cumplan, todo un consorcio de bacterias quienes toman los compuestos orgánicos para luego transformarlas en biogás, este proceso se desarrolla en el entorno natural tal es el caso de los fondos de los pantanos, donde la materia orgánica se descompone y genera metano, también se genera metano dentro del rumen de ganado vacuno.

El hombre al pasar los años ha ido descubriendo todos estos sistemas de producción de biogás en la naturaleza y ha imitado en sistemas artificiales, poco a poco ha ido perfeccionando sus sistemas siendo hoy en día muy comunes el uso de estos sistemas.

1.7.4 Componentes del biogás

El biogás está compuesto por una serie de gases entre los que se encuentra el metano, este gas es el que nos interesa del biogás, ya que puede ser empleado como sustituto de los combustibles fósiles.

1.7.4.1 Metano

Es un gas incoloro, inodoro, más ligero que el aire y altamente inflamable, puede ser explosivo a 4,4 -17Vol.% (Praxair, 2009), a altas concentraciones puede causar asfixia y bajas concentraciones narcosis, es un combustible muy limpio pero liberado al ambiente contribuye al efecto invernadero ya que tiene un potencial de calentamiento 21 veces la del dióxido de carbono,

por lo que aprovechar este gas a partir de residuos sólidos, es aprovechar la energía que libera su combustión y la reducción de gases de efecto invernadero, en el biogás compone aproximadamente más del 60%.

1.7.4.2 Dióxido de carbono

Es un gas incoloro e inodoro que forma parte de nuestra vida diaria porque es producto del metabolismo de todos los seres vivos de la tierra, su presencia en la atmosfera está vinculado al efecto invernadero, es usado por los organismos fotosintéticos como sustrato principal para elaborar energía química, el cual es aprovechado por la gran mayoría de organismo heterótrofos, su presencia en el biogás es en promedio del 40%, dentro del digestor es precursor del metano junto a hidrógeno, pero una vez en el biogás, no tiene función alguna.

1.7.4.3 Sulfuro de hidrógeno

Su solución acuosa es conocido como ácido sulfhídrico, es nocivo para la salud a una concentración 20 a 50ppm (EcuRED, 2018) puede causar malestares agudos hasta la muerte por sobreexposición, su origen en el biogás es la descomposición de proteínas sulfuradas por bacterias sulfatoreductoras (Cendales, 2011), la desulfuración del biogás es imperante para no tener problemas con sus propiedades corrosivas.

1.7.5 Formación del Metano

Los procesos que ocurren dentro de un biodigestor son las que siguen de acuerdo a (J. J., 1988)

1. Hidrolisis de biopolímeros
 - Hidrolisis de proteínas
 - Hidrolisis de carbohidratos
 - Hidrólisis de lípidos
2. Fermentación de aminoácidos y azúcares
3. Oxidación anaeróbica de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes
4. Oxidación anaeróbica de productos intermedios tales como ácidos grasos volátiles excepto acetato
5. Conversión de acetato a metano
6. Conversión de hidrógeno a metano

El autor antes mencionado indica que las bacterias en general no pueden asimilar material orgánico particulado, si antes estos no han sido reducidos a sus monómeros solubles (Aminoácidos, azúcares o ácidos grasos). También indica que estas hidrólisis se dan gracias a la presencia de enzimas celulolíticas, proteolíticas y lipolíticas.

Si nos basamos en reacciones que ocurren en grupos específicos de bacterias, el autor identifica nueve etapas:

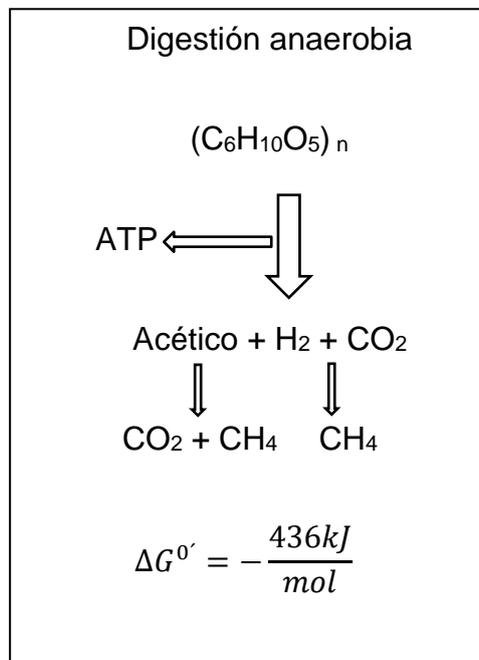
7. Hidrólisis de polímeros orgánicos a monómeros tales como azúcares, ácidos orgánicos y aminoácidos.
8. Conversión de monómeros orgánicos a hidrógeno, bicarbonato y ácido acético, propiónico y butírico, así como a otros productos orgánicos como etano y ácidos láctico.
9. Oxidación de productos orgánicos reducidos a hidrógeno, bicarbonato y acetato por bacterias acetogénicas productoras obligadas de hidrógeno.
10. Respiración acetogénica de bicarbonato por homoacetógenos
11. Oxidación de productos orgánicos reducidos a bicarbonato y acetato por bacterias nitrato-reductoras y sulfato-reductoras
12. Oxidación de acetato a bicarbonato por nitrato-reductoras y sulfato-reductoras
13. Oxidación de hidrógeno por sulfato-reductoras y nitrato-reductoras
14. Fermentación metanogénica acetoclástica
15. Respiración metanogénica de bicarbonato.

Tabla 3: Balance energético de la transferencia de hidrógeno interespecies.

	Reacción	ΔG^0 (kJ/mol)
1	$\text{Glucosa} + \frac{2}{3} \text{H}_2\text{O} \rightarrow \frac{2}{3} \text{Acetato} + \frac{2}{3} \text{Butirato} + \frac{4}{3} \text{H}^+ + \frac{8}{3} \text{H}_2 + 2\text{CO}_2$	247,2
2	$\text{Glucosa} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Acetato} + 2\text{H}^+ + 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2$	210,4
3	$\text{Glucosa} \rightarrow 2\text{Acetato} + 2\text{H}^+ + \text{CO}_2 + \text{CH}_4$	344,2
4	$\text{Glucosa} \rightarrow 3\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2$	418,1

5	Palmitato+14H ₂ O→8Acetato+7H ₂ ++14H ₂	405,4
6	Palmitato+7/2CO ₂ +7H ₂ O→8Acetato+7H ₂ ++7/2CH ₄	50,8
7	Palmitato+H ⁺ +7H ₂ O→23/2CH ₄ +9/2CO ₂	348,3
8	Butirato+2H ₂ O→2Acetato+H ⁺ +2H ₂	50,7
9	Butirato+1/2CO ₂ +H ₂ O→2Acetato+H ⁺ +1/2CH ₄	-14,7
10	Butirato+H ₂ ++H ₂ O→5/2CH ₄ +3/2CO ₂	-89,1
11	4H ₂ +CO ₂ →CH ₄ +2H ₂ O	-130,8
12	Acetato+H ₂ ++CH ₄ +CO ₂	-37,2

Fuente: Balance energético de la transferencia de hidrógeno.



(J. J., 1988)

Como se vio, el metano tiene una serie de sustratos de los que puede ser generado, a continuación, se detallan cada una de ellas:

1.7.5.1 Metanogénesis a partir de CO₂ y H₂

Este proceso genera el 30% del metano que se encuentra en el biogás, al ser el hidrógeno poco soluble se elevan las presiones

parciales dentro del biodigestor y puede llegar a inhibir el proceso de formación de metano, para ello se recomienda hacer que la disolución del hidrógeno sea lo máximo posible, al elevar esta disolución permitiremos consumir el dióxido de carbono, elevando la concentración de metano en el biogás y por ende mejorando la eficiencia (García, 2010).



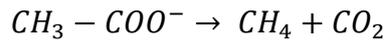
1.7.5.2 Metanogénesis a partir de grupos metilo

En ausencia de oxígeno el CH₃-OH es el que ocupa su lugar, al ceder los electrones, reduce el grupo metilo a metano.



1.7.5.3 Metanogénesis a partir de acetato

Aunque la mayor parte del metano que se genera en la naturaleza proviene del rompimiento del acetato, la habilidad de catabolizar este sustrato está limitada a los géneros: Methanosarcina y Methanosaeta (Methanotrix). Es frecuente encontrar en reactores anaerobios, una competencia por el acetato entre estos dos géneros, sin embargo, las bajas concentraciones de acetato que usualmente predominan al interior de los reactores favorecen el crecimiento de las Methanosaeta (Díaz-Báez, 2002).



