

DISEÑO DE BIODIGESTOR A PARTIR DE PORCINAZA

LINA MARIA PATARROYO MORENO

**Proyecto integral de grado para optar el título de:
INGENIERO QUÍMICO**

**Director:
M.Sc IVÁN RAMÍREZ MARÍN
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.**

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre

Firma del Jurado 1

Nombre

Firma del Jurado 2

Bogotá, D.C. Octubre de 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora de Programa

Dra. Nubia Liliana Becerra Ospina

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón esta tesis a mi abuelo Luis que, aunque no estuvo físicamente conmigo, fue mi gran motivación durante toda la carrera. A mis padres que me han apoyado durante este proceso y creyeron en mí cuando de pronto yo misma no lo hacía. A mi familia porque sin ellos no habría logrado tanto en mi vida. Finalmente me dedico esta tesis, porque esta tesis es el claro ejemplo de que poco a poco eh ganado la lucha contra la ansiedad, contra mí misma y me demuestra que, aunque todo se ponga difícil, lo puedo lograr.

AGRADECIMIENTOS

En primera estancia gracias a Dios por permitirme disfrutar de esta experiencia adicionalmente por darme la fortaleza de completar este ciclo, gracias a mis padres por el apoyo económico y emocional durante todo este proceso. A Alejandra por su apoyo incondicional, por escucharme y aconsejarme durante este proceso, por ser una amiga única y especial. A mis amigos por su motivación incondicional, A mis compañeros, amigos y jefes del trabajo por creer en mí y apoyarme en este proceso. Por último, gracias a todas las personas de la fundación universidad de América tanto docente como administrativos que me permitieron desarrollar y culminar este trabajo de grado.

Las Directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	19
1.MARCO TEÓRICO	20
1.1 Biomasa	20
1.2 Porcinaza	20
<i>1.2.1 Ciclo productivo de las granjas porcícola</i>	20
<i>1.2.2 Cama</i>	21
1.3 Biodigestor	22
<i>1.3.1 Digestión aerobia</i>	23
<i>1.3.2 Digestión anaerobia</i>	25
<i>1.3.3 Tipos de digestores anaerobios</i>	27
1.4 Biogás	31
1.5 Biofertilizante	33
1.6 Reducción de Sulfuro de hidrogeno	33
<i>1.6.1. Adición de Cloruro Ferroso o Férrico.</i>	33
<i>1.6.2. Adición de Oxigeno</i>	33
<i>1.6.3. Filtros de Adsorción</i>	34
<i>1.6.4 Torres de Absorción.</i>	34
<i>1.6.5 Filtros Biológicos</i>	35
2.ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO	36
2.1 Toma de muestras	36
<i>2.1.2 Granja el Roble</i>	38
<i>2.1.3 Granja Balsora</i>	38

2.2 Análisis de las muestras	39
2.2.1 pH	40
2.2.2 <i>Solidos Suspendidos Totales</i>	40
2.2.3 <i>Solidos Disueltos Totales</i>	41
2.2.4 <i>Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.)</i>	41
2.2.5 <i>Demanda Biológica de Oxígeno (D.B.O. 5)</i>	42
2.2.6 <i>Alcalinidad Total</i>	42
2.2.7 <i>Sulfatos</i>	43
2.2.8 <i>Nitrógeno Total</i>	44
2.2.9 <i>Coliformes Totales</i>	45
2.3 Análisis de resultado	46
3.DISEÑO CONCEPTUAL	50
3.1 Cantidad de porcinaza diaria	50
3.2 Biodigestor	55
3.2.1 <i>Tipo de Biodigestor</i>	55
3.2.2 <i>Condiciones de operación</i>	57
3.2.3 <i>Balance de Masa</i>	61
3.2.4 <i>Instrumentación y control.</i>	65
3.5 Esquema final biodigestor	66
3.6 Análisis fisicoquímico Biofertilizante	70
4.ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO	72
4.1 Costos Biodigestor	72
4.2 Costos de eliminación de ácido sulfhídrico	75
4.3 Relación Costo - Beneficio	77
4.3.1 <i>Beneficio biogas</i>	77

<i>4.3.2 Beneficio Biofertilizante</i>	78
<i>4.3.3 Análisis costo-beneficio total</i>	79
5.CONCLUSIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXOS	89

LISTA DE FIGURA

	pág.
Figura 1. Diagrama de proceso en las granjas porcícolas	21
Figura 2.. Cama de heno en graja porcícola	22
Figura 3. Comparación en los procesos químicos de la digestión aerobia y anaerobia	23
Figura 4. Ruta de la digestión anaerobia	25
Figura 5. Ruta metabólica para la obtención de metano a partir de la digestión aerobia	27
Figura 6. Esquema biodigestor tipo chino	28
Figura 7. Esquema biodigestor tipo indio	29
Figura 8. Esquema biodigestor tipo Taiwán.	30
Figura 9. Biodigestor tipo Batch	31
Figura 10. Columna de purificación	35
Figura 11. Ubicación aproximada de las granjas	37
Figura 12. Absorción de los rayos según el color.	60
Figura 13. Esquema de porcentajes para el desarrollo del balance de masa.	61
Figura 14. Reacción de metano con oxígeno.	63
Figura 15. Resumen balance de masa.	64
Figura 16. Manómetro	65
Figura 17. Válvula de Globo	66
Figura 18. Distribución del Biodigestor	68
Figura 19. Ubicación del Biodigestor dentro de la granja.	69
Figura 20. Filtro de carbón activado con limaduras de hierro.	76
Figura 21. Transformación de energía térmica a mecánica.	78

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Producción anual de carne de cerdo (tonelada).	16
Tabla 2. Características del biogas	32
Tabla 3. Listado de municipio y cantidad de predios porcinos.	36
Tabla 4. Resultado de análisis de las muestras	39
Tabla 5. Concentración de amoniaco y los efectos que este provoca.	45
Tabla 6. Composición de excretas porcinas.	47
Tabla 7. Caracterización de la materia prima.	48
Tabla 8. Cantidad de porcínaza por día según el estado del cerdo en la granja	51
Tabla 9. Peso vivo en cada Granja.	53
Tabla 10. Total, de porcínaza producida en cada una de las granjas.	53
Tabla 11. Matriz de selección.	56
Tabla 12. Ventajas y desventajas de los materiales.	58
Tabla 13. Propiedades Polietileno	59
Tabla 14. Dimensiones Biodigestor Taiwán en la granja el Roble y Balsora.	67
Tabla 15. Especificaciones Biofertilizante	71
Tabla 16. Costos de biodigestor	72
Tabla 17 Valor discriminado de costo del biodigestor.	73
Tabla 18. Costos aproximados de implementación de los diferentes métodos.	75
Tabla 19. Costos y depreciación anual	80
Tabla 20. Gastos anuales comercialización de biofertilizante	81
Tabla 21. Ingresos y ganancias totales anuales	81

LISTA DE ABREVIACIONES

kg	Unidad se masa en kilogramos
CO₂	Dióxido de carbón
H₂	Hidrogeno
ATP	Adenosín trifosfato
H₂O	Agua
CH₄	Metano
H₂S	Ácido sulfhídrico
ICA	Instituto Colombiano de Agricultura
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
°C	Temperatura en grados Celsius
ONAC	Organismo Nacional de Acreditación de Colombia
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
ISO	Organismo Nacional de Estandarización
D.Q.O	Demanda química de oxígeno
SST	Solidos solubles totales
SDT	Solidos disueltos totales
D.B.O.₅	Demanda química de oxígeno
mg	Unidad de masa en miligramos
L	Unidad de volumen en litros
O₂	Oxígeno
SO₄	Sulfato
CaCO₃	Carbonato de calcio
NPM	Número más probable
LTDA	Limitada
Fem	Fuerza electromotriz
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
K₂SO₄	Sulfato de potasio
CuSO₄	Sulfato de cúprico
Cd	Cadmio
ONPG	Orto- nitrofenil-beta-D-galactopiranosido

CPRG	Rojo de clorofenol-beta-D-galactopiranosido
E. COLI	Escherichia Coli
MUG	4-metilumbeliferil-beta-D-glucuronido
Aprox.	Aproximadamente
m³	Unidad de volumen en metros cúbicos
PEAD	Polietileno de alta densidad
W	Vatios
km	Unidad de longitud en kilómetros
K	Unidad de temperatura en Kelvin
m	Unidad de longitud en metros
kJ	Unidad de energía en kilo Jules
N	Unidad de Fuerza en Newton
cm	Unidad de Longitud en centímetros
g	Unidad de masa en gramos
Na₂S	Sulfuro de sodio
SM	Método estándar
V	Volumen
COP	Pesos Colombianos
h	Hora
PVC	Policloruro de vinilo
Hg	Mercurio
CNPT	Condiciones Normales de presión y temperatura
Pb	Plomo
As	Arsénico
Cr	Cromo
Ni	Níquel
P₂O₅	Oxido de fosforo
K₂O	Oxido de potasio

RESUMEN

El presente documento tiene como finalidad el diseño conceptual de un biodigestor a partir de porcinaza, para la producción de biogas y biofertilizante, como un valor agregado a las granjas pequeñas con las productoras de carne de cerdo.

Para el desarrollo del biodigestor, se caracteriza la porcinaza de dos granjas del municipio de Pacho, Cundinamarca. Dónde una de ellas tiene un enfoque de crianza del cerdo, mientras, que la otra granja tiene un enfoque del engorde del cerdo. Está caracterización se hace con pruebas fisicoquímicas y microbiológicas, estos ensayos se hacen bajo los métodos estándar para el análisis de aguas residuales.

Luego de realizar la caracterización de la biomasa los valores obtenidos se promedian para la caracterizar la materia prima de granja de ciclo productivo completo, adicional a esto se presenta la ecuación para el cálculo de porcinaza producía día para cualquier granja. Con los valores obtenidos en la caracterización de la biomasa se realiza el cálculo de biogás producido, esto con el valor de demanda química de oxígeno D.Q.O. Y se plantea el diseño y materiales a usar para el biodigestor.

Con los materiales y diseño se plantean costos y beneficios de la implementación del biodigestor. Adicional a esto se presentan las posibles formas de purificación del biogás producido y el costo de implementación de esto. Con el cálculo de este se ve la factibilidad de la implementación d un biodigestor.

Palabras clave: Biodigestor, Biomasa, Porcinaza, Biogás, Biofertilizante.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la tesis se desarrolla los conceptos y para el diseño de un biodigestor a partir de porcínaza como biomasa.

La porcínaza es la mezcla de residuos consistentes en deyecciones ganaderas, materia fecal, la cama, el agua de lavado y restos de alimentos, en procesos de cambio biológico [1]

«el estiércol del cerdo es muy contaminante para el medio ambiente tanto para el agua contaminándola tanto física, química y microbiológicamente, el aire debido a que pueden hacer emisiones de amoníaco, metano y compuestos orgánicos y azufrados que generan olores. Y al suelo, esto ya que se puede generar un exceso de nitrógeno, fósforo y metales pesados en cultivos; la cantidad de deyecciones totales que generan los animales es en promedio un 6,5% del peso vivo total del establecimiento o granja.» [2]

En Colombia hay aproximadamente 14 000 granjas con capacidad de cría de más 1,7 millones de cerdo de las cuales el 27% de ellas se consideran tecnificadas,[2] Es decir que el 73% de las granjas en que hay en Colombia no están tecnificadas, por lo cual las técnicas utilizadas en estas granjas son menos indicadas para la gestión de residuos producidos. Adicional a esto, cabe resaltar que las algunas granjas al ser tecnificadas, no significó que la gestión de residuos se realice de la manera más adecuada que genere menos impactos ambientales, y/o en este proceso realizado con la porcínaza no se generan tanto valor agregado.

En Colombia la producción de carne de cerdo ha aumentado año a año según las cifras de PorkColombia las cuales nos indican de un crecimiento del 240,76% entre el 2010 y el 2020. En la Tabla 1. se puede ver las cifras de producción de carne de cerdo para los últimos años. Para el año 2021 se tiene un aumento del 4,9% respecto al año anterior 2020, lo que quiere decir que para el 2021 se tuvo una producción de 491 233 toneladas.[3] Por lo tanto, con el aumento de la producción de carne de cerdo en Colombia, se tiene un aumento de la porcínaza y así mismo se tiene un aumento.

Tabla 1.

Producción anual de carne de cerdo (tonelada).

Año	Total (Ton.)
2010	194 566
2011	226 056
2012	243 109
2013	264 558
2014	288 648
2015	320 297
2016	356 600
2017	371 337
2018	410 281
2019	446 627
2020	468 429

Nota. Tabla que muestra la producción anual total entre el 2010 y el 2020. Tomado de: “*Estadísticas Sectoriales – Porkcolombia.*” <https://www.porkcolombia.co/estadisticas-sectoriales/> (accessed Mar. 07, 2021).

