



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRONICA
INGENIERIA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE CARGA
CONTINUA PARA LA PRODUCCION DE BIOFERTILIZANTE EN
RANCHO EL RETORNO DE TANTOYUCA VERACRUZ**

T E S I N A

PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIANDO EN INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

PRESENTA:

MACARIO MEZA AYON

DIRECTORES DE TESINA:

DRA. NALLELY TÉLLEZ MENDEZ

DR. OSVALDO LÓPEZ HERNÁNDEZ

PUEBLA, MÉXICO

2024

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE CARGA CONTINUA PARA LA
PRODUCCION DE BIOFERTILIZANTE EN RANCHO EL RETORNO DE TANTOYUCA
VERACRUZ

Dra. Laura Alicia Paniagua Solar
Presidente



Dr. Luis Armando Moreno Coria
Secretario



Dra. Juana Estela Maza Navarro
Vocal



Dra. Nallely Téllez Méndez Asesor



Dr. Osvaldo López Hernández Asesor



Macario Meza Ayón
Tesisista



Agradecimientos

A mis padres y hermana, por su esfuerzo y sacrificio, a la comprensión y confianza siempre otorgada, su guía y amor incondicional, por ofrecerme inspiración en momentos de angustia y nunca desistir en su apoyo ante la distancia que nos separaba.

A mis abuelos, quienes con sabiduría y cariño me encaminaron a ser quien soy y cuidaron de mí como un hijo, que a pesar de su partida siguen siendo un faro de luz en mi vida y siempre serán un ejemplo de perseverancia y dedicación.

A mis asesores, por su guía y enseñanza que me llevaron a lograr esta tesina, por el tiempo dedicado a las observaciones y generar un impacto en mi formación personal.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, la Facultad de Ciencias de la Electrónica y la Guarida del Lobo, por brindarme las herramientas y el espacio donde desarrolle mis habilidades.

A mis amigos de la facultad y del equipo de fútbol americano de Lobos BUAP, por las experiencias deportivas y académicas que marcaron mi vida y que siempre recordaré.

Resumen

La presente investigación se desarrolló con el objetivo de proponer el diseño de un biodigestor para Rancho El Retorno de Tantoyuca Veracruz para el aprovechamiento de los residuos generados por 28 cabezas de ganado bovino. Se efectuó una prueba piloto de recolección de excretas que duro un periodo de 15 días en los cuales diariamente se recogieron y pesaron los excrementos para la obtención de una carga diaria de 114 L. Se obtuvo el promedio de temperatura anual mediante datos de la NASA que, junto al promedio anterior de peso de excrementos, se calcularon 25 días de retención hidráulica que se propondrían para el modelo en marcha, el resultado expuesto ayudó para formular las dimensiones volumétricas del biodigestor que fueron necesarias para despues estimar las dimensiones de la zanja donde irá colocado. Se presentaron varias propuestas de zanja y se formularon complementos que acompañan al reactor en el sistema sumando el sistema de tuberías, se expuso la representación visual de las resultados de las dimensiones volumétricas de las zanjas y del modelo propuesto del reactor y sus complementos incluyendo el sistema de exclusión de biogás con ayuda del software AutoCAD, se propusieron materiales y métodos para el sistema optimizando económicamente la instalación incluyendo otros puntos importantes a tratar como mantenimientos y seguridad, para finalizar se buscó un panorama de costos posibles en caso de su instalación y como se podrían sustentar esos gastos.

Índice

1	Introducción.....	6
1.1	Pregunta de investigación.....	8
1.2	Justificación.....	9
1.3	Objetivos.....	11
1.3.1	Objetivo general.....	11
1.3.2	Objetivos específicos.....	11
1.4	Hipótesis.....	12
2	Capítulo II Marco Teórico.....	12
2.1	Antecedentes empíricos.....	12
2.1.1	Tipos de fertilizantes y sus antecedentes.....	13
2.1.2	Fertilizantes en México.....	14
2.1.3	Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por sector en México.....	16
2.2	Marco Teórico.....	17
2.2.1	Biodigestión.....	17
2.2.2	Digestión anaerobia.....	18
2.2.3	Productos de la digestión anaerobia.....	19
2.2.4	Tipos de biodigestores.....	20
3	Capítulo III Metodología.....	28
3.1	Determinación la generación diaria de materia orgánica disponible para la carga diaria del biodigestor mediante un muestreo de 15 días.....	28
3.2	Cálculo del tiempo de retención hidráulica para la propuesta del volumen del biodigestor para el dimensionamiento de la zanja.....	29
3.3	Estimación de la cantidad de biofertilizante esperado después del proceso de digestión anaeróbica.....	30
3.4	Propuesta de materiales y complementos para la construcción del biodigestor...	30
3.5	Estimación los costos en el supuesto de su posible implementación.....	31
4	Capitulo IV Desarrollo.....	31
4.1	Caracterización e instalaciones del caso de estudio rancho el retorno.....	31
4.2	Recolección y pesaje de excremento.....	34
4.3	Determinación del tiempo de retención hidráulica.....	36

4.4	Volumen del biodigestor.....	37
4.5	Medidas del recipiente.....	38
4.6	Dimensiones de la zanja.....	39
4.7	Estimación de la cantidad de biofertilizante.....	41
4.7.1	Balance de masa.....	41
4.7.2	Balance de energía.....	42
4.8	Instalación.....	42
4.8.1	Ubicación y cavado de la zanja.....	42
4.8.2	Influente.....	43
4.8.3	Efluentes.....	43
4.9	Obra civil del biodigestor.....	44
4.10	Construcción del biodigestor.....	46
4.10.1	Salida del biogás.....	46
4.10.2	Tubería del influente y efluente.....	46
4.10.3	Tubería de biogás.....	46
4.10.4	Tubería de extracción de sólidos.....	47
4.10.5	Quemador o antorcha.....	47
4.10.6	Colocación de la geomembrana.....	48
5	Capítulo V Resultados.....	49
5.1	Determinación de la carga diaria del biodigestor.....	49
5.1.1	Muestreo de 15 días.....	49
5.1.2	Carga diaria del biodigestor.....	50
5.1.3	Temperatura y tiempo de retención hidráulica.....	51
5.1.4	Cálculo del volumen del biodigestor.....	51
5.1.5	Propuesta de dimensiones del biodigestor tomando en cuenta diferentes medidas de material y ángulos de talud.....	52
5.2	Estimación de la producción de biofertilizante y biogás diaria.....	56
5.2.1	Balance de masa.....	56
5.2.2	Balance de energía.....	57
5.3	Instalación.....	58
5.3.1	Ubicación del biodigestor.....	58
5.3.2	Fosas de mezclado del influente y recolección del efluente.....	59
5.3.3	Tuberías de influente y efluente.....	61

5.3.4	Sistema de exclusión biogás.....	61
5.4	Materiales	63
5.4.1	Diseño final del biodigestor.....	65
5.5	Alimentación inicial y puesta en marcha.....	66
5.5.1	Agitación	66
5.6	Medidas de Seguridad	67
5.6.1	Acceso al sistema.....	67
5.6.2	Seguridad en el sistema de tuberías	67
5.6.3	Prevención contra incendios y seguridad personal	68
5.6.4	Señalización de seguridad	69
5.7	Mantenimientos recomendados del sistema	70
5.8	Estimación de costos	71
	Conclusiones	74
	Trabajo a futuro	75
	Referencias.....	76
	Anexos	79

Índice de figuras

Figura 1.1 Vista lateral izquierda del vertedero de excremento ubicado en el rancho El Retorno	6
Figura 1.2 Vista inferior del vertedero de excremento ubicado en el rancho	7
Figura 1.3 Vista superior del vertedero de excremento ubicado en el rancho	8
Figura 2.1 Emisiones GEI por sectores en México [1].....	17
Figura 2.2 Emisiones GEI en el sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra [1]17	
Figura 4.1 Vista aérea del rancho. [22].....	31
Figura 4.2 Vista de la rivera del rio la bomba desde el rancho.....	32
Figura 4.3 Punto de llegada y repartición del agua potable.....	32
Figura 4.4 Corralera principal del rancho.....	33
Figura 4.5 Extensión de la corralera principal.....	33
Figura 4.6 Ante corral de ordeño	34
Figura 4.7 Andenes de ordeño	34
Figura 4.9 Recolección de excremento em el ante corral por parte del personal del rancho	35
Figura 4.10 Excrementos esparcidos en la sala de ordeño	35
Figura 4.11 Recolección de excremento en la sala de ordeño por el personal del rancho ...	35
Figura 4.12 Pesaje de excremento con ayuda de la bascula	36
Figura 4.13 Gráfica de temperatura promedio por mes del año 2012 al 2022	37
Figura 4.14 Medidas de la zanja. Elaborada por [9].....	39
Figura 4.15 Esquema de dimensiones de una zanja para biodigestores tubulares [9].....	44
Figura 5.1 Grafica de kilogramos de excremento en los 15 días de prueba	50
Figura 5.2 Zanja con inclinación 7.5°	55
Figura 5.3 Zanja con inclinación 15°.....	55
Figura 5.4 Zanja con inclinación 30°.....	56
Figura 5.5 Zanja con inclinación 45°.....	56
Figura 5.6 Balance de materia y energía del biodigestor.....	58
Figura 5.7 Medición desde la vista aérea del rancho. [22].....	59
Figura 5.8 Área propuesta para el biodigestor.....	59
Figura 5.9 Fosa de mezcla del influente	60
Figura 5.10 Fosa de recepción del efluente	61
Figura 5.11 Tuberías de entrada y salida del reactor	61
Figura 5.12 Sistema del biogás con sus componentes.....	62
Figura 5.13 Diseño del Biodigestor.....	65
Figura 5.14 Biodigestor renderizado	66
Figura 5.15 Agitación del biodigestor	67
Figura 5.16 Precios de venta de animales del mes de diciembre del 2024. [31].....	73

Índice de tablas

Tabla 1.1.1 Metas e Indicadores ODS del 2030	10
Tabla 2.1 Fertilizantes más Utilizados en México.....	16
Tabla 4.1 Temperatura Promedio Máxima por Mes a 2 Metros del Año 2012 al 2022.....	37
Tabla 4.2 Longitud Mínima, Máxima y Óptima de Biodigestores Tubulares Según Circunferencias.....	39
Tabla 4.3 Parámetros de Dimensionado de Zanjas de Biodigestores Tubulares a Partir del Ángulo y el Radio de la Circunferencia Disponible de Manga Tubular	40
Tabla 4.4 Dimensionado de biodigestores tubulares	41
Tabla 4.5 Propiedades Mínimas Consideradas en la Selección de la Geomembrana.....	48
Tabla 5.1 Kilogramos de Excremento en los 15 Días de Prueba.....	49
Tabla 5.2 Temperatura de Trabajo de un Biodigestor	51
Tabla 5.3 Dimensiones de Biodigestores con Circunferencias de 2m a 6m a Ángulo 0°	52
Tabla 5.4 Dimensiones de Biodigestores con Circunferencias de 2m a 6m a Ángulo 7.5° ..	53
Tabla 5.5 Dimensiones de Biodigestores con Circunferencias de 2m a 6m a Ángulo 15° ..	53
Tabla 5.6 Dimensiones de Biodigestores con Circunferencias de 2m a 6m a Ángulo de 30°	53
Tabla 5.7 Dimensiones de Biodigestores con Circunferencias de 2m a 6m a Ángulo 45° ..	54
Tabla 5.8 Dimensiones Posibles para el Diseño del Biodigestor.	54
Tabla 5.9 Consumos Típicos de Biogás.....	63
Tabla 5.10 Materiales del Biodigestor	63
Tabla 5.11 Señalización para el Biodigestor.....	69
Tabla 5.12 Costos	71

Introducción

En México, el sector agrícola, pecuario, entre otros procesos de la tierra ocupa el segundo lugar con el 19% de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en este sector, dentro de este rango podemos desglosar que el primer lugar con 56% de emisiones de gases de efecto invernadero lo tiene la fermentación entérica la cual es efecto que tiene el proceso digestivo de los rumiantes en el cual los microbios en su tracto digestivo descomponen y fermentan los alimentos para sustraer los nutrientes y dejan como subproducto el metano y como desecho el estiércol de los mismos, y en segundo lugar tenemos la gestión del estiércol con un 20% de emisiones [1].

El problema de la gestión de estiércol es que, si bien, las excretas se pueden ocupar como fertilizantes naturales, las altas concentraciones de coliformes fecales pueden llegar a afectar al ser humano, por ese motivo es necesario un tratamiento previo que nos permita eliminar estos agentes infecciosos por medio procesos anaeróbicos como la biodigestión y propiciar la reducción de la contaminación ambiental [2].



Figura 0.1 Vista lateral izquierda del vertedero de excremento ubicado en el rancho El Retorno

El estiércol bovino en las ganaderías extensivas puede ser un factor contaminante para el suelo, el agua y el aire. En el suelo al tener altas concentraciones de nutrientes, microorganismos patógenos, antibióticos, etc. Como se muestra en las Figuras 1.1, 1.2 y 1.3 donde estos exceden la capacidad de captación de los nutrientes de los cultivos lo que conlleva a su lixiviación, además de una posible intoxicación por compuestos oxidados en los pastizales que logran causar intoxicación en los animales [3].



Figura 0.2 Vista inferior del vertedero de excremento ubicado en el rancho

El abundante nitrógeno durante la lixiviación del excremento genera nitrato, el cual, mediante el escurrimiento, infiltración y percolación profunda es contaminante de manera directa, otro nutriente importante en la contaminación es el fósforo, dado que aplicado en dosis excesivas en el suelo o el agua estimula el proceso de eutrofización, disminuyendo el oxígeno disuelto y variando el pH, ya que todo esto dependerá a su vez de factores como las precipitaciones la percolación y la pendiente del terreno [3].

La contaminación hacia el aire, debido al estiércol son las descargas a la atmosfera de polvo, olores y gases producto de la digestión anaerobia y descomposición aeróbica, el polvo se puede producir en el movimiento de ganado al remover la capa del suelo donde se ubica el estiércol, produciendo olores fuertes por la presencia de amoniaco, estos no están comprobados que representen riesgos a la salud, sin embargo, atraen moscas y otros tipos de insectos que pueden portar bacterias o enfermedades que si pueden ser perjudiciales para los seres humanos. Otro problema con respecto a la contaminación liberada, son los gases de efecto invernadero (GEI). El metano es 23 veces más potente que el CO_2 y es el principal gas emitido proveniente de la fermentación entérica capturada en las heces. Otro producto del estiércol es el óxido nitroso, este es 296 veces más potente que el CO_2 y México contribuye con el 0.7% de las emisiones a nivel mundial de este gas [3].



Figura 0.3 Vista superior del vertedero de excremento ubicado en el rancho

El uso excesivo e inapropiado de los fertilizantes sintéticos ocasiona graves problemas ambientales y ecológicos para la agricultura de nuestro país, aun así, la aplicación de estos se ha incrementado en gran medida en nuestro país, el potencial de contaminación de estos fertilizantes está relacionado a factores como su uso eficiente dependiendo del cultivo, ya que existen diversas presentaciones y dado lo anterior de igual manera varias formas y momentos de aplicación, sin embargo, aunque pueden llegar a proveer un aumento de producción del cultivo, los elevados costos económicos y el deterioro ambiental generan un impacto negativo importante. [4]

El impacto ambiental causado por estos fertilizantes sintéticos genera un desbalance en los ciclos biogeoquímicos del suelo, el agua y el aire, y las cadenas tróficas de la zona, teniendo a largo plazo una degradación del suelo y por ende los cultivos que estén sembrados ahí además de las dificultades en controles de otros factores como plagas o malezas. Además, los pequeños productores sin poder competir con la tecnificación y los costos de grandes empresas se ven en necesidad vender o rentar las tierras. [4]

1.1 Pregunta de investigación

¿Cómo diseñar un biodigestor de carga diaria que permita producir biofertilizante en Rancho El Retorno de Tantoyuca Veracruz?

1.2 Justificación

Por décadas los agro ecólogos tienen como estrategia clave la restauración de la diversidad de las parcelas agrícolas y su manejo eficiente para obtener una agricultura sostenible, para estas prácticas de diversificación es necesario la abundancia de la materia orgánica en el suelo con el fin de tener suelos saludables y que tengan buenas características físicas, químicas y biológicas, la resiliencia en los cultivos tiene como clave la materia orgánica pues esta aumenta la retención de agua del suelo ayudando a contrarrestar los efectos ocasionados por las sequías que hoy azotan nuestro país, incrementa el nivel de filtración para disminuir la escorrentía, y ayuda con las altas concentraciones microbianas [5].

Una alternativa para el tratamiento de los sólidos orgánicos es la biodigestión, en la cual se combinan procesos aeróbicos y anaeróbicos que nos dan como resultado biogás y biofertilizante, esto inicia con la alimentación de residuos que pueden provenir de diversas fuentes como estiércol de animales de granja, vegetales y restos de cultivos, etc. Estos sistemas pueden ser aplicados desde pequeños dimensionamientos como lo son en microempresas, hogares, etc. Tanto para situaciones intermedias como industrias a lo largo del país, aprovechando su alto valor energético y como fuente de empleo [2], [6].

El uso de los biodigestores para el aprovechamiento de los desechos animales es algo que países de primer mundo con alta producción pecuaria ha demostrado su eficacia y beneficios, en nuestro país esta tecnología ha sido aplazada y no ha tenido el realce suficiente para la concientización de los productores [7]. Las especulaciones que rodean a esta tecnología sobre los posibles problemas que puede generar llegan a perjudicar su imagen, la falta de iniciativa de los mismos productores también se consideran otro factor importante pensando en los problemas de mantenimiento y recolección aunados a los ya procesos existentes en el rancho generan negación sobre si el tiempo que hay que dedicar a estos proyectos va a mermar tiempos utilizados en procesos del rancho.

Otra gran área de oportunidad que tienen la implementación de biodigestores en el campo mexicano ya sea para el uso de biofertilizantes o la extracción del biogás como combustible es la ayuda que estos brindan para poder alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (ODS del 2030), algunas metas a las que puede impactar son:

Tabla 1.0.1 Metas e Indicadores ODS del 2030

Meta	Indicadores
6.3 Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial	6.3.2. Proporción de cuerpos de agua con buena calidad de agua
7.2 De aquí al 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas	7.2.1 Proporción de la energía renovable en el consumo final total de energía
7.3 De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética	7.3.1 Intensidad energética medida en función de la energía primaria y el PIB
9.4 De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas	9.4.1 Emisiones de dióxido de carbono total por PIB por paridad de poder de compra
12.5 De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización	12.5.1.a Porcentaje de residuos sólidos urbanos recolectados reciclables 12r.5.1.a Proporción de residuos sólidos urbanos recolectados de manera selectiva respecto del total de residuos sólidos urbanos recolectados
12n.1 Impulsar la Economía circular, en las cadenas productivas y de consumo, entendida como el rediseño de productos y servicios para disminuir desechos al final de la vida útil de los mismos y desde una perspectiva de valor compartido	12n.1.1 Porcentaje de municipios con disposición adecuada de residuos sólidos urbanos
15.3 Luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo	15.3.1 Proporción de tierras degradadas en comparación con la superficie total

Fuente: Elaboración a partir de datos del INEGI [8].

Este rancho, así como ranchos vecinos y en general los ganaderos de la zona en donde se encuentra ubicado llevan a cabo prácticas tradicionales, sin experimentar con nuevas

tecnologías para el aprovechamiento de los recursos existentes en sus predios y ayudando al impacto ambiental en la crisis actual, hoy en día, es necesario la tecnificación y el uso de nuevas metodologías en los ranchos para el máximo aprovechamiento de sus recursos y mitigar la mayor cantidad de gastos que se pueda.