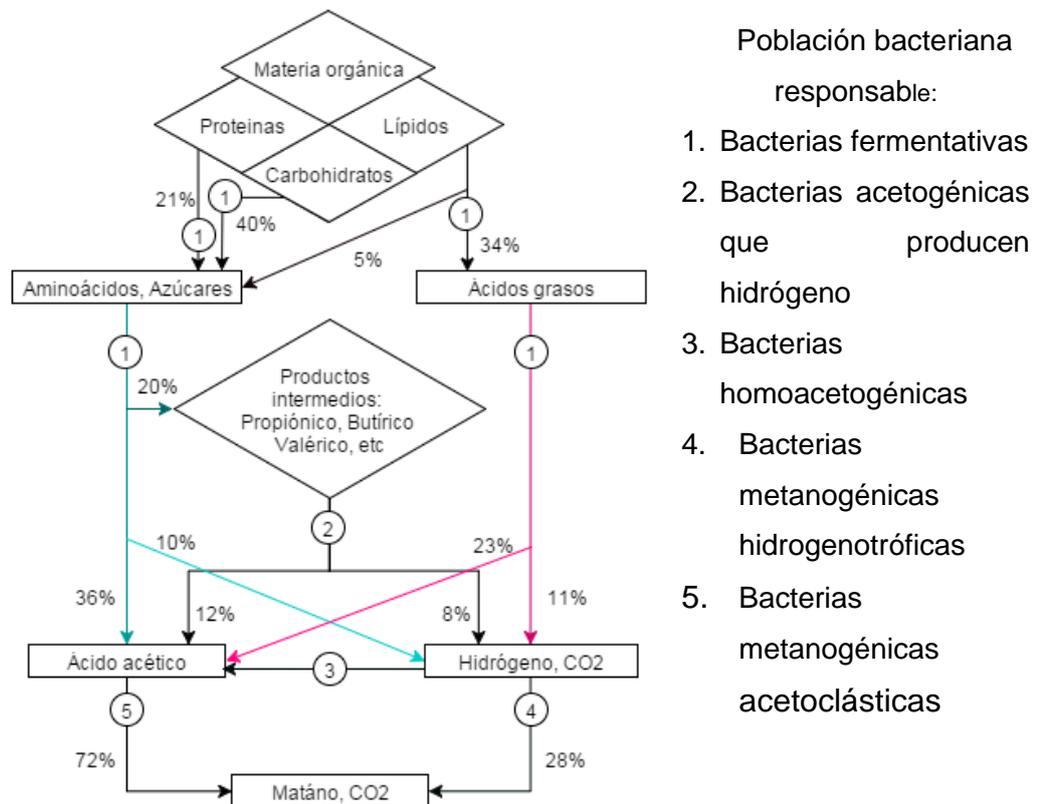
1.7.6 Proceso microbiológico

El proceso biológico implicado en la biodigestión es tan intrincado y participan tantas bacterias que hasta ahora es muy difícil describirlas con precisión. Todo ello debido a una infinidad de reacciones por etapas hasta llegar a formar metano, las cuales se dan gracias a la ayuda de una serie de enzimas que intervienen en la síntesis de moléculas intermedias. Las bacterias encargadas de estas reacciones también tienen un número aún por determinar, peor aún, las relaciones que se dan entre ellas son muy complejas.

El alimento que se interna en el biodigestor está compuesto de moléculas complejas tales como polisacáridos, proteínas, lípidos y lignina, los cuales a su vez están compuestas por sus monómeros, se puede identificar tres etapas hasta llegar a los productos finales los cuales son CH_4 y dióxido de carbono CO_2 . Los microorganismos encargados de estas reacciones logran llegar a estos compuestos gracias a las ayudas de enzimas. Los microorganismos oxidan los compuestos orgánicos para obtener energía y asimilan también moléculas para su multiplicación poblacional. Los productos que liberan los microorganismos de un grupo son el alimento de los siguientes, por lo que este equilibrio de moléculas se debe mantener para que el proceso se lleve a cabo de forma equilibrada y eficiente.

Para entender el funcionamiento de los biodigestores se estudian cuatro etapas bioquímicas que son: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, para más detalle ver figura 01 (Acosta & Cristina Obaya, 2005).

Figura 1: Representación esquemática de la descomposición del exceso de lodo activado por digestión anaeróbica.



Fuente: (Programa de capacitación de energía renovables ONUDI)

La Hidrolisis permite que ciertos grupos químicos reaccionen con el agua y se rompa la macromolécula en moléculas más pequeñas; este es el caso de los ésteres, amidas y carbonatos (Flores, Caballero, & Moreira, 2008). Cuando estos grupos se encuentran en la cadena principal, su hidrólisis provoca una reducción del tamaño molecular. Sin embargo, si

se disponen en cadenas laterales o ramificaciones, las consecuencias de estas reacciones no afectan a la longitud de la cadena principal, sino a otras propiedades como la solubilidad del compuesto.

La velocidad de degradación de los compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, es tan lenta que suele ser la etapa limitante del proceso de hidrólisis (Domínguez, 2003). La tasa de hidrólisis, en general, aumenta con la temperatura y depende, también, del tamaño de las partículas. Los pretratamientos físico-químicos, cuyo principal efecto es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento en la tasa de hidrólisis, y como esta fase es la limitante del proceso anaerobio, supone un beneficio para el proceso general, produciendo menores tiempos de retención y tamaños de reactor menores.

1.7.6.1 Bacterias Hidrolíticas

La primera etapa para empezar la formación del biogás es la hidrolización, en esta etapa el sustrato que se encuentra formada por macromoléculas insolubles en medio acuoso, debe ser descompuestas en sus monómeros; los cuales, si son solubles y pueden ser aprovechados en la siguiente etapa, se requiere que sean solubles porque de este modo al tratarse de macroorganismos unicelulares, estos solo pueden aprovechar aquellos compuestos que puedan ingresar a través de su pared celular. Las enzimas que se encargan de hidrolizar, son vertidas por las células hidrolíticas hacia el medio acuoso, donde rompen las macromoléculas (Salcedo, López, & Flórez, 2011).

Esta etapa suele ser considerada la limitante del proceso, lo que entender bien y controlar los parámetros que permiten acelerar esta etapa permitirá aumentar la velocidad global de formación de metano, especialmente en sustratos con un alto contenido de sólidos. Los parámetros que influyen en la hidrólisis son (Martí, 2006): temperatura del proceso, tiempo de retención hidráulica, composición del sustrato, tamaño de partículas, pH, concentración de NH_4^+ , concentración de productos de la hidrólisis (Sánchez, Artola, Barrena, & Dios, 2007).

Todos los tipos de materia orgánica usados como sustrato siempre estarán conformadas por tres tipos de macromoléculas, los carbohidratos, las proteínas y los lípidos, cada uno de estos al ser hidrolizados darán sus monómeros correspondientes.

Las macromoléculas de los Carbohidratos son los limitantes del proceso, la lignina, que es un polisacárido destinado a dar la firmeza que caracteriza a las estructuras leñosas de las plantas, otro polisacárido que se puede citar es la celulosa, hemicelulosa y muchas otras más, la hidrólisis de estos compuestos da como resultado la celobiosa, glucosa, pentosas hexosas etc.

Las Proteínas son otro de los componentes de los sustratos que alimentan a los biodigestores, la hidrólisis de las proteínas da como resultado aminoácidos y péptidos, con la ayuda de las proteasas, los productos generados de esta etapa son ácidos grasos volátiles.

Los lípidos gracias a las lipasas dan como resultados ácidos grasos y glicerol, se encuentran en mayor medida en materia orgánica de origen animal, en vegetales su contenido es menor.

1.7.6.2 Fermentativas:

Es la que sigue a la hidrolización, una vez que las moléculas están solubles, los monómeros de los carbohidratos (glucosa) se fermentan dando como resultado ácido butírico, ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno.

1.7.6.3 Bacterias Acetogénicas

En esta tercera etapa las moléculas conformadas por etanol y ácidos grasos volátiles (valeriano, butirato, propionato, etc.) tienen que ser aun degradados a moléculas aún más sencillas que son el acetato e hidrógeno con la ayuda de las bacterias acetogénicas. El principal inhibidor de esta etapa es la acumulación de hidrogeno molecular, por lo que es importante que estas moléculas sean consumidas para mantener baja la presión parcial de hidrógeno, las encargadas de mantener los niveles bajos de hidrogeno son las metanogénicas hidrogenotróficas, quienes consumen hidrógeno y forman metano.

1.7.6.4 Bacterias Metanogénicas

Es la etapa que forma el metano, a partir del acetato, hidrógeno molecular, dióxido de carbono, formiato, metanol. Estas moléculas son utilizadas por dos grupos de bacterias, los hidrogenotróficos

que consumen hidrogeno y dióxido de carbono, y los acetoclásticos que consumen acetato. Se sabe que el 70% de metano tiene origen del acetato y el 30% restante a partir del hidrógeno y dióxido de carbono (Martí, 2006).

1.7.7 Ventajas del uso de biogás

1.7.7.1 Combustible confiable:

Al ser un recurso energético que puede ser producto de la biomasa, y esta se encuentra disponible en casi todo lugar donde se pueda encontrar materia orgánica y teniéndose los sistemas adecuados para la producción de biogás, se puede aprovechar este recurso durante las 24 horas al día, se debe tomar en cuenta antes de la instalación la disponibilidad del sustrato y las condiciones climáticas.

1.7.7.2 Compatibilidad con el medio ambiente

Este recurso permite sustituir a las actuales energías fósiles, el dióxido de carbono generado de la combustión del biogás puede ser asimilado por los organismos fotosintéticos y hacer un ciclo cerrado, caso contrario lo que ocurre con los combustibles fósiles, quienes ya son incompatibles con el ambiente durante todos sus procesos de aprovechamiento. También permite reducir las emisiones de metano al ambiente, que se generan de las digestiones incontroladas.

1.7.7.3 Suministro de energía accesible

Al ser un recurso que se puede aprovechar sin el uso de tecnología altamente avanzada ni el uso de recursos muy costosos, su disponibilidad en los estratos sociales deprimidos, la hace sumamente accesible, bastara con tener una capacitación con los conocimientos básicos para su correcta instalación y funcionamiento para que estos sistemas se pongan en marcha y generen biogás, el cual una vez obtenido puede ser usado para generar calor, electricidad o ambos a la vez.