Aunque el estiércol de cerdo por su gran contenido de nutrientes, ha sido utilizado a nivel mundial como fertilizante, esta disposición de la porcinaza puede llegar a ser contaminante, si no se eliminan los componentes tóxicos y nocivos, como los volátiles y metales pesados. “Se ha aplicado excesivamente esta técnica y ha llevado a una acumulación en el suelo de N, P y metales pesados.” [2]. Para evitar mayor impacto ambiental se han propuesto a lo largo del tiempo metodologías de separación y tratamientos, “La disposición de este desecho se hace mediante diferentes sistemas que ayudan al impacto medio ambiental estos sistemas son: sistemas de separación mecánica, sistemas fisicoquímicos, sistemas de evaporadores de paneles y sistemas biológico.” [5]

De los procesos de manejo de la porcínaza son los biodigestores, los cuales, por medio de bacterias anaerobias o aerobias se degrada la materia orgánica y se obtiene como producto fertilizantes y biogas, los cuales tienen un valor agregado. Los componentes volátiles que se mencionan anteriormente van a ser utilizados por las bacterias anaerobias para la producción de biogas, los metales pesados no van a ser eliminados por medio de la digestión. Por lo tanto, el biofertilizante debe tener una evaluación de metales.

En Colombia ya existen granjas que utilizan los biodigestores como son varias de las tecnificadas para reducir la contaminación por porcínaza, pero no se está realizando de la manera adecuada ya que se está obteniendo el biogás con ácido sulfhídrico, el gas que se produce es muy bajo comparado con el potencial de producción y este no se está utilizando con el fin de aprovecharlo energéticamente.[6] y esto lleva a que se le pierda un valor agregado al proceso de digestión del material orgánico.

Las grandes productoras de carne de cerdo en el país, al pasar de los años han ido implementando estas técnicas; las pequeñas granjas siguen con procesos tradicionales en cuanto a la disposición del estiércol, cuando estos procesos pueden ser económicos y fáciles de desarrollar.

Este proyecto brinda una solución a esas granjas porcícolas, pequeñas y medianas. En la implementación de biodigestores para el tratamiento de la porcínaza, la cual es un residuo que como se menciona anteriormente es muy contaminante y no se acostumbra a tratarlo y/o reutilizarla; esto debido a que los biodigestores son la alternativa con menos impacto ambiental negativo comparado con el uso directo de la porcínaza como biodigestor ya que además disminuye componentes volátiles y contaminantes, tiene un valor agregado, el cual es el lodo resultante que es usado como fertilizante y el biogás que se puede usar directamente en el hogar o la producción de energía eléctrica o mecánica para el cual se deben implementar sistemas adicionales como los son motores y generadores. Esto gracias a que los motores mediante la combustión del biogas se genera energía mecánica la cual se transforma en energía eléctrica mediante el generador esto ya que mediante un rotor y un estator se genera un flujo magnético que se transforma en energía eléctrica.[7]

Para el diseño y el modelamiento del biodigestor que cumpla con las características que requiere el sector Porcicola, se debe tener en cuenta las características de la materia prima (biomasa) a usar, se debe tener en cuenta el factor económico, la seguridad del proceso y el factor ambiental.

Para la caracterización física, química y biológicamente de las materias prima se realiza bajo los métodos estándar utilizados para el análisis de aguas residuales. Para el diseño conceptual se tiene en cuenta las variables de diseño, las cuales son el volumen, el tiempo de residencia y la temperatura y el tipo de biodigestor a usar. Las características físicas, químicas y biológicas de la porcínaza al igual que las variables de diseño va a ser un factor importante del potencial que tiene el biodigestor para la producción de biogas.

En el desarrollo del análisis costo- beneficio se contempla el costo de implementación del biodigestor, teniendo en cuenta la instrumentación, y sistemas de purificación de biogas. También se contempla el beneficio que trae el bio gas y el biofertilizante a las granjas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Dimensionar un biodigestor para pequeñas granjas porcícolas para la obtención de biogás como un valor agregado al proceso productivo.

Objetivos específicos

1. Caracterizar física, química y biológicamente la porcinaza que será usada como materia prima.
2. Realizar el diseño conceptual de un biodigestor para la producción de porcinaza
3. Analizar el costo-beneficio que trae consigo la implementación de un biodigestor en una granja de baja producción.

1. MARCO TEÓRICO

La intención de este capítulo es desarrollar los conceptos básicos que se utilizaran y mostraremos durante el desarrollo de este proyecto.

1.1 Biomasa

la biomasa se define según la directiva 2018/2001 del parlamento europeo como la fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal, de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y municipales de origen biológico.[8] La biomasa definida para el biodigestor es la porcínaza la cual proviene de desechos biológicos de la producción de cerdo.

1.2 Porcínaza

La porcínaza es el residuo que se obtiene de la industria Porcícola, la porcínaza está formada por heces fecales y orina mezclados con el material utilizado como cama, residuos de alimento, polvo, otras partículas y una cantidad variable de agua proveniente de las labores de lavado y pérdidas desde los bebederos.[9]

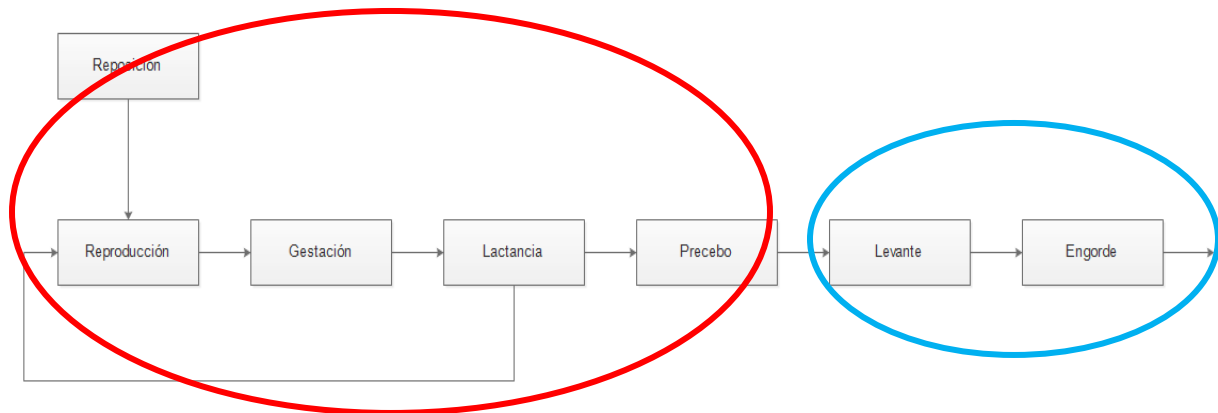
1.2.1 Ciclo productivo de las granjas porcícola

En Colombia las granjas porcícolas se dividen en dos procesos principales el proceso de cría y el de ceba, en el cual el primero es el proceso desde que las hembras están en gestación hasta que el cerdo este alcance un peso de aproximadamente 30 kg, luego este pasa al proceso de cebo en el cual el cerdo estará en el proceso de levante y engorde hasta que alcance un peso de 110 kg a 125 kg. [5]

A continuación, se muestra el esquema del proceso en general que se presenta en las granjas porcícolas del país.

Figura 1.

Diagrama de proceso en las granjas porcícolas.



Nota. En el diagrama se muestra todo el proceso productivo en las granjas de porcícola el primer ciclo de cría del cerdo se comprende es el que se muestra bajo el círculo rojo y el ciclo de cebo incluye los procesos dentro del círculo azul.

El ciclo productivo es muy importante a la hora de evaluar el biodigestor, debido a que, la diferencia de las porcínaza, se debe a los manejos que se les dan a las distintas granjas, como lo es el lavado, el tipo de material que se usa como cama o el tipo de alimento del cerdo.

Pero esto también se debe a los tipos de granja, ya que hay granjas donde solo se dedican a la etapa de cría del cerdo, otras se dedican solo a la etapa del cebo y otras que son mixtas donde manejen ambos procesos juntos o por separado para esta última se pueden generar dos tipos de porcínaza como si fueran granjas separadas.

1.2.2 Cama

La cama es una técnica que se usa en las granjas de pequeña y de mediana producción de cerdo, la cual consiste en reemplazar el piso de concreto, por capas de heno, paja de arroz o de café, hojas de maíz secas o una mezcla de varios de estos materiales bien deshidratados. [10]

La cama hace parte de los componentes de la porcínaza, [1] esto debido a que este quedara en los residuos a la hora de que el cerdo haga sus heces y en el lavado de las granjas. Estas camas cuando son usadas van a generar problemas en el biodigestor por la mayoría de camas usadas son de material lignínico el cual es de fácil degradación.

Figura 2.

Cama de heno en graja porcícola



Nota. ejemplo de cama profunda que puede ser usada en las grajas porcícola como lo es el heno. Tomada de: O. Iachetta, “*En Alemania, la cama profunda es baja agresión y bienestar. Y es competitiva - Todo Cerdos - El portal de noticias del sector porcino,*” *Todoscerdos*, 2019.

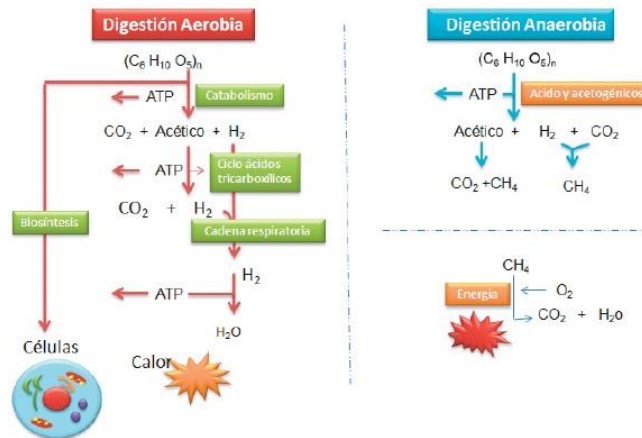
1.3 Biodigestor

El biodigestor es un tipo de reactor donde van a ocurrir reacciones biológicas, donde se busca la fermentación de la materia orgánica para la obtención de biofertilizante y biogás. Para este proceso se presentan dos caminos la digestión aerobia y la digestión anaerobia.[12]

Para el diseño del biodigestor se puede realizar mediante la cinética de consumo de biomasa y generación de producto de interés, la conversión de D.Q.O, cinética de crecimiento microbiano específico a las bacterias de interés en este caso las metanogénicas.

Figura 3.

Comparación en los procesos químicos de la digestión aerobia y anaerobia



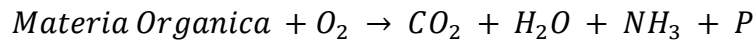
Nota. En la imagen se observa la diferencia de las rutas metabólicas. Tomada de: L. C. A. D. M. B. J. A. C. A. M. Corrales, “Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta,” *NOVA*, vol. 13, pp. 55–81, 2015

1.3.1 Digestión aerobia

La digestión aerobia es conocida como un proceso donde microorganismos (bacterias y protozoos) que, en presencia de oxígeno, reaccionan por medio de fermentación y junto al uso de una fuente de materia orgánica y producen productos finales inocuos y materia celular.[14]

En el proceso de digestión aerobia, los microorganismos involucrados en el proceso interaccionan con el oxígeno presente en el sistema y junto a la materia orgánica (compuesta por proteínas, amino

ácidos, lípidos o carbohidratos) para producir, Dióxido de carbono y agua mayoritariamente como se muestra en la ecuación Ec. 1.1:



Ec. 1.1

Los iones de amonio y el fosforo son residuales única y exclusivamente cuando la materia orgánica presente tiene como composición estructuras de amino ácidos y proteínas; cuando la materia orgánica en el sistema se ha agotado, los micro organismos consumirán su propio protoplasma (conocido como tejido celular) con el propósito de mantener la carga energética para que la operación metabólica de estas se mantengan, esto es conocido como etapa endógena, donde al final de dicha etapa, dichos microorganismos agotaran la mayor parte de su tejido celular (representado químicamente por la estructura $C_3H_7NO_2$) y generarán residualmente dióxido de carbono, amoníaco y agua mediante la siguiente reacción en medio aerobio:



Ec. 1.2

Dicho lo anterior, es de vital importancia resaltar que entre el 75 y el 80% del tejido celular puede ser oxidado, esto es debido a que el porcentaje restante del protoplasma corresponde a compuestos inertes que no son biodegradables, esto quiere decir que, la cinética de destrucción de celular es mayor cuando existe una relación de materia orgánica/microorganismo menor. Por otra parte, el amoníaco es oxidado metabólicamente para producir un Ion Nitrito que tiene como objetivo final de producir energía por medio de ATP.

De acuerdo a lo anteriormente enunciado, el manual de biogás de la FAO, nos describe la ventajas y desventajas que este tipo de digestión tiene al ser aplicado.