El estiércol diario generado por el ganado en el rancho no es lo mismo a la cantidad de estiércol disponible para su recolección y carga del biodigestor, al ser un rancho de pastoreo extensivo durante la ordeña en este caso al estar los animales en la sala de ordeño es el momento adecuado para la recolección, la cantidad de bovinos es variable durante el año. [9].

Diariamente se desaprovecha una cantidad de excretas que, si bien no es una cantidad exorbitante, el beneficio del uso de estos desechos puede ayudar de otras maneras en otros procesos al rancho, como la fertilización de los pastizales mediante el uso del vial que nos proporcionara el digestato, que ayudara a prevenir la desertificación y ayudando al acondicionamiento de suelos, incluso trayendo beneficios económicos en el rancho ya que reducirá los gastos que había para la obtención de fertilizantes químicos anteriormente.

Como se puede observar en el Anexo 1, el propietario del Rancho el Retorno la Sra. María Antonieta Farias Cobos solicita un estudio de viabilidad para la implementación de un biodigestor para hacer uso de los residuos de 28 cabezas de ganado bovino, motivo por el cual, se logra desarrollar esta propuesta de diseño de biodigestor.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Proponer el diseño de un biodigestor de carga continua para la producción de biofertilizante en Rancho El Retorno con el fin de reducir la contaminación y reutilizar sus desechos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la generación diaria de materia orgánica disponible para la carga diaria del biodigestor mediante un muestreo de 15 días.

- Calcular el tiempo de retención hidráulica para la propuesta del volumen del biodigestor para el dimensionamiento de la zanja.
- Estimar de cantidad de biofertilizante esperado después del proceso de digestión anaeróbica.
- Proponer materiales y complementos para la construcción del biodigestor
- Estimar los costos en el supuesto de su posible implementación

1.4 Hipótesis

Si se utilizan los desechos orgánicos bovinos a través de un proceso anaeróbico por un biodigestor de carga continua entonces se podrá generar biofertilizante para el rancho El Retorno de Tantoyuca Veracruz.

Capítulo II Marco Teórico

2.1 Antecedentes empíricos

Las primeras hipótesis científicas se remontan hasta el siglo XVII donde Shirley se dio cuenta que los desperdicios de las viviendas llevaban un proceso digestivo debajo del lodo, a lo cual le llamo gas de los pantanos, en el año 1682 Boyle predijo la posibilidad de obtener gas a partir de los residuos orgánicos en descomposición.

El interés científico de estos procesos con fines energéticos data del año 1776, en el cual Volta identificó la relación de la descomposición de la materia orgánica en un medio con ausencia de oxígeno y la presencia de gas combustible. No fue hasta 1804 cuando Dalton descubrió la presencia de metano en ese gas, posteriormente en 1808 Humpry Davy generó metano en recipientes cerrados desde un laboratorio, este experimento inició la investigación del biogás. [7]

Posteriormente Pasteur fue el primero descubridor de los microorganismos anaeróbicos por su estudio sobre la fermentación butírica, por lo que, fue el primero en proponer la posibilidad de obtener el metano a partir del estiércol, pero no fue hasta 1884 donde cuantifico el metano producido y sugirió la posibilidad de su uso en calefacción y alumbrado. Nos trasladamos al siglo XX donde aparecieron los primeros progresos en la India donde se construyeron los

primeros biodigestores a partir de residuos orgánicos para la producción de biogás, seguidos por Gran Bretaña en 1911.

Después, en la década de los años veinte y treinta se comenzó con la experimentación a escala en laboratorios y plantas piloto, en distintos casos ya se usaba las aguas residuales como principal fuente de alimentación; en los años 1927 y 1950 es donde los experimentos introdujeron los residuos ganaderos para trabajos experimentales en la producción de gas, esto por la necesidad de fuentes de energía en épocas de la II guerra mundial en Europa donde en ese momento escaseaban.

En las décadas de los cincuenta y setentas China e India desarrollaron en gran medida la digestión anaerobia en donde ya utilizaban como fuente de alimentación principal el desecho de los bovinos y humanos, llegando a tener 5 millones de digestores en funcionamiento por el reducido costo de inversión, al pasar de los años por el incremento de los combustibles fósiles ha hecho que la alternativa del biogás se vuelva atractiva, actualmente el mayor productor de biogás es Alemania, y el puesto con mayor número de biodigestores es China, sin embargo, estos digestores son hechos con tecnología sencilla implantados en zonas rurales.

La digestión anaerobia ocurre naturalmente en el tracto digestivo de los animales, así como aguas estancadas o pantanos, sin embargo, puede llevarse a cabo en lugares herméticos como ocurre en los biodigestores, ya que, por su ambiente oscuro y sin aire favorece al cultivo intenso de bacterias anaerobias. Esta digestión es un proceso complejo y se genera mediante un ciclo anaerobio del carbono, el cual ayuda a transmutar las sustancias orgánicas.

2.1.1 Tipos de fertilizantes y sus antecedentes

Los fertilizantes, también conocidos como abono es todo material orgánico o inorgánico cuyo propósito principal es suministrar nutrientes esenciales a las plantas para promover su crecimiento. Estos nutrientes pueden estar ausentes o haberse agotado en el suelo con el tiempo. El objetivo del uso de fertilizantes es incrementar la producción agrícola y mejorar la calidad de los cultivos y se aplican específicamente para corregir deficiencias nutricionales en las plantas y asegurar su óptimo desarrollo [10]. Los fertilizantes son insumos agrícolas

esenciales para aumentar el rendimiento de los cultivos, ya que proporcionan los nutrientes necesarios para un crecimiento óptimo y saludable de las plantas.

Existen tres tipos de fertilizantes que se clasifican de acuerdo con las necesidades específicas de los cultivos:

- Fertilizantes químicos

Estos son creados por el ser humano, generalmente derivados de fuentes minerales, animales, vegetales o sintéticas. Dentro de los fertilizantes químicos, se destacan aquellos que contienen los "nutrientes principales" para el suelo: nitrógeno, fósforo y potasio. Estos fertilizantes ofrecen ventajas como una alta concentración de nutrientes y facilidad en su manejo, lo que incluye almacenamiento, distribución y aplicación. Como resultado, su uso conduce a un aumento significativo en los rendimientos agrícolas [11].

- Biofertilizantes

Se trata de microorganismos que cumplen diversas funciones, como el suministro de nitrógeno al suelo y a las plantas. Además, pueden aumentar la disponibilidad de otros nutrientes en el suelo, ya sean nativos o añadidos por fertilizantes químicos y abonos orgánicos. Su principal ventaja radica en su bajo costo en comparación con los fertilizantes químicos y abonos orgánicos, lo que los convierte en una opción viable y accesible para productores de pequeña y mediana escala [11].

- Abonos orgánicos

Son aquellos que se forman con poca o ninguna intervención humana y están compuestos de materia orgánica. Antes de ser aplicados al suelo, esta materia debe ser descompuesta y convertida en abono. Durante la descomposición de material orgánico fresco, como la paja de maíz, los nutrientes del suelo, especialmente el nitrógeno, se fijan temporalmente, lo que los hace no disponibles para cultivos inmediatos. Además, la materia orgánica mejora la estructura del suelo, reduce la erosión, regula la temperatura y aumenta la capacidad de retención de humedad, mejorando así la fertilidad del suelo [11].

2.1.2 Fertilizantes en México

Los fertilizantes químicos han sido clave para aumentar la producción mundial de alimentos, contribuyendo significativamente a los rendimientos de los cultivos. Durante el periodo de

2014 a 2015, el consumo global de fertilizantes alcanzó 181,9 millones de toneladas, distribuidas en 102,5 millones de toneladas de nitrógeno, 45,9 millones de toneladas de fósforo y 33,5 millones de toneladas de potasio [12]. Sin embargo, el uso de los primeros fertilizantes químicos se dio en Europa durante la primera parte del siglo XIX. El primer fertilizante fosfatado como tal, fue a base de huesos molidos mezclados con ácido sulfúrico alrededor de 1830 y pronto se convirtió en una práctica común. Se utilizaba ácido diluido y el producto era una suspensión que se distribuía en barriles de madera. A veces se añadían sales de potasa y sulfato de amoníaco o nitrato de sodio, produciendo así los primeros fertilizantes químicos líquidos mezclados [13].

Hacia 1810, se descubrió que al tratar la roca fosfórica con ácido sulfúrico se obtenía un fertilizante fosfórico eficaz, conocido como superfosfato. La primera producción comercial exitosa de este fertilizante fue iniciada por Lawes en Inglaterra en 1842. Inspirados por este logro, otros fabricantes siguieron su ejemplo, y para 1853 ya había 14 fabricantes en el Reino Unido, además de varios en otros países. Para 1870, se reportaron 80 fábricas en operación en el Reino Unido [13].

Aunque el fosfato de amonio ya era conocido como un fertilizante eficaz desde hace mucho tiempo, su uso era limitado y solo se producían pequeñas cantidades en diversos países. Sin embargo, no fue hasta la década de 1960 cuando se popularizó y se convirtió en la principal forma de fertilizante fosfatado en todo el mundo [13].

A inicios del siglo XX, los químicos de origen alemán Fritz Haber y Carl Bosch desarrollaron un proceso revolucionario que permitió combinar nitrógeno del aire con hidrógeno para producir amoníaco líquido. Este tipo de fertilizantes impulsaron una expansión agrícola sin precedentes, proporcionando una solución crucial para alimentar a una población mundial en rápido crecimiento [14].

A mediados del siglo XX surgió el concepto de la Revolución Verde, cuyo propósito era incrementar la productividad de alimentos para satisfacer la demanda mundial. Este objetivo se logró exitosamente gracias a avances tecnológicos como mejoras en el uso de fertilizantes químicos, innovación en sistemas de riego, pesticidas, herbicidas y el empleo de maquinaria. Sin embargo, este logro vino acompañado de efectos negativos en los ámbitos social y económico, así como en el medio ambiente y la salud humana.

El uso de fertilizantes químicos en México comenzó a expandirse a principios del siglo XX, especialmente después de la Revolución Mexicana. Sin embargo, fue en la década de 1940 y 1950, durante la Revolución Verde, cuando el uso de fertilizantes químicos se intensificó significativamente en el país. Este periodo marcó un cambio importante en las prácticas agrícolas, con la adopción de nuevas tecnologías, permitiendo un aumento considerable en la productividad agrícola [15].

En la actualidad, los fertilizantes químicos más utilizados en el territorio nacional incluyen el amoníaco anhidro, el nitrato de amonio, urea y superfosfato triple [16]. Estos fertilizantes son ampliamente utilizados en el país debido a su eficacia para mejorar el rendimiento de los cultivos y su disponibilidad en el mercado. En la Tabla 2.1 se observan los tipos de fertilizantes más utilizados en México [15]. Fertilizantes más utilizados en México.

Tabla 2.1 Fertilizantes más Utilizados en México.

Posición	Tipo de fertilizante
1	Amoníaco anhidro
2	Nitrato de amonio
3	Nitrato de calcio
4	Nitrato de potasio
5	Urea
6	Fosfatomonopotásico (MKP)
7	Sulfato de magnesio
8	Sulfato de potasio
9	Superfosfato simple
10	Superfosfato triple
11	Sulfato de amonio

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI. [16]

2.1.3 Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por sector en México

En México, como lo muestra la Figura 2.1 el segundo lugar en fuentes de generaciones de gases de efecto invernadero (GEI) con 19% de emisiones es ocupado por el sector de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra como se muestra en la figura.

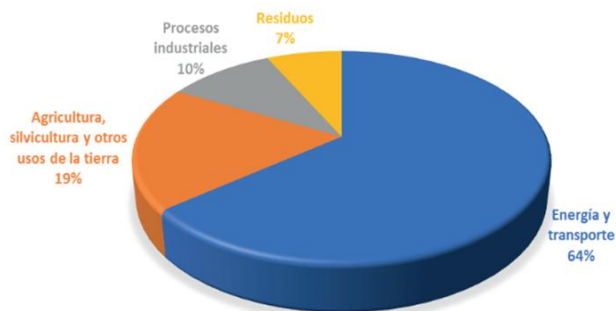


Figura 2.1 Emisiones GEI por sectores en México [1].

En este sector, podemos desglosar que el primer lugar con 56% de emisiones de gases de efecto invernadero lo tiene la fermentación entérica como se observa en la Figura 2.2, la cual es efecto que tiene el proceso digestivo de los rumiantes en el cual los microbios en su tracto digestivo descomponen y fermentan los alimentos para sustraer los nutrientes y dejan como subproducto el metano y en segundo lugar tenemos la gestión del estiércol con un 20% de emisiones, ambos mostrados en la figura.

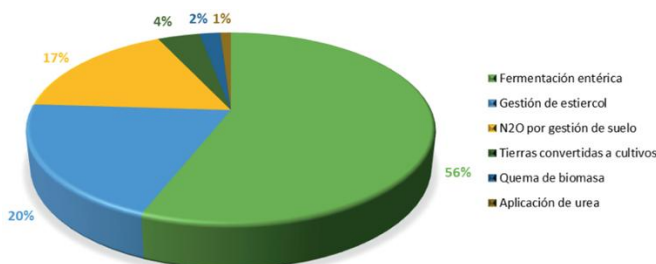


Figura 2.2 Emisiones GEI en el sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra [1]

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Biodigestión

La digestión anaerobia es un proceso biológico común utilizado por la naturaleza para la degradación de materia orgánica, en el cual mediante un unión de hongos y bacterias en ausencia de oxígeno y condiciones específicas llevan a cabo la transformación de residuos en un efluente líquido y otro sólido, eliminando olores fuertes, desagradables y de igual forma aminorando el impacto ambiental que causaría el desechos de los mismos, en este proceso más del 80% de energía por oxidación directa es transformada en metano dejando el resto al consumo por crecimiento bacteriano.

Los beneficios que ofrece la biodigestión tienen diferentes impactos en sectores donde se desechan residuos orgánicos como el sector agropecuario y los rellenos sanitarios, la versatilidad del proceso redunda en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la generación de moléculas de alto poder energético como los alcoholes y el metano que son ocupados como fuente de energía, existe una disposición de biogás diario para establecimientos o hogares fuera de la distribución de gas natural, y aligerar la carga de los rellenos sanitarios moderando la exclusión de lixiviación de nitratos y problemas de olores molestos. [17]

2.2.2 Digestión anaerobia

El uso de esta tecnología se utiliza cuando se quiere acaparar todos los productos obtenidos de la descomposición anaerobia los cuales son gases y sólidos. La metodología básica en los biodigestores es su alimentación con desechos orgánicos y agua, los cuales, dependiendo del modelo, serán los intervalos de alimentación y el periodo de espera para la generación y sustracción de los productos que pueden tardar desde semanas hasta meses dependiendo de factores ambientales y químicos favorables, en el interior el proceso bioquímico y la acción bacteriana se desarrollan de manera simultánea y gradual descomponiendo la materia hasta producir burbujas que fuerzan su salida.

Las 4 etapas de la digestión anaerobia son:

1. Hidrolisis o licuefacción. Esta etapa consiste en solubilizar los desechos orgánicos por medio de enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas que operan desde el exterior celular por lo que son consideradas exoenzimas, por ende, podemos concluir que es la conversión de polímeros en monómeros.
2. Acidogénesis. Los monómeros resultantes de la etapa anterior son convertidos en ácidos orgánicos como ácidos acéticos, propiónicos y butírico hablando a grandes rasgos.
3. Acetogénesis. Se traduce como acidogénesis intermediaria por la cual pasan los productos correspondientes y son convertidos en ácido acético, hidrogeno y CO_2 .

4. Metanogénesis. Esta última etapa metabólica el *CH* es producido a partir del ácido acético o de mezclas de H_2 y CO_2 respectivamente, consiguiendo formarse en base a otros sustratos como el ácido fórmico y metanol, este rol de las bacterias se define por el tipo de sustrato disponible.

2.2.3 Productos de la digestión anaerobia

Biol

Uno de los fertilizantes orgánicos más utilizados es el biol, se produce mediante la digestión anaerobia dentro de un biodigestor el cual tiene como principal producto el biogás, utilizado como fuente de energías en diversas maneras, y como subproducto de este proceso se obtiene el digestato que se compone de dos partes, una sólida más lodosa y una parte líquida la cual se le denomina biol. Las propiedades bioquímicas de estos fertilizantes dependen directamente del tipo de residuo que se utilice y las condiciones en las que se lleva a cabo el proceso, sin embargo, son fuente rica en nutrientes, hormonas y promotores de crecimiento.

Algunos de los elementos como el nitrógeno mineral, potasio, calcio, magnesio, etc. Son los encargados de nutrir y mejorar las características antes mencionadas además de contribuir con la infiltración del agua, la conductividad hidráulica y disminuir la tasa de evaporación.

Algunas ventajas del biol es su elaboración a bajo costo lo que ayuda a la generación de ganancias económicas en la producción de cultivos y también ayuda a la recuperación de suelos contaminados por el uso de plaguicidas o herbicidas. De igual manera su preparación no se rige por un proceso mecánico, existen diversidad de formas y se puede buscar la más viable por su económica.

Lodos de digestión

En el proceso de la digestión anaerobia dentro del biodigestor se incluye un porcentaje de sólidos totales (ST) que se agregan con el efluente de carga, generalmente no mayor al 8% del total del volumen, mismos que al momento de su descarga después de completar su tiempo su ciclo de tiempo de retención hidráulica no son en su totalidad expulsados y quedan comprimidos en el fondo del recipiente, para un mejor mantenimiento del biodigestor es

necesario retirar todo ese sedimento que queda en el fondo mejor conocido como lodos de digestión con una frecuencia de 1 o 2 veces al año, esto permite que el material sólido pastoso con alto valor nutricional sea excluido y no cause acumulación excesiva que afecte al volumen del biodigestor. Una vez obtenido, los lodos se pueden utilizar de diversas maneras en beneficio del suelo, como, por ejemplo, biofertilizante, cubierta vegetal para rellenos sanitarios, biorremediación de suelos degradados, acondicionamiento.

Para llevar a cabo una agricultura sustentable es necesario manejar una fertilidad natural en el suelo, esto como manera de disminuir la dependencia de fertilizantes químicos y buscar disminuir costos de producción y minimizar el impacto de la explotación sobre los ecosistemas que residen en la zona. La ventaja de los lodos como abono orgánico en búsqueda de aumentar la productividad de suelos, esto quiere decir, que el acondicionamiento de suelos ayuda a poder utilizarlos en cualquier plan de manejo ya sea mediano o largo plazo, sus efectos son múltiples por sus propiedades bioquímicas y su fácil combinación con el suelo.

En suelos degradados el uso del bioabono como método de recuperación permite mejorar el intercambio catiónico, esto conlleva a un mejor intercambio catiónico en el suelo permitiendo la disponibilidad de nutrientes y mejorando su absorción, también aumenta la humedad del suelo y la creación de microclimas, de igual forma cuenta con fitoreguladores que promueven actividades fisiológicas y el enraizamiento además de ejercer acción sobre el follaje. En suelos arenosos promueve una mayor cohesión mejorando la retención de nutrientes, además de mejorar la estructura del suelo que controla los procesos de erosión y reactiva ciclos biogeoquímicos.