1.7.7.4 Fertilizante

Otro de los productos generados en los biodigestores es el biol, un fertilizante líquido que contiene todos los sólidos que no han podido ser degradados por las bacterias dentro del digestor, se compone principalmente de fitohormonas que promueven el desarrollo de plantas, estas fitohormonas son desechos del metabolismo de las bacterias anaeróbicas (Aparcana & Jansen, 2008). Este fertilizante puede ser esparcido en los campos reemplazando a los fertilizantes artificiales.

1.7.8 Factibilidad económica

Para ver la factibilidad económica que implica instalar una planta de biodigestión, se citaran varios casos exitosos de acuerdo a (Hernandez, 2014).

1.7.8.1 Industria cárnica

La empresa Grossfurter, recibe anualmente 550 000 cerdos y 50 000 vacunos al año, es el matadero más grande de Austria, la empresa se planteó resolver sus problemas de alto costo de energía, y los costos de disposición de residuos, para ello decidió instalar un sistema de biogás para el tratamiento de sus residuos y generación de energía.

Su sistema posee tres digestores de 600 m³ y dos de 1000 m³, un generador de electricidad de ciclo combinado de 525kW_{el} y 525kW_{ter}.

La planta produce 5000 m³ de biogás por día con un contenido de metano entre el 67 y 69% el cual cubre su demanda energética interna y hasta puede vender a la red eléctrica, su inversión inicial fue de 1.8 millones de euros.

1.7.8.2 Vitivinícola

La bodega Listel de Francia, produce 12 millones de botellas de vino al año, esta bodega está obligada a cumplir el requerimiento legal de tratamiento de sus residuos, para ello implemento un biodigestor de 50 m³ modelo Mthacore, el sustrato utilizado fueron los residuos de la elaboración de vinos, se producen 36 000 m³ de biogás al año y es utilizado en sus propias instalaciones.

1.7.8.3 Industria Láctea

La Abadía Tamié de Francia produce 400 kilogramos de queso al día, su problema parte de la disposición del suero lácteo al incrementar su costo de tratamiento, a lo que respondieron instalando un biodigestor de 43 m³, el sustrato alimentado consistía en 930 m³ de suero de queso (60 g/L DQO) y 4300 m³ de agua de lacado (2-3 g/L DQO), el sistema produce 125 m³ de biogás al día, el sistema provee de agua caliente a la abadía, el costo de la implementación fue de 255 000 Euros.

1.7.8.4 Procesamiento de verduras

La empresa Joluwa en Nivelles Bélgica se dedica a la producción de frutas y verduras, el cual posee una planta que procesa de 15 a 17 toneladas por día, en esta se instaló una biodigestor patentado HYFAD de 50 m³ en donde se produce el 75% del metano, luego pasa hacia otro tanque para la postdigestión donde se genera el restante 25%, el sustrato utilizado son hojas y raíces de la escarola, el cual ingresa al digestor en un promedio de 11 toneladas por día, se producen 24000 m³ de biogás al año, la energía obtenida es para autoconsumo y lo sobrante se vende a otra empresa, su inversión inicial fue de 1 000 000 euros

Como se verá los casos exitosos se van multiplicando cada vez más conforme se va buscando en la literatura, pero a modo de resumen se destacan los siguientes puntos que favorecen la factibilidad económica:

- Disminución del poder contaminante: Los sistemas de biogás disminuyen la DBO en porcentajes mayores al 90%
- El consumo de energía es mucho menos respecto a los tratamientos aerobios, ya que se evitan los gastos de energía por oxigenación.
- Al ser un sistema cerrado, los olores no son perceptibles
- La valorización de biogás puede resultar en ahorros energéticos significativos, e incluso se puede lograr vender electricidad, la inversión inicial puede ser muy elevada, pero sus beneficios económicos pueden ser atractivos.
- Reducción de agentes patógenos: La digestión anaerobia reduce de manera significativa los patógenos del efluente.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: Por un lado, se evita la liberación de gases (metano) que se da por la descomposición descontrolada del residuo y por otro lado la disminución de la energía fósil al ser el biogás un sustituto de estos.
- Generación de biofertilizante: El efluente a la salida del digestor se puede utilizar como biofertilizante, por lo que se debe tener un plan de manejo de este producto para que el beneficio del digestor sea mucho mayor de lo que ya es.
- Disponibilidad de espacio: las tecnologías avanzadas de digestores no requieren una gran superficie de terreno.

1.7.9 Métodos de generación de biogás

Existen variadas formas de generar biogás a partir de materia orgánica:

1.7.9.1 El biodigestor familiar de bajo costo

Son biodigestores que se instalan en países que tienen acceso limitado hacia fuentes de energía, la cantidad de gas que genera es lo suficiente como para realizar la preparación de alimentos y el alumbrado, dentro de los países que aprovechan este recurso están los países del sudeste asiático, donde se desarrollan ampliamente, en América latina, Brasil, Colombia y Cuba son los que tienen más instalaciones de este tipo. Este tipo de biodigestores está construido en mayor medida a base de mangas de polietileno, los cuales son baratos, accesibles, de fácil construcción y mantenimiento. Los factores que influyen en la construcción de estos sistemas son el acceso al agua, disponibilidad de sustrato y tecnología para su construcción.

1.7.9.2 Producción de Biogás mediante lodos de las depuradoras

Uno de los procesos es la hidrólisis térmica, es un proceso que permite hidrolizar el sustrato para que las siguientes etapas se lleven a cabo en el menor tiempo posibles y con una mayor eficiencia, puede ser aplicado en cualquier tipo de sustrato orgánico, consta de dos etapas, primero la materia orgánica se calienta a altas presiones luego de ser comprimido se descomprime de manera súbita, de esta manera se rompen estructuras de nivel celular, lo que supone acelerar el proceso de generación de biogás, la energía empleada en estos procesos

son energías residuales (calor), el sustrato obtenido es pasteurizado (Tech4plus, 2016).

También existe el tratamiento de lodos mediante ultrasonido, este pretratamiento consigue eficiencias significativas de generación de biogás, la sonicación con ultrasonidos permite reducir el tamaño de las partículas, también rompe las paredes celulares de las células que componen el sustrato, ello implica el vertimiento del contenido celular al medio acuoso y ello aumenta la solubilidad el sustrato, lo cual aumenta la cantidad de materia orgánica disponible para las bacterias encargadas de generar biogás (Rincón, Behling, Díaz, & Mata, 2006).

Los residuos orgánicos de las plantas biocombustibles pueden ser utilizados como sustrato para la generación de biogás, por lo que será necesario antes realizar un estudio de viabilidad y sostenibilidad para su instalación.

Los residuos sólidos urbanos son una buena fuente de sustrato, puede reducirse la generación de metano que se libera de manera descontrolada de la descomposición de los residuos, por lo que obtener biogás es ambientalmente amigable, también al obtener el biol, permite reducir el consumo de fertilizantes artificiales, existen experiencias donde a partir de los residuos sólidos urbanos pueden obtenerse suficiente biogás como para inyectar a la red (Cuesta, 2015).

Los rellenos sanitarios correctamente gestionados pueden ser aprovechados para captar biogás, actualmente se capta el biogás generado en estas instalaciones y se queman para que su liberación no contribuya con el cambio climático, para ello se deben impermeabilizar donde se instalen los rellenos sanitarios y se debe colocar una red de tuberías que capten estos gases.

1.7.10 Parámetros operacionales

1.7.10.1 Relación carbono/nitrógeno de las materias primas

La materia orgánica en general tiene potencial para generar biogás, pero siempre será necesario tener en cuenta los componentes que posee cada tipo de sustrato, porque la relación de ciertos nutrientes hará que la generación del biogás se lo más eficiente posible, El carbono y el nitrógeno son las principales moléculas que sirven a las bacterias para que sinteticen sus biomoléculas, si la relación es alta, la producción de biogás es alta, ya que las bacterias sintetizan sus biomoléculas, si la relación es baja, entonces el exceso de nitrógeno formará amonio el cual eleva el pH del sistema, esta elevación muestra efectos tóxicos para los microorganismos del digestor, la relación es adecuada si se encuentra en el rango de 20/1 a 30/1 de carbono a nitrógeno respectivamente (Unidad de Planeación Minero Energética, 2013).

1.7.10.2 Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles

Los sólidos totales son la parte sólida del sustrato, si el sustrato es muy espeso, las bacterias no podrán tener una movilidad adecuada dentro del digestor, por lo que la relación del agua respecto a los sólidos debe estar correctamente dosificado, esto dependerá del tipo de materia orgánica del que se dispone, los sólidos volátiles contenidos dentro de los sólidos totales, son los que teóricamente se biodegradan hasta formar biogás.

1.7.10.3 Temperatura

La temperatura está involucrada en el crecimiento celular, a medida que aumenta la temperatura los microorganismos se multiplican fácilmente y se incrementa la generación de biogás, por lo que mantener una temperatura elevada y constante influye positivamente en la formación de biogás. Los rangos de temperatura a la que pueden trabajar los digestores son:

- Psicrófilos (por debajo de 25°C)
- Mesófilos (entre 25 y 45°C)
- Termófilos (entre 45 y 65°C)

La variación de la temperatura no debe exceder los 0.6 – 1.2 °C /día por lo que mantener constante la temperatura, permitirá un buen desempeño del digestor.

Los gases están fuertemente influenciados por la

temperatura la hora de solubilizarse, cuando la temperatura aumenta la solubilidad disminuye, por lo que afecta positivamente NH_3 y HS_2 , moléculas que se liberan fácilmente del volumen líquido y disminuyen su toxicidad sobre el desarrollo del microorganismo. Pero también ocurre que, si la solubilidad de los gases disminuye, se libera también el dióxido de carbono diluido, lo que eleva el pH, caso contrario ocurre con las sales orgánicas, lo que aumenta la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos.