«La digestión aeróbica presenta diversas ventajas dentro de las cuales destacan la facilidad de operación del sistema, bajo capital de inversión comparada con la digestión anaeróbica, no genera olores molestos, reduce la cantidad de coliformes fecales y, por lo tanto, de organismos patógenos, produce un sobrenadante clarificado con una baja D.B.O.₅, con pocos sólidos y poco fósforo. El proceso presenta también sus desventajas, entre las que se suele mencionar los altos costos de operación causados por los altos

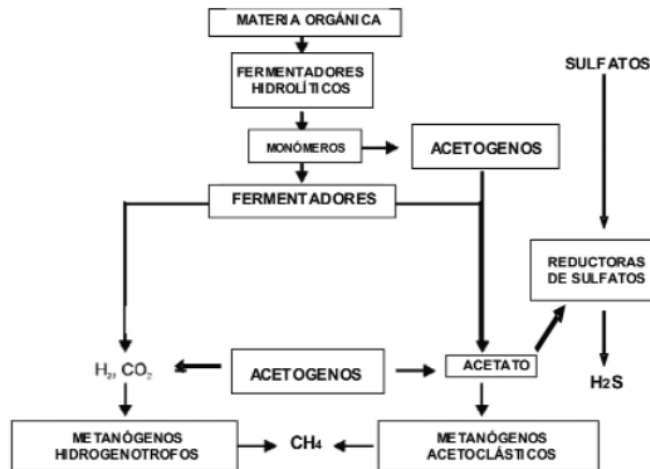
consumos de energía, la falta de parámetros y criterios claros para el diseño y la dificultad que presentan los lodos digeridos aeróbicamente para ser separados mediante centrifugación y filtración al vacío.»[14]

1.3.2 Digestión anaerobia

A diferencia de la digestión aerobia, la digestión anaerobia transforma la materia orgánica sin oxígeno presente. Tiene como objetivo principal el descomponer la mayoría de polímeros que tenga una materia orgánica (generalmente llamados proteínas, lípidos y carbohidratos) en monómeros de mayor selectividad para los microorganismos presentes en el proceso. La digestión anaerobia es considerada como una fermentación por la ausencia de oxígeno, dicha, consta de cuatro etapas: hidrolisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Cada uno de estas etapas las realiza un tipo de bacteria diferente.

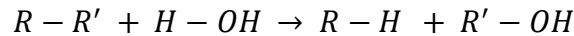
Figura 4.

Ruta de la digestión anaerobia.



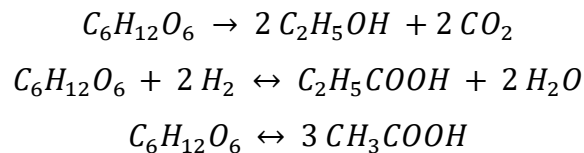
Nota. En la imagen podemos observar la ruta de reacción que se tiene en una digestión anaerobia. Tomada de C. Ferrer, “*ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar,*” vol. 43, no. 1, pp. 9–20, 2010, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120681002>

A. Hidrolisis: En esta etapa consiste en una serie de reacciones enzimáticas donde exista la ruptura de los compuestos de mayor masa molecular, a compuestos orgánicos de menor masa molecular, [16] por ejemplo, hacer la ruptura de las proteínas con las enzimas proteasas para generar aminoácidos. Este proceso es realizado por diferentes bacterias que secretan la encimas necesarias mediante el siguiente mecanismo.



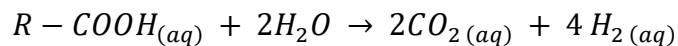
Ec. 1.3

B. Acidogénesis: “Los monómeros producidos en la fase hidrolítica son absorbidos por diferentes anaerobios facultativos y obligatorios. bacterias y se degradan aún más en ácidos orgánicos de cadena corta, como ácidos butíricos, ácidos propanoicos, acético ácidos, alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono. La concentración de hidrógeno formado como producto intermedio. En esta etapa influye el tipo de producto final obtenido durante el proceso de fermentación” [[16] En esta etapa lo que se busca es degradar aún más la materia orgánica que entra a nuestro biodigestor, bajo el siguiente mecanismo a partir de la glucosa (obtenida de la ruptura de un polímero de almidón).



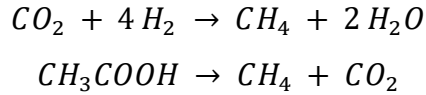
Ec. 1.4

C. Acetogénesis: lo que se busca en esta etapa es que los sustratos que no pueden se degradados por las bacterias metanogénicas, es decir los ácidos y alcoholes producido en la etapa anterior, se conviertan en acetato, hidrogeno y/o dióxido de carbono.[16]



Ec. 1.5

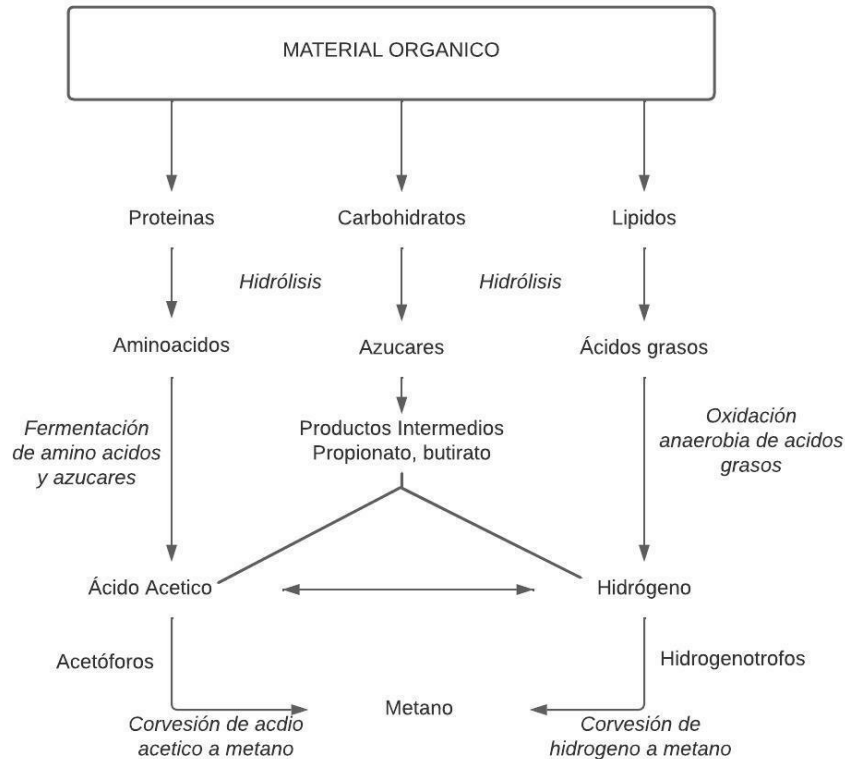
D. Metanogénesis: Esta es la etapa más fundamental y la que ocurre a condiciones anaerobias más estrictas, en esta etapa las bacterias metanogénicas, van a reaccionar con el acetato, hidrogeno y dióxido de carbono para generar metano, para esto hay dos tipos de bacterias la que transforman el acetato y la que transforman el hidrogeno.[17] Esto ocurre bajo las siguientes reacciones:



Ec. 16

Figura 5.

Ruta metabólica para la obtención de metano a partir de la digestión aerobia



Nota. En la figura se muestra más detallado el proceso que se genera para cada una de las moléculas para la conversión en metano. Tomado de: E. Giraldo-Gomez, “*Kinetics of anaerobic treatment: A critical review,*” *Critical Reviews in Environmental Control*, vol. 21, no. 5–6. pp. 411–490, Jan. 01, 1991.

1.3.3 Tipos de digestores anaerobios

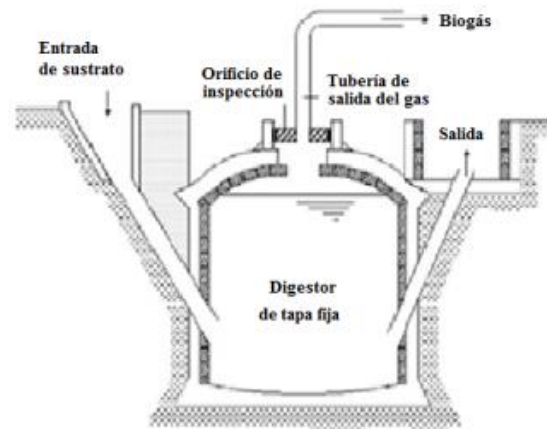
Aunque existen distintos tipos de biodigestores, los tipos de digestores anaerobios que se mencionan a continuación son aquellos que mejor se acomodan a la industria porcícola y a las

granjas pequeñas y medianas. Estos pueden ser aplicados en procesos continuos, discontinuos o semi continuos, según sea el caso, la necesidad de la granja y con lo que ya se cuenta.

A. Tipo chino o de cúpula fija: En este biodigestor se tiene enterrado con un tubo en la parte superior donde se tiene la salida del biogás el cual se acumula en la parte superior del tanque en la parte superior del tanque y adicional se cuenta con dos cámaras donde se va ingresar la porcinaza y otra donde se tiene la salida del biofertilizante. Y es un modelo más eficiente para la producción de biofertilizante.[14]

Figura 6.

Esquema biodigestor tipo chino

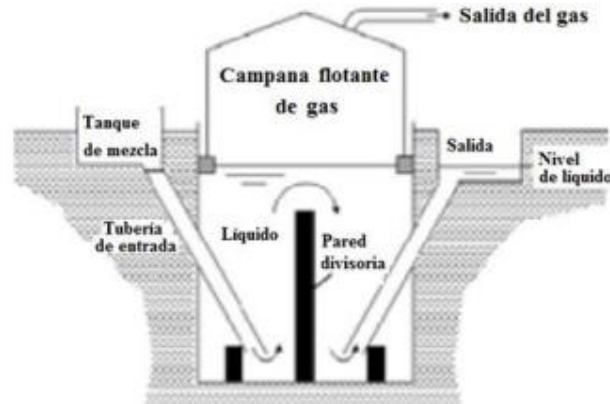


Nota. En la imagen se observa un esquema de cómo se eventualmente un biodigestor tipo chino, Tomada de C. L. Ernesto Barrera-Cardoso, et al. “*Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural Compilation of theoretical aspects on biogas production technologies at rural scale,*” 2019.

B. Tipo Indio o de campana flotante: Este biodigestor tienen un funcionamiento similar al de cúpula fija la diferencia es que en este la cúpula es un gasómetro donde se tiene el almacenamiento del biogás, esta copula es móvil la que tiene ventajas como lo es el rompimiento de espuma en el biodigestor. Este tipo de biodigestores son más eficientes para la producción de biofertilizantes[14]

Figura 7.

Esquema biodigestor tipo indio

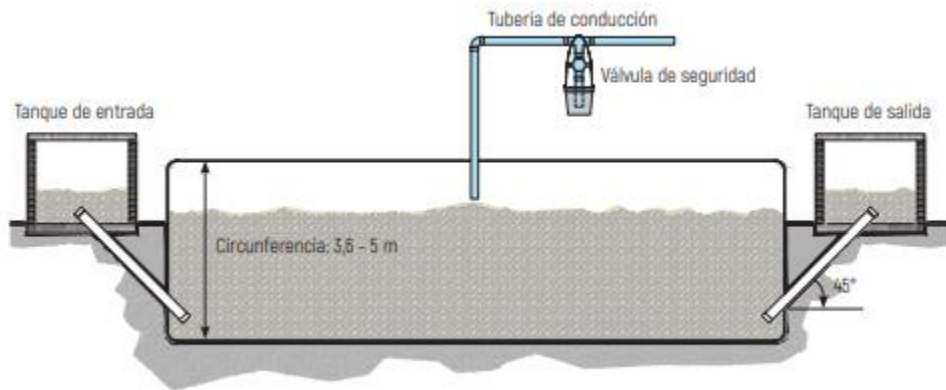


Nota. En la imagen se observa un esquema de cómo se eventualmente un biodigestor tipo indio, Tomada de: C. L. Ernesto Barrera-Cardoso, L. Odales-Bernal, L. Annerys Carabeo-Pérez, Y. Alba-Reyes, and F. Orestes Hermida-García, “*Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural* *Compilation of theoretical aspects on biogas production technologies at rural scale,*” 2019.

C. Tipo Taiwán: Este biodigestor funciona de igual manera que el biodigestor chino la diferencia es que este no se encuentra completamente enterrado por lo que utiliza menos materiales para contención del tanque y aprovecha la energía solar para mantener la temperatura interna.[20]

Figura 8.

Esquema biodigestor tipo Taiwán.



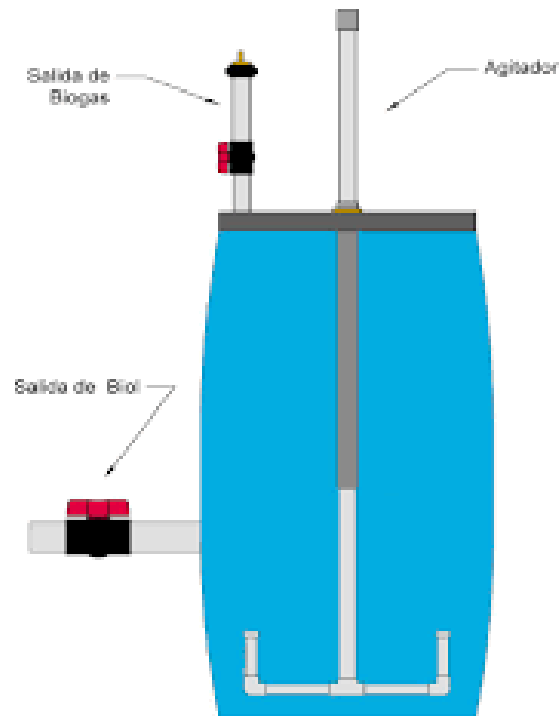
Nota. En la imagen se observa un esquema de cómo se eventualmente un biodigestor tipo Taiwán. Tomada de: "Guía Biogás"[20]

D. Tipo Batch: Este biodigestor va tener una carga y una descarga por lotes, lo tanques son más herméticos ya que no cuentan con tubería de alimentación y descarga abiertas constantemente ya que este simplemente se va a mantener completamente cerrado durante el proceso de fermentación.