2.2.4 Tipos de biodigestores

A) Biodigestor en discontinuo

Como se muestra en la Figura 2.3 en estos biodigestores la descarga se hace de forma discontinua, por lo que, debemos esperar a que finalice la fermentación para extraer los productos y volver a cargar el biodigestor con residuo fresco, este es el tipo más simple y antiguo de todos. Cuenta con un tanque de almacenamiento sin elementos para acelerar los procesos como el calentamiento o la mezcla forzada, la mezcla en el interior es agitada por

las mismas burbujas de biogás producido en su paso a la superficie, esto lleva a una estratificación en su interior.

Como la residencia hidráulica es elevada en estos, la eficacia del proceso es pequeña y la producción de biogás es intermitente lo que interfiere con su aprovechamiento, su empleo prácticamente es solo para residuos sólidos y su uso es mas en países en vías de desarrollo en donde son usados con estiércoles en el sector rural. [7]

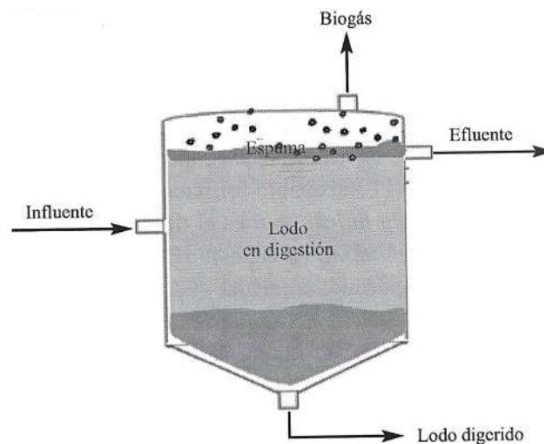


Figura 2.3 Biodigestor en discontinuo [7]

B) Biodigestor en continuo

Se denominan así porque los microorganismos se encuentran flotando y no están fijados en ninguna superficie, su clasificación depende del grado de complejidad, mismos que se describen a continuación. [2]

C) Mezcla completa

No cuentan con retención de biomasa suspendida ni recirculación de lodos lo que supone que sus tiempos de retención de sólidos sean iguales a sus tiempos de residencia hidráulica, su tiempo de arranque oscila entre los 30 y 90 días. En el suelo del contenedor se genera una capa de espuma favorecida por el biogás que asciende arrastrando lodo y flotantes, es utilizado un agitador mecánico y/o una recirculación de biogás para la mezcla del contenido y evitar costras, si se utiliza la recirculación no es necesario abrir el biodigestor para su mantenimiento, suelen contener calefacción para beneficiar la digestión en el rango mesófilo, se debe purgar periódicamente el lodo digerido.

Como se ve en la Figura 2.4 la carga volumétrica y la producción de gas en estos biodigestores es baja por las concentraciones de biomasa activa y su uso es principalmente para una alta concentración de sólidos en suspensión como residuos ganaderos y lodos de depuradoras. [18]

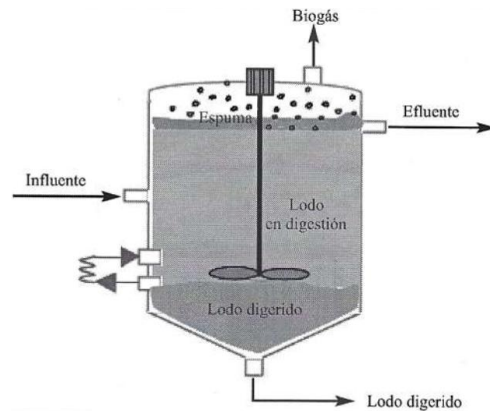


Figura 2.4 Biodigestor de mezcla completa [18]

D) Tipo flujo pistón

Como se observa en la Figura 2.5 estos están constituidos por canales excavados en la superficie del terreno y cubiertos con plástico el cual tiene la función de depósito de biogás y aislamiento térmico. Son parecidos a los de mezclas completa al igual que sus parámetros de operación, su diseño es sencillo y no cuentan con retención de biomasa suspendida ni recirculación de lodos, lo que conlleva a tener tiempos de residencia hidráulica altos al igual que sus tiempos de retención de sólidos.

Su flujo de las sustancias es horizontal y se debe a la agitación mecánica lateral o inyección de residuos debido a la entrada continua de los mismos. Pueden contar con calefacción mediante serpentín interior si así requieren, sin embargo, un problema típico de estos biodigestores es la formación de espuma y costras que dificultan el paso del biogás y la degradación de los sólidos en suspensión, son los más usados para residuos ganaderos porque estos ya llevan un inóculo de microorganismos anaerobios. [7]

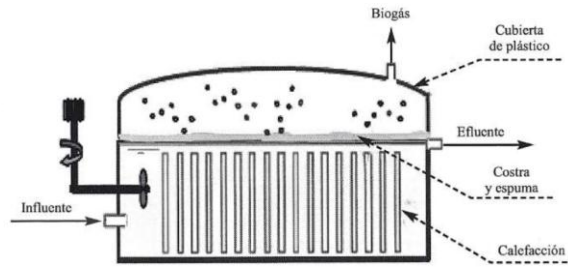


Figura 2.5 Biodigestor tipo flujo pistón [7]

Los biodigestores de flujo pistón, tubulares o de salchicha como también se les conoce tienen como ventaja varios factores importantes que los hacen propicios para estos casos de estudios, algunos a mencionar es que son los más utilizados en Latinoamérica por ser los más adaptables a los diferentes tipos de climas y regiones y su rápida instalación, son de fácil capacitación y poco mantenimiento, además, se pueden realizar de cualquier tamaño gracias a sus materiales maleables y de fácil reparación como la geomembrana de polietileno de alta densidad que es soldable llegando a tener tiempos de vida útil de hasta 15 años.

E) Contacto

En ellos existe una separación y recirculación de lodos en el afluente por medio de un decantador, esto aumenta la concentración de biomasa residual húmeda y así disminuye el tiempo de residencia hidráulica. Esto conlleva al aumento de la eficacia del proceso por que el tiempo de residencia del sólido es superior al hidráulico.

Como se ve en la Figura 2.6, estos biodigestores es necesario purgarlos periódicamente para evitar la acumulación de sólidos no biodegradables, sus tiempos de residencia hidráulica oscilan entre 2 y 6 días, además de que pueden trabajar con cargas altas y aumentar sus producciones de biogás, su tiempo de arranque es de entre 20 y 60 días y su empleo principal es para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria agrícola. [2]

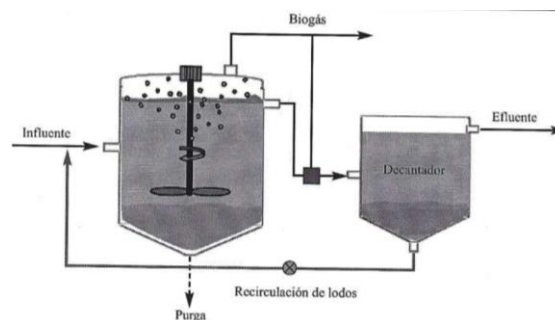


Figura 2.6 Biodigestor de contacto [2]

F) Lecho expandido de lodos o UASB

Están basados en la acumulación de microorganismos con decantación interna, la inmovilización de estos ocurre por auto espesamiento, el agua tratada es repartida por toda la superficie interior y atraviesa ascendentemente un lecho de partículas bacterianas adicionadas mantenidas en expansión por el gas en producción. En la zona superior de este se encuentran separadores gas-líquido-sólido que ayudan a mantener el sólido dentro y evitar la salida de partículas de lodo, arriba del separador el sedimentador para el lodo para finalmente volver a la zona de digestión.

Los principales requisitos de estos biodigestores son lodos con buena sedimentabilidad, como se muestra en la Figura 2.7 son dispositivos que ayuden en la separación gas-líquido-sólido y un sistema que ayude a uniformizar la entrada del influente en su base. Los mecanismos de formación de gránulos de alta densidad en estos biodigestores pueden ser biológicos o fisicoquímicos. El sistema de agitación es llevado a cabo por las burbujas de gas en movimiento ascendente y de su flujo influente. Su residencia hidráulica es de 1 a 2 días y su arranque entre 30 y 60 días, se pueden conseguir cargas volumétricas mayores aun que en el proceso de contacto y su empleo es en aguas residuales agroindustriales. [18]

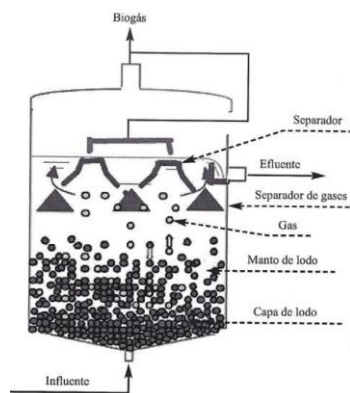


Figura 2.7 Biodigestor de lecho extendido [18]

G) Biodigestores de biomasa adherida

Se caracterizan por tener en su interior un material inerte que ayuda como soporte de microorganismos los cuales como su nombre lo explica crean una masa adherida y parte de ellos quedan retenidos en los intersticios del manto, el flujo del influente a través de estos últimos se genera la mezcla y el contacto entre influente y la biomasa produciendo así la depuración del agua residual.

Los requisitos propios de su soporte son la estructura resistente, deben ser biológica y químicamente inertes, contener una alta superficie específica, elevada porosidad, forma no achatada o lisa y bajo costo, dependiendo de si su interior es fijo se clasificarán en fijos o móviles. [19]

H) *Biomasa adherida a superficies fijas*

Cuentan con materiales de soporte variados siendo el más utilizado el PVC, aunque puede llegar a darse el uso de cerámicos, esferas de polietileno, granito, etc. Mientras cuentan con gran porosidad y una superficie esférica de entre 100 y $200 \frac{m^2}{m^3}$. Son biodigestores muy estables aun sin tener cargas elevadas, los tiempos de residencia hidráulica oscilan entre 0.5 y 3 días y su tiempo de arranque es de 20 a 70 días. Dentro de estos se distinguen dos tipos los de filtros no orientados y filtros orientados. [7]

I) *Filtros no orientados*

Como se observa en la Figura 2.8, el material inerte en el interior en estos biodigestores se encuentra colocado al azar, su granulometría es uniforme y son de flujo ascendente, por lo que, la entrada influente se encuentra en la parte inferior, lo que permite mejor retención en microorganismos, algunas veces presentan problemas de colmatación y de caminos preferenciales. [20]

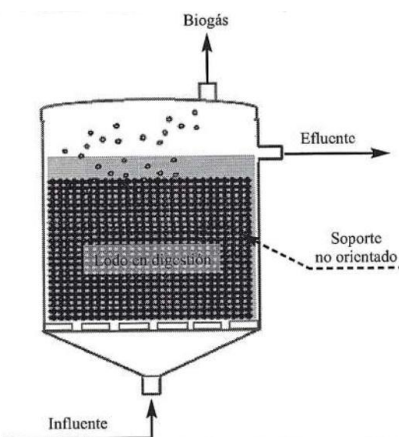


Figura 2.8 Biodigestor de filtro no orientado [20]

J) *Filtros orientados o de película fija*

En contraparte el soporte inerte, como se observa en la Figura 2.9, está formado por bloques y en su defecto de forma correcta en el interior de este biodigestor, pueden ser de flujo descendente y su entrada se realiza por la parte superior. [19]

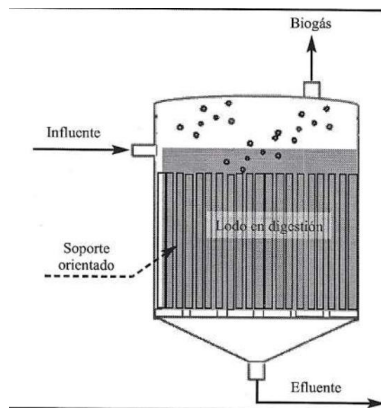


Figura 2.9 Biodigestor de filtros orientados [19]

K) Biomasa adherida a superficies móviles

Estos biodigestores cuentan con un manto de material inerte de tamaño pequeño que se mantiene expandido por la velocidad de ascenso del influente, este material puede ser de diversos compuestos como arena o PVC, y cuentan con una superficie específica muy elevada, la sepiolita es el material más empleado. En ellos las bacterias habitan diminutas partículas formando un lecho por el cual circula el líquido a depurar, en la parte superior se encuentra un sedimentador para evitar la escapatoria de partículas de lodo con el efluente.

Su tecnología soporta cargas elevadas y emplean tiempos de residencia hidráulica de 5 a 20 horas y un tiempo de arranque de 30 a 70 días, además de una concentración de sólidos en el efluente. La expansión que se lleva a cabo en su lecho mejora el contacto entre el influente y la biomasa y así se evita tener obstrucciones. El diseño de estos biodigestores es más estilizado con una mejor relación diámetro altura, esto con el fin de conseguir una mejor expansión. En función al grado de expansión de las partículas en su interior y en virtud de la velocidad ascendente del influente se pueden dividir en dos tipos, de lecho expandido y de lecho fluidizado. [20]

L) Lecho fluidizado

Se consideran así cuando se logra una expansión del orden del 20%, su velocidad ascendente oscila entre 2 y 10 m/h y la concentración de sólidos en su interior es de 10 a 30 g SSV/l, como se muestra en la Figura 2.10. [7]

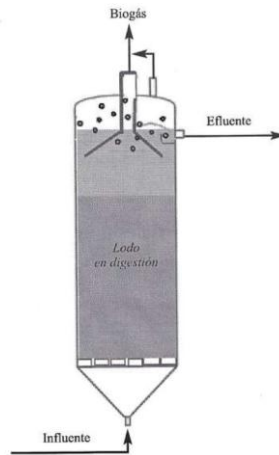


Figura 2.10 Biodigestor de lecho fluidizado [7]

M) Lecho fluidizado

La expansión en estos biodigestores es superior al 30% incluso llegando al 100%, en estos la concentración de sólidos en su interior es de 10 a 40 g SSV/l y la velocidad ascendente del influente es entre 6 y 20 m/h. Como se ve en la Figura 2.11 para lograr estas velocidades suele ser necesario la recirculación de una parte el efluente. [2]

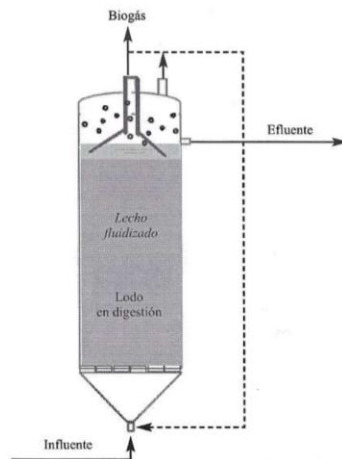


Figura 2.11 Biodigestor de lecho fluidizado [2]

Para la propuesta en marcha se hace la elección de utilizar el biodigestor de carga continua tipo flujo pistón, o igualmente conocidos como tipo Taiwán como se muestra en la Figura 2.12, ya que, su diseño lo especializa para el sector agropecuario, al ser de bajo costo llevan menos obra civil que otros modelos que se especializan mayormente en el sector industrial, de igual manera son de mantenimientos y reparaciones sencillas y económicas.

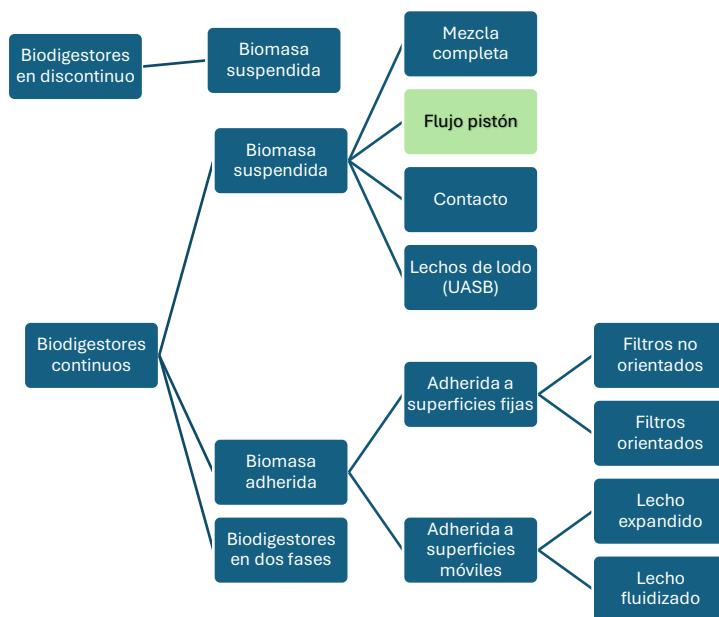


Figura 2.12 Tipos de biodigestores

Capítulo III Metodología

El presente proyecto es de tipo investigación aplicada, porque se propondrá la solución de un problema de contaminación por desechos de excretas generadas por 28 cabezas de ganado bovino al momento de su ordeño matutino en rancho El Retorno y su reutilización para generar biofertilizante mediante el un biodigestor de carga continua.

3.1 Determinación la generación diaria de materia orgánica disponible para la carga diaria del biodigestor mediante un muestreo de 15 días.

El estiércol disponible es aquel que podemos recolectar para la carga del biodigestor, es muy diferente al estiércol diario, ya que dependiendo del manejo del rancho si es estabulado o semi estabulado parte de la materia fecal queda esparcida en los potreros o pastizales, el estiércol disponible será menor o igual al estiércol diario, por lo tanto, es necesario saber las horas en las que estarán estabulados los bovinos y su ubicación para facilitar la recolección, por ello se realizó un muestreo de 15 días en donde después de que el ganado fuera ordeñado en la sala correspondiente se recolecto el excremento disponible y se pesó para saber su cantidad y conocer el promedio con el que se va a trabajar.

Teniendo el resultado anterior se debe considerar la cantidad mínima de agua con las que se debe mezclar, se debe de tomar a consideración que para el tipo de biodigestor a utilizar la carga de solidos totales debe ser entre un 3% y 16%, considerando que para el estiércol de ganado bovino es necesaria una relación de 1:3.

La carga diaria se va a poder representar como la cantidad la mezcla entre estiércol y agua este parámetro será clave para el dimensionamiento del biodigestor y cálculo de su volumen.

3.2 Cálculo del tiempo de retención hidráulica para la propuesta del volumen del biodigestor para el dimensionamiento de la zanja.

Se analizará las condiciones climatológicas del lugar para determinar su media anual de temperatura para definir si es necesario utilizar calefacción en el biodigestor, las bacterias del biodigestor al trabajar dependiendo la temperatura podemos esperar definir el tiempo de retención hidráulica y el tiempo de retención de sólidos, estos parámetros son individuales por proyecto, en nuestro país se consideran alrededor de 30 días para un aprovechamiento del 60%.

Para determinar el tiempo de retención hidráulica se basó en la metodología del autor Martí Herrero J [9] en la cual, primero debemos conocer la temperatura promedio anual del rancho, para ello se recurrió a la NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) Data Access Viewer (DAV) en donde mediante la latitud y longitud se extrajo los valores de la temperatura promedio por mes tomando en consideración un lapso de 10 años del 2012 al 2022.

Para el cálculo del volumen del biodigestor se basó en la metodología del autor Martí Herrero J. [9] , es necesario tener en cuenta dos fases que se llevaran a cabo dentro del biodigestor, la líquida de la carga daría y la gaseosa para la acumulación del biogás, los parámetros a considerar en este cálculo son el flujo diario, la carga orgánica y un volumen adicional para el almacenamiento de gas.

El dimensionamiento se llevará a cabo para darle una forma determinada previendo dimensiones de la zanja donde estará depositado, el tamaño posible del material a elegir juega un papel importante en estos cálculos por su maleabilidad al momento de realizar una circunferencia.