1.7.10.4 Tiempo de retención hidráulico

Es el tiempo en que los microorganismos transforman en su conjunto una determinada cantidad de sustrato en biogás, está influenciado por la temperatura, el contenido de sólidos, conocer este parámetro, permite determinar es el volumen de la parte líquida del digestor, el caudal de entrada del sustrato y el caudal de descarga del digestor.

1.7.10.5 Rangos de pH

El pH afecta directamente a la disponibilidad de nutrientes y por ende al desarrollo de los microorganismos, la bibliografía en general nos indica un funcionamiento ideal cercano a un pH neutro, pero se pueden tener variaciones de 6 a 8, el pH está muy influenciado por la composición del sustrato, la disminución del pH está relacionado a la excesiva acumulación de ácidos grasos volátiles, y a la excesiva acumulación de dióxido de

carbono, por lo que reducir la alimentación permitirá reducir estos componentes hasta llegar al equilibrio.

Al contrario, los que contribuyen a elevar el pH son las proteínas porque contiene grandes cantidades de nitrógeno, por lo que, si se trabaja con sustratos con un contenido alto en carbohidrato, se debe también dosificar compuestos que alcalinicen el sistema, el más barato es la cal, (hidróxido de calcio) pero no muy eficiente a la hora de disolverse, por lo que el bicarbonato de sodio es mucho más efectivo a la hora de controlar el pH.

1.7.10.6 Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis

Las sustancias tóxicas que inhiben la metanogénesis están esta representados por el amoniaco, metales pesados, sulfuros etc. Muchas de estas sustancias pueden ingresar en el sustrato por lo que estudiar el sustrato a utilizar es importante, para no tener resultados inesperados, identificado el contenido tóxico del sustrato, se pueden tomar las medidas necesarias para evitar el efecto de su toxicidad y llegar a un buen funcionamiento del sistema.

1.7.11 Acondicionamientos del sustrato

Para una degradación eficiente del sustrato se recomienda realizar los siguientes pasos a la hora de alimentar el digestor.

Molienda, es recomendable moler el sustrato que se desea utilizar para la digestión, ya que al disminuir el tamaño de los sólidos se está

aumentando el área de contacto con los microorganismos encargados de iniciar el proceso.

Homogenización, es una etapa muy importante para el proceso, aquí se obtiene una solución agua/materia orgánica homogénea, también se aconseja para digestores tipo flujo pistón, incluir en los componentes de la mezcla una cantidad determinada de biol, ya que de este modo se tomarán macroorganismos que iniciarán la digestión en menor tiempo.

1.7.12 Aprovechamiento del subproducto

Otro de los productos que se generan a la hora de instalar sistemas digestores es el biol, del total del sustrato, el 30% se convierte en biogás y el resto es descargado como biol, el biol es un fertilizante

Al estabilizar residuos orgánicos de origen animal y generar biol, este fertilizante, fácilmente puede reemplazar a los fertilizantes artificiales utilizados por los agricultores, por lo que estudiar y dar a conocer los beneficios del biol acrecentara la instalaciones de biofigestores, los cultivos que responden más al biol y al compostaje de biol son los vegetales, los tubérculos, los árboles frutales, el maíz y el arroz (Warnars & Oppenoorth, 2014).

Una de las presentaciones del biol es su forma líquida, en esta forma el biol conserva todas sus propiedades y puede ser aplicado como un fumigante sobre los cultivos, para su aplicación debe ser diluido en

proporciones de acuerdo al cultivo, la alta concentración de amoníaco y fósforo puede intoxicar por exceso a los cultivos.

Otra forma de presentación del biol es su forma seca, para ello se deshidrata el biol obtenido del digestor, ello para que sea más manejable durante su transporte, pero el biol seco pierde parte de su nitrógeno, el biol contiene 1,4 y 1,8% de N, entre 1,0 y 2,0% de P_2O_5 , entre 0,8 y 1,2% de K_2O y entre 25 y 40% de carbón orgánico (Warnars & Oppenoorth, 2014). Pero en el biol seco disminuyen estas proporciones.

1.7.13 Fuentes de obtención de biomasa

Los informes de cuantificación de las fuentes de biomasa con un potencial de producción de biogás, se detallan a continuación según (Alfonso, Brines, & Peñalvo, 2010):

- Ganaderos:
 - Purín de cerdo
 - Estiércol de vaca
 - Gallinaza
 - Residuos de otras especies

- Alimentos de origen animal:
 - Subproductos cárnicos
 - Subproductos lácteos

- Subproductos de pescados
- Alimentos de origen vegetal
 - Subproductos hortofrutícolas excedentes
 - Subproductos hortofrutícolas no conformes
 - Subproductos de transformación de productos hortofrutícolas
- Lodos de aguas residuales
- Cultivos energéticos
- Subproductos de industrias bioenergéticas
 - Glicerina
 - Bioetanol

1.7.14 Acondicionamientos del biogás

El biogás es una mezcla de gases que dependiendo del destino que tenga el gas, se deberán tener que cumplir ciertos requisitos, unos más exigentes que otros, si se desea emplear el gas para el funcionamiento de los motores, aumentar el poder calórico será el requisito a cumplir, también hay componentes dentro del gas que corroen las partes metálicas, tal es el caso del ácido sulfhídrico, este componente es altamente corrosivo y corrosivo.

Las tecnologías son muy específicas y cada vez más especializadas para eliminar las impurezas del biogás, desde el uso de microorganismos, pasando por procedimientos fisicoquímicos.

Para la Absorción con compuestos de hierro se utilizan limaduras, mallas o virutas de hierro las cuales se pueden colocar en columnas de purificación, las virutas pueden estar mezcladas con otro material absorbente de agua para que el sulfuro de hidrógeno sea retenido con mayor eficiencia.

1.7.15 Usos del biogás

Existen diversas opciones para la utilización del biogás. Dentro de éstas destacan la producción de calor o vapor, generación de electricidad y combustible de vehículos.

1.7.15.1 Producción de calor o vapor

En lugares donde los combustibles son escasos, el biogás se puede usar para cocinar, calentar agua, incluso puede ser utilizado para alumbrado, la cocina se puede adaptar para el uso de biogás, para ello se hace la corrección de los mezcladores aire/combustible, para que la combustión sea completa, la presión del biogás debe estar entre los 8 a 25mbar para un flujo continuo.

1.7.15.2 Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad

Otra aplicación del biogás es la generación de electricidad o para calentar agua y utilizar esta en los procesos donde se hace necesario el calentamiento del agua, en sistemas combinados, se utiliza el combustible para generar electricidad y el calor residual generado. El uso de estos sistemas combinados eleva

la eficiencia del aprovechamiento del biogás. El uso de biogás en estos sistemas requiere la remoción de H₂S y vapor de agua debajo de los 100 ppm.

1.7.15.3 Combustible para vehículos:

También se puede utilizar biogás para impulsar vehículos automotores, para ello se debe llegar a una alta pureza del biogás, eliminando los gases indeseados hasta cumplir los niveles requeridos por los motores de combustión interna. Pero su uso por ahora está muy limitado, ya que no se pueden comparar los precios de producción del gas natural con los del biogás (Varnero, 2011).

1.7.16 Tipos de biodigestor

Hay muchos tipos de plantas de biogás, pero los más comunes son el dosel flotante (indio) y el domo fijo (chino). La aceptabilidad pobre de muchos de estos biodigestores ha sido principalmente debida a los costos altos, la dificultad de instalación y problemas de accesibilidad a las partes y repuestos.

1.7.16.1 Pozos sépticos:

La materia orgánica contenida en las aguas residuales también puede ser transformada en biogás, para ello se diseñan pozos sépticos que permitan separar adecuadamente las grasas, la materia orgánica contenida se convierte en biogás, sulfuro de hidrógeno dióxido de carbono, el lodo que es difícil

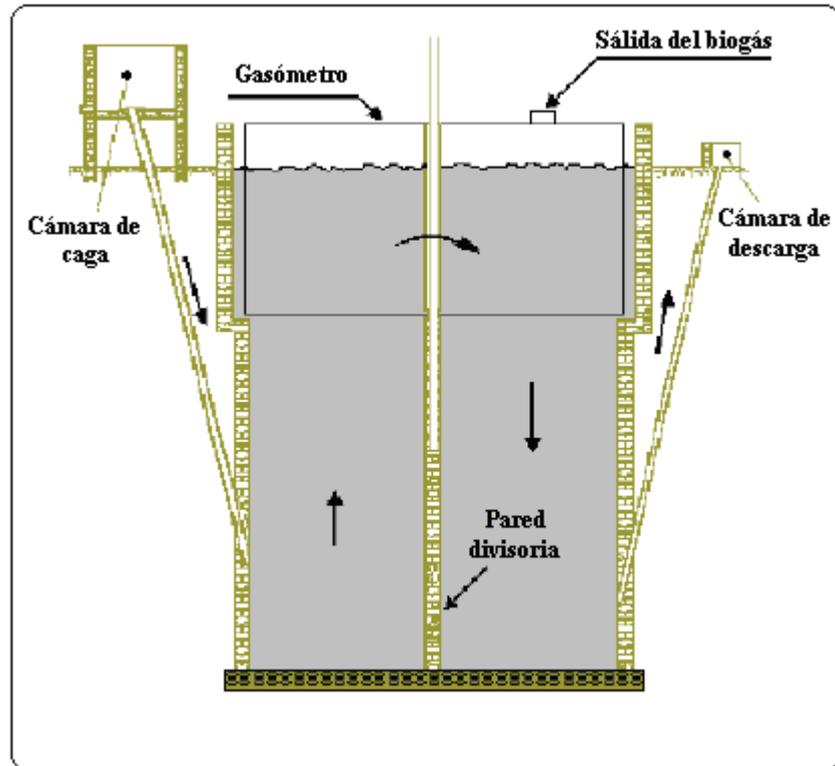
descomponer se acumula en las capas más internas y el agua puede ser liberada en zanjas de infiltración. Se debe tener especial cuidado con los detergentes y jabones, ya que estos compuestos inhiben el trabajo de los microorganismos, lo que conlleva a la disminución de la vida útil del pozo y a operaciones de mantenimiento prematuras.