En la imagen podemos evidenciar una forma de biodigestor Batch en el cual la carga se realiza por la tapa del tanque este se cierra y luego del tiempo de residencia de las porcinoza ale el biogas por la parte superior y el biofertilizante en la parte de abajo

Figura 9.

Biodigestor tipo Batch



Nota. En la figura se muestran los biodigestores tipo Batch y sus partes. Tomado de: A. Medina V., L. Quipuzco U., and J. Juscamaita M., “Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores,” *Anales Científicos*, vol. 76, no. 1, p. 116, Jun. 2015, doi: 10.21704/ac.v76i1.772

1.4 Biogás

El biogás es el producto gaseoso que se obtiene en la digestión anaerobia de biomasa, mediante una serie de reacciones bioquímicas llamadas reacciones metanogénicas, las cuales son las que ocurren en la última etapa de la digestión anaerobia donde hay dos rutas, una donde hay conversión del acetato en metano y la otra donde el CO_2 y el hidrogeno se convierte en gas metano. “El biogás

está compuesto principalmente de gas metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), este puede ser capturado y usado como combustible y/o electricidad.”[14] El biogas por la ruta metabólica mostrada anterior mente (anaerobia) puede contener grandes cantidades de ácido sulfhídrico lo cual afecta la pureza y calidad del biogas.

Tabla 2.

Características del biogas

Características del biogas		
Composición del biogas	CH ₄	55%-75%
	CO ₂	30%-45%
	Trazas de otros gases	
Contenido energetico	6,0 - 6,5	kw/h*m ³
Masa molar	16,043	Kg/Kmol
Densidad	1,2	kg/m ³
Limite de explosion	6 - 12%	

Nota. En la tabla podemos evidenciar las principales propiedades que tiene el biogas que pueden tener diferentes biomاسas. Tomado de: N ° 12 *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) Colección documentos técnicos guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores.* [Online]. Available: www.fao.org

1.5 Biofertilizante

El biofertilizante es el otro producto que se obtiene al final del biodigestor este compuesto por toda la materia orgánica que no reacciona para la producción de biogás, este residuo es usado como fertilizante ya que tiene gran cantidad de minerales, en especial nitrógeno. La ventaja que tiene este abono a la porcinoza directamente radica en que luego del biodigestor este es estabilizado por lo que su valor agregado aumenta.[14]

1.6 Reducción de Sulfuro de hidrogeno

El objetivo de la purificación del biogas, es retirar el ácido sulfhídrico presente en este o evitar la producción de más. Para ello se plantean las siguientes metodologías y como estas pueden ser implementadas, siguiendo la línea de un proceso económico y fácil de implementar.

1.6.1. Adición de Cloruro Ferroso o Férrico.

La adición de estas sales, se hace en la alimentación del biodigestor, el efecto que estas sales genera es que estas reaccionan con el sulfuro presente en la biomasa, generando sales insolubles que precipitan rápidamente, y así reducir las concentraciones de sulfuro disuelto.[21]

La ventaja de la utilización de este método, es que estas sales no disueltas como lo es el sulfato de hierro y quedarán presentes en el biofertilizante, y este le da un valor agregado ya que es una fuente de hierro para los suelos carentes de este, en especial en los suelos calizos.

1.6.2. Adición de Oxígeno

La adición de oxígeno lo que busca el desarrollo de bacterias aerobias que atacan el ácido sulfhídrico. [21] la adición del oxígeno tiene que ser controlado ya que puede generar explosiones, adicional también va a generar inhibición a la bacteria metanogénicas, por lo tanto, para el ingreso del oxígeno se deben implementar sistemas de control que pueden aumentar los costos en la implementación del biodigestor.

1.6.3. Filtros de Adsorción

Para este tipo de filtros hay gran variedad de materiales, como lo es el carbón activado, silicagel, tamices celulósicos orgánicos y limaduras de hierro. Para el caso de las limaduras de hierro es las más utilizadas en instalaciones domiciliarias, su eficiencia es baja y en volúmenes industriales de biogás, el costo de reposición es elevado.[21]

En Colombia en los pocos lugares donde se interesa remover el H_2S , es la lana de hierro, Si bien el alto contenido de hierro en estas puede parecer promisorio, la poca área de contacto del hierro en la lana hace que su capacidad de captura de azufre sea muy baja.[22]

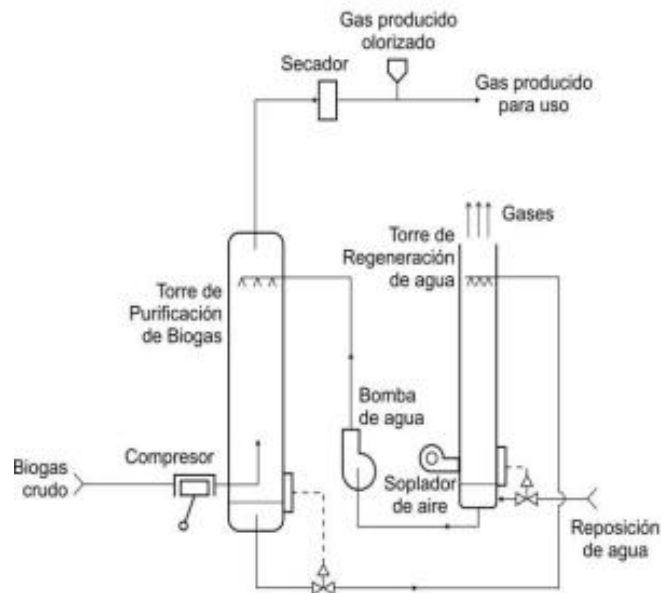
Para el caso del carbón activado que es conocido por su gran afinidad a compuestos orgánicos volátiles y poca afinidad con compuestos como el H_2S ; para el aumento de la capacidad de adsorción se impregna el filtro con una base fuerte como lo es el hidróxido de sodio.

1.6.4 Torres de Absorción.

La absorción del ácido sulfhídrico consiste en “columnas de purificación por donde se hace circular el biogás y, a contracorriente, se asperja una solución de hidróxido de sodio disuelta en agua. De esta forma, se logra eliminar el sulfhídrico a partir de la formación de sulfuro de sodio (Na_2S).”[21] Estas columnas, cuentan con un sistema adicional de purificación de la solución de hidróxido de sodio y así mismo esta ser recirculada en la columna.

Figura 10.

Columna de purificación.



Nota. En la imagen podemos observar el funcionamiento de la columna de absorción, con el sistema de purificación de la solución de Hidróxido de sodio. B. Morero, E. Gropelli, and E. A. Campanella, “Revisión de las principales tecnologías de purificación de biogás.”

1.6.5 Filtros Biológicos

Son filtro que se desarrollan a partir de microorganismos capaces de remover el ácido sulfhídrico, esto mediante la oxidación microbiológica de sulfuros, sulfatos y azufre elemento. Estos filtros tienen una gran ventaja, de que bien manejadas, pueden tener una vida útil casi ilimitada, con bajos costos operativos. La desventaja que estos filtros es que se requiere de un largo tiempo de puesta en marcha ya que este debe tener la cantidad microbiana suficiente para su funcionamiento.

2. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

En este capítulo se describe todo el proceso desde la toma de muestra en la granja y todos los análisis que se realizaron a las diferentes muestras y el impacto que tiene cada uno de nuestros resultados a la hora del diseño del biodigestor.

2.1 Toma de muestras

Para la toma de muestras se hace revisión del censo 2021 del ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) [24] donde se filtra el documento, por el departamento de Cundinamarca, el cual es el de interés y los municipios con más de 20 predios comerciales familiares e industriales, ya que por la cantidad de porcinos por terreno promedio tenemos que estos dos tipos de granjas son de pequeña y mediana producción de carne de cerdo en Colombia.

Tabla 3.

Listado de municipio y cantidad de predios porcinos.

MUNICIPIO	TOTAL PORCINOS COMERCIAL FAMILIAR	TOTAL PREDIOS PORCINOS COMERCIAL FAMILIAR	TOTAL PORCINOS COMERCIAL INDUSTRIAL	TOTAL PREDIOS PORCINOS COMERCIAL INDUSTRIAL	TOTAL DE PREDIOS COMERCIALES FAMILIARES E INDUSTRIALES	TOTAL PORCINOS PRODUCCIÓN TECNIFICADA	TOTAL GRANJAS PORCINAS TECNIFICADAS	TOTAL GRANJAS PORCINAS COMERCIALES Y TECNIFICADAS
ALBAN	534	16	3268	12	28	1753	1	29
ANOLAIMA	507	20	823	4	24	1618	1	25
CÁQUEZA	614	26	436	6	32	827	1	33
CHOACHÍ	758	23	3099	20	43	7655	6	49
EL COLEGIO	1010	27	2334	7	34	0	0	34
FUSAGASUGÁ	392	16	4535	24	40	34350	18	58
GACHETA	782	34	0	0	34	0	0	34
GUADUAS	1232	47	809	6	53	9502	2	55
GUAYABAL DE SIQUIMA	1311	36	1297	9	45	0	0	45
LA MESA	522	19	1663	8	27	4370	3	30
MANTA	1275	41	2750	12	53	1887	1	54
PACHO	1152	38	1143	8	46	1982	1	47
PARATEBUENO	348	17	325	6	23	0	0	23
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	1462	41	2625	15	56	13815	6	62
SASAIMA	1099	31	2924	17	48	23679	9	57
SILVANIA	352	9	3061	17	26	12937	7	33
VIOTÁ	1201	38	317	5	43	3412	1	44

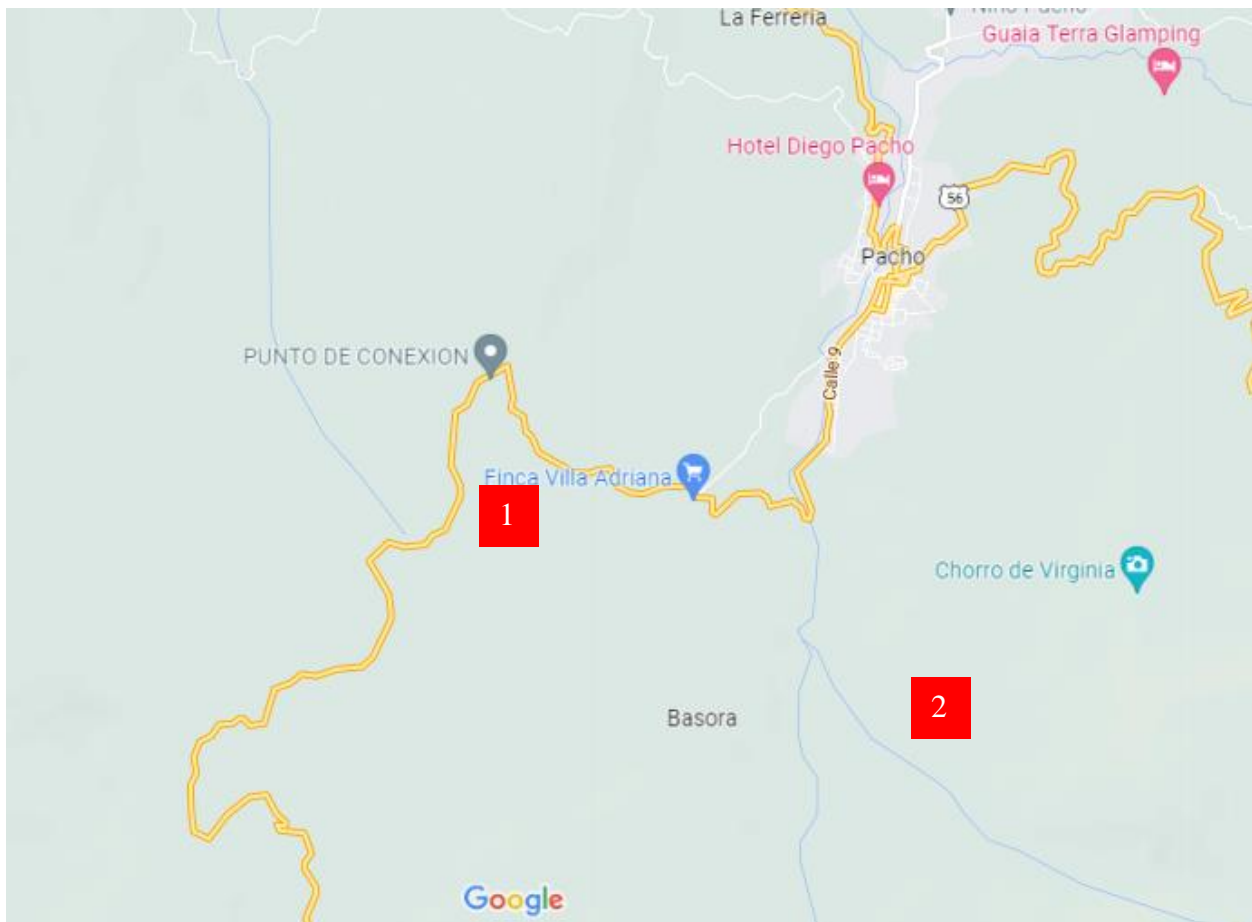
Nota. En la tabla se encuentra la cantidad de predios porcinos para los municipios de Cundinamarca donde el total de predios comerciales familiares e industriales son superiores a los 20 predios, allí también se ve la cantidad de porcinos totales para cada tipo de predio. Tomado de: ICA, “Censo porcino 2021.” Accessed: Apr. 03, 2022. [Online]. Available: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>

Del listado mostrado en la Tabla 2. Se elige el municipio de Pacho ya que es el que se encuentra de segundas en cantidad de predios lo que esto facilita el contacto con dos granjas y permitan el muestreo. Pacho Cundinamarca es un municipio a una altitud media de 1905 m.s.n.m, debido a su ubicación geográfica cuenta con 3 pisos térmicos es todo su territorio. La temperatura media va dentro de los 14 °C hasta los 25 °C dentro del casco urbano. [25]

Las granjas de las cuales se obtiene la muestra es de las granjas Balsora y el Roble, la muestra se obtiene de una tubería donde sale toda la porcinaza sin ningún tratamiento previo a su disposición final.