Teniendo el volumen total del biodigestor es necesario darle una forma tubular que esta estrictamente relacionada a las dimensiones del biodigestor, para ello se basó en la metodología del autor Martí Herrero J. [9], es necesario aclarar que la parte más importante es el volumen líquido que se obtuvo anteriormente, al proponer el diseño del biodigestor con materiales flexibles como la geomembrana de polietileno de alta densidad es necesario realizar una zanja la cual contendrá el volumen líquido (V_L) del biodigestor que le dará soporte al material, dicho lo anterior, las dimensiones de la zanja determinan el volumen final del biodigestor pues este estará inmerso en la zanja, el motivo de hacerlo tubular es para simular un intestino del sistema digestivo y así al recorrer la longitud en el recipiente, se alcance el tiempo de retención hidráulica (TRH), el volumen del biogás solo hace referencia al biogás que se quiera almacenar pero no interfiere con la digestión anaerobia.

Un punto importante es saber el ángulo de inclinación que le vamos a dar a la zanja, con frecuencia las zanjas tienen formas trapezoidales para prevenir derrumbes, esto dependerá si el suelo del rancho es arenoso, arcilloso o limoso, para ello se basó en la metodología del autor Martí Herrero J. [9].

3.3 Estimación de la cantidad de biofertilizante esperado después del proceso de digestión anaeróbica.

De acuerdo con la metodología utilizada por (López et al.) [21] para el balance de materia y energía en digestores anaerobios.

3.4 Propuesta de materiales y complementos para la construcción del biodigestor

La instalación del biodigestor requiere de conocer la ubicación de la zanja en la que estará puesto, donde se necesitó conocer diversos factores del entorno a considerar para acatar el reglamento de la Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), se debe tener en cuenta la obra civil del biodigestor en cuanto a excavaciones necesarias por los ángulos necesarios que se requieren.

Se hará la propuesta de materiales de los cuales estará conformado el sistema, identificando las partes del biodigestor que tienen requerimientos específicos en cuanto a su uso como el reactor, incluyendo en este sector el sistema de tuberías de entrada y salida del reactor y la

tubería de gas, en esta parte se identificarán materiales que ayuden a optimizar el costo del sistema.

Esta propuesta incluirá medidas de seguridad que se deben tener en cuenta para proteger el sistema de agentes externos como animales y al estar a la intemperie pueden dañarlo, así como señalizaciones de seguridad para los operadores y personas que circunden por el lugar, también mantenimientos necesarios para cuidar del sistema, prolongar su vida útil y evitar reparaciones que puedan detener la producción y resultar en costos no esperados de reparación.

3.5 Estimación los costos en el supuesto de su posible implementación

Se estimarán los costos posibles de la instalación y puesta en marcha del sistema del biodigestor, para ello, es necesario tener claro los materiales que se van a utilizar y los procedimientos a seguir, buscando insumos cercanos en las ferreterías de la ciudad o región para minimizar precio de traslado, esto se hace para tener claro un panorama de inversión y la posibilidad de sustentarla mediante activos del rancho.

Capítulo IV Desarrollo

4.1 Caracterización e instalaciones del caso de estudio rancho el retorno

Rancho el retorno está ubicado en el municipio de Tantoyuca Veracruz como se muestra en la Figura 4.1, cuenta con una extensión de 40 hectáreas dedicadas a la crianza de ganado bovino para la venta de leche, pie de cría, etc.



Figura 4.1 Vista aérea del rancho. [22]

El predio es circundado por el río “La Bomba” lo que favorece la obtención del recurso hídrico para las labores que se desarrollan en el rancho como se observa la cercanía desde la Figura 4.2, además de contar con energía eléctrica por parte de la comisión federal de electricidad.



Figura 4.2 Vista de la rivera del rio la bomba desde el rancho

Aparte de contar con un sistema de bombeo para extraer agua del río, el rancho cuenta con agua potable dispersada por mangueras como lo muestra la Figura 4.3, con la finalidad proveer de agua limpia a los administradores que viven en el rancho y otros procesos que la pudieran necesitar.



Figura 4.3 Punto de llegada y repartición del agua potable

El rancho cuenta con instalaciones adecuadas para el manejo del ganado, teniendo una zona corralera que se ve en la Figura 4.4 y sala de ordeña pavimentados, lo que favorece la recolección de excrementos al no contaminarse con el contacto directo del suelo.



Figura 4.4 Corralera principal del rancho

Previo a entrar a la sala de ordeño las vacas permanecen un cierto tiempo de espera en el corral visto en la Figura 4.5 en el que empiezan a desalojar sus excrementos continuamente después de alimentarse continuamente toda la noche.



Figura 4.5 Extensión de la corralera principal

Una vez llegado el turno proceden a pasar al ante corral de ordeño que se muestra en la Figura 4.6 donde ocurre un proceso mecanizado para extraer su leche, muchas ocasiones si en el

anterior corral no alcanzan a defecar, con el movimiento generado por su movilización llegan a arrojar de igual manera excremento en esta zona como se muestra en la figura.



Figura 4.6 Ante corral de ordeño

Al final del recorrido, como se puede observar en la Figura 4.7, se introducen a los andenes de ordeño para iniciar la extracción de leche.



Figura 4.7 Andenes de ordeño

4.2 Recolección y pesaje de excremento

La recolección se llevó a cabo con la ayuda de herramientas como pala, escoba y carretilla con el fin de agilizar el proceso como lo muestran las Figura 4.9.



Figura 4.8 Recolección de excremento en el ante corral por parte del personal del rancho

El personal administrativo se encargó de recolectar los excrementos esparcidos en las áreas antes mencionadas como se muestra en la Figura 4.9 y 4.10.



Figura 4.9 Excrementos esparcidos en la sala de ordeño

Para este experimento la recolección de excrementos fue individual con el motivo de tener un mejor control en el pesaje de muestras y se colocaron en sacos para la eficiencia del tiempo como se parecía en la Figura 4.10 y 4.11.



Figura 4.10 Recolección de excremento en la sala de ordeño por el personal del rancho

Para esta prueba experimental se utilizó una báscula mecánica para el pesaje de los excrementos, se utilizó un costal de plástico vacío para facilitar la maniobrabilidad de las muestras como se muestra en la Figura 4.12.



Figura 4.11 Pesaje de excremento con ayuda de la bascula

4.3 Determinación del tiempo de retención hidráulica

Debemos conocer la temperatura promedio anual del rancho, para ello se obtuvo ayuda de la NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) Data Access Viewer (DAV) en donde mediante la latitud y longitud se extrajo los valores de la temperatura promedio por mes tomando en consideración un lapso de 10 años del 2012 al 2022 que se observan en la Tabla 4.1, ya que los datos oficiales hasta el momento solo llegan a ese año.

Tabla 4.1 Temperatura Promedio Máxima por Mes a 2 Metros del Año 2012 al 2022

Mes	T en °C a 2 metros máxima
Enero	37.62
Febrero	38.9
Marzo	45.27
Abril	47.97
Mayo	44.27
Junio	40.87
Julio	38.27
Agosto	39.36
Septiembre	40.28
Octubre	36.39
Noviembre	32.01
Diciembre	37.08

Fuente: Elaboración en base a datos de la NASA [23]

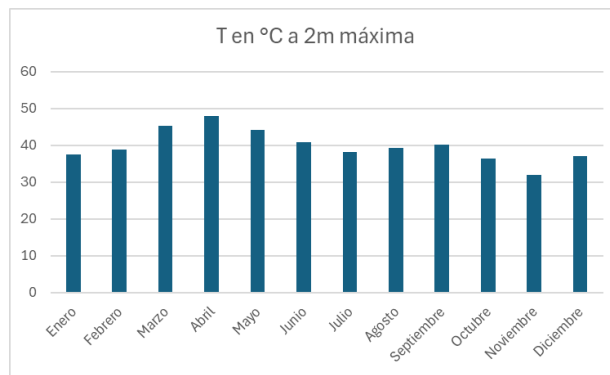


Figura 4.12 Gráfica de temperatura promedio por mes del año 2012 al 2022

4.4 Volumen del biodigestor

Teniendo en cuenta las dos fases que habrá dentro del biodigestor la fase líquida y la fase gaseosa como se observa en la Ecuación 1. En donde:

$$V_T = V_L + V_B \quad \text{Ec 1}$$

En el caso de la fase líquida se utilizará la siguiente Ecuación 2 para su cálculo.

$$V_L = TR \cdot CD \quad \text{Ec 2}$$

En donde:

V_L es el volumen líquido

TR es el tiempo de retención diaria

CD es la carga diaria

El volumen del recipiente del biogás (V_B) se puede hacer mayor o menor al momento de hacer una propuesta de diseño, a este no le afectan factores como el tiempo de retención, lugar o clima donde se establezca el biodigestor, ya que es un espacio que no ocupan las bacterias y se puede hacer de gran tamaño para almacenar gas por días o de un tamaño pequeño si es que no se utiliza el almacenamiento de biogás y se desaloja o si el sistema de biodigestión cuenta con un reservorio externo.

4.5 Medidas del recipiente

Se necesita valores previstos para obtener el valor de la circunferencia como se muestra en la Ecuación 3.

$$C = 2 \cdot \pi \cdot r \quad \text{Ec 3}$$

$C =$ circunferencia del plástico en m

$r =$ radio de la circunferencia del plástico en m

$$\pi = 3.1416$$

Despejando la circunferencia de la ecuación 3 que es un valor conocido, tenemos la Ecuación 4, en donde buscamos encontrar el radio.

$$r = \frac{C}{2 \cdot \pi} \quad \text{Ec 4}$$

Es necesario darle forma tubular al biodigestor por el hecho de tener la entrada y salida separadas, mediante la Ecuación 5 debemos obtener un rango entre los valores de 5 y 10 donde el 7.5 o intermedio es lo óptimo, esto para asegurar que no sea muy cuadrado como par que la carga diaria del biodigestor sea propensa a salir en los próximos días antes de alcanzar su tiempo de retención, ni muy larga para porque puede incurrir en problemas de generación de lodos.

$$\frac{L}{D} = 5 \leq; \geq 10 \quad \text{Ec 5}$$

En este caso, tomamos en cuenta que propondremos la geomembrana de polietileno de alta densidad, al contar con distintos metros de ancho en el mercado, al malear el material buscando formar un cilindro, podemos inferir que la circunferencia de ese cilindro queda igualada a los metros de ancho. La Tabla 4.2 muestra los parámetros de radio, diámetro y

longitud mínima y máxima a partir de las circunferencias más comunes encontradas en el mercado.

Tabla 4.2 Longitud Mínima, Máxima y Óptima de Biodigestores Tubulares Según Circunferencias

Circunferencia (m)	Ancho de rollo (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Longitud biodigestor tubular		
				Mínima (m)	Máxima (m)	Óptima (m)
2	1	0.32	0.64	3.2	6.4	4.8
3	1.5	0.48	0.95	4.8	9.5	7.2
4	2	0.64	1.27	6.4	12.7	9.5
5	2.5	0.80	1.59	8.0	15.9	11.9
6	3	0.95	1.91	9.5	19.1	14.3

Fuente: Elaborada por [9]

4.6 Dimensiones de la zanja

Para determinar el área de la zanja es necesario conocer su ancho inferior (a), ancho superior (b) y profundidad (p) como se observa en la Figura 4.13, posteriormente se multiplica por la longitud para determinar su volumen.

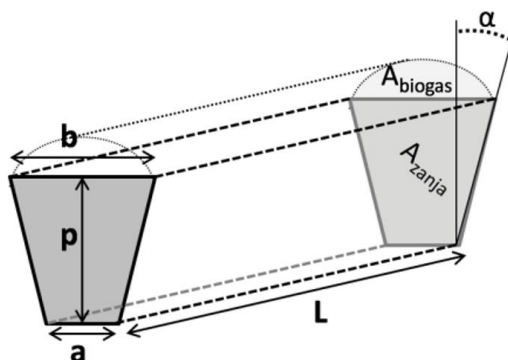


Figura 4.13 Medidas de la zanja. Elaborada por [9]

Es necesario conocer el área de la zanja, esta se calcula mediante el área del trapecioide dicho en la Ecuación 6.

$$A_{zanja} = p \cdot \frac{(a + b)}{2}$$

Ec 6

$$p = \text{altura}$$

$a = \text{base menor}$

$b = \text{base mayor}$

El volumen de la zanja es directamente proporcional al volumen líquido del biodigestor como se muestra en la Ecuación 7

$$V_{zanja} = V_L = A_{zanja} \cdot L \quad \text{Ec 7}$$

Despejando el volumen para obtener la longitud de la zanja tenemos la Ecuación 8.

$$L = \frac{V_L}{A_{zanja}} \quad \text{Ec 8}$$

Un parámetro para considerar es que el perímetro del área trapezoidal debe ser menor a la circunferencia del plástico por el sobrante que se propone para almacenar biogás.

Se propondrá el cálculo de la zanja con un rango de ángulos de 0° a 45° para ya que el suelo de la región varía entre franco arenoso y franco limoso propenso a la fácil compactación, sin embargo, el estudio de suelo no está dentro de los objetivos de este proyecto y por ellos se genera un abanico de posibilidades a utilizar por el propietario cuando se le entregue el reporte técnico.

El autor (Martí J., 2019) nos propone la Tabla 4.3 la cual es aplicable a cualquier circunferencia de plástico, donde mediante las Ecuaciones 4 y 6 multiplicando un factor del radio se obtienen las dimensiones de la zanja a partir del ángulo. En esta igual incluye el porcentaje de volumen líquido y porcentaje de volumen gaseoso respecto al total.

Tabla 4.3 Parámetros de Dimensionado de Zanjas de Biodigestores Tubulares a Partir del Ángulo y el Radio de la Circunferencia Disponible de Manga Tubular

α (°) desde vertical	%VL	%VB	a (m)	b (m)	p (m)	$A_{zanja} (m^2)$	$A_{biogas} (m^2)$	$A_{total} (m^2)$
0	80	20	$1.34 \cdot r$	$1.34 \cdot r$	$1.57 \cdot r$	$2.10 \cdot r^2$	$0.53 \cdot r^2$	$2.63 \cdot r^2$
7.5	80	20	$1.23 \cdot r$	$1.63 \cdot r$	$1.54 \cdot r$	$2.20 \cdot r^2$	$0.55 \cdot r^2$	$2.75 \cdot r^2$
15	76	24	$1.02 \cdot r$	$1.82 \cdot r$	$1.49 \cdot r$	$2.12 \cdot r^2$	$0.69 \cdot r^2$	$2.80 \cdot r^2$
30	75	25	$0.72 \cdot r$	$2.26 \cdot r$	$1.33 \cdot r$	$1.98 \cdot r^2$	$0.66 \cdot r^2$	$2.64 \cdot r^2$

45	65	35	$0.43 \cdot r$	$2.57 \cdot r$	$1.07 \cdot r$	$1.61 \cdot r^2$	$0.86 \cdot r^2$	$2.47 \cdot r^2$
----	----	----	----------------	----------------	----------------	------------------	------------------	------------------

Fuente: Elaborada por [9]

Uniendo las Tablas 4.2 y 4.3 además del volumen líquido, el diámetro y la longitud sobre el diámetro, es posible generar la Tabla 4.4 que nos ayude con el dimensionamiento de cualquier tipo de biodigestor tubular y aplicarla a este caso de estudio para los diferentes ángulos propuestos y buscando el mejor tamaño de geomembrana que le pueda convenir al productor.

Tabla 4.4 Dimensionado de biodigestores tubulares

α (°)	C (m)	r (m)	a (m)	b (m)	p (m)	A_{zanja} (m ²)	L (m)	D (m)	$\frac{L}{D}$
Tabla 3.3	C	$= \frac{C}{2(\pi)}$	Tabla 3.3	Tabla 3.3	Tabla 3.3	Tabla 3.3	$= \frac{V_L}{A_{zanja}}$	$= 2(r)$	$\frac{L}{D}$

Fuente: Elaborada por [9]

4.7 Estimación de la cantidad de biofertilizante

4.7.1 Balance de masa

Masa de lodo crudo de entrada al digestor (M_{LC}) esta es la carga diaria del biodigestor.

Porcentaje de solidos volátiles (SV) en el lodo.

Masa orgánica de lodo crudo de entrada al digestor:

$$M_{OLC} = \%SV \cdot M_{LC} \quad Ec 9$$

Porcentaje de solidos volátiles (SV) destruidos ($\%SSV_{des}$)

Masa de SV destruidos:

$$M_{OD} = \frac{\%V_{des}}{100} \cdot M_{OLC} \quad Ec 10$$

Masa de SV en el lodo digerido:

$$M_{OE} = M_{OLC} - M_{OD} \quad Ec 11$$

Masa de SF a la entrada = masa de SF a la salida: (M_{IE})

Masa total de sólidos en el lodo digerido:

$$M_{LE} = M_{IE} + M_{OE} \quad Ec 12$$

Para la generación de biogás:

Factor de generación teórica de biogás (F_{biogas})

Flujo de biogás producido: $V_{biogas} = F_{biogas} \cdot M_{OD}$

$$V_{biogas} = F_{biogas} \cdot M_{OD} \quad Ec 13$$

4.7.2 Balance de energía

Poder calorífico del lodo crudo (PC_{LC})

Energía total del lodo crudo:

$$Q_L = PC_{LC} \cdot M_{LC} \quad Ec 14$$

Poder calorífico del lodo digerido (PC_{LE})

Energía total del lodo digerido:

$$E_L = PC_{LE} \cdot M_{LE} \quad Ec 15$$

Poder calorífico del biogás: (PC_{biogas})

Energía total del biogás:

$$E_{biogas} = PC_{biogas} \cdot V_{biogas} \quad Ec 16$$

4.8 Instalación

4.8.1 Ubicación y cavado de la zanja

Se debe conocer la ubicación donde estará el biodigestor y posterior cavar la zanja, para ello es necesario dimensionar la magnitud del proyecto considerando la normatividad ambiental vigente, misma que nos proporciona la Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y sus reglamentos que se resumen en los siguientes puntos.

- a) Evitar la proximidad de zonas como aeródromos de servicio público o aeropuertos
- b) Evadir las áreas naturales protegidas
- c) Su instalación debe alejarse un mínimo de 500 metros de cualquier población
- d) La ubicación debe evitar zonas acuáticas como humedales, marismas, pantanos, esteros, acuíferos, zonas arqueológicas, fallas geológicas, etc.
- e) Colocararlo fuera de zonas propensas a inundarse ya que puede ocasionar que salga de la zanja.
- f) Se deberá evitar la cercanía de pozos de extracción de agua en un mínimo de 500 metros.
- g) Si existiera un manto friático debe tener una profundidad mínima de 7 metros.
- h) Colocararlo en una zona abierta donde no exista probabilidad de que un objeto pueda caer por gravedad y dañar el plástico del biodigestor.
- i) Evitar caminos que puedan entorpecer el paso de personas, vehículos o animales e impedir el vandalismo.

Considerando los puntos descritos anteriormente, el criterio para ubicar el biodigestor aún sigue siendo el lugar más cercano a donde se hará la recolección del estiércol, esto facilitara la carga del biodigestor, a su vez, es necesario contar con un punto de obtención de agua cercano, ya que al proponer una carga manual esto reducirá tiempos de trabajo.

4.8.2 Influyente

Fosa de mezclado

La instalación de una fosa de mezclado es necesaria antes de ingresar la carga diaria del biodigestor, para monitorear y controlar la relación de agua-sólidos y así evitar taponamientos en las tuberías o una degradación lenta que induce un mayor tiempo de retención.