Cuando las aguas grises se mezclan con las aguas residuales, es necesario hacer pretratamientos para eliminar todo rastro de estas moléculas para recién pensar en generar metano a partir de aguas residuales.

1.7.16.2 Biodigestor del domo flotante (hindú):

Consiste en una campana móvil que asciende conforme se va cargando con biogás, al principio se utilizaba acero, pero por problemas de corrosión se cambió al uso de fibra de vidrio, el digestor es un tanque cilíndrico hecho de ladrillo, donde se carga el sustrato de manera semi-continua, su diseño permite tener una presión continua sobre el biogás, el cual sale para su uso por acción del peso de la campana.

Figura 2: Biodigestor modelo hindú

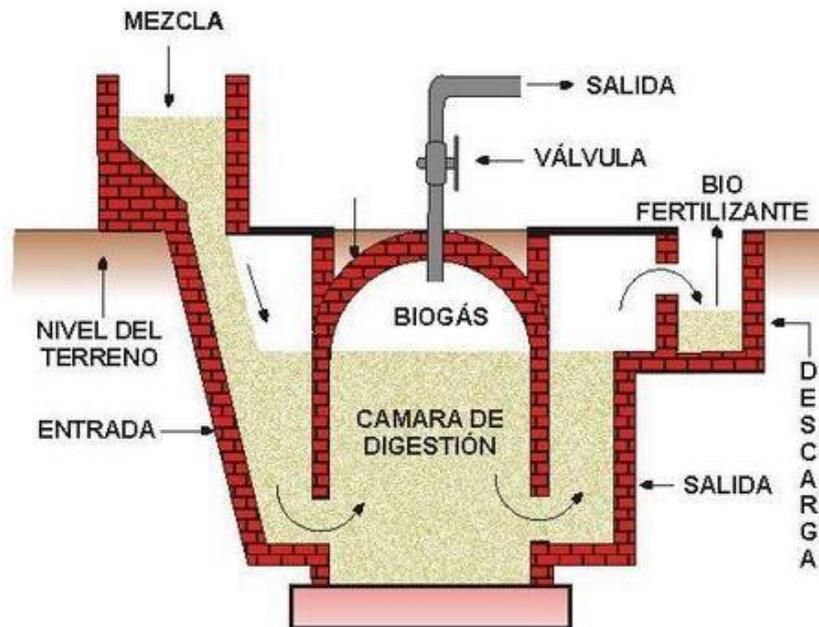


Fuente: (Aguas, 2009)

1.7.16.3 Biodigestor de domo fijo (chino):

Este digestor está construido íntegramente por ladrillos, toda su estructura es rígida, en su interior se lleva a cabo las reacciones de digestión, tiene un techo esférico, para resistir las presiones que se generan en su interior, el gas guardado bajo este techo fluye de manera segura y continua hacia su lugar de uso, es un biodigestor muy robusto y tiene una vida útil muy elevada, su uso es muy extenso en China pero no tanto así fuera de ella, se deben emplear materiales de alta calidad para asegurar su larga durabilidad, son relativamente costosos implementarlos.

Figura 3: Biodigestor modelo chino

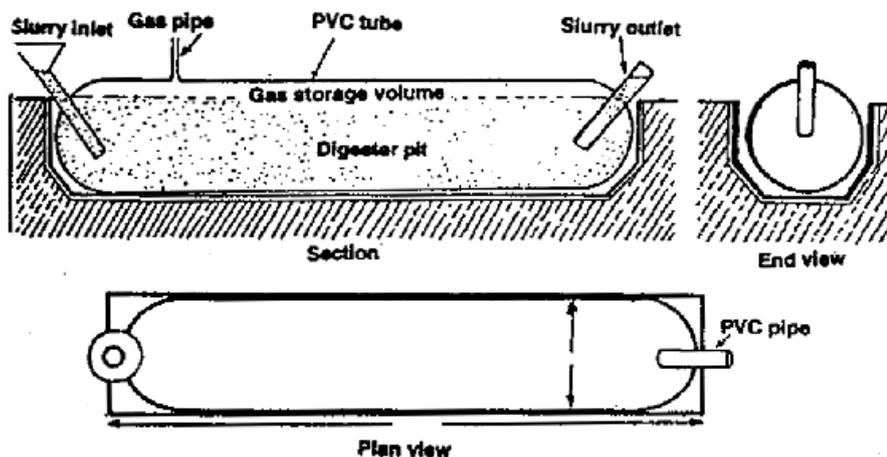


Fuente: (Urzúa, 2012)

1.7.16.4 Biodigestor de estructura flexible:

Este tipo de biodigestores es el más utilizado en países económicamente deprimidos, la accesibilidad a los materiales, sus costos de implementación y operación permiten que sean implementados con relativa facilidad, los materiales que se emplean son las mangas de polietileno y las tuberías de PVC, tienen un tiempo de vida corto pero lo compensan con sus costos de implementación, en este tipo de biodigestores, el gas acumulado se va cargando en el mismo digestor, inflando cada vez más la manga, hasta tener la forma de una salchicha, es sumamente útil para instalaciones pequeñas donde las demandas energéticas son empleadas para cubrir las necesidades de cocina y alumbrado.

Figura 4: Diagrama de un biodigestor tubular de plástico.



Fuente: (Dki4, 2012)

Para concluir, se menciona en el estudio técnico realizado por (Andrés, Begoña, Paz, Xavier, & Belén, 2011) que la eficiencia de los biodigestores clásicos están el orden del 5 al 30%; por otra parte (Bonifaz & Morales, 2012) obtienen biogás de los desechos provenientes de ganado vacuno con una concentración de 60% de metano; (Perez & Tinedo, 2005) mencionan en su investigación que la eficiencia de generación de biogás es cercano al 30%, siendo esta eficiencia dependiente del sustrato y del tiempo de retención, ya que la degradación lenta de la materia orgánica da una lenta producción de biogás, como resultado una baja eficiencia, y como la velocidad de reacción (biodegradación) está en razón directa a la temperatura, acondicionar este parámetros a las condiciones ideales, incrementara significativamente la eficiencia, además

sumando a esto el nuevo diseño que se pretende emplear para que las reacciones se den en orden, respetando el tiempo de retención de cada desecho ingresado al digestor, se espera lograr una eficiencia mayor al 30% logrado hasta ahora por los digestores clásicos.

1.8 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Anaerobio: Un proceso bioquímico o condición ambiental que sucede en ausencia de oxígeno.

Bacterias anaerobias: Microorganismos que proliferan en ausencia de oxígeno.

Biol: Materia orgánica residual de la producción de biogás.

Biodigestor: deposito cerrado donde se digiere la materia orgánica para producir biogás y biol.

Biogás: gas combustible compuesto principalmente por metano.

Biomasa: Material orgánico complejo proveniente de seres vivos.

Celulosa: Polímero biológico formado por moléculas de glucosa.

CO₂: Dióxido de carbono.

DQO: Demanda química de oxígeno, cantidad de sustancia oxidante, generalmente permanganato o dicromato potásico, requerida para oxidar la

materia orgánica e inorgánica presente en aguas; se expresa en miligramos de O₂ consumidos por cada litro de agua.

Gases de Invernadero: Cualquiera de los contaminantes atmosféricos gaseosos que impiden la emisión de algunas radiaciones a partir de la tierra. El principal es el bióxido de carbono.

Gasómetro: Contenedor hermético donde se va almacenando biogás.

Hidrólisis: Una molécula orgánica y el agua reaccionan rompiendo un enlace covalente para formar dos moléculas orgánicas con grupos funcionales que incluyen los átomos de la molécula de agua

Manómetro: Dispositivo para medir la presión del biogás dentro del biodigestor

pH: Indica la acidez de una sustancia

PVC: Es la denominación por la cual se conoce al plástico de Policloro de vinilo

Sólidos volátiles: La porción de la materia orgánica que puede eliminarse o volatilizarse a 550°C

TRH: tiempo de retención hidráulica

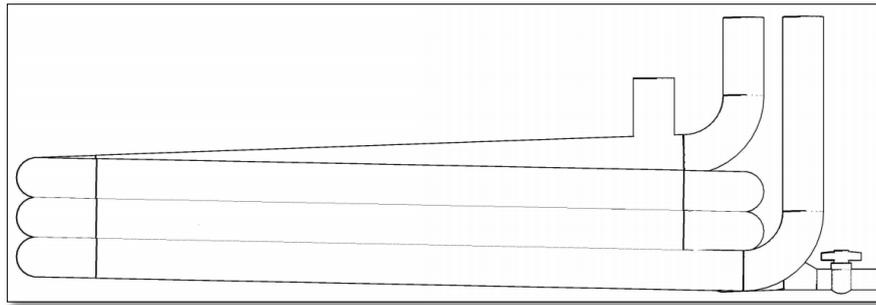
CAPITULO III:

DESARROLLO DEL OBJETIVO DE TRABAJO DE SUFICIENCIA

1.9 DISEÑO DEL REACTOR ANAEROBIO

La cámara de digestión anaerobia generalmente constituido por un volumen con geometría semejante a un cilindro, fue rediseñado empleando tubos de PVC de 4 pulgadas de diámetro, la condición es diseñar el volumen de la cámara de digestión haciendo uso de materiales fáciles de adquirir, para una mejor idea del armado de los tubos.