Figura 11.

Ubicación aproximada de las granjas



Nota. Para el numeral (1) tenemos la ubicación de la Granja el Roble, y en el (2) la ubicación de la Granja Balsora. Tomada de: Google Maps.

Para la toma de muestra se utiliza galones plásticos de 5 Litros, para cada caso estos se encuentran limpios y desinfectados en el momento de tomar la muestra. Estos se llenan completamente y se cierran herméticamente esta es tomada en ambas fincas el día 27 de marzo del 2022. No se realiza registro fotográfico debido a que por las condiciones de sanidad que se requieren dentro de la granja no es factible los elementos para la toma de evidencia fotográfica dentro de la granja.

Para el desarrollo del muestreo con base a la norma NTC-ISO 5667-1[26] el muestreo es representativo se realiza de la llave tubería de la que sale la porcinaza. En la norma se menciona que esta tubería debe ser mayor a 50 mm de diámetro para garantizar que la ocurrencia de bloqueos sea mínima. [26] El tiempo de almacenamiento de la muestra fue de 24 Horas de la toma de muestra al ingreso al laboratorio para análisis a temperatura ambiente lo cual va afectar algunos resultados como se menciona en el numeral 2.2 Análisis de muestras.

2.1.2 Granja el Roble

Esta granja está ubicada en la carretera principal entre Pacho y Supatá del departamento de Cundinamarca; esta granja tiene como actividad principal la etapa de cría y su producción mensual aproximadamente de 47 cerdos. En esta granja no se cuenta con un tratamiento de ningún tipo de la porcinaza, esta tal cual se esta es utilizada como riego en los alrededores de la finca, generando olores que pueden perjudicar a los trabajadores y personas que viven en zonas aledañas a la granja.

2.1.3 Granja Balsora

Esta granja se ubica también en la zona sur occidental del municipio de Pacho, Cundinamarca. Para acceder a esta finca solo se puede en automóviles altos o camionetas ya que el ingreso es una vía destapada desde la zona urbana del municipio. A diferencia de la granja el roble en esta granja tiene como actividad principal la etapa de engorde del cerdo con una producción mensual de cerdos está en aproximadamente 45 cerdos. Esta granja ya se han ido implementado técnicas para mitigar los olores generados en la granja como es un cercado vegetal para mitigar los olores en los terrenos aledaños.

Las dos granjas se ubican en zonas montañosas del municipio por lo que las condiciones ambientales varía respecto a las tenidas en el casco urbanos del municipio, el clima en la zona donde se ubican las granjas puede bajar la temperatura hasta los 5 °C y la zona es más lluviosa a la registrada en el municipio.

2.2 Análisis de las muestras

debido a las condiciones físicas de nuestra biomasa la porcinaza, esta se analiza como un agua residual. Estos análisis permiten el análisis de propiedades físicas, químicas y microbiológicas de nuestra biomasa y así tener los parámetros iniciales para el desarrollo del biodigestor. Por el tipo de ensayos realizar y requerimientos en alguno de los procedimientos de análisis estas muestras son analizadas por el laboratorio de aguas ANALQUIM LTDA. En la ciudad de Bogotá, este laboratorio se encuentra acreditado por el ONAC y el IDEAM en ISO/IEC 17025/2017 y acreditado por el concejo colombiano de seguridad en ISO 9001, 45001 y 14001.[27]

Tabla 4.

Resultado de análisis de las muestras

ENSAYO	Muestra 1	Muestra 2
pH	6,51	6,57
Solidos suspendidos totales (mg/L)	3220	4000
Solidos disueltos totales (mg/L)	3120	1520
D.Q.O. (mg O ₂ /L)	6480	4605
D.B.O. 5 (mg O ₂ /L)	5055	5880
Alcalinidad total (mgCaCO ₃ /L)	4335	3774
Sulfatos (mg/L SO ₄)	58,9	201,6
Nitrogeno total (mg/L)	1277,6	1569,5
Coloformes totales (NPM/100mL)	1,317x10 ⁷	1,301x10 ⁷

Nota. Resultados de los análisis realizados a cada una de las muestras, muestra 1 es la tomada en la granja El Roble y la muestra 2 corresponde a la tomada en la granja Balsora.

A continuación, se describen cada una de las metodologías usadas y los resultados obtenidos, para cada uno de los parámetros analizados para las muestras de biomasa.

2.2.1 pH

La técnica usada para la medición de pH, es la electrometría la cual consta del registro potenciométrico de la actividad de iones de hidrógenos, mediante un electrodo combinado, que consta de un electrodo de vidrio y un electrodo de calomel el cual es un electrodo de referencia.

El potencial entre los electrodos es proporcional a la concentración de iones hidrógeno en solución, esto debido a que la fuerza electromotriz (fem) producida por el sistema electroquímico varía linealmente con el pH y puede verificarse por la obtención de una gráfica de pH vs. fem para diferentes soluciones de pH conocido. El pH de la muestra se determina por interpolación.[28] El equipo que realiza esta medición es un potenciómetro, el cual hace la medición dentro del rango de pH es decir entre 0 y 14, con una resolución de 0,01 pH.

El método de utilizado en la lectura del pH es el método estándar 4500-H⁺ B[29], para esta medición la medición se debe hacer antes de 2 horas tomada de la muestra. Para este caso la medición no se realizó en los tiempos que correspondía, debido a que no se contaba con el material y el tiempo para hacerlo en el sitio, por lo que esto va a dar una variación en los resultados. Esto debido a que pH va cambiar durante el tiempo en el que se toma la muestra y se analiza debido a que las bacterias y las condiciones de almacenamiento hacen la variación de este parámetro.

El resultado en las muestras no varía demasiado entre ambas, teniendo un valor promedio de 6,54 lo cual es un valor un dentro de un rango neutro, el cual conviene para la digestión ya que este pH permite el crecimiento óptimo de las bacterias Anaerobias esto debido a que el rango.[30]

2.2.2 Sólidos Suspendidos Totales

Con esta prueba se analiza la cantidad de material particulado que encontramos en nuestra muestra este se mide con el método estándar 2540 D, el cual que consiste en tomar 100 mL, los cuales se transfieren a una capsula de porcelana previamente secada a por una hora y pesada, luego de esto

la muestra es pre evaporada en la estufa a 100 °C y llevada a un Baño de Maria a la misma temperatura; luego de este proceso pasamos a la prueba la cual pasamos la muestra al horno a una temperatura entre los 103 y 105 °C durante de una hora, pasado el tiempo se pasa la muestra a un desecador hasta que tenga la temperatura ambiente y se procede a ser pesado.[29]

Los resultados obtenidos de ambas muestras son muy similares sin embargo hay que tener en cuenta que es un valor alto, por lo que con este valor y con base a la resolución 0883 de 2018 la porcinaza no puede depositarse como un vertimiento.[31] Este valor puede influir bastante en la etapa de la digestión donde ocurre la hidrólisis, con esto llevando a una limitación a las demás etapas de la digestión, ya que se supone que esta etapa es un beneficio para el proceso general, produciendo menores tiempos de retención y tamaños de reactores menores.[32]

2.2.3 Sólidos Disueltos Totales

Para esta prueba se analiza la cantidad de sólidos que quedan después de pasar la muestra por un filtro de 1,5 micras y ser evaporado y secado a 180 °C, el material restante a esto son los sólidos disueltos totales, estos sólidos están compuestos por sales, minerales, metales y componentes orgánicos e inorgánicos que no son retenidos por el filtro. Esta prueba se hace bajo el método estándar 2540 C.[29]

Este valor difiere bastante entre ambas muestras como se ve en la Tabla 3, esto difiere en el resultado final de la composición [33]de nuestro biofertilizante debido a los componentes que contienen estos sólidos como los son metales pesados que pueden impactar el suelo negativamente como lo llegaría a hacer la porcinaza si se riega naturalmente. Esto ya que los sólidos disueltos totales contemplan minerales, metales y sales.

2.2.4 Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.)

Este análisis se realiza mediante una técnica de reflujo abierta y luego una titulación, esto bajo el método estándar 5220 B[29]. Este valor representa toda la materia orgánica e inorgánica puede ser químicamente oxidada, por la acción de agentes oxidantes, bajo condiciones acidas y se mide como

miligramos de “oxígeno” equivalentes a la fracción orgánica disuelta y/o suspendida por litro de muestra.[34]

2.2.5 Demanda Biológica de Oxígeno (D.B.O. 5)

Este análisis se realiza mediante una técnica de incubación por cinco días el método de análisis utilizado es el método estándar 5210 B y 4500 O-G. La muestra se somete a una incubación durante 5 días a una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, esto permitiendo la determinación de la concentración de oxígeno utilizado para la degradación bioquímica de la materia orgánica presente en la porcinaza.[29]

El valor de D.B.O. obtenido en nuestra muestra tiene un grado de variación, debido a que la muestra al Igual que el con pH, las muestras entro para análisis dos días después de tomada la muestra, al laboratorio, durante este tiempo se almacena la muestra de tal manera para que la variación en los parámetros sea mínima, sin embargo, es un factor a tener en cuenta durante el diseño del biodigestor.

Para el caso de nuestras muestras la evaluación de la demanda química y biológica de oxígeno tiene gran importancia debido que como se menciona anteriormente estos valores determinan la degradabilidad de la materia orgánica de nuestra biomasa.

Para el caso de la digestión anaerobia, El D.Q.O debido a la usencia de oxígeno que se tiene en el medio anaerobio, esta materia orgánica la cual se iba a degradar con la presencia de oxígeno. En este caso será la materia que tomarán las bacterias para la producción de biogás.

2.2.6 Alcalinidad Total

La alcalinidad total es la capacidad que tiene el agua para neutralizar los ácidos debido a la cantidad de álcalis (iones de carbonato, bicarbonato e hidroxilo) disueltos. El análisis de la alcalinidad total se realiza bajo lo estipulado en SM 2320 B, la cual consiste en una titulación hasta un pH seleccionado en este caso es un pH de 4,5, con un ácido estandarizado de ácido sulfúrico. [29]

Con base a lo mencionado anteriormente este valor es importante porque entre más alto es este valor menor será los álcalis que se requiere dentro del digestor para mantener el pH durante la digestión.[35] este valor varío depende de las propiedades del agua de lavado y de bebida que propiamente por el estiércol[9].

Para el caso de la porcinaza según los resultados obtenidos no se requeriría de álcalis como la cal para añadir al biodigestor, debido a que el valor que tenemos en ambas muestras es en promedio de 4,05 g CaCO_3/L , lo cual es una ventaja ya que la cal puede afectar el funcionamiento del biodigestor; Este en exceso se va a sedimentar y solidificarse generando taponamientos o creaciones de zonas de altamente alcalinas que generan la destrucción de la actividad microbiana.[35] Además de este problema es que la cal reaccionaria con el dióxido de carbono disponible para la generación de gas metano generando carbonato de calcio y reduciendo la eficiencia de nuestro biodigestor.

2.2.7 Sulfatos

Se analizan mediante la técnica de turbidez la cual se aplica en la metodología de estándar 4500-SO42-E en la cual se genera mediante la turbidez que genera por la reacción de él ion sulfato con el cloruro de bario, en un medio ácido, luego de esto la muestra será pasada por un espectrofotómetro, para uso de una longitud de onda de 420 nm. [29]

La cantidad de sulfatos dentro del biodigestor es un valor fundamental, debido a que con este dentro del biodigestor ocurre la sulfatorreducción generando Ácido Sulfhídrico (H_2S)[36], esta reacción además de reducir la eficiencia en la producción de metano ya que favorecerá a las bacterias sulfato reductoras. Adicional a esto, el biogas producido saldrá con gran cantidad de este ácido sulfhídrico, el cual es contaminante, toxico e inflamable, ya que si este llega a la atmosfera se convertirá en dióxido de azufre el cual es el factor principal de la lluvia acida, adicional a esto se genera un mal olor en el biogas por la gran cantidad de este.