4.8.3 Efluentes

Biol

Para la recolección del biol se debe considerar la construcción de un recipiente secundario que capte el efluente del biodigestor, la capacidad de este depende del volumen del biol

saliente del sistema, esto se hace para aumentar el tiempo de retención del flujo y darle tratamiento adicional por motivo de mejorar su calidad. Si este efluente se descargará sobre cuerpos de agua considerados como bienes nacionales o sistemas de alcantarillado urbano y municipal o su aprovechamiento para riego o fertilización necesita cumplir con los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes Básicos, tales como metales pesados, contenidos de patógenos y parásitos, como se indica en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Lodos residuales

Para su aplicación en terrenos con finalidad agrícola y mejoramiento de suelos estarán sujetos a lo establecido en la Ley Federal de Sanidad Vegetal y de igual manera con la normatividad vigente, los sitios para la disposición final de estos lodos y biosólidos deben ser autorizados por la autoridad competente, la metodología de muestreo y análisis que determinan las características y el tipo de lodos se pueden encontrar en la NOM-004.SEMARNAT-2022 que clasifica estos en función de los LMP's como la cantidad de coliformes fecales, presencia de salmonella y cantidad de huevos de helminto.

4.9 Obra civil del biodigestor

Antes de iniciar la excavación es necesario realizar un estudio de mecánica de suelos que nos diga el tipo de suelo con el que se va a trabajar, material de la zona.

Se debe iniciar haciendo trazos y nivelaciones del terreno tanto de la zanja como de las líneas de influente y efluente ayudándonos con marcas como estacas, hilo y/o cal como se observa en la Figura 4.15, en este punto es necesario saber la inclinación de los taludes (ver apartado) con los que se diseñara la zanja del biodigestor, para así trazar el inferior de la zanja y escarbarlo hasta la profundidad deseada para luego adecuar las paredes y sus ángulos, el fondo se la zanja debe quedar sin pendiente.

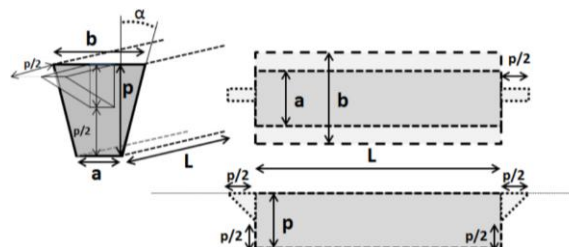


Figura 4.14 Esquema de dimensiones de una zanja para biodigestores tubulares [9]

Los taludes deben contar con pendientes estables y duraderas acorde al estudio de mecánicas de suelos, su superficie debe de tener una compactación mayor al 90% para así garantizar que no existan protuberancias que dañen la colocación de la geomembrana, es necesario observar la calidad del terreno para conocer si será preciso instalar un material geotextil contra las paredes y el fondo del biodigestor como protección a la geomembrana; existen casos donde el suelo es rocoso y pueden quedar huecos en la pared, estos deberán ser rellenados para el alisado de la superficie y si es el caso se pueden poner planchas de madera u otro material.

Para la corona del biodigestor se debe tener una compactación de entre el 85% y 90%, el ancho de esta deberá ser de un mínimo de 3 metros libres a cada lado evitando objetos o salidas de otras fuentes para el paso de maquinaria, una vez hecho el sistema ya no podrá maniobrar maquinaria pesada sobre la corona, después de esto último, se debe aplicar un control de maleza o vegetación que evite el crecimiento de esta en la corona, si existen raíces cercanas de árboles que puedan pretender un peligro al sistema también deberán ser cortadas.

Consideraciones especiales

- Si se encuentra con un manto freático el cual no cumple con los 7 metros mínimos por reglamento y sea la única opción disponible; el biodigestor se puede construir de manera más superficial o semienterrado siguiendo otros métodos en un porcentaje que se decidirá en función por el tipo de suelo y subsuelo, siempre garantizando la estabilidad y seguridad del biodigestor. Para los demás casos se hará la excavación conforme lo antes determinado.
- Si existe un alto contenido de materia orgánica en el terreno será necesario instalar un sistema de colección de gases en la parte inferior de la geomembrana, esto a través de un sistema de expulsión de gases que se liberen sobre la corona del digestor y estén presentes en todo lo largo y ancho de este para ventearlos.
- La fracción superior del biodigestor deberá ser construida sin hacer medios círculos en las esquinas para ayudar a que tenga una mejor calidad en las uniones de la geomembrana y la compactación de los taludes se efectuará empleando técnicas y equipos acordes al tipo de terreno para lograr una superficie sin bordos o piedras que lastimen la geomembrana.

4.10 Construcción del biodigestor

4.10.1 Salida del biogás

La salida del biogás en el biodigestor se debe ubicar en la parte superior donde se estará formando la cúpula del biogás, la ubicación no es determinante siempre que esté en la parte superior de la cúpula, para mayor comodidad y manejo es recomendable que sea cerca de uno de los extremos de la geomembrana.

Para la salida es necesario hacer un corte en la geomembrana contar con una brida de plástico como las utilizadas en los tanques prefabricados de agua, se recomienda usar cinta teflón si su apriete es mediante roscado para evitar fugas de biogás.

4.10.2 Tubería del influente y efluente

Para colocar las tuberías de entrada y salida del biodigestor es necesario hacer dos canales en cada extremo de la zanja, estos se deben hacer inclinados con un ángulo aproximado de 45° y con un ancho suficiente para que se pueda mantener montado el PVC, esto se hace para colocar la tubería en dicha inclinación y lograr un sello hidráulico en el biodigestor, con ayuda de un codo de 45° se busca darle dicha inclinación al material de la tubería.

La tubería del efluente debe estar constituida por material PVC tipo normal o alcantarillado, debe contar con un registro que permita al usuario verificar el flujo y a su vez se pueda llegar a la parte interior de la tubería en caso de taponamiento, las conexiones de las tuberías deben estar impermeabilizadas para lograr un correcto sellado, esto se debe hacer de preferencia con el mismo material de geomembrana, aunque bajo la responsabilidad del usuario se pueden ocupar cámaras de llanta, el espacio sobrante de la tubería deberá ser rellenado con el material de la zanja para protegerla, y su respectiva compactación al final.

4.10.3 Tubería de biogás

Esta tubería se debe seleccionar con el espesor necesario para soportar presiones del biodigestor, características termodinámicas del biogás y algunas veces cargas externas imprevistas; los componentes a utilizar deben estar hechos del mismo material, dichas tuberías pueden ser de PVC, polietileno de alta densidad, polipropileno u otro material que

resista la corrosión y deben considerar lo establecido en el apartado 5.1 de la NOM-003-SECRE-2002.

Otro parámetro para determinar el diámetro de las tuberías es la distancia para recorrer entre el origen hasta la salida del biogás, se deben instalar soportes adecuados que inmovilicen la tubería, y si existe un alto flujo de personal o animales será mejor instalar tuberías subterráneas, la tubería debe ser señalada con color amarillo al igual que la dirección del biogás y se necesita instalar trampas de humedad en los puntos bajos o tiros verticales de tubo de conducción de biogás.

4.10.4 Tubería de extracción de sólidos

Sera necesaria su instalación para remover el material sedimentado en el interior del proceso, evitando así obstruir el sistema y que pueda disminuir el volumen de la operación, para la tubería se debe utilizar PVC hidráulico cédula 40 o RD 26 con un diámetro mínimo de 4", este circulará paralelamente sobre la pared inferior del biodigestor llegando a una plantilla para la extracción de sólidos inferiores. Todas estas tuberías se deben desplantar sobre soportes que no dañen la geomembrana de la base, de ser necesario, sobre la corona se puede colocar una conexión roscada para la colocación de una bomba eléctrica para disminuir el tiempo del proceso.

4.10.5 Quemador o antorcha

Es recomendable el uso de una antorcha para eliminar el biogás antes de ser expulsado a la atmosfera, ya que, el metano es 21 veces más contaminante que el CO_2 y al combinarse con el aire forma una combinación explosiva y también se evita malos olores, la temperatura a la salida debe ser mínimo de 900 °C, la ignición dependerá del modelo del quemador, sin embargo, suele ser de autoignición, manual o remota, debe de tener un deflector contra viento o lluvia, con al menos 60 centímetros de largo y la tobera de salida a una distancia de 3 metros sobre el nivel del suelo. [21]

4.10.6 Colocación de la geomembrana

La geomembrana del biodigestor para procurar la hermeticidad del proceso debe cumplir con las normas descritas en los estándares GM13 y GM17 del Instituto de Geosintéticos (GRI) como se resumen a continuación en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Propiedades Mínimas Consideradas en la Selección de la Geomembrana

Propiedades mínimas consideradas en la selección de geomembrana		
Propiedad	Unidad	Valor Nominal
Densidad	$\frac{Kg}{m^3}$	940
Resistencia al desgarre	N	210
Resistencia al límite elástico	$\frac{N}{mm}$	25
Estiramiento al límite elástico	%	13
Resistencia a la rotura	$\frac{N}{mm}$	43
Estiramiento a la rotura	%	700

Fuente: Elaboración propia con datos de [24]

Es necesario que el proveedor garantice que la geomembrana seleccionada soporte las condiciones de trabajo del proyecto, para ello se debe pedir los certificados de calidad de cada rollo de geomembrana entregados en original por la empresa como método de comprobación de origen y calidad del producto.

Si se desea colocar una geomembrana como protección en la base del biodigestor deberá ser de al menos 1.5 mm de grosor, al igual que el de la cubierta, esto para evitar rupturas en el material en caso de incrementos de presión.

Al instalar un biodigestor las etapas que abarcan la instalación de la geomembrana y el sistema del biogás es necesario el apoyo de personal calificado y certificado por parte de la empresa que distribuye y maneja el material, con conocimiento de las recomendaciones directas del fabricante para su despliegue, ya que, la termofusión de estos materiales es un proceso con herramientas específicas con las que ya cuentan y la adquisición de las mismas por parte del rancho sería un gasto innecesario y poco usado, todo con motivo de obtener una calidad que garantice el correcto funcionamiento del sistema, no existan fugas y tenga una durabilidad prolongada, parámetros como las condiciones climáticas y de temperatura son tomados en cuenta a la hora de la instalación.

Otros procesos con menor grado de dificultad en los que no se presenta riesgo de fallo por intervención de personal del rancho ya podrán ser efectuados, tal como la excavación de la zanja y del reservorio del efluente, de igual forma al trabajar con material PVC para la alimentación y la exclusión.

Capítulo V Resultados

5.1 Determinación de la carga diaria del biodigestor

5.1.1 Muestreo de 15 días

En el caso de estudio dado, se consideró un periodo de prueba de 15 días en el que diariamente con ayuda de una báscula se pesó el excremento disponible después de la ordeña matutina del rancho, la Tabla 5.1 expresa los kilogramos diarios obtenidos.

Tabla 5.1 Kilogramos de Excremento en los 15 Días de Prueba

Día	Kg de excremento recolectados
Lunes 15 de Julio	45
Martes 16 de Julio	41
Miércoles 17 de Julio	43
Jueves 18 de Julio	42
Viernes 19 de Julio	45
Sábado 20 de Julio	47
Domingo 21 de Julio	43
Lunes 22 de Julio	44
Martes 23 de Julio	45
Miércoles 24 de Julio	45
Jueves 25 de Julio	47
Viernes 26 de Julio	42
Sábado 27 de Julio	43
Domingo 28 de Julio	41
Lunes 29 de Julio	44
Total	657

Se propone sacar el promedio de los resultados mediante la Ecuación 17 para dar inicio con el dimensionamiento del biodigestor, ya que es la parte el dato más importante a destacar ya que con él se va a trabajar en todo el proyecto.

$$X = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

$$X = \frac{45 + 41 + 43 + 42 + 45 + 47 + 43 + 44 + 45 + 45 + 47 + 42 + 43 + 41 + 44}{15}$$

$$X = 43.8 \approx 44\text{KG}$$

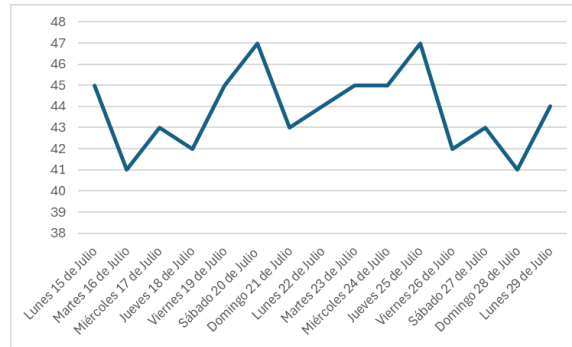


Figura 5.1 Grafica de kilogramos de excremento en los 15 días de prueba

Eventos climatológicos como las lluvias esta variable está sujeta a las moderadas pero existentes lluvias anuales, ya que la zona de recolección del excremento esta al aire libre por lo cual, el recurso puede lograr arrastrar excretas lejos de la zona hacia un terreno no apto para su recolección por su contacto con la tierra y a su vez, con la humedad se alterará la composición química de la excreta, estas variaciones las podemos observar en Figura 5.1 donde se observa de manera irregular,

La diferente cantidad de vacas en la ordeña, dado que al año el sistema que maneja el rancho en el manejo de los animales temporalmente se ve afectado por los partos de los mismo, estos no están sincronizados lo cual genera que por temporadas la cantidad de animales de la que se puede recolectar excreta aumente o disminuya entre semanas o meses.

El peso del excremento por los diferentes tamaños de los animales, dentro de la posible recolección diaria con los antes factores mencionados favorables, el tamaño del ganado es variable por la raza, también otros factores como la alimentación o la salud de estos puede ser factor de un cambio en el peso del excremento y afectar en la cantidad diaria formulada.

5.1.2 Carga diaria del biodigestor

La alimentación diaria del biodigestor se basa carga diaria del biodigestor está conformada por la cantidad de estiércol y agua mezclados que entraran por el biodigestor cada día, para

el estiércol bovino la relación de la mezcla es de 1 parte de estiércol por 2 partes de agua, no es estrictamente necesario utilizar agua potable

Dado los parámetros anteriores y para favorecer los cálculos se hace una equivalencia entre 1 kg y 1 L de estiércol, asumimos que la densidad será de 1 kg/L, para facilitar las mediciones del peso del estiércol y del agua y tener un mayor control del influente, para facilitar el manejo del estiércol con un planteamiento más rápido y eficiente, se ocupan cubetas o botes de 19 litros de plástico como instrumento de medición para no recurrir al pesaje continuo de los materiales y eficiente los tiempos de operación, considerando la relación entre estiércol y agua ajustándola a las dimensiones a ocupar de las cubetas, consiste en 2 cubetas de estiércol con un total de 38 kg de estiércol y 4 cubetas de agua con un total de 76 litros de agua dando un total de 114 L/d.

5.1.3 Temperatura y tiempo de retención hidráulica

Mediante la Ecuación 17 de igual manera determinamos el promedio de temperatura anual.

$$= \frac{37.62 + 38.9 + 45.27 + 47.29 + 44.27 + 40.87 + 38.27 + 39.36 + 40.28 + 36.39 + 32.01 + 37.08}{12}$$

$$X = 39.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

39.8 °C es la temperatura promedio anual en la que estará trabajando el biodigestor.

Tomando como referencia la Tabla 5.2 y teniendo en cuenta el dato anterior sugeriremos un tiempo de retención hidráulica de 25 días.

Tabla 5.2 Temperatura de Trabajo de un Biodigestor

Temperatura de trabajo del biodigestor (°C)	Tiempo de retención hidráulica en días
33-37	25-30
28-32	30-40
23-27	40-50
18-22	50-65
13-17	65-90
8-12	90-125

Fuente: Elaborada por [9]

5.1.4 Cálculo del volumen del biodigestor

Sustituyendo los valores de los días de retención hidráulica y carga diaria en la Ecuación 2 desarrollamos la siguiente Ecuación 18.

$$V_L = 25 d114Ld = 2,850 L = 2.85m^3 \quad \text{Ec 18}$$

En el caso de estudio presente no está contemplado un uso para el biogás producido y no hay interés por su recolección, por lo tanto, se hace una propuesta de utilizar una válvula de escape y solo se tomará un margen del 10% del volumen equivaliendo a para evitar sobre inflación. Entonces sustituyendo en la fórmula de volumen total tenemos la Ecuación 19 en donde:

$$V_B = ((2850)(.1)) = 285 L = .285m^3 \quad \text{Ec 19}$$

Entonces, utilizando la ecuación 1 y sustituyendo los valores de las Ecuaciones 18 y 19 obtenemos la Ecuación 20.

$$V_T = 2850 L + 285 L = 3135 L = 3.1 m^3 \quad \text{Ec 20}$$

5.1.5 Propuesta de dimensiones del biodigestor tomando en cuenta diferentes medidas de material y ángulos de talud.

Tomando los $4.4 m^3$ del volumen liquido del biodigestor y al no contar con un estudio previo de suelo, se proponen 5 cálculos respecto a diferentes ángulos (α) posibles a aplicarse los cuales se presentan en la Tabla 5.3 y sustituyendo los valores en la Tabla 3.4 tenemos las siguientes dimensiones.

Nota: Los tamaños que se eligen son los más comunes de encontrar en el mercado donde el mínimo es 2m de circunferencia y el máximo que propondremos para la circunferencia por uso practico es de 6 metros.

Tabla 5.3 Dimensiones de Biodigestores con Circunferencias de 2m a 6m a Ángulo 0°

α (°)	C (m)	r (m)	a (m)	b (m)	p (m)	A_{zanja} (m ²)	L (m)	D (m)	$\frac{L}{D}$
0	2	0.32	0.48	0.48	0.5	0.21	13.6	0.64	21.3
0	3	0.48	0.71	0.71	0.75	0.48	6	0.95	6.31
0	4	0.64	0.95	0.95	1	0.86	3.3	1.27	2.6
0	5	0.80	1.2	1.2	1.3	1.34	2.1	1.59	1.3
0	6	0.95	1.4	1.4	1.5	1.9	1.5	1.91	.8

Para un $\alpha = 7.5^\circ$ partiendo de las mismas circunferencias los resultados se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Dimensiones de Biodigestores con Circunferencias de 2m a 6m a Ángulo 7.5°

α (°)	C (m)	r (m)	a (m)	b (m)	p (m)	A_{zanja} (m ²)	L (m)	D (m)	$\frac{L}{D}$
7.5	2	0.32	0.4	0.52	.5	0.22	12.9	0.64	20.1
7.5	3	0.48	0.6	0.8	0.73	0.5	5.7	0.95	6
7.5	4	0.64	0.8	1	1	0.9	3.1	1.27	2.4
7.5	5	0.80	1	1.3	1.2	1.4	2	1.59	1.3
7.5	6	0.95	1.2	1.5	1.5	1.9	1.5	1.91	1.2

Para un $\alpha = 15^\circ$ sustituyendo las mismas medidas de circunferencia las dimensiones se muestran en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Dimensiones de Biodigestores con Circunferencias de 2m a 6m a Ángulo 15°

α (°)	C (m)	r (m)	a (m)	b (m)	p (m)	A_{zanja} (m ²)	L (m)	D (m)	$\frac{L}{D}$
15	2	0.32	0.3	0.6	0.5	0.22	13	0.64	20.3
15	3	0.48	0.5	0.9	0.7	0.48	6	0.95	6.2
15	4	0.64	0.7	1.2	1	0.86	3.3	1.27	2.6
15	5	0.80	0.8	1.5	1.2	1.35	2.1	1.59	1.3
15	6	0.95	0.96	1.8	1.4	1.9	1.5	1.91	.8

Para un $\alpha = 30^\circ$ contando con los mismos parámetros de circunferencia tenemos la Tabla 5.6.