Figura 5: Acondicionamiento del biodigestor.



Fuente: Elaboración propia.

Uno de los problemas que se presenta en este diseño es que cuando se haga el llenado de la materia orgánica, la sección circular de los tubos que conforman la cámara de digestión estará completamente llena, sin un espacio gaseoso necesario para que ocurran los procesos de formación del metano, para ello se emplearan segmentos circulares para formar espacios gaseosos en los tubos, este volumen representó el 11% del volumen total del biodigestor, para una mejor idea del segmento circular en cada tubo.

Figura 6: Detalle del segmento circular.



Fuente: Elaboración propia.

Otro de los problemas que se puede presentar en este nuevo diseño es el atascamiento por sedimentación, para ello el diseño tiene una pendiente del 2% para una auto limpieza durante el periodo de mantenimiento.

Figura 7: Pendiente de cada sección del serpentín.



Fuente: Elaboración propia.

1.10 PRETRATAMIENTO

Se realizó un pretratamiento mecánico, el cual consistió en tomar el residuo orgánico generado en dos días para posteriormente triturarlo en un molino manual, esto permitió reducir el tamaño de partícula, para la adecuada alimentación del biodigestor.

Figura 8: Acondicionamiento del residuo orgánico con molino manual.



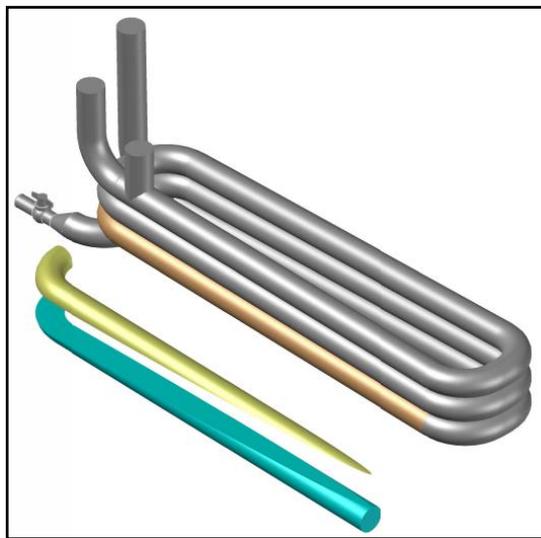
Fuente: Elaboración propia.

1.11 REACCIÓN ANAEROBIA

Las reacciones anaerobias se dieron dentro de una espiral de tubos para alcantarillado de 4 pulgadas (ver figura 09), dispuestos de manera helicoidal con una capacidad de 101.676L, la parte externa del conjunto fue recubierto con láminas de poliestireno expandido de una pulgada de espesor (ver figura 010),

con el fin de aislar térmicamente al biodigestor del ambiente, el estudio permitió determinar la temperatura alcanzada en este nuevo tipo de biodigestor (Ver figura 11).

Figura 9: Vista detallada del espacio gaseoso y líquido.



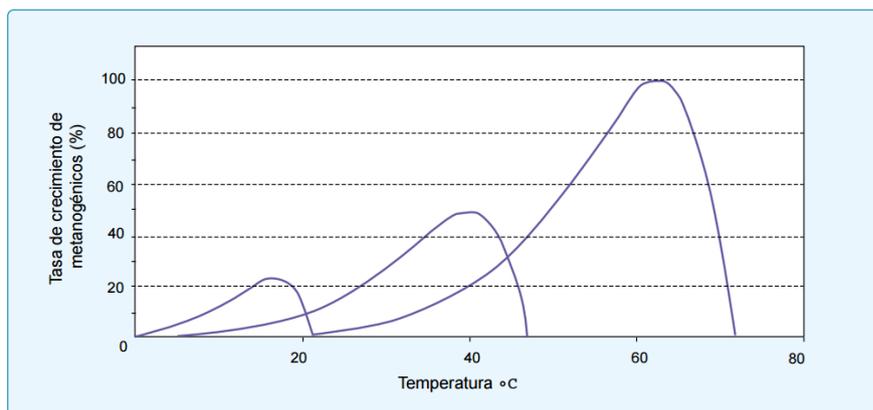
Fuente: Elaboración propia.

Figura 10: Aislamiento del biodigestor con poliestireno expandido.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11: Tasa de crecimiento relativo de microorganismos



Fuente: (Varnero, 2011)

El sustrato estuvo constituido por toda la materia orgánica generada en una vivienda, con excepción de excretas humana y de animales domésticos, su alimentación se dio forma interdiaria.

La relación agua/residuo orgánico debe ser el adecuado, si es muy espeso, las bacterias no pueden digerir eficientemente la materia orgánica, y si es muy diluido la producción de biogás es pequeña.

Para hacer la relación residuo orgánico/agua se tomó en cuenta los estudios realizados por (Arboleda & Gonzales, 2009) que dice: “cuando el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere más agua, en una razón de 1:3 o 1:4, por lo que se tomara la razón de 1:3 para alimentar al biodigestor, como la capacidad líquida del biodigestor es de 90 litros, el contenido de agua es de aproximadamente 67.5 litros, y el volumen restante es residuo orgánico molido.

Para la primera carga se tomó precompost facilitado por el vivero de la universidad (ver figura 12), las proporciones de sus constituyentes están de acuerdo a (Alfredo & Javier, 2004) quienes sugieren la siguiente relación para la primera carga de un biodigestor de 10m³:

- Precompost → 800 L o Kg (si no se tiene la densidad)
- Rumen → 1000Kg
- Agua con cal al 2% → 400L
- Agua → Completar agua hasta completar los 10m³

En este caso y haciendo una regla de tres se hallaron las siguientes proporciones:

- Volumen Líquido → 90L
- Precompost → 7,2Kg
- Rumen → 9Kg
- Agua con cal al 2% → 3,6L
- Agua → Completar hasta los 90L

Figura 12: Selección y molienda de precompost.



Fuente: Elaboración propia.

Los autores también sugieren que las proporciones brindadas tienen que estar completamente homogenizadas, por lo que este paso es muy importante, de ello dependerá el primer arranque exitoso del biodigestor, por lo que se optó realizar el siguiente procedimiento con la ayuda de un balde de 20L.

- Repetir el siguiente procedimiento por cuadruplicado.
 - Precompost → 1,6Kg
 - Rumen → 2Kg
 - Agua con cal al 2% → 0,8L
 - Agua → Completar hasta llenar el balde

- Hasta ahora se tiene 80 litros de mezcla homogénea, para completar los 10L restantes se mezclan las siguientes proporciones.
 - Precompost → 0.8Kg
 - Rumen → 1Kg
 - Agua con cal al 2% → 0,4L
 - Agua → Completar hasta la mitad del balde

En cada mezclado que se vaya realizando, se debe ir llenando el biodigestor, la mezcla debe ser sumamente homogénea, sin materiales que generen atoro, ver.

Figura 13: Primera carga del biodigestor.



Fuente: Elaboración propia.

1.12 ACUMULADOR DE BIOGÁS

Se utilizó una cámara de tractor, el cual probó ser lo suficientemente hermético para que pueda acumular el biogás, el volumen necesario se calculó

a partir de la tabla 04. La densidad del residuo orgánico es 291Kg/m³ (Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2010)

Tabla 4: Biogás producido en función de los sólidos volátiles.

Material	proporción	m ³ CH ₄ /Kg de materia (a)	CH ₄ %
Basura de cocina	100 %	0.210	61.9

Fuente: (Arboleda & Gonzales, 2009)

$$V = a(masa)(e) \rightarrow V = \left(0.211 \frac{m^3 CH_4}{Kg}\right) (16.2Kg)(0.619)$$

$$= 2.11m^3 CH_4$$

Tabla 5: Rango de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.

Alimentación	Mínimo (°C)	Optimo (°C)	Máximo (°C)	Tiempo días
Psycrophilica	4 - 10	15 - 18	20- 25	100
Mesophilica	15 - 20	25 - 35	35 - 45	30 - 60
Thermophilica	5 - 45	50 - 60	75 - 80	10 - 15

Fuente: (Varnero, 2011)

$$V_d = \frac{V}{dias} \rightarrow V_d = \frac{2,11m^3}{30d} = 0.07 \frac{m^3}{d}$$

Por lo tanto, el volumen del acumulador de biogás será de 0.07 m³.

1.13 DIGESTATO

El digestato (biol) se acumuló de manera temporal en un garrafón para que sea utilizado en la fertilización de las plantas que se siembran en el vivero, su volumen es igual a la cantidad de sustrato con que se alimenta al biodigestor.

1.14 MEDICIÓN DE PARÁMETROS

Los parámetros generales obtenidos se muestran en la siguiente tabla, estos parámetros fueron medidos en campo con un multiparámetro.

Parámetro	Valor	
	Carga	Descarga
pH	4,92	6,85
T °C	25,9	26
OD mg/L	0,12	0,18
Conductividad mS/cm	6,54	6.86

Figura 14: medición de parámetros.



Fuente: elaboración propia

1.14.1 Generación de biogás:

En primer lugar, se realizó una prueba de combustión, para ver si el biodigestor generaba gas combustible, dicha prueba se realizó a los 20 días de ser instalada, las pruebas resultaron exitosas, ya que el gas generado resulto ser combustible.

Figura 15: Prueba de combustión del gas a los 20 días de instalación.



Fuente: elaboración propia.