2.2.8 Nitrógeno Total

El valor obtenido en el nitrógeno total se compone de cuatro fuentes de nitrógeno que se muestran a continuación:

A. Nitrógeno orgánico: El método estándar usado para el análisis, es el método estándar 4500 N(Org) C[29], el cual por medio de catalizadores de H_2SO_4 , K_2SO_4 y $CuSO_4$, el nitrógeno amínico de muchos materiales orgánicos se convierte en amonio. Después de la adición de una base, el amoníaco se destila de un medio alcalino y se absorbe en ácido bórico o sulfúrico. El amoníaco se puede determinar por titulación con un ácido mineral estándar.[37]

B. Nitrógeno amoniacal: El método estándar utilizado en este caso es el 4500 NH_3 -BC, el cual se basa en la misma técnica descrita para el nitrógeno orgánico, a diferencia que en este método se calcula el amoníaco libre, este método que se usa se llama el método Kjeldahl. Por lo que en este método se calculan los dos valores sumados.[29]

C. Nitrito: El nitrito se determina mediante la formación de un colorante azoico púrpura rojiza producido a un pH de 2,0 a 2,5 mediante el acoplamiento de sulfanilamida diazotizada con di clorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina (di clorhidrato de NED).[38]

D. Nitrato: Para la valoración de nitrato se pone la muestra en presencia de Cd ya que este reducirá a nitrito cuantitativamente, y luego de esto se utilizará la técnica usada para la valoración del nitrito. Esto según el método estándar 4500 NO_3 [29]

El nitrógeno total presente en nuestra muestra de porcínaza, es la misma cantidad nitrógeno que vamos a tener en el biofertilizante producido esto debido a que el nitrógeno ya que este no va a ser consumido por las bacterias. El incremento de este valor en la biomasa genera un incremento en el biofertilizante, por lo que es un valor a tener en cuanto debido a que como se mencionó anteriormente una de las problemáticas que se tiene del uso de la porcínaza directamente en el suelo es que no se contempla la cantidad de nitrógeno que se aporta al suelo. Y no se toman las medidas necesarias para la acumulación de nitrógeno en el suelo.

Cabe aclarar adicional a lo mencionado anteriormente, el nitrógeno amoniacal en altas concentraciones dentro del biodigestor es toxico para las bacterias anaerobias, esto llevando a una inhibición de la producción de gas metano esto para los rangos estipulados en la tabla 5.

Tabla 5.

Concentración de amoniaco y los efectos que este provoca.

Amoniaco (mg/L)	Efectos
50-200	Benefico
200-1000	No tiene efectos adversos
1500-3000	Inhibicion a valores de pH altos
>3000	Toxico

Nota. Efectos del amoniaco en los microorganismos. Tomado de: “Anaerobic WWT”.

El promedio del nitrógeno total de las muestras de porcinaza es de 1423,6 mg/L, lo que indica que está dentro de un rango sin toxicidad ni inhibición , teniendo en cuenta que el valor obtenido es un total del nitrógeno y no solo el nitrógeno amoniacal sino contempla nitritos y nitratos, el valor del nitrógeno amoniacal va ser inferior al obtenido en los análisis, y como no se puede discriminar la suma de nitrógeno total, se estima que el nitrógeno amoniacal estará en rangos donde no va a ser toxico o inhibitorio para las bacterias. Sin embargo, no se puede determinar si el valor de nitrógeno amoniacal va a ser benéfico para las bacterias.

2.2.9 Coliformes Totales

Los coliforme son un grupo de bacterias aerobias y anaerobias Gran negativas de la familia de las estas se encuentran en su mayoría en el intestino de los animales de sangre caliente como los humanos y cerdos. Las coliformes totales sirven como una medida de contaminación de las aguas, la unidad de medida utilizada es el número de individuos presentes en un mililitro de agua (NPM).

Para el análisis de los coliformes totales se utiliza el método estándar 9223 B, el cual consiste en mezclar un volumen de 100 mL específico de muestra con sustratos enzimáticos preparados comercialmente y se incuba a $35 \pm 0,5$. durante la incubación se produce o no la enzima beta-galactosidasa, una enzima producida por coliformes totales, esta es detecta por hidrólisis de los sustratos cromogénicos ONPG y CPRG. La beta-glucuronidasa, una enzima producida por E. Coli, se detecta por hidrólisis del sustrato fluorescente MUG. El ONPG hidrolizado se ve de color amarillo después de una incubación de 24 a 28 h; El CPRG hidrolizado se ve de color rojo o magenta después de una incubación de 28 a 48 horas; cualquiera de las dos condiciones es positiva para coliformes totales. Ningún color de ONPG, o un color amarillo de CPRG, es negativo para coliformes totales. La MUG hidrolizada se ve como una fluorescencia azul cuando se observa bajo luz ultravioleta de longitud de onda larga (366 nm), lo que indica una prueba positiva para E. Coli. [40]

El valor de coliformes obtenidos en nuestra porcina es un valor bastante alto teniendo en cuenta que la especificación para el agua potable es de ausencia UFC/100 mL[41], esto debido a la procedencia de la porcina, también cabe recalcar que este valor tuvo un aumento debido a que la muestra se tuvo en un periodo de dos días adicionales desde el muestreo hasta que esta se dónde en la biomasa se tuvo proliferación de los coliformes.

2.3 Análisis de resultado

A los largos de este capítulo, se describe las metodologías utilizadas para el análisis de la biomasa y el impacto que cada uno de estos parámetros va a tener en nuestro biodigestor, según los resultados obtenidos por nuestra biomasa.

Las muestras analizadas difieren en algunos parámetros, esto debido a la naturaleza de las muestras como se menciona en el numeral 2.1 toma de muestra. Estas diferencias se deben que, aunque la biomasa proviene del mismo animal, el cerdo. Las granjas tienen como prioridad dos etapas diferentes en el proceso productivo. Una tiene enfoque a la cría y la otra al engorde del cerdo. Como el animal se encuentra en dos etapas distintas de su ciclo de vida el metabolismo, su ingesta

y digestión de este va diferir de uno a otro, por ende, se obtiene una porcínaza con características diferentes.

La porcínaza más adecuada al proceso de digestión anaerobia es la presentada en la granja el roble. Ya que los resultados obtenidos para esta muestra se encuentran dentro de los rangos óptimos encontrados en la literatura y comparándolo con la muestra 2. Este resultado se debe a la alimentación y la fórmula que este tiene, el tipo de cerdo, el ambiente, el manejo del cerdo, la etapa productiva.[9] en la Tabla 6. Se puede ver la diferencia de la composición en cada una de las etapas según un estudio realizado por la Corporación Universitaria lasallista en Colombia, donde realizan una evaluación nutricional de la porcínaza, con os cual se puede determinar la diferencia de nutrición que tiene cada uno de los cerdos en las distintas etapas.

Tabla 6.

Composición de excretas porcínas.

ETAPA PRODUCTIVA	Humedad	Proteína Cruda	Extracto Etéreo	Cenizas	FND	FAD	CNE	Calcio	Fósforo	Cobre
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	mg/Kg.
Inicio	80,51	26,92	7,1	14,28	28,42	7,96	23,26	2,51	0,19	1160,5
Desarrollo	78,67	26,27	9,83	15,97	30,89	9,81	17,02	3,36	0,21	445,04
Engorde	78,55	23,38	6,47d	16,44	37,04	11,35	18,24	2,96	0,22	427,64
Gestante	80,73	16,49	3,85	20,34	40,2	15,54	19,11	3,93	0,29	725,3
Lactante	72,52	15,8	8,64	20,08	30,65	11,79	16,22	5,01	0,27	920,6

Nota. En la tabla podemos evidenciar como la composición de la porcínaza varia en cada uno de las etapas que se tienen en la industria Porcícola. Tomado de: O. Castrillón Quintana, R. Andrés Jiménez Pérez, O. B. Mejía, and A. de Revisión, “Porquinaza en la alimentacion animal,” 2004. [Online]. Available: <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/192/1/072-76%20Porquinaza%20en%20la%20alimentaci%C3%B3n%20animal.pdf>

Teniendo en cuenta que en las granjas porcícolas pequeñas en su mayoría no suelen tener un solo enfoque ya sea de cría o engorde, sino que se tiene el ciclo completo y tienen todo bajo una misma edificación por lo que no se tiene varios tipos de porcínaza sino una sola. Por lo tanto, el valor que se utilizara es el promedio del resultado obtenido en ambas granjas. Esto tiene dos propósitos, el

primero es tener un valor medio según las granjas muestreadas y analizadas ya que ambas granjas tienen un enfoque distinto en el ciclo productivo. El segundo propósito de promediar estos valores, consiste en tomar un punto medio para aquellos valores que muy altos o muy bajos van a afectar nuestro biodigestor, por ejemplo, en el caso de los sulfatos para la muestra 1 se tiene un valor bajo, mientras que para la muestra 2 este valor lo supera en más de un 200 %. Por lo tanto la probabilidad de que haya un aumento de ácido sulfhídrico en el biogas es más alta en la muestra 2 ya que las bacterias sulfatorreductoras van a consumir estos sulfatos y generaran ácido sulfhídrico, adicional con el crecimiento de estas bacterias se va a tener un competencia en el crecimiento bacteriano entre las bacterias metanogénicas y las sulfatorreductoras.

Los resultados obtenidos y los cuales serán usados para el diseño del biodigestor son los siguientes:

Tabla 7.

Caracterización de la materia prima.

ENSAYO	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
pH	6,51	6,57	6,54
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	3220	4000	3610
Sólidos disueltos totales (mg/L)	3120	1520	2320
D.Q.O. (mg O ₂ /L)	6480	4605	5542,5
D.B.O. 5 (mg O ₂ /L)	5055	5880	5467,5
Alcalinidad total (mgCaCO ₃ /L)	4335	3774	4054,5
Sulfatos (mg/L SO ₄)	58,9	201,6	130,25
Nitrogeno total (mg/L)	1277,6	1569,5	1423,55
Coloformes totales (NPM/100mL)	1,32E+07	1,30E+07	1,31E+07

Nota. En la tabla se evidencia una columna adicional a la de la tabla 3, la cual es el valor promedio y es el valor a tener en cuenta para el diseño del biodigestor.

Por último, con los resultados obtenidos y lo encontrado en la literatura nos damos cuenta que las muestras van a diferir según la granja, los protocolos llevados a cabo en la granja, la alimentación del cerdo, la raza del cerdo, el agua utilizada para limpieza y bebederos, etc. Por lo que siempre que se quiera implementar un biodigestor se debe tener claro la composición de nuestra biomasa.

Los resultados son comparados con resultados a análisis a porcinaza en granjas de Colombia encontrados en un artículo elaborado por la Universidad Nacional de Colombia. En cuales se encuentra gran diferencia tanto en los resultados obtenidos como los encontrados en la literatura. En el artículo “Análisis comparativo entre la calidad del biol y la Porcinaza cruda en dos agroecosistemas del valle del Cauca (Colombia)” Felipe Ochoa y Patricia Sarria evalúan la porcinaza de dos granjas en las cuales se encuentra en gran diferencia; [43] comparándolo con los resultados obtenidos en la granja Balsora y El Roble, la porcinaza de estas granjas están en un valor medio a las 2 granjas encontradas en la literatura para algunos valores, como los son la demanda química de oxígeno para la cual se encuentra en la literatura un valor de 12868,0 mg/L y 1326,6 mg/L mientras que en las granjas evaluadas obtenemos un valor en promedio de 5542,5 mg/L y la demanda bioquímica de oxígeno la cual en la literatura se tiene valor de 10410,0 mg/L y 783,1 mg/L y los resultados obtenidos en las granjas es de 5467,5. Al igual se encuentra que el pH para las granjas están un poco más bajo que los valores encontrados en un 5,2%.

3. DISEÑO CONCEPTUAL

3.1 Cantidad de porcinaza diaria

La cantidad de porcinaza, se determina por la cantidad de cerdos presentes en las granjas, para facilitar el cálculo se crea la siguiente ecuación la cual es una sumatoria de la porcinaza producida por cada 100 kg de peso vivo de la granja al día y agua de lavado utilizado al día. Para el valor de porcinaza por cada 100 kg de peso vivo nos basamos en la tabla 8.

La cual muestra los kg de porcinaza producidos por cada 100 kg, según la etapa en la que se encuentra en cerdo en el proceso productivo. La cantidad de porcinaza producida además de variar por la etapa en la que se encuentra el cerdo, se debe al alimento que este consume, las instalaciones y la genética del animal, esto además de influir en la cantidad de porcinaza, influye la composición de esta, debido a que esto va ser un diferencial en los componentes que absorbe o excreta el animal.

[44]

Tabla 8.