Tabla 5.6 Dimensiones de Biodigestores con Circunferencias de 2m a 6m a Ángulo de 30°

α (°)	C (m)	r (m)	a (m)	b (m)	p (m)	A_{zanja} (m ²)	L (m)	D (m)	$\frac{L}{D}$
30	2	0.32	0.23	0.72	0.42	0.2	14.3	0.64	22.3
30	3	0.48	0.34	1	.6	0.45	6.3	0.95	6.6
30	4	0.64	0.5	1.4	.9	0.81	3.5	1.27	2.8
30	5	0.80	0.6	1.8	1	1.3	2.2	1.59	1.4
30	6	0.95	0.7	2.1	1.3	1.8	1.6	1.91	0.8

Para $\alpha = 45^\circ$ ocupando de las mismas circunferencias los resultados se muestran en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 Dimensiones de Biodigestores con Circunferencias de 2m a 6m a Ángulo 45°

α (°)	C (m)	r (m)	a (m)	b (m)	p (m)	A_{zanja} (m ²)	L (m)	D (m)	$\frac{L}{D}$
45	2	0.32	0.13	0.82	0.34	0.16	17.8	0.64	27.8
45	3	0.48	0.2	1.2	.5	0.37	7.7	0.95	8.1
45	4	0.64	0.3	1.7	0.7	0.65	4.4	1.27	3.5
45	5	0.80	0.34	2	0.9	1	2.85	1.59	1.8
45	6	0.95	0.4	2.4	1	1.5	1.9	1.91	1

Podemos observar que existen varias posibles elecciones para las dimensiones de la zanja en cada ángulo probado y con distinta circunferencia, mismas que se resumen en la siguiente Tabla 5.8.

Tabla 5.8 Dimensiones Posibles para el Diseño del Biodigestor.

α (°)	C (m)	r (m)	a (m)	b (m)	p (m)	A_{zanja} (m ²)	L (m)	D (m)	$\frac{L}{D}$
0	3	0.48	0.71	0.71	0.75	0.48	6	0.95	6.31
7.5	3	0.48	0.6	0.8	0.73	0.5	5.7	0.95	6
15	3	0.48	0.5	0.9	0.7	0.48	6	0.95	6.2
30	3	0.48	0.34	1	.6	0.45	6.3	0.95	6.6
45	3	0.48	0.2	1.2	.5	0.37	7.7	0.95	8.1

Acatando las recomendaciones del autor, las dimensiones más factibles para construir el biodigestor bajo el volumen líquido previsto es con $\alpha = 0^\circ$ y una circunferencia de 3 metros con una longitud de 8.1 metros para obtener una relación de 8.5 entre la longitud y el diámetro.

Para apreciar mejor las medidas expresadas en la Tabla 4.8 sobre las dimensiones posibles que puede tener la bolsa del biodigestor y las zanjas excavadas con los ángulos en sus taludes, se utilizó el software AutoCAD para mostrar un plano con vistas isométricas.

En la Figura 5.1 se muestra el plano de la zanja con taludes a 0° de inclinación.

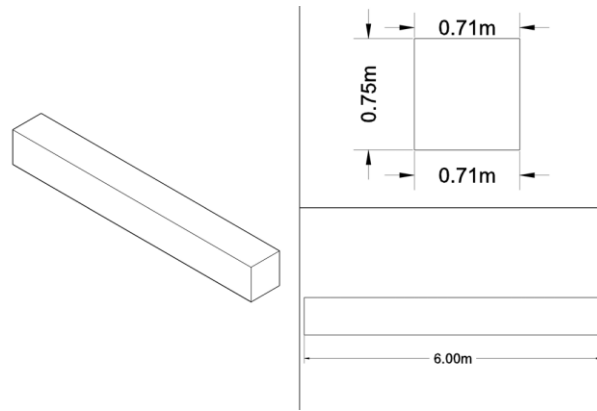


Figura 5.1 Zanja con inclinación 0°

En la Figura 5.2 se observa el plano de la zanja con taludes a 7.5° de inclinación.

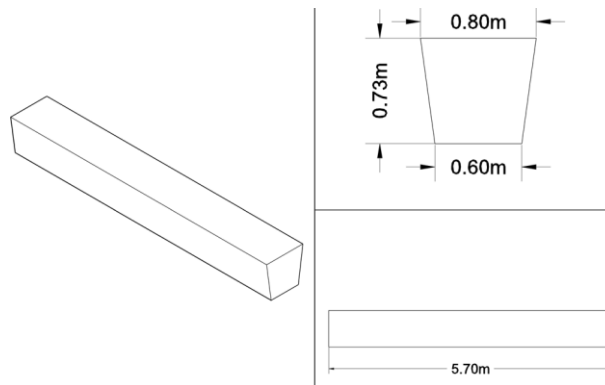


Figura 5.2 Zanja con inclinación 7.5°

En la Figura 5.3 se muestra el plano de la zanja con taludes a 15° de inclinación.

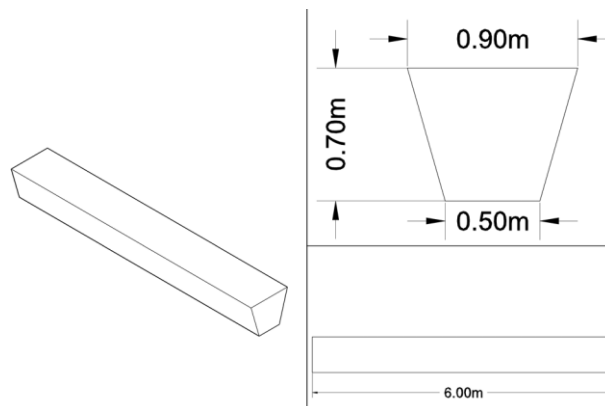


Figura 5.3 Zanja con inclinación 15°

En la Figura 5.4 se muestra el plano de la zanja con taludes a 30° de inclinación.

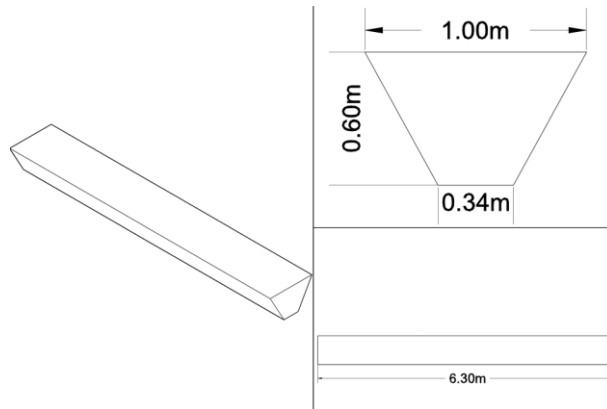


Figura 5.4 Zanja con inclinación 30°

En la Figura 5.5 se observa el plano de la zanja con taludes a 45° de inclinación.

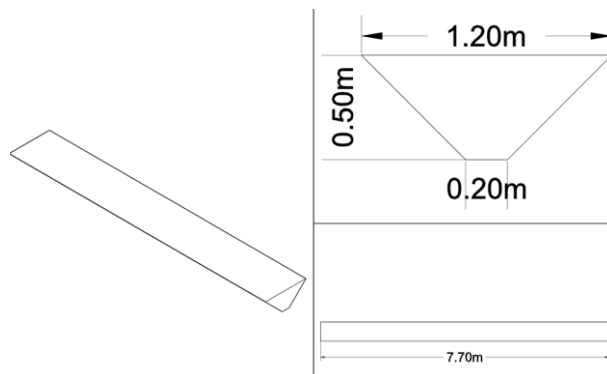


Figura 5.5 Zanja con inclinación 45°

5.2 Estimación de la producción de biofertilizante y biogás diaria

5.2.1 Balance de masa

Para el balance de masa se toman en cuenta algunos valores de referencia del autor (López et al.) [21], (Bernal et al.) [25] y la carga diaria del biodigestor.

$$M_{LC} = 114 \frac{kgST}{d}$$

$$\%SV = 58\%$$

Sustituyendo los valores en la Ecuación 9 tenemos:

$$M_{OLC} = .58 \frac{kgSV}{kgST} \cdot 114 \frac{kgST}{d} = 66.12 \frac{kgSV}{d}$$

$$\%SSV_{des} = 40\%$$

Colocando los datos requeridos en la Ecuación 10 nos da:

$$M_{OD} = 0.40 \left(66.12 \frac{kgSV}{d} \right) = 26.44 \frac{kgSV_{des}}{d}$$

Por lo tanto, utilizando la Ecuación 11 vemos que:

$$M_{OE} = 66.12 - 26.44 = 39.68 \frac{kgSV}{d}$$

Entonces: $M_{IE} = 47.88 \frac{kgSF}{d}$

Despues, con ayuda de la Ecuación 12 nos da:

$$M_{LE} = 47.88 + 39.68 = 87.56 \frac{kgST}{d}$$

$$F_{biogas} = 0.8 \frac{m^3N}{kgSV_{des}}$$

Sustituyendo los datos en la Ecuación 13 tenemos:

$$V_{biogas} = 0.8 \frac{m^3N}{kgSV_{des}} \cdot 26.44 \frac{kgSV_{des}}{d} = 21.2 \frac{m^3N}{d}$$

5.2.2 Balance de energía

Para el balance de masa se toman en cuenta algunos valores de referencia del autor (López et al.) [21]

$$PC_{LC} = 23 \frac{MJ}{kgST}$$

Colocando los valores en la Ecuación 14 nos da:

$$Q_L = 23 \frac{MJ}{kgST} \cdot 114 \frac{kgST}{d} = 2,622 \frac{MJ}{d}$$

$$PC_{LE} = 13 \frac{MJ}{kgST}$$

Con apoyo de la Ecuación 15 vemos que:

$$E_L = 13 \frac{MJ}{kgST} \cdot 87.56 \frac{kgST}{d} = 1,138.2 \frac{MJ}{d}$$

$$PC_{biogas} = 23.3 \frac{MJ}{m^3 N}$$

Por lo tanto, utilizando la Ecuación 16 resolvemos que:

$$E_{biogas} = 23.3 \frac{MJ}{m^3 N} \cdot 21.2 \frac{m^3 N}{d} = 494 \frac{MJ}{d} = 136.8 \frac{kWh}{d}$$

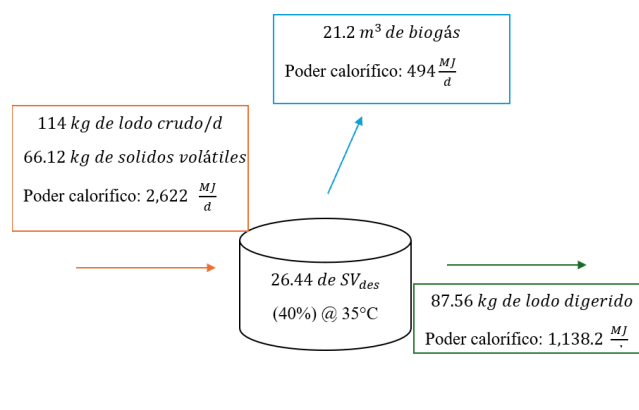


Figura 5.6 Balance de materia y energía del biodigestor

5.3 Instalación

5.3.1 Ubicación del biodigestor

La ubicación del biodigestor se ve afectada por el hecho que las instalaciones del rancho están situadas al borde de un río con caudal continuo, sin embargo, por cuestiones de manejo, el sistema no puede ser tan alejado a los corrales donde se recolectaran las excretas diarias de los animales.

Se proponen la siguiente ubicación a observarse en la Figura 5.7, dado que, cuenta con un espacio suficiente y plano donde hacer las excavaciones necesarias, también esta lo más alejado posible del cuerpo de agua con una distancia aproximada de 110m.

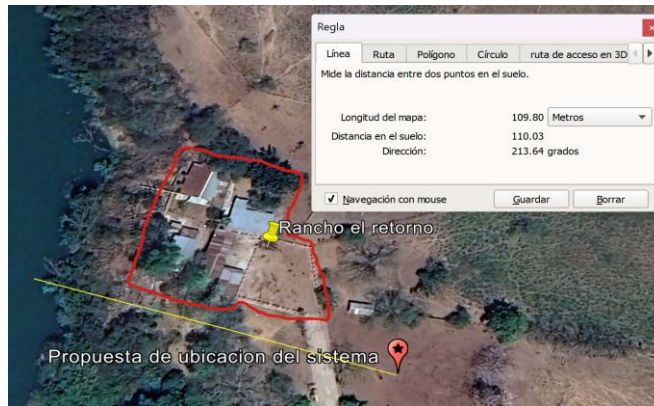


Figura 5.7 Medición desde la vista aérea del rancho. [22]

Este lugar libre de árboles en su interior solo cuenta con algunos en las orillas, pero se encuentran lo suficiente alejados y la distancia hacia las instalaciones es aproximadamente de 50 metros, por lo que facilita el transporte de material como se observa en la Figura 5.8.



Figura 5.8 Área propuesta para el biodigestor

5.3.2 Fosas de mezclado del influente y recolección del efluente

El sistema del biodigestor presenta una capacidad mínima de carga diaria de 114 L o 0.114 m^3 , este componente del sistema se puede plantear de diferentes materiales por la cantidad de mezcla que se maneja internamente, dependiendo del manejo que vaya a tener y la durabilidad que se requiera, estos recipientes pueden ser hechos en material como cemento, block, tabique o ladrillo y de formas variadas como cuadrados o rectángulos, pero la fabricación de estos genera un incremento de costos al tratarse de una obra civil que requiere personal para su construcción y los materiales, además de los días que demora su fabricación.

Sin embargo, buscando economizar la propuesta, se propone colocar una tina ovalada de plástico de uso rudo, hecha de un material resistente que está preparado para la intemperie y

resistente a la corrosión, ligero para su traslado y genera la posibilidad de poder moverse sobre el sistema o retirarse en caso de mantenimiento.

Por su forma cilíndrica a diferencia de otras posibles propuestas, evita que en las intersecciones se sedimente material y esto ayudara a una mejor mezcla de las excretas y disminuye la posibilidad de que los residuos no deseados dentro del sistema queden cubiertos o desplazados en las aristas. Estas tinas por defecto de fabrica ya cuentan con tamaños establecidos en base a los L que pueden contener en su interior, en este caso, se selecciona la tina con capacidad de 160 L al ser la mas cercana a los valores requeridos como se muestra en la Figura 5.9.

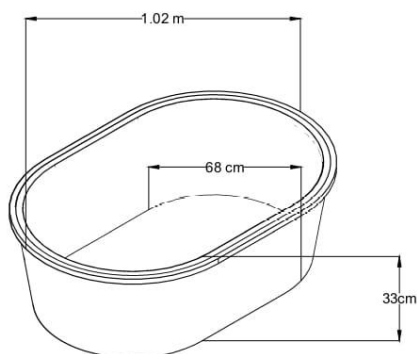


Figura 5.9 Fosa de mezcla del influente

La fosa de recolección del efluente donde se almacenará el biofertilizante al igual que su contraparte la fosa del influente puede estar hecha a partir de diferentes materiales incluyendo aparte recipientes plásticos de mayor tamaño enterrados en el suelo, sin embargo, la decisión de si es solo recolección o un almacenamiento más prolongado depende del uso que se le vaya a dar al biofertilizante, por ello, se propone hacer uso de geomembrana en una forma de laguna con las dimensiones que se muestran en la Figura 5.10, dando un volumen 2.25 m^3 , esto se hace para lograr un almacenamiento temporal de entre 24 y 26 días del efluente, coordinando así el manejo entre el TRH (tiempo de retención hidráulica) y el producto, cabe mencionar que desde el primer día de descarga el biofertilizante está listo para usarse, y su almacenamiento expuesto no es un problema ya que después del proceso de digestión el biofertilizante ya no presenta olores desagradables, aun así, la decisión sobre el futuro próximo del biofertilizante se debe plantear para conocer si se llevara a un recipiente con un

almacenamiento más prolongado o en el caso de no necesitarse comenzar con su comercialización.

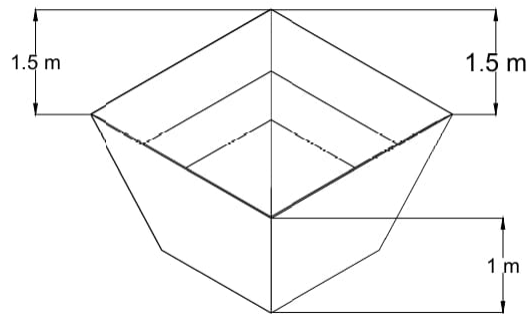


Figura 5.10 Fosa de recepción del efluente

5.3.3 Tuberías de influente y efluente

Para las tuberías del influente y efluente se propone el uso de PVC sanitario de 4 pulgadas como se ve en la Figura 5.11, al no manejar altas presiones no es necesario colocar PVC hidráulico u otros tipos de materiales en este sector, además que encarecería el costo de instalación, a su vez, el diámetro propuesto es suficiente para el correcto traslado de la mezcla al interior del reactor, ya que, por el tamaño está considerado un reactor pequeño, y el uso de tubería más ancha de 6" o más se considera en reactores grandes.

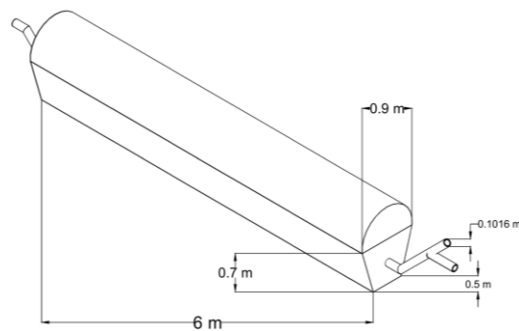


Figura 5.11 Tuberías de entrada y salida del reactor

5.3.4 Sistema de exclusión biogás

Se propone el uso de tubería de PVC hidráulico RD-26 de 1 pulgada de diámetro para la circulación del biogás en el sistema, se elige este material por su durabilidad en áreas abiertas, fácil maniobrabilidad, su resistencia a la corrosión y su adaptación para ligarse a otros materiales de ser necesario ya sea por medio de roscado o pegamento.

Se plantea el uso de una válvula de alivio en la salida del reactor como inicio del sistema para protegerlo de presiones excesivas o alivio de vacío si se llegara a presentar una condición de vacío dentro del reactor, esta válvula se puede hacer con materiales de PVC a bajo costo.

Se prevé una trampa de goteo en el punto más bajo de la tubería para así, eliminar la humedad por condensación del biogás en la tubería, también se logran eliminar gases solubles en agua, por la longitud de la tubería se deberá colocar una trampa cada 10 metros, esta trampa puede estar hecha con la misma tubería como un reservorio aparte de forma vertical apoyado de una tapa para ayudar al vaciado y debe estar ubicada en un lugar de fácil acceso ya que debe ser vaciada regularmente.

Para suplantar los riesgos a los que se pueda enfrentas la tubería por el acercamiento a las altas temperaturas en el último tramo se plantea el uso de una manguera para gas tipo gorila antifiama previa a la conexión del quemador de gas, esta manguera ayudara a la flexibilidad al momento de la ubicación del sistema.