Para medir el flujo volumétrico, se midió el tiempo de inflado de las cámaras, las mediciones se resumen en el siguiente cuadro:

Fecha inicio	Fecha llenada	Volumen L	Tiempo d	Presión bar	Temperatura °C	Caudal L/d
18/01/18	22/01/18	67	4	1,024	26.36	16,75
26/01/18	19/02/18	364	23	1,024	26.36	15,82
19/02/18	02/03/18	67	11	1,024	26,36	6

Las mediciones demostraron en inicio un flujo promedio de 16,285 L/d pero al término de las mediciones, el flujo se redujo a 6 L/d.

El volumen total obtenido al término de las mediciones fue de 498 L aproximadamente a una presión de 11cmH₂O y una temperatura de 26,36°C.

Figura 16: Biogás contenido en cámaras.



Fuente: Elaboración propia.

1.14.2 Área instalada:

Con ayuda de un fluxómetro se realiza la determinación del área empleada en la instalación, área de la superficie líquida del biodigestor, y se hace una relación con el volumen que ocupa, para comparar con otros modelos tradicionales dicha relación.

Tabla 6: Relación entre la superficie de sección líquida y área de instalación

Tipo de biodigestor	Área de instalación m²	Superficie sección líquida m²	Relación
Serpentín	0,51	0,72	1,4*
Hindú	3,8	3,14	0,83
Chino	9	2,26	0,25

*Puede aumentar conforme se agreguen más niveles de serpentín

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en un área relativamente pequeña puede implementarse el biodigestor propuesto, lo que implica que puede instalarse en interiores, en áreas disponibles ya sea en azoteas, patios o jardines, o áreas disponibles con un ancho de 40 cm y un largo de 150cm.

1.14.3 Superficie de la sección líquida

Tabla 7: Relación entre la sección de la superficie líquida y la altura líquida.

Tipo de biodigestor	Superficie sección líquida m²	Altura líquida m	Relación
Serpentín	0,72	0,092	7,82
Hindú	3,14	2,6	1,2
Chino	2,26	2.89	0,78

Fuente: Elaboración propia

Se realiza la medición del volumen utilizando agua, para ello se llena la sección gaseosa con agua y posteriormente se halla el volumen del agua empleada para llenar dicho espacio, y se tiene el volumen de cabeza, este volumen se relaciona con la altura del volumen líquido y se realiza una comparación con los diseños tradicionales.

Se puede observar que en el digestor propuesto la superficie de contacto entre la sección líquida con la sección gaseosa y la altura de la sección líquida es mucho mayor con respecto a biodigestores tradicionales, esta mayor superficie permite una mayor transferencia de componentes gaseoso entre la sección gaseosa y líquida.

CONCLUSIONES

- El diseño logro generar biogás a los 20 días, lo que a comparación de los modelos tradicionales es una ventaja, ya que la bibliografía normalmente menciona que recién a los 30 días se logra la generación de gas combustible.
- El área ocupada por el nuevo diseño es mínima a comparación de su superficie líquida, al tratarse de un reactor de flujo pistón, las reacciones microbiológicas se desarrollan con mayor eficiencia, ya que el hidrogeno disponible y el dióxido de carbono, se encuentran en mayor proporción en la fase líquida y estas moléculas son las que generan el 30% del metano.
- La superficie líquida en relación a la altura en relación es muy grande respecto a los modelos tradicionales, lo que implica una mayor disolución de los gases que intervienen en la formación del metano.

RECOMENDACIONES

- Para una buena comparación con otros modelos, se debe partir dimensionando el volumen total, el cual debe ser proporcional al modelo tradicional, ello supondrá una comparación más significativa entre los modelos para que las comparaciones sean más.
- Se debe tomar en cuenta que los tubos de la primera capa contigua al suelo, tienen una resistencia limitada al número de capas que pueden soportar, por lo que determinar esta resistencia, evitara el sobredimensionamiento que puede traer problemas de rajaduras o fracturas de esta primera capa.
- La altura no depende del número de capas que pueda contener el biodigestor, siempre tendrá una altura máxima aproximada de 9 centímetros, para tubos de 4 pulgadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, Y., & Cristina Obaya, M. (2005). La digestión anaerobia, Aspectos teóricos. Parte I. Ciudad de la Habana, Cuba.
2. ad3energy. (4 de Junio de 2012). *Energía Biogas*. Obtenido de [energiabiogas.wordpress: https://energiabiogas.wordpress.com/](https://energiabiogas.wordpress.com/)
3. Aguas, J. (11 de Setiembre de 2009). *Biodigestores e insecticidas*. Obtenido de <http://proyecto502.blogspot.pe/>
4. Alfonso, D., Brines, N., & Peñalvo, E. (9 de Junio de 2010). Cuantificación de materias primas para producción de biogás. España.
5. Alfredo, O., & Javier, V. (2004). *Curso Taller: Biodigestor y su aplicación al desarrollo*. Lima.
6. Andrés, P., Begoña, R., Paz, G., Xavier, F., & Belén, F. (2011). Situación y potencial de generación de biogás. Estudio Técnico PER 2011-2020. Madrid, España.
7. Aparcana, S., & Jansen, A. (18 de Diciembre de 2008). Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso "Fermentación Anaeróbica" para producción de Biogás. Wilhelmshaven, Alemania.
8. Arboleda, Y., & Gonzales, L. (2009). Fundamentos para el diseño de biodigestores. Palmira, Colombia.

9. Arce, J. (Agosto de 2011). Diseño de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable a las zonas agrarias del litoral. Guayaquil, Ecuador.
10. Bogota, J., Diaz, S., & Ramos, P. (2008). Montaje y puesta en marcha de dos Biodigestores anaeróbios con residuos orgánicos generados en la central de mercado "Plaza Kennedy" en Bogotá. Bogota, Colombia.
11. Bolívar, H., & Ramírez, E. (12 de Junio de 2012). Propuesta para el diseño de un Biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada en los frigoríficos de Bogotá. Bogotá, Colombia.
12. Bonifaz, C., & Morales, H. (Marzo de 2012). Diseño de un biodigestor tipo cúpula fija para generación de biogás a partir de desechos orgánicos. Quito, Ecuador.
13. Cendales, E. (2011). Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable . Bogotá, Colombia.
14. Chamy, R., & Vivanco, E. (Septiembre de 2007). Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás. Santiago, Federico Froebel 1776, Providencia, Chile.
15. Cuesta, J. (Setiembre de 2015). Obtención de biogás a partir de residuos sólidos urbanos para su inyección a Red. Madrid, España.
16. Dki4, D. (30 de Noviembre de 2012). *Agropedia*. Obtenido de [http://www.appropedia.org/User:Dki4:](http://www.appropedia.org/User:Dki4)
<http://www.appropedia.org/File:TubularPlasticBiodigester.gif>

17. Domínguez, J. (2003). Efecto de los productos de degradación originados en la explosión por vapor de biomasa de chopo sobre *Kluyveromyces marxianus*. Madrid.
18. EcuRED. (23 de Febrero de 2018). *Ecured conocimiento para todos*. Obtenido de www.ecured.cu: https://www.ecured.cu/Sulfuro_de_Hidr%C3%B3geno
19. Flores, J., Caballero, C., & Moreira, M. (2008). Una interpretación aproximada del concepto de hidrólisis en estructuras peptídicas en un curso de bioquímica del IPC en el contexto de teorías de campos conceptuales de Vergnaud.
20. Flotats, X., Bonmatí, A., Fernandez, B., & Sales, D. (2016). *De residuo a recurso El camino a la sostenibilidad - II Procesos de la biotransformación de la materia orgánica*. Madrid: Mundi-Prensa.
21. García, B. (5 de Septiembre de 2010). Producción biológica de metano partir de H₂ y CO₂. Valladolid, España.
22. Gestión Integral de Residuos Sólidos. (24 de Febrero de 2010). Obtenido de Propiedades Físicas y Químicas de los Residuos Sólidos: http://gestionintegralresiduos.blogspot.pe/2010_02_01_archive.html
23. Hernandez, F. (2014). *Biogás: 10 casos de éxito en el sector industrial*.
24. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (Diciembre de 2015). Anuario de Estadísticas Ambientales 2015. Lima, Lima, Perú.

25. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (Diciembre de 2016). Anuario de estadísticas ambientales 2016. Lima, Lima, Perú. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/>
26. J. J., B. (1988). *La digestión anaerobia*. Murcia: Universidad de Murcia.
27. Martí, N. (2006). *Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process* . Florida: Dissertation.com.
28. Monar, U., & Martínez, E. (2011). Diseño de un biodigestor para un finca del recinto San Luis de las Mercedes del Cantón las Naves de la provincia de Bolívar . Guayaquil , Ecuador.
29. Municipalidad Distrital de Ate. (Julio de 2011). Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios del Distrito de Ate. Lima, Lima, Perú.
30. Municipalidad Distrital de Breña. (2016). Estudio de Caracterización de Residuos sólidos Municipales. Breña, Lima, Perú.
31. Municipalidad Distrital de Comas. (Junio de 2014). Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios del distrito de Comas. Lima, Lima, Perú.
32. Municipalidad Distrital de San Bartolo . (Marzo de 2013). Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos del Distrito de San Bartolo. San Bartolo, Lima, Perú.
33. Perez, J. (Marzo de 2010). Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. Santiago, Chile.
34. Perez, J., & Tinedo, M. (2005). Diseño de un biodigestor para una granja autosustentable. Caracas, Colombia.