Cantidad de porcinaza por día según el estado del cerdo en la granja

Estado	Porcinaza (kg/100kg Dia)
Hembra vacia	4,61
Hembra gestante	3,00
Hembra lactante	7,72
Macho reproductor	2,81
Lechón lactante	8,02
Precebo	7,64
Levante	6,26
Finalización	6,26

Nota. Tomada de: O. Castrillón Quintana, R. Andrés Jiménez Pérez, O. B. Mejía, and A. de Revisión, “Porquinaza en la alimentacion animal,” 2004. [Online]. Available: <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/192/1/072-76%20Porquinaza%20en%20la%20alimentaci%C3%B3n%20animal.pdf>

Para realizar el cálculo de porcinaza producida, se plantea la ecuación 3.1 la cual se crea con base a los valores de la Tabla 8, donde la primera parte de la ecuación donde no se suma el agua de lavado se menciona con masa de porcinaza las cual solo se contempla las heces y la orina:

$$M_T = (M_{hv} * 4.61 + M_{hg} * 3,00 + M_{hl} * 7,72 + M_{mr} * 2.81 + M_{ll} * 8,02 + M_p * 7,64 + M_{lf} * 6,26) * \frac{1}{100} + M_{H2O}$$

Donde:

M_T = Masa total de porcinaza (kg)

M_{hv} = Masa hembras vacías (kg)

M_{hg} = Masa hembras gestantes (kg)

M_{hl} = Masa hembras lactantes (kg)

M_{mr} = Masa machos reproductores

M_{ll} = Masa lechones lactantes (kg)

M_p = Masa de cerdos en precebo (kg)

M_{lf} = Masa de cerdos levante y finalización (kg)

M_{H_2O} = Masa de agua de lavado

Ec. 3.1

En la ecuación anterior, se tiene en cuenta la porcina que produce cada uno de los cerdos en la granja y tiene en cuenta una incertidumbre de \pm el 20% de la M_T esto debido a que los valores obtenidos en la Tabla 7 son valores promedio; ya que no todos los individuos de la granja son igual y no todos los días se va a tener la misma cantidad de porcina.

El valor que se va tener de porcina a utilizar en el diseño del biodigestor está basada en la información suministrada para ambas granjas y se promedia para obtener el valor estimado de una granja que tiene el ciclo productivo completo. Esto ya que como se menciona anteriormente una granja tiene el ciclo de cría y la otra el ciclo de engorde.

A continuación, se muestran los resultados del cálculo de porcina por granja y así tener en cuenta la cantidad de porcina en el biodigestor. En la tabla 8. Podemos ver la cantidad de cerdos que hay por cada granja esta cantidad también está dividida por la etapa, en que se encuentra cada cerdo y el peso vivo en kg que estos animales tienen en total, para con estos valores poder hallar el valor de porcina que se produce por cada 100 kg de peso vivo en las granjas según la tabla 7.

Tabla 9.*Peso vivo en cada Granja.*

Estado	Cantidad de individuos		Peso Total (kg)	
	El Roble	Balsora	El Roble	Balsora
Hembra vacia	1	0	100	0
Hembra gestante	1	0	175	0
Hembra lactante	3	0	360	0
Macho reproductor	2	0	240	0
Lechón lactante	20	0	300	0
Precebo	20	22	640	704
Levante	0	3	0	150
Finalización	0	20	0	2200

Nota. En la tabla podemos evidenciar la cantidad de cerdos en cada etapa y el peso total que este le equivale a la granja.

Para la tabla 9, tenemos dos partes, en la primera parte se tiene el cálculo de porcinaza de cada granja según la ecuación mostrada anteriormente y la tabla 8. Adicional, se tiene en cuenta la cantidad de agua de lavado que aproximadamente utilizan las granjas diariamente este es un valor muy aproximado, ya que primero que todo las granjas no tienen los elementos necesarios para el cálculo de agua utilizada diariamente y segundo es un valor que va a estar cambiando de día a día. Para el cálculo de la porcinaza para cada celda no se tiene el rango de tolerancia en cuenta, este lo calculamos en la segunda tabla luego de promediar nuestros valores totales.

Tabla 10.*Total, de porcinaza producida en cada una de las granjas.*

Total por día	El Roble	Balsora
Agua de lavado(L)	750	820
Agua de lavado (kg)	749,25	819,18
Masa de porcinaza (kg)	117,35	200,90
Porcinaza(kg)	866,6	1020,08

Nota. En la tabla, podemos ver la cantidad de porcinaza obtenida por cada granja..

Para la masa de porcínaza se contempla la masa de estiércol y orina mas no el agua de lavado, mientras que para la masa total y ya tenemos contemplado la masa de agua de lavado usado en la granja.

La densidad del agua utilizada para el cálculo de peso del agua de lavado se utiliza la temperatura ambiental promedio y la presión atmosférica que podemos encontrar en las granjas. Esta densidad es de 0,99 g/mL.

La cantidad de porcínaza a utilizar en el diseño del biodigestor, es de 1020,08 kg con una densidad que se encuentra en un rango entre 0,14 y 0,23 g/mL [45], esta densidad es la que se tiene para la porcínaza sin contemplar la cantidad de agua de lavado. Por lo tanto, para tener valor de la densidad de la masa total de porcínaza se calcula se según la composición.

$$\delta_{M_t} = X_p * \delta_p + X_{M_{H_2O}} * \delta_{H_2O}$$

Donde:

X_p = Composición de porcínaza (solo heces y orina) en la masa total.

δ_p = Densidad de la porcínaza.

$X_{M_{H_2O}}$ = Composición de agua de lavado en la porcínaza.

δ_{H_2O} = Densidad de agua.

Ec. 3.2

Con la composición de porcínaza de la masa total de porcínaza se obtiene una densidad de 0,82 g/mL para la porcínaza de la granja balsora y de 0,87 g/mL para la porcínaza de la granja el roble.

Con el valor de densidad obtenido se tiene que el volumen de porcínaza obtenida al día para la granja balsora es de 1,49 m³ y de 1,20 m³ para la granja el roble esto teniendo en cuenta el + 20% de la masa total que se menciona en la ecuación Ec. 3.1.

Al volumen obtenido le hacemos un aumento del 20% para el volumen del biodigestor ya que este adicional de tener la capacidad de almacenamiento de porcínaza se requiere el espacio para el gas producido durante el proceso. El volumen diario de porcínaza que va ingresar para el biodigestor es de 1,79 m³ diarios para la granja balsora y de 1,44 m³ para la granja el roble

3.2 Biodigestor

3.2.1 Tipo de Biodigestor

La selección del tipo de Biodigestor a implementar, es evaluado bajo unos parámetros de selección los cuales va a tener una evaluación diferente teniendo en cuenta la granja a evaluar. Para elección del biodigestor en este proyecto se evalúan los parámetros teniendo en cuenta las granjas donde se tomaron las muestras y adicional a esto se tendrá en cuenta factores que se tiene en común en las pequeñas granjas porcícolas en Colombia.

Los parámetros que se evalúan son los materiales, construcción, capacidad, diseño, durabilidad y costos. En el primero se evalúa la disponibilidad y cantidad de materiales que se requieren para la construcción del biodigestor, en el segundo parámetro se evalúa la facilidad de construcción del biodigestor, en la capacidad del biodigestor se evalúa si el tipo de biodigestor tiene la capacidad de almacenamiento para de la porcinaza esto se evalúa ya que los biodigestores tipo Batch no tiene la capacidad grandes cantidades de porcinaza.

A cada uno de los ítems se le da un puntaje entre 1 y 5 para cada parámetro siendo 5 el mejor puntaje según el parámetro, al final todos los valores se suman, y así mismo el tipo de biodigestor con mayor puntaje será el utilizado. A todos los parámetros les da el mismo porcentaje en la suma total ya que todos estos son importantes para el diseño del biodigestor.

Tabla 11.

Matriz de selección.

Item a evaluar	Cúpula fija	Campana flotante	Taiwan	Batch
Materiales	3	3	5	4
Construcción	2	1	4	5
Capacidad	4	4	4	1
Diseño	3	2	4	5
Durabilidad	5	5	3	3
Total	17	15	20	18

Nota. Para la elaboración de la matriz de selección se les da un puntaje a unos parámetros específicos, a cada uno de los tipos de biodigestor evaluados.

En la Tabla 11. Se evalúan cada uno de los tipos de biodigestor y se les da una evaluación de 1 a 5 para cada parámetro siendo 5 el mejor puntaje. A continuación, se describe los factores que se tienen en cuenta para dar la puntuación en cada ítem.

Para el ítem de materiales se evalúa la accesibilidad a los materiales y el costo que estos tienen para la elaboración del biodigestor; el costo para el tipo de cúpula y campana al ser diseños más elaborados se requiere de mayor material y más costoso mientras que para el Taiwán y el Batch los materiales a usar son polímeros los cuales en el mercado tienen un costo más bajo. Los materiales también es un factor que se evalúa en el ítem de durabilidad ya que esto es lo más influye en la durabilidad del biodigestor, en el caso del plástico se va a desgastar más rápido que si la construcción se realiza en concreto y ladrillo.

Para el ítem de construcción lo que se evalúa, es la dificultad que tiene este en construcción lo que también con lleva a gastos en mano de obra más caros en su construcción e instalación. En este punto se tiene en cuenta que para el de cúpula fija y el de campana flotante para su construcción se requiere de una excavación profunda lo que esto incrementa en los costos de construcción.

Para el Ítem de capacidad el puntaje que varía entre todos es el Batch ya que este biodigestor que para el uso en granjas para tener un aprovechamiento de un 100% se requiere de tanques muy grandes y de varios tanques para tener mayor capacidad. Por lo que por capacidad estos no son tan factibles mientras que los demás al ser continuos y por la forma en la que se construyen que para el caso de un biodigestor de una granja pequeña solo se requiere de uno y no de varios, por su capacidad. En el diseño se evalúa la facilidad de realizar el diseño de cada biodigestor y sus partes; para el caso del biodigestor de campana o cúpula el diseño de estas partes va a llevar más tiempo del que se requiere para el diseño de uno Taiwán o tipo Batch.

Con los puntos evaluados anteriormente se tiene que el mejor biodigestor para implementar en una granja pequeña de cerdo es el biodigestor tipo Taiwán. Esto también teniendo en cuenta que el traslado de los tanques de para un biodigestor Batch genera un aumento en los costos

3.2.2 Condiciones de operación

Las condiciones de operación del biodigestor son las siguiente, teniendo en cuenta que son las óptimas para un mayor rendimiento.

$$T = 20^{\circ}\text{C Aprox}$$

$$V = 37,59 \text{ m}^3$$

$$\text{pH} = 6,54$$

El volumen del biodigestor es establecido, con la cantidad de biomasa obtenida en las granjas y el tiempo de retención de la porcinaza dentro del biodigestor la cual como se menciona es de 21 días. Esto debido a que el biodigestor debe soportar la cantidad de biomasa producida en el tiempo reincidencia por lo tanto este se calcula multiplicando el volumen de porcinaza diario por el tiempo de residencia para obtener el volumen del biodigestor. [20]

La temperatura, aunque no es la más óptima ya que para las bacterias metanogénicas, para el crecimiento microbiano. se toma como valor aproximado de 20 °C ya que el biodigestor no va contar con sistemas de calentamiento constante, como el que se puede implementar en granjas

donde se tiene un mayor capital para la construcción de este y va de pender del clima donde se ubique el biodigestor. El calor que se va tener en el biodigestor es proporcionado por los rayos de sol y el material con el que se hace el biodigestor. Es muy difícil la disminución de la temperatura en la granja, aunque como se menciona anteriormente el material del que se va realizar el biodigestor debe retener durante el día la mayor cantidad de energía solar para así mismo brindar el mayor calentamiento del agua. Esta temperatura está determinada con base a la temperatura ambiental de las granjas evaluadas.

Para el caso de los biodigestores para granjas pequeñas, como es el caso del que se va a implementar se manejan principal mente dos tipos de materiales, plásticos y metales. A continuación, se muestra una tabla con las ventajas y desventajas que se tiene para cada material.

Tabla 12.

Ventajas y desventajas de los materiales.

Materiales	Plastico	Metal
Ventajas	Costos bajos Sirve para biodigestores tipo taiwan	Conductores termicos Para biodigestores grandes e industriales
Desventajas	poca conductividad termica Degradación por la Luz	Oxidos del Material costos altos

Nota. En la figura podemos evidenciar las ventajas de los dos materiales mencionados en el uso de intercambiadores de calor.

En lo evidenciado en la Tabla 11. podemos evidenciar, que, para los materiales mencionados para la implementación del Biodigestor, el material más adecuado para dar cumplimiento a la meta que es la implementación del biodigestor en granjas pequeñas es el plástico. Cabe aclarar que en la tabla se hace una comparación muy general con las características principales de cada tipo de los materiales. Para cada tipo de material tenemos diferentes materiales que pueden servir, pero entre ellos también hay uno más indicado.

Cabe aclarar que no todos los plásticos, van a ser los adecuados para lograr una mayor transferencia de calor y aprovechamiento de la energía solar por lo que el material que se recomienda para todo intercambiador de calor es el Polietileno de Alta Densidad (PEAD) Esto debido a que de todos los plásticos las cuales las propiedades se describen en la siguiente tabla.

Tabla 13.