Se propone un quemador de tipo abierto para mayor visibilidad, el quemador para este diseño puede ser sencillo para no elevar los costos y por ser una baja producción de biogás colocado a una distancia de seguridad de mínimo 30 metros del reactor.

En la Figura 5.12 se muestra el sistema propuesto con los complementos recomendados, el tamaño del sistema por los puntos anteriores debe ser más extenso y la distancia entre complementos es diferente, sin embargo, se muestra de esta manera por fines didácticos.

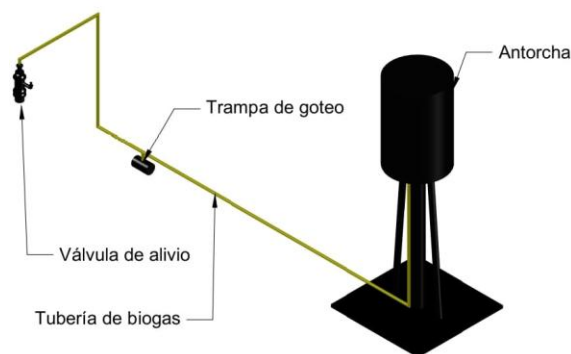


Figura 5.12 Sistema del biogás con sus componentes

Para la producción de biogás estimada que presenta el diseño de este biodigestor, se puede considerar como pequeño, por lo tanto, con los complementos propuestos es suficiente para

proceder a eliminar el biogás procurando costos accesibles para el productor, sin embargo, para reactores con producción más grande de biogás es necesario el uso de otros elementos como una válvula de no retorno para mantener la presión en la tubería y evitar bajas presiones, así como ofrecer un sellado en caso de fugas y una válvula reguladora de presión con arresta flamas para mantener una presión adecuada en la entrada de la antorcha y el arresta flamas se utiliza en sistemas de biogás con un fuerte potencial de ignición para proteger los equipos cercanos, y el lugar circundante.

Este proyecto no planea el uso del biogás y se procede a quemarlo para evitar las emisiones contaminantes del metano a la atmosfera (véase apartado 3.10.5), sin embargo, se estima una producción de 21.2 m³(véase Figura 4.8) lo suficiente como para darle otra serie de usos particulares que se pueden dar en el rancho. A continuación, se muestra la Tabla 5.9 en donde podemos dimensionar algunos alcances energéticos que podemos obtener a partir de su aprovechamiento.

Tabla 5.9 Consumos Típicos de Biogás

1000 litros equivalen a 1m ³ de biogás	
Uso del biogás	Consumo de biogás por hora (L/h)
Cocina domestica	300
Cocina industrial	450
Calefactor para crías	300
Lámpara (60W)	120
Calentador de agua (14kW-26kW)	2500-5000
Refrigerador (100L)	75
Motor (por cada 1hp)	250-400
Ordeñadora (15hp)	2500
Generador (1.2kW-3kW)	600-1200
1kWh eléctrico	1600

Fuente: [26]



5.4 Materiales

Para las elecciones más eficientes de los materiales presentados en la Tabla 5.10 se tomó como referencia las recomendaciones de los autores [9], [21], [26], [27].

Tabla 5.10 Materiales del Biodigestor

Para el reactor y la fosa del efluente		
Nombre del material	Datos técnicos	Figura

Geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE)	Material con mayor durabilidad y resistencia a los rayos UV	
Para la fosa de mezclado del influente		
Tina ovalada de 160 litros	Uso rudo, fácil movilidad y posicionamiento, materiales resistentes a la corrosión y a la exposición a la naturaleza	
Para las tuberías del efluente e influente		
PVC Sanitario de 4"	Como transporte de los lodos por su fácil mantenimiento y superficie lisa, además de fácil instalación.	
Para las tuberías del biogás		
Tubo PVC hidráulico RD-26 de 1"	Soporta la corrosión, ligero, de fácil manipulación e instalación.	
Sistema de biogás		
Válvula de alivio	Ayudará a liberar presión en el reactor.	

Trampa de goteo	Eliminar la humedad y el agua de la tubería.	
Quemador	Reducir el impacto ambiental de la exclusión de gases del biodigestor	

Fuente: *Elaboración propia a partir de [9], [21], [26], [27]*

5.4.1 Diseño final del biodigestor

En la Figura 5.13 podemos observar el diseño del biodigestor, así como los elementos que lo confirman descritos anteriormente y en la Figura 5.14 se puede observar la imagen renderizada para una mejor apreciación,

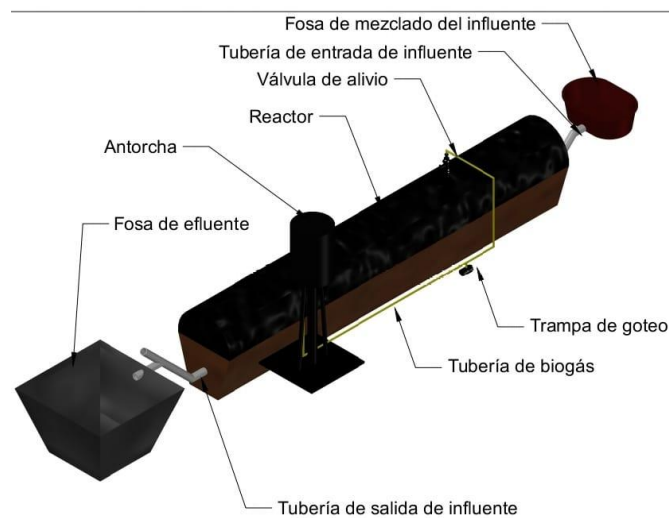


Figura 5.13 Diseño del Biodigestor

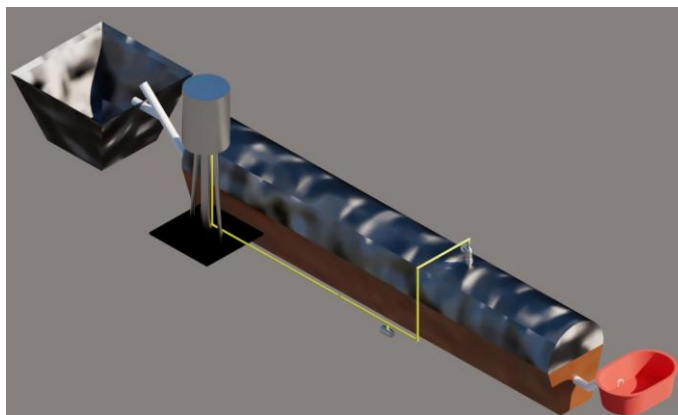


Figura 5.14 Biodigestor renderizado

5.5 Alimentación inicial y puesta en marcha

La primera carga del biodigestor consistirá en ingresar un equivalente a 10 días de carga diaria de mezcla, por lo tanto, si la carga diaria es de 114 kg , la carga que debe introducir es de 1140kg , para obtener esta cantidad se puede tener un almacenamiento previo de excretas sin mezclar, dicho almacenamiento no es necesario en un recipiente hermético, sin embargo, debe de evitarse la contaminación cualquier basura antes de su mezcla.

Una recomendación para acelerar el proceso de fermentación en la puesta en marcha del reactor es agregar contenido ruminal de res como catalizador, en una cantidad de una cuarta parte del total de los 10 días de carga, es decir, un equivalente a 285 kg , que se puede conseguir en el rastro local.

5.5.1 Agitación

La agitación del reactor es necesaria por tres razones específicas, la primera es para darle mayor comodidad a las bacterias a que desarrollen el trabajo de descomposición de la materia orgánica, el segundo punto es evitar el crecimiento de una nata en la superficie del reactor y la última para evitar grumos.

La agitación se debe de hacer diariamente, rotando los puntos de agitación, se recomienda antes de la alimentación en un periodo de 30-60 segundos, se aconseja hacer en las mañanas que la geomembrana no está muy caliente y únicamente cuando el reactor tenga poco o nada de gas.

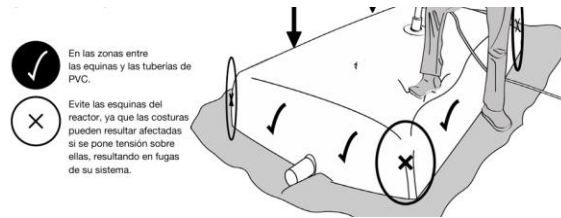


Figura 5.15 Agitación del biodigestor

Como se muestra en la Figura 5.15, la agitación se puede realizar con los pies o manos intentando generar olas dentro de los lodos, si se hace con los pies, se debe verificar que estén limpios de la suela procurando no traer basura que pueda dañar el biodigestor. [28]

5.6 Medidas de Seguridad

5.6.1 Acceso al sistema

Es necesario restringir el acceso al sistema una vez finalizando la excavación de la zanja para proteger a la superficie ya preparada e impermeabilizada, evitando así un posible daño en la geomembrana del biodigestor, de igual forma esto se debe considerar al momento del llenado ya que el material humedecido se vuelve resbaloso y animales o personas pueden llegar a romper el sellado.

Una vez construido el sistema se necesita hacer un cerco perimetral, este puede estar hecho de malla ciclónica, vallas de madera o reja de metal, para evitar que personal no autorizado o animales, sobre todo pequeñas especies que habitan en los ranchos como gallinas o guajolotes puedan entrar al sistema y causar un daño, este cerco se recomienda que tenga una elevación de 2 metros de altura con sus respectivas señalizaciones como la restricción de acceso, peligro, gas altamente inflamable, prohibido fumar, entre otras.

5.6.2 Seguridad en el sistema de tuberías

Las tuberías de conducción de biogás y lodos residuales deben ser identificadas en el color de seguridad correspondiente por la NOM-026-STPS-2008.- Colores y Señales e Higiene, e Identificación de riesgos por fluidos en tuberías, en el caso de las tuberías del biogás dicho color es amarillo indicativo que es un fluido inflamable, explosivo y de alta presión considerado como peligroso.

Es necesario colocar flechas que indiquen la dirección del flujo en las tuberías de forma visible desde cualquier punto dentro de la zona de tuberías, el color de dicha flecha debe de ser contrastante con el de la tubería para tener una mejor claridad, también es necesario leyendas que identifiquen las características del fluido como lo son “tóxico, inflamable”, si la tubería de gas se encuentra enterrada, deberá ser señalada para prevenir accidentes o rupturas.

5.6.3 Prevención contra incendios y seguridad personal

Es obligación del productor colocar equipos contra incendios de tipo A en la zona del biodigestor, que son los recomendados para apagar incendios por combustibles sólidos, cuando se necesite trabajar en el sistema del biodigestor que comprende las partes de este y se utiliza equipo que puede llegar a inducir una chispa, será necesario colocar un contraviento en el área de trabajo lo más lejano posible, es obligatorio tener precaución contra filtraciones de fluidos explosivos o corrosivos que puedan llegar a dañar la geomembrana, y es forzosa la capacitación para el personal de operación del sistema para los procedimientos de seguridad y combate contra incendios.

Una vez construido y puesto en marcha el biodigestor, es ineludible informar a los vecinos de otros ranchos la ubicación de este, para prevenir actividades externas como quemas controladas usualmente de basura que pueda llegar a alcanzar el biodigestor, o si es transitable la zona cercana al biodigestor, dar a conocer el acceso restringido como precaución.

Para los operadores del sistema es necesario suministrar los aditamentos adecuados para trabajar con seguridad dentro de las instalaciones del biodigestor y las áreas concurrentes, se deberá de proporcionar guantes, overol, mascarilla contra gases y calzado adecuado para las actividades concernientes a la operación y mantenimiento del biodigestor, cuando sea necesario trabajar sobre la geomembrana por motivos de remoción de agua de lluvia por ejemplo, se debe hacer en parejas para garantizar la seguridad de los trabajadores, esta actividad se debe realizar con equipo de protección como, arnés y cuerda de seguridad.
















No es recomendable subir a la geomembrana con calzado inapropiado, ya que al estar inflada se promueven las rasgaduras en el material, para ello es mejor ocupar zapatos de suela liza o goma previamente limpiados y prendas antiestáticas de tipo algodón, en el fortuito caso de

inhalación accidental en gran cantidad del biogás, es imperativo solicitar asistencia médica inmediata y trasladar a la víctima a un área no contaminada con aire fresco, en caso de una ausencia de oxígeno será necesario administrarlo mediante respiración artificial.

5.6.4 Señalización de seguridad

La señalización de seguridad que se propone para el sistema en el rancho se expone en la Tabla 5.11 con algunas señales en específico al estar colocado en una zona agraria con tránsito de maquinaria agrícola y animales de trabajo o carga, además de particulares que transitarían al costado del sistema en la ubicación planteada, al estar aun lado de una vía de movilidad entre comunidades.

Tabla 5.11 Señalización para el Biodigestor

Señales de Prohibición			
 SOLO PERSONAL AUTORIZADO	 PROHIBIDO TRABAJAR SIN EL DISPOSITIVO DE SEGURIDAD	 PROHIBIDO FUMAR	
 PROHIBIDO COMER O BEBER EN ESTA ÁREA	 PROHIBIDO TOCAR	 PROHIBIDO CIRCULAR CON ANIMALES	
Señales de Peligro			
 PELIGRO GASES INFLAMABLES	 ATENCIÓN AGENTE OXIDANTE	 CUIDADO PISO RESBALOSO	 PELIGRO MATERIAS CORROSIVAS
 inflamables	 PELIGRO SUPERFICIE CALIENTE	 RIESGO DE EXPLOSIÓN	 PELIGRO SUSTANCIAS TÓXICAS
Señales de Salud y Rescate/Emergencia			

			
Señales de Combate a Incendio/ Obligaciones			
			
			

Fuente: Elaboración propia a partir de [29] [30]

5.7 Mantenimientos recomendados del sistema

Para asegurar una extensa vida útil en nuestro biodigestor es necesario llevar a cabo mantenimientos preventivos del sistema e inspecciones periódicas que garanticen la seguridad del entorno y la eficiencia del sistema. Algunos ejemplos se muestran a continuación:

- 1) Realizar inspecciones periódicas del estado de la cubierta para detectar fugas, rasgaduras o daños en general.
- 2) Efectuar una remoción de basura y escombros arrastrados por el viento en el lugar del sistema
- 3) Es necesario eliminar inmediatamente cualquier acumulación de agua en la cubierta del biodigestor.
- 4) Se deberá extraer periódicamente de lodos residuales acumulados en el inferior del biodigestor para evitar un azolvamiento.
- 5) Se debe descargar continuamente la trampa de agua instalada en la tubería.
- 6) Se realizará una inspección diaria de las tuberías, válvulas y equipos de medición, para detectar a tiempo cualquier daño presentado y lograr una intervención temprana en caso de posibles reparaciones.

- 7) Los fabricantes de los equipos instalados deben hacer entrega de recomendaciones para los operadores del sistema con programas de inspección incluidos en puntos específicos.
- 8) Se deben hacer inspecciones periódicas del sistema completo para evitar fugas, corrosión, y que no disminuya la eficiencia del reactor.

5.8 Estimación de costos

En la Tabla 5.12 se muestra los probables costos los cuales se hicieron en base a cotizaciones solicitadas a empresas de la zona para facilitar la obtención de los materiales, solo en el caso del suministro de la geomembrana es por medio de una empresa regional.

Tabla 5.12 Costos

Descripción	Unidad	Precio	Total	UMAs
Suministro de BIODIGESTOR-TIPO SALCHICHA fabricado con geomembrana de 1mm de espesor calibre 40mil. HDPE. MEDIAS: 6Metros de largo X 0.48Metros de diametro. Incluye entrada tipo botade 4", Salida tipo botade 4" para tubería, salida para solidos bridada de 2" y salida de biogás de 1".	1	5,016	5,016	46.2
Forro de tina de biol de 1.5x1.5x1, Fabricada con geomembrana de 1 mm de espesor calibre 40mil. HDPE.	32	80	2,589	23.85
Instalación y mano de obra para la instalación de biodigestor y tina de biol.	1	7,735	7,735	71.24
Flete de equipo, viáticos del personal, gasolina para generadores y equipo.	1	6,277	6,277	57.82
Tubo PVC sanitario c/norma 110mm=4"x6.00m	1	196.03	196.03	1.81
Codo PVC sanitario 45 110m=4"	4	16	64	0.59
Pegamento para PVC sanitario naranja 145ml 50-013	1	65.90	65.90	0.61

Quemador industrial #7	1	711.90	711.90	6.56
Tubo PVC hidráulico SI RD-26 1" X 6m c/bocina	36	11.5	414	3.81
Codo 90° PVC hidráulico CED_40 1"	4	8.71	34.84	0.32
Tee PVC hidráulico CED_40 1"	3	9.83	29.49	0.27
Tapa PVC hidráulico CED_40 1"	3	8.55	25.65	0.24
Adaptador hembra 1" PVC hidráulico	1	9	9	0.08
Reducción bushing 1 x 1/2" galvanizada	1	21.9	21.9	0.2
Campana niple 3/8 x 1/2" p/gas boiler	1	21.9	21.9	0.2
Conexión niple NPT	1	23	23	0.21
Manguera para gas tipo gorila 1/2" x 1m	1	1000	1000	9.21
Tina ovalada 160 L	1	443	443	4.08
Señalamientos de seguridad	23±	65	1,495	13.77
Mano de obra humana para la excavación de la zanja	2	300	600	5.53
Total			26,773	246.6

La propuesta expresada en UMAs se realiza ante la inminente inflación en los precios a nivel nacional que siempre sucede al empezar un nuevo año, dado que, el presente proyecto no tiene fecha de inicio o puesta en marcha y se puede postergar indefinidamente.

Los ingresos que tiene el rancho son la venta de leche y becerros para la engorda, la leche entregada diariamente y cobrada semanalmente se deduce en el pago de los trabajadores y medicina para los bovinos, por ende, este proyecto puede ser deducido en mayor parte con un porcentaje invertido proveniente de la venta de animales, suponiendo que se cuenta anualmente con un promedio de 14 becerros para su venta en la Figura 5.16 podemos observar el precio por kilogramo que hay en actualmente en el estado.

*PRECIOS DE GANADO	diciembre 2024
Becerro hasta 160 kg (De acuerdo a calidad)	\$ 63.00 - \$ 65.00
Becerro (engorda) 180 - 230 kg	\$ 59.50 - \$ 61.00
Becerro (engorda) 231 - 300 kg	\$ 58.50 - \$ 59.00
Becerro (engorda) 301 - 350 kg	\$ 57.50 - \$ 58.00
Becerro (engorda) 351 - 400 kg	\$ 56.50 - \$ 57.00
Becerra (engorda) 170 - 230 kg	\$ 54.00 - \$ 55.00
Novillona (engorda) 231 - 300 kg	\$ 52.00 - \$ 53.50
Novillona (engorda) 301 - 350 kg	\$ 50.00 - \$ 51.50
Novillona (cría)	\$ 51.00 - \$ 81.00
Vaca gorda	\$ 39.00 - \$ 41.00
Vaca flaca	\$ 36.00 - \$ 38.00
Toro	\$ 41.00 - \$ 43.00
Cerda para el abasto	\$ 48.00
lechón	\$ 1300.00-\$1800.00
Mula	\$ 20,000.00
Borrego	\$46.00 - \$50.00
Caballo para el abasto	\$ 26.00
LITRO DE LECHE PUERTA CORRAL	
Quesero	\$ 9.00 - \$ 10.00
*LICONSA(de acuerdo a calidad)	\$ 10.45 - \$ 11.05

Figura 5.16 Precios de venta de animales del mes de diciembre del 2024. [31]

El rango de pesos en el que el productor decide vender los animales regularmente es entre los 180-230 kg por lo que un becerro en promedio llega a tener un precio de 12,900 o 118.82 UMAs, por lo tanto, podemos decir que con la venta de 2.1 becerros se pueden solventar los gastos de instalación del biodigestor en un año una sola exhibición.