35. Praxair. (Mayo de 2009). Obtenido de www.praxair.com.mx:
<http://www.praxair.com.mx/-/media/documents/safety-data-sheets/metano-hds-p4618f-2009.pdf>
36. Programa de capacitación de energía renovables ONUDI. (s.f.). El Biogás.
37. Rincón, N., Behling, E., Díaz, A., & Mata, J. (13 de Setiembre de 2006).
Utilización de ultrasonido como técnica de pretratamiento en lodos biológicos.
Maracaibo , Zulia, Venezuela.
38. Rivas, P. (10 de Junio de 2015). *El Comercio*. Obtenido de elcomercio.pe:
<https://elcomercio.pe/lima/3-distritos-concentran-83-acumulacion-basura-lima-371151>
39. Robalino, H. (2008). Estudio comparativo y aplicativo de materia prima alternativa en biodigestores unifamiliares de flujo continuo en la zona de Cotacachi-Imbabura. Cotacachi, Ecuador.
40. Salazar, J. L., Amusquivar, C., Llave, J., & Rivasplata, C. (2012). PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL A PARTIR DE EXCRETAS DE. Tacna, Perú.
41. Salcedo, J., López, J., & Flórez, L. (18 de Julio de 2011). Evaluación de enzimas para la hidrólisis de residuos (hojas y cogollos) de la cosecha de caña de azúcar. Medellín, Colombia.
42. San Andrés, M., Chércoles, R., De La Roja, J., & Gómez, M. (s.f.).
Factores responsables de la degradación química de los polímeros. Efectos provocados por la radiación lumínica: primeros resultados. España.

43. Sánchez, A., Artola, A., Barrena, R., & Dios, M. (2007). *De residuo a recurso el camino hacia la sostenibilidad - I Recursos orgánicos*. Barcelona, España: Ediciones Mundi-Prensa.
44. Tech4plus. (17 de Febrero de 2016). Obtenido de <http://tech4plus.com/es/inicio/>:
<http://tech4plus.com/es/tecnologia/>
45. Toala, E. (2013). Diseño de un biodigestor de polietileno para l obtención de biogás a partir de estiercol de ganado en el rancho Verónica. Riobamba , Ecuador.
46. Unidad de Planeación Minero Energética. (Marzo de 2013). Guía para l implementación de sistemas de producción de biogás . Bogotá.
47. Urieta, F. (Diciembre de 2010). DISEÑO Y CONSTRUCCION DE SU SISTEMA ORSAT MODIFICADO PARA EL ANALISIS DE BIOGAS. Leganés, España.
48. Urzúa, P. (17 de Abril de 2012). Obtenido de es.slideshare.net:
<https://es.slideshare.net/urzuarq/instalacion-sanitaria-12579921>
49. Van Haandel, A., & Van Der Lubbe, J. (2007). Handbook Biological Wastewater Treatment.
50. Varnero, M. (2011). Manual de Biogás. Santiago, Chile.
51. Warnars, L., & Oppenoorth. (2014). *El biol el fertilizanti supremo - Estudios sobre el biol, sus usos y resultados*. Hivos people unlimited.

ANEXOS

Tabla 8: Cronograma

Actividad / Mes	Nov	Dic	Ene	Feb
Elaboración de borrador	X			
Implementación del biodigestor		X		
Prueba de funcionamiento del biodigestor			X	
Medición de parámetros				X
Resultados				X

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Presupuesto

Material	Descripción	Costo \$
Tubos PVC 4"	Biodigestor	9.27
Codos 4"	Uniones del biodigestor	14.06
T 4"	Uniones del biodigestor	2.16
Válvula 2"	Control de mantenimiento	3.09
Reducción 4 a 2"		1.08
Poliestireno	Para aislante térmico	6.18
Cámara	Acumulación de biogás	12.36
Manguera transp.	Conexiones de gas	2.16
Llave bola	Controlar salida de gas	1.55
Herramientas	Flexo 5m, Cinta adhesiva, Alambres, Cordel, alicate, neumáticos, selladora manual, teflón, tijeras, clavos.	--
Total		50.99

Fuente: elaboración propia

Figura 17: certificado de calibración pH



Perú
Green Group

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 019

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LA-307-2017



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Calibración
Acreditado

Registro N° LC - 019

Pág. 1 de 1

- 1 Cliente : E&OH CONSULTING S.A.C
- 2 Dirección : Jr. Ric Mantaro Mza. J Lote. 33 Coo. Mariscal Luzuriaga Lima - Lima - San Juan de Lurigancho
- 3 Datos del Instrumento

. Instrumento de medición	: Medidor de pH*	. N° de serie del Instrumento	: 16070001538
. Marca	: HACH	. N° de serie sonda	: 16205268022
. Modelo	: HQ40d	. Intervalo de Indicación	: 2,00 pH a 14,00 pH
. Identificación	: No indica	. Resolución	: 0,01 pH
- 4 Lugar de calibración : Laboratorio de Aguas - Green Group PE SAC.
- 5 Fecha de calibración : 2017-09-12
- 6 Método de calibración.

La calibración se realizó por comparación de la indicación del Instrumento con valores asignados a materiales de referencia de pH certificados, según procedimiento PC 020 Calibración de medidores de pH de INDECOPI.
- 7 Condiciones Ambientales.

	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%hr)
Inicial	23,8	62,4
Final	24,1	60,7
- 8 Trazabilidad

Patrón usado	Código Interno	N° Lote o N° Certificado	F. Vencimiento
MRC pH 4	GGP-S-01.14	CC499467	2019-04-28
MRC pH 7	GGP-S-02.15	CC506435	2019-06-26
MRC pH 10	GGP-S-03.14	CC481210	2018-11-29
- 9 Resultados de medición

Indicación del Instrumento (pH)	Valor del patrón (pH)	Error (pH)	Incertidumbre (pH)
4,00	4,003	-0,003	0,016
7,01	7,001	0,009	0,013
10,00	10,012	-0,012	0,016
- 10 Observaciones
 - a) Los resultados están dados a la temperatura de 25 °C
 - b) El coeficiente de correlación obtenido es: 1,000
 - c) El error máximo permisible considerado, tomando como referencia: IUPAC Recommendations 2002, "Measurement of pH, Definition, Standards, and Procedures", es: ± pH 0,03

* La calibración del medidor de pH se realizó en el Multiparámetro.

 - La Incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.
 - Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento y sensor calibrado, en el momento de la calibración.
 - Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.
 - La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.
 - Este certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Sin firma y sello carecen de validez.

Fecha de emisión



2017-09-12

Jefe de Laboratorio de Calibración



Enzo Barrera



FO-[LC-PR-01]-03

EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY

Tabla 10: Parámetros de diseño.

DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR					
Volumen del Biodigestor					
tiempo balde	tb		2.49	min	Campo
tiempo Biodigestor	tB		11.25	min	Campo
Volumen balde	Vb		0.02	m3	Campo
Volumen Liquido	VL	$(tB*Vb)/tb$	0.0903614	m3	
Volumen sección gaseosa	Vsg		0.001886	m3	Campo
Volumen Gaseoso	VG	$6Vsg$	0.011316	m3	
Volumen total	VT	$VL+VG$	0.1017	m3	
Cálculo de sustrato para la primera carga					
Volumen de digestor ref.	Vd ref		10	m3	(Alfredo & Javier, 2004)
Precompost ref.	Prec ref		800	Kg	(Alfredo & Javier, 2004)
Rumen ref.	Ru ref		1000	Kg	(Alfredo & Javier, 2004)
Agua con cal 2% ref.	Agcal ref		0.4	m3	(Alfredo & Javier, 2004)
Agua ref.	Ag ref		Completar	m3	(Alfredo & Javier, 2004)
Volumen Liquido	VL		0.090	m3	
Precompost	Prec	$VL*Prec\ ref/Vd\ ref$	7.229	Kg	
Rumen	Ru	$VL*Ru\ ref/Vd\ ref$	9.036	Kg	
Agua con cal 2%	Agcal	$VL*Agcal\ ref/Vd\ ref$	0.0036	m3	
Agua	Ag		Completar		
Proyección de producción de Biogás					
Indice de gener. biogás	I Bio		0.211	m3CH4/kg	(Arboleda & Gonzales, 2009)
Eficiencia de CH4	e		0.619		(Arboleda & Gonzales, 2009)
Volumen Biogás	Vbiog	$(Prec+Ru)*I\ Bio *e$	2.12	m3CH4	
Tiempo de fermentación					

Temperatura biodigestor	Tbio		27	°C	
Mesofílica optima			25-35	°C	(Varnero, 2011)
Tiempo de retención	TRH		60	d	(Varnero, 2011)
Producción de biogás	Prod bio		0.035	m ³ CH ₄ /d	

Gas obtenido					
Llanta mediana					
Perímetro externo toro	P'		2.58	m	
Perímetro interno toro	p		0.66	m	
Radio del perimetro ext.	R'	$P' / (2\pi)$	0.411	m	
Radio directriz	R	$R' - r$	0.306	m	
Radio generatriz	r	$p / (2\pi)$	0.105	m	
Pi	π		3.141593		
Volumen del toro	V	$2 * (\pi^2) * (r^2) * R$	0.067	m ³	
Llanta grande					
Perímetro externo toro	P''		4.56	m	
Perímetro interno toro	p		1.16	m	
Radio del perimetro ext.	R''	$P'' / (2\pi)$	0.726	m	
Radio directriz	R	$R'' - r$	0.541	m	
Radio generatriz	r	$p / (2\pi)$	0.185	m	
Pi	π		3.141593		
Volumen del toro	V	$2 * (\pi^2) * (r^2) * R$	0.364	m ³	
Volumen total	Vt		0.56	m ³	

Fuente: Elaboración propia.