Propiedades Polietileno

Propiedades		
Largamiento a la roptura	%	800
Cunductividad termica	W/km	0,43
Coficiente de dilatación térmica de 20°C a 50°C	m/m K	200·10-6
Coficiente de fricción		0,2
Densidad	g/cm3	0,95
Dureza "Shore"		D65
Módulo de elasticidad	N/mm2	900
Punto de fusión	°C	138
Resistencia Superficial		1·1013
Resistencia al impacto	kJ/m2	No es trenca
Rsisitencia a la tracción	N/mm2	28
Temperatura maxima de uso	°C	80-110
Temperatura mínima de uso	°C	-100

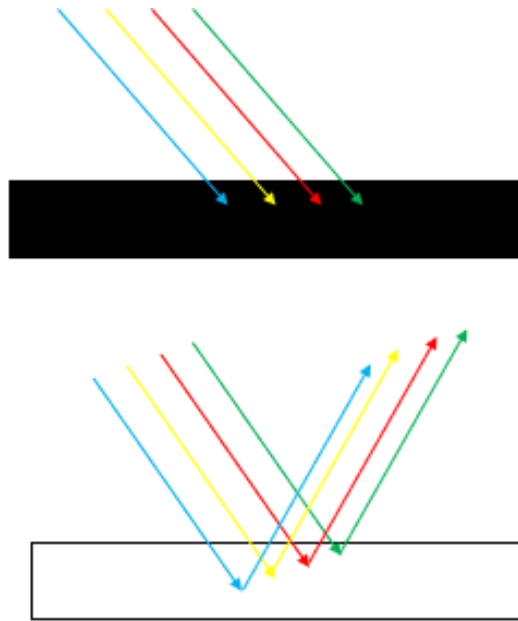
Nota. En la tabla se pueden evidencia diferentes propiedades del polietileno de alta densidad, donde evidenciamos que la conductividad térmica el PEAD es más alta que la de un plástico que en promedio es de 0,3 W/mK. Tomado de: “*Servicios Colombia Novatio*”.

Adicional al material también se tiene en cuenta el color del material, ya que dependiente de este va a ser la cantidad de rayos solares absorbidos por el material, debido al color de este. Debido a la ubicación presentada pera las dos granjas de toma de las muestras. Se requiere de un material que absorba calor. La cantidad de calor absorbido es proporcional a la luz absorbida por el material,

por lo que como se muestra en la Figura 9. el color negro es el color que absorbe más rayos de luz, por ende, el color utilizado en el biodigestor es el color negro.

Figura 12.

Absorción de los rayos según el color.



Nota. En la imagen se evidencia como el color negro absorbe en su totalidad los rayos de luz, mientras que, en el color blanco, todos los rayos de luz rebotan en la superficie. Tomada de: http://fresno.pntic.mec.es/msap0005/2eso/Tema_06/Tema_06_luz.html

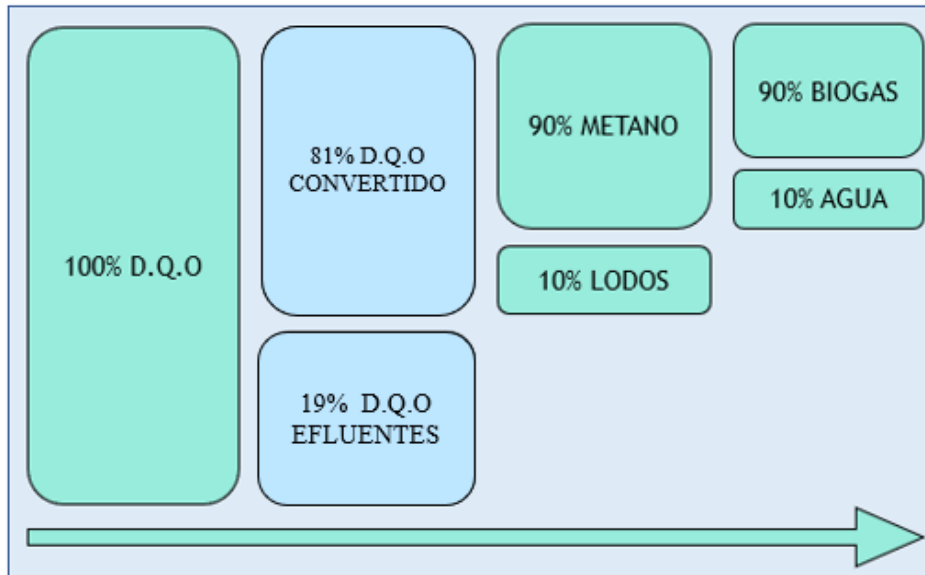
El pH para las condiciones obtenidas para la biomasa analizada, se asume constante, debido a que como se mencionó en el capítulo anterior la alcalinidad total presente en nuestra biomasa, es lo suficientemente alta para neutralizar los ácidos producidos en la reacción anaeróbica, durante la digestión de la porcinaza.

3.2.3 Balance de Masa

El balance de masa del biodigestor se hace con la conversión del D.Q.O el cual es el valor, que corresponde a la materia orgánica que las bacterias anaerobias van a consumir para la producción de Biogas. El D.Q.O de entrada en la biomasa va a ser igual a la suma de D.Q.O del biogas con el de la biomasa. Para el cálculo del D.Q.O del biogas se muestran en la figura 11 el esquema de los porcentajes utilizados.

Figura 13.

Esquema de porcentajes para el desarrollo del balance de masa.



Nota. En la imagen se puede observar los porcentajes establecidos para el cálculo del D.Q.O. convertido en metano dentro del biogas.

El 81 % de D.Q.O convertido es el establecido como factor de conversión en el biodigestor, este valor corresponde a la eficiencia de remoción (e), esta eficiencia de remoción es la que se tiene en biodigestores de polietileno, esta puede variar según las condiciones, el pH y el tiempo de retención dentro del biodigestor.[47]

De la cantidad de D.Q.O. convertido el 90% se convierte en metano y el otro 10% se convertirá en lodos, estos lodos harán parte del biofertilizante junto al efluente y el metano saliente en agua el

cual corresponde al 10% del metano producido, el restante es el que va salir en el biogas producido. Estos lodos están conformados por material orgánico que producen las bacterias que no hacen parte del biogas, es decir los productos generados en las dos primeras etapas de la digestión Anaerobia y bacterias.[48]

Además, de usar el D.Q.O para el desarrollo del balance de masa, también estimamos la relación D.Q.O./SO₄, esta relación nos muestra la cantidad de D.Q.O disponible por una cantidad, cuando el resultado de la relación es inferior a 12 se tiene una inhibición y una reducción en la producción del metano. Esto debido a que si esta relación es demasiado pequeña significa que mayor porcentaje del D.Q.O será utilizado para la reducción del sulfato por lo tanto la biodigestión se basará en reacciones sulfatorreductoras.[49]

Para la biomasa analizada se tiene una relación de 43 D.Q.O/CH₄, lo cual es bastante alto por lo que durante el desarrollo del balance de masa del biodigestor no se tiene en cuenta la generación de ácido sulfhídrico, sin embargo, si se deben colocar e implementar medidas para mitigar la cantidad de ácido sulfhídrico que se generan en el biodigestor

El primer calculo a desarrollar es el flujo másico del D.Q.O a la entrada del biodigestor.

$$Q * DQO = F1$$

$$1,79 \frac{m^3}{dia} * 5,54 \frac{kg^3}{m} = 9,92 \frac{kg DQO}{dia}$$

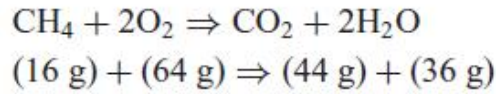
Con el valor obtenido, y el porcentaje de conversión obtenemos la cantidad de D.Q.O/día que será convertida en nuestro biogas este valor es de 8 kg D.Q.O/ día. Del cual el 90% será convertido en metano equivalente a 7,23 kg/ día.

Con el valor obtenido ya se puede calcular el volumen de metano obtenido esto se realiza con la siguiente formula. La cual proviene de los datos mostrados en la figura 13.[50][51]

$$V_{CH_4} = \frac{22.4 * M_{CH}}{64} \quad \text{E.C. 3.2}$$

Figura 14.

Reacción de metano con oxígeno.



$$\begin{aligned} 1 \text{ mol CH}_4 &= 2 \text{ mol O}_2 \\ 22.4 \text{ L (CNTP) CH}_4 &= 64 \text{ g O}_2 \text{ ó } 64 \text{ g DQO} \\ 1 \text{ L CH}_4 \text{ (CNTP)} &= 64/22.4 = 2.86 \text{ g DQO} \end{aligned}$$

Nota. En la figura se muestra la cantidad de oxígeno que se requiere el metano para hacer combustión, la ecuación y las relaciones en mención en condiciones normales de presión y temperatura nos dice cuanto volumen de metano se tiene con el valor de D.Q.O convertido en biogas.

El volumen obtenido de biogas es igual $2,53 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{día}$, del cual el 90% de este saldrá en el biogas, el 10% restante saldrá disuelto en el agua presente en el biofertilizante. Con el volumen de metano en el biogas y comprendiendo que dentro del biogas tenemos una composición del 70% de metano, se halla el caudal de biogas efectivo el cual es de $3.25 \text{ m}^3/\text{día}$. [52]

Adicional al valor de biogas, se calcula el valor de biomasa convertida el lodo, donde se tiene un total de $0,81 \text{ kg SST}/\text{día}$, este valor de lodos hará parte del biofertilizante que sale del biodigestor. Para el cálculo de lodos en el biodigestor se usan las siguientes relaciones.

En la primera relación se tiene los sólidos solubles volátiles en el lodo producido, con la cantidad de D.Q.O que fue convertida en los sólidos. [51]

$$\frac{1 \text{ kg SSV lodo}}{1,42 \text{ Kg DQO convertida en solidos}}$$

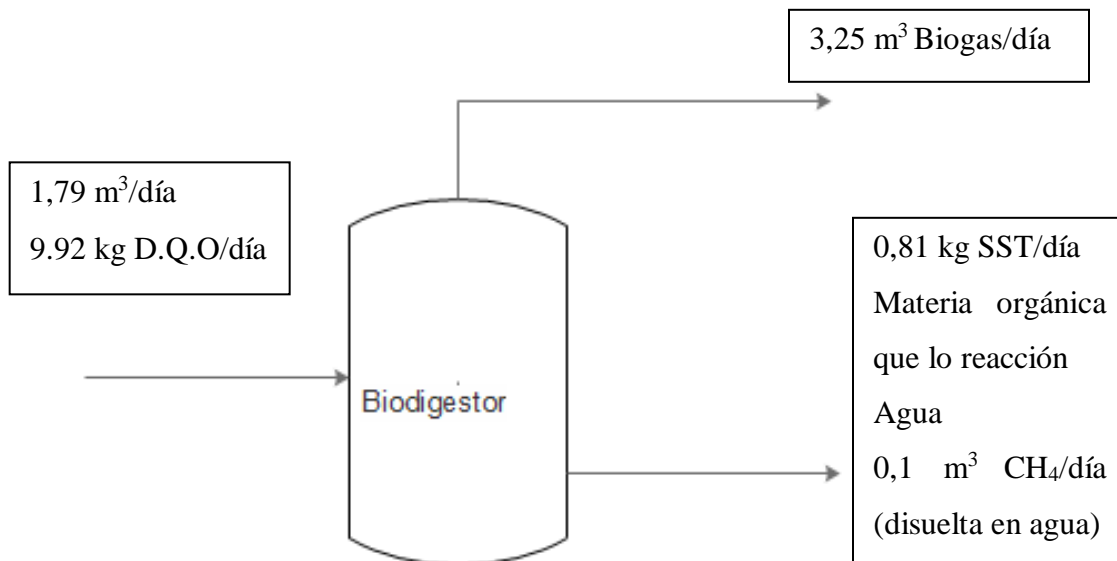
Ec. 3.3

La segunda relación plantea que los sólidos solubles volátiles corresponden a un 70% de los sólidos solubles totales del lodo.

El cálculo del balance de masa se realiza, mediante un Excel donde se formula las ecuaciones y relaciones donde se pueden modificar los porcentajes de conversión donde con ellos se halla el flujo de biogas. Este Excel sirve para que mediante pruebas de laboratorio con la medición de D.Q.O tanto en la biomasa como con el biogas, siendo una hoja de cálculo que facilita el cálculo de flujo de biogas que sale del biodigestor.

Figura 15.

Resumen balance de masa.



Nota. en la imagen podemos observar el balance de masa calculado para el Biodigestor.

En el Anexo C de este documento se encuentra las secuencias de resultados y cálculos realizaos en Excel para el desarrollo del balance de masa.

3.2.4 Instrumentación y control.

Para la instrumentación del biodigestor se plante los siguientes instrumentos y accesorios que van a permitir un control de las condiciones que pueden ser riesgosas para el proceso.

A) Manómetro: La implementación de manómetros en el proceso es fundamental debido a que estos van a permitir el control de la presión durante el proceso de digestión anaerobia, estos deben ser implementados, tanto en el biodigestor en la parte superior, como en el gasómetro (si se implemente para el almacenamiento del gas).

Figura 16.

Manómetro



Nota. En la imagen se puede observar un manómetro que tiene un rango entre 0 a 20 bar.

Tomada de:

<https://cutt.ly/9NgtxzO>

B) Válvulas: Las válvulas se deben usar a lo largo del proceso del biodigestor. En el mercado de las válvulas se presentan diferentes tipos de válvula, para este caso la que se recomienda usar son

las válvulas de globo ya que son las más comerciales, económicas y están tanto en material de plástico como en metal.

Figura 17.

Válvula de Globo



Nota. Imagen de cómo es una válvula de globo. Tomada de mercado libre, <https://www.mercadolibre.com.co/>

3.5 Esquema final biodigestor

El material de selección del biodigestor es de PEAD color negro según lo planteado anteriormente; este biodigestor debe tener una capacidad de 37,59 m³, se debe contar con la instrumentación básica para mantener un correcto funcionamiento de este, y adicional se debe tener en cuenta los sistemas que el biodigestor tiene, como lo es el almacenamiento del Biogás y del Biofertilizante y el de purificación del Biogás.

A continuación, se muestra las dimensiones del