Conclusiones

El presente trabajo propone el diseño de un biodigestor de carga continua para el aprovechamiento de las excretas de 28 cabezas de ganado, para ello se realizó un periodo de prueba de 15 días lo cual dio como resultado un biodigestor con una capacidad de 114 L/d de carga diaria, un tiempo de retención hidráulica de 25 días y un volumen de $3.1 m^3$ para generar biofertilizante en Rancho El Retorno de Tantoyuca Veracruz.

Se estimó la cantidad de biofertilizante esperada después del proceso de digestión con una capacidad de generación de 87.56 kg diarios, que a su vez, se podría esperar una producción mensual de 2,626,8 kg y una producción anual cercana a las 32 toneladas de biofertilizante, por lo tanto, si en algún punto se llega a una sobre producción de biofertilizante que supere los requerimientos de uso del rancho, el biofertilizante excedente puede ser comercializado hacia los productores vecinos y de esta manera comenzar un nuevo modelo de negocios en donde a partir de los residuos bovinos se pueden obtener ganancias económicas.

El biodigestor descrito se elaboró en base a propuestas de materiales que presentan una fácil adaptación al sistema para disminuir los precios de adquisición en modelos a pequeña escala, planeando disminuir la mano de obra especializada o la obra civil que usualmente se debe hacer en la instalación de biodigestores, procurando igualar las características como la durabilidad y resistencia que ofrecen los componentes especializados a grande escala. Se proyectaron las medidas de los sistemas a un diseño en AutoCAD el cual permite manipular los valores base para tener un apoyo futuro en otras propuestas de diseño, incluyendo recomendaciones como agitación, puesta en marcha, mantenimientos y seguridad del sistema replicables a otros casos de estudio donde se requiera el uso de biodigestores.

Se elaboro una estimación de costos mediante la solicitud de cotizaciones de los materiales elegidos dando un aproximado de 27,000 pesos de inversión o 247 UMAs, se puede observar que el precio considerado de la instalación del biodigestor no sugiere un elevado presupuesto para el productor teniendo en consideración el valor actual de la venta de leche o de ganado que se lleva a cabo con frecuencia en el rancho.

Trabajo a futuro

Para una correcta instalación del sistema de biodigestión en el rancho es necesario llevar a cabo un estudio del suelo que procure la durabilidad del biodigestor ante las condiciones climatológicas que pueda enfrentar el sistema, recordando que, aunque este protegido de no estar en contacto directo con la tierra, la movilización o el desgaje del suelo pueden crear un daño en la geomembrana o generar una torsión de complementos que podría resultar en fugas.

Referencias

- [1] M. Gómez y A. D. Villicaña Villa, «El sector agropecuario en México ante el cambio climático,» *ITSÍ ECHERI Revista de Divulgación en Ciencias Agroalimentarias y el Desarrollo Económico Rural*, vol. II(4), pp. 17-25, Enero - Abril 2024.
- [2] C. Avila Velazquez, *Uso de biodigestores en la industria pecuaria*, Toluca, México, 2016.
- [3] J. M. Pinos Rodríguez, J. C. García López, L. Y. Peña Avelino, J. A. Rendón Huerta, C. González González y F. Tristán Patiño, «Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América,» de *Agrociencia*, vol. 46, Texcoco, 2012, pp. 359-370.
- [4] I. F. Chávez-Díaz, L. X. Zelaya Molina, C. I. Cruz Cárdenas, E. R. Anaya, S. Ruíz Ramírez y S. de los Santos Villalobos, «Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., RojasConsideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México,» *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 11, n° 6, pp. 1423-1436, 2020.
- [5] C. I. Nicholls y M. A. Altieri, *Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático*, 1 ed., vol. 11, Cuadernos de Investigación UNED, 2019, pp. 55-61.
- [6] EPA United States Environmental Protection Agency, «How Does Anaerobic Digestion Work?,» 20 Enero 2024. [En línea]. Available: <https://www.epa.gov/agstar/how-does-anaerobic-digestion-work>. [Último acceso: 2024 Junio 20].
- [7] N. Carreras, «Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT),» 12 Febrero 2024. [En línea]. Available: <http://documenta.ciemat.es/handle/123456789/2613>. [Último acceso: 05 Junio 2024].
- [8] INEGI, «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» INEGI, 2023. [En línea]. Available: <https://agenda2030.mx/index.html?lang=es#/home>. [Último acceso: 25 Junio 2024].
- [9] J. Martí Herrero, *Biodigestores tubulares Guia de diseño y Manual de Instalación*, Ecuador: Redbiolac, 2019.
- [10] G. Navarro, «Fertilizantes. Concepto, tipos y propiedades,» de *Fertilizantes. Químicos y acción*, Mundiprensa, 2023, pp. 45-72.
- [11] Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, «¿Conoces las diferencias entre fertilizantes?,» Gobierno de México, 18 Noviembre 2022. [En línea]. Available:

<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/conoces-las-diferencias-entre-fertilizantes>.
[Último acceso: 2024].

- [12] P. González, «Consecuencias ambientales de la,» *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*, p. 5, 2019.
- [13] INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER , «History of Chemical Fertilizers,» de *Fertilizer Manual*, UNIDO, 2000, pp. 3-6.
- [14] ONU, «Fertilizantes: desafíos y soluciones para proteger nuestro planeta,» ONU, 2020. [En línea]. Available: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/fertilizantes-desafios-y-soluciones-para-proteger-nuestro-planeta>. [Último acceso: 2024].
- [15] C. Mirafuentes y M. Salazar, «La Revolución Verde,» *UAM Xochimilco*, n° 42, pp. 1-14, 2022.
- [16] INEGI, «Encuesta Nacional Agropecuaria 2019,» INEGI, 2020. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/607/variable/V7081>. [Último acceso: 2024].
- [17] Subsecretaria de energías renovables - Secretaria de estado de la energía , «Curso y operacion y mantenimiento de sistemas de biodigestión de pequeña y mediana escala,» *Academia de las renovables*, 2019.
- [18] M. S. Ochoa Gómez y G. H. Sangoquiza Guaranda, «Estudio comparativo de biodigestores a partir de residuos orgánicos de animales, en una zona rural de Quito, Parroquia Guamaní,» Quito, 2021, pp. 6-9.
- [19] O. J. Nicho Alvarado, L. Namay Villanueva, J. G. Chimoy Gomez y A. G. Cárdenas Durand, «METANOGÉNESIS Y BIODIGESTORES,» Huacho, 2021, pp. 5-9.
- [20] L. X. Tovar Bermúdez, L. K. Flores Galvis y L. L. Gaitan Triana, «Diseño de biodigestores para la optimización de procesos de producción de biogás a partir,» Bogotá, 2022, pp. 27-30.
- [21] J. E. López Hernández, B. L. Ramírez Higareda, C. B. Gomes Cabral y J. M. Morgan-Sagastume, Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales, México, 2017.
- [22] Google LLC, «Google Earth,» 2023. [En línea]. Available: <https://acortar.link/az9R6u>. [Último acceso: 14 08 2024].
- [23] NASA, «NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) | Data Access Viewer (DAV),» 03 Junio 2024. [En línea]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].

- [24] SEMARNAT - SAGARPA, Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México, FIRCO, ENERO 2010.
- [25] J. P. Bernal Calderon y J. P. Orozco Aguirre, Comparación del estiércol bufalino y bovino como potenciales inóculos en el proceso de digestión anaerobia, Bucaramanga, 2019.
- [26] J. Martí Herrero, «Biodigestores de bajo costo para producir biogás y fertilizante natural a partir de residuos orgánicos,» *IDEASS América Latina Innovación para el desarrollo y la cooperación sur-sur*, pp. 1-12.
- [27] Sistema Biobolsa , «SISTEMA.bio NO HAY DESECHOS SOLO RECURSOS,» [En línea]. Available: <https://sistema.bio/quienes-somos/>. [Último acceso: 17 Noviembre 2024].
- [28] Sistema Biobolsa, Manual de usuario uso y mantenimiento del biodigestor, San Martín Texmelucan, Puebla .
- [29] G. Bontempo, M. Maciejczyk, L. Wagner, C. Findeisen, M. Fischer y F. Hofmann, Biogás Safety First Directrices para el uso seguro de la tecnología del biogás, Fachverband Biogas e.V, 2016.
- [30] NAMA: Energías renovables para Autoconsumo en Chile, Guía para el instalador de plantas de biogás de mediana y gran escala, Santiago de Chile: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2018.
- [31] Unión Ganadera Regional De La Zona Centro Del Estado De Veracruz, *Precios del ganado para el mes de diciembre*, Boca del Río, Veracruz, 2024.
- [32] M. D. L. Pérez Chabela y C. Lamothe Zavaleta, «Nacameh,» de *La ganadería tradicional del norte del estado de Veracruz*, Ciudad de México, Veracruz, 2019, pp. 25-36.
- [33] M. T. Varnero Moreno, «Manual de biogas,» de *Manual de biogas*, Santiago de Chile, 2011, pp. 69-75.
- [34] M. M. Solís-Oba, R. Castro Rivera, A. Villegas-Luna, A. Cruz-Murillo, A. Solís-Oba y J. J. Castro-Ramos, «Evaluación de biol, bocashi, composta y vermicomposta en las variables morfológicas del cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea* L.),» *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, vol. 4, nº 3, pp. 3651-3653, 2021.

Anexos

Tantoyuca Veracruz, 15 de agosto de 2024.

Asunto: Solicitud de estudio viabilidad

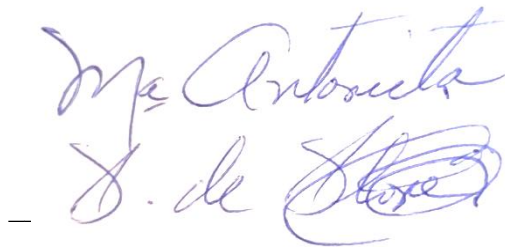
M.C. José Francisco Portillo Robledo
Director de la Facultad de Ciencias de la Electrónica

El que suscribe Sra. María Antonieta Farias Cobos solicitamos apoyo para determinar la viabilidad de la implementación de un biodigestor en el rancho el retorno por motivo de queremos hacer uso de los residuos generados por 28 cabezas de ganado bovino.

Nos interesa este estudio ya que nos preocupa la contaminación generada al ambiente para saber si podríamos obtener algún beneficio por la implementación del sistema y su costo.

El rancho cuenta con 40 hectáreas de pastizales, acceso a los servicios de agua potable y energía eléctrica, está a bordo de río "la bomba" y tiene un sistema de riego, sala de ordeño y corrales de manejo pavimentados, fácil acceso por carretera, bodega techada, personal las 24 horas.

Sin más por el momento y esperando puedan ayudarnos, quedamos a sus respetables órdenes.



Sra. María Antonieta Farias Cobos



C. María Antonieta Farias Cobos
Representante del Rancho el Retorno
PRESENTE

Por este conducto reciba un cordial saludo, al mismo tiempo en respuesta a su solicitud presento al alumno Macarió Meza Ayón con número de matrícula 201739675, de la carrera de la Licenciatura en Ingeniería en Energías Renovables, quien realizará el estudio de la Viabilidad de la Implementación de un Biodigestor Alimentado con los Residuos Generado por 28 cabezas de Ganado Bovino, para la elaboración de la tesina "**Propuesta de Diseño de un Biodigestor de Carga Continua para la Producción de Biofertilizantes en el Rancho el Retorno de Tantoyuca, Veracruz**", bajo la asesoría del Dr. Osvaldo López Hernández y la Dra. Nallely Téllez Méndez, docentes de esta Facultad.

Agradeciendo la atención, quedo de usted.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z., a 5 de septiembre de 2024

M.C. José Francisco Portillo Robledo
Director

C.c.p.-Archivo
M.C. JFPR/asb





COTIZACIÓN BIODIGESTOR

COTGEOPUE/1226139CF
Hidalgo a 29 de Noviembre del 2024

En atención a : Macario Meza

En atención a su amable solicitud le presentamos a usted la siguiente propuesta económica consistente en la instalación del siguiente material:

unidad	Descripción	Costo	Importe Subtotal
0	Visita técnica para diseñar el proyecto y dar indicaciones al de los requerimientos para la instalación	0	0
1	Suministro de BIODIGESTOR-TIPO SALCHICHA fabricado con geomembrana de 1 mm de espesor calibre 40 mil. HDPE. MEDIAS: 6 Metros de largo X 0.48 Metros de diametro. Incluye entrada tipo bota de 4", Salida tipo bota de 4" para tubería, salida para solidos bridada de 2" y salida de biogas de 1".	5,016	5,016
32	Forro de tina de biol de 1.5x1.5x1, Fabricada con geomembrana de 1 mm de espesor calibre 40mil. HDPE.	80	2,589
1	Instalación y mano de obra para la instalación de biodigestor y tina de biol.	7,735	7,735
1	Flete de equipo, viáticos del personal, gasolina para generadores y equipo.	6,277	6,277
Subtotal			21,617
Total			21,617
Iva			0
Propuesta economica			21,617
VEINTIÚN MIL, SEISCIENTOS DIECISIETE. 00/MN			

Vigencia de la cotización: **10 días hábiles a partir de la fecha de expedición**

- Nota:
- *Los costos no incluyen IVA, no incluye la preparación de suelo ni relleno de trinchera.
 - *Garantía por instalación de 6 meses contra vicios ocultos. Presupuesto enviado considerando que se encuentre listo el terraplén y/o terreno, se realizará visita previa a la firma de contrato.
 - *Se requieren dos personas para limpieza y despliegue de material.
 - * Se sugiere realizar una visita técnica antes de la instalación para supervisar el estado de la obra y detalles.
 - *Si requiere el diseño y asesoría de obra civil se cotiza por separado.



773 180 80 54
553 519 48 76



basurto511@gmail.com



Vito, Atotonilco de Tula, Hgo.

MASYFERR SA DE CV (PINTURAS)

Calle 2 De Abril S/N Zona Centro
TANTOYUCA, VER.
TEL. 89-32024

COTIZACION No. 013843

FECHA: 01/Dic/24

PUBLICO EN GENERAL VENTAS

POR MEDIO DE LA PRESENTE PONGO A CONSIDERACION
EL COSTO DE LOS PRODUCTOS QUE NOS FUERON SOLICITADOS.

PTDA	CLAVE	DESCRIPCION	MARCA	UNIDAD	CONTENIDO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
001	012976	TUBO PVC SANITARIO C/NORMA 110MM=4"X6.00M	MULTI- MARCA	PIEZA	C/6 MTS.	1.00	196.0269	196.03
002	002341	CODO PVC SANITARIO 45 110MM=4"	MULTI- MARCA	PIEZA		4.00	16.0000	64.00
003	003594	PEGAMENTO PARA PVC SANITARIO NARANJA 145ML 50-013	PEGALON	LATA		1.00	65.8999	65.90
004	035747	QUEMADOR INDUSTRIAL # 7 QUE-07	ALMET	PIEZA		1.00	711.9000	711.90
							TOTAL	1,037.83

VIGENCIA DE PRECIOS: SUJETOS A CAMBIO
PLAZO DE ENTREGA: INMEDIATO
FLETE: L.A.B.

ESPERANDO VERNOS FAVORECIDOS CON SU COMPRA QUEDO DE USTED.
PRECIO SUJETO A CAMBIO
PLAZO DE ENTREGA. INMEDIATO
FLETE. L.A.B

789-893-20-24 TEL. 789-893-19-33 CEL. 789-103-00-57
CORREO: gerencia.pinturas@masferreteria.com.mx
pinturas@masferreteria.com.mx
WHATSAPP : 789-103-00-57

ATENTAMENTE

VENTAS

Agroveterinaria "LA GRANJA"



Venta de AgroQuímicos y Productos Veterinarios
Aspersoras, Fertilizantes y Cercos Eléctricos
Equipos de Riego y Alimento para Mascotas
Tels: (789) 8932250, 8932251
IRENE ELIZABETH AGUILAR IBARRA
RFC: AUII640419AKA

COTIZACION

125571

FECHA:

01/Dic/2024 ::

Cp: 92120
Email: ventaslagranja31@gmail.com

COMERCIAL: PRIVADO

N° DE CLIENTE: PV

METODO DE PAGO:

TERMINOS DEL PEDIDO: COTIZACIÓN

Cliente: PUBLICO EN GENERAL
RFC: XAXX010101000
Dirección: FRANCISCO I MADERO 148-A
Colonia: Tantoyuca

CANT.	PRODUCTOS	UNIDADES	PRECIO/UNIDAD	TOTAL
1	TINA OVALADA 160LTS	PIEZA	\$ 443.00	\$ 443.00
			SUBTOTAL:	\$ 443.00
			TOTAL:	\$ 443.00

SI TIENE ALGUNA DUDA SOBRE LA PRESENTE COTIZACIÓN, NO DUDE EN PONERSE EN CONTACTO CON NOSOTROS.

NOTA: SUJETO A CAMBIO DE PRECIOS SIN PREVIO AVISO.

APROVECHANDO LA OPORTUNIDAD PARA ENVIARLE UN CORDIAL SALUDO Y AGRADECIMIENTO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN A LA PRESENTE.

¡ AGROVETERINARIA LA GRANJA LE AGRADECE SU PREFERENCIA !



COTIZACIÓN: 182224
FECHA 12-Dic-24
CONTADO

DATOS DEL CLIENTE:

CLIENTE PUBLICO EN GENERAL .. C.P.

La presente es con el fin de saludarle y someter a su apreciable consideración los precios de los productos que tan amablemente nos fueron requeridos y que esperamos cumplan con sus objetivos.

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio	Descuento	Importe
1	PIEZA	ADAPTADOR HEMBRA 1" PVC HIDRAULICO	9.00		9.00
1	PIEZA	REDUCCION BUSHING 1 X 1/2" GALVANIZADA	21.90		21.90
1	PIEZA	CAMPANA NIPLE 3/8X1/2" P/GAS BOILER	21.00		21.00
Total con letra: =cincuenta y uno pesos 90/100 M.N. =			Total		\$51.90

COTIZACION

Fecha	Folio
10/dic./2024	CPU952

Av. 5 de Mayo 611Barrio de Jesus
 Tochtepec Puebla
 75610 SAG080507AJ9
 224-42-7-15-06
ventas.puebla@simbiosisag.com

Telefono Suc: 222-234-81-31

Cliente
VENTAS A PUBLICO EN GENERAL PUEBLA JUAN CORDERO 1609 Puebla, Pue. CP: 72320 RFC: XAXX010101000

Vigencia	Condiciones	Vendedor
	Contado	I-2002

Artículo	Nombre	U.med.	Unidades	Precio	Desccto.	Importe
H26B02506	TUBO PVC HIDRAULICO SI RD-26 1" x 6 m C/BOCINA (272)	METRO	36	11.50		414.00
931300	CODO 90° PVC HIDRAULICO CED-40 1" CEMENTAR (12)	PIEZA	4	8.71		34.84
931346	TEE PVC HIDRAULICO CED-40 1" CEMENTAR (12)	PIEZA	3	9.83		29.49
447-010	TAPA PVC HIDRAULICO CED-40 1" CEMENTAR (10)	PIEZA	3	8.55		25.65

(Quinientos ochenta y cuatro pesos 62/100 m.n.)	Subtotal	503.98
	IVA 16%	80.64
	Total	584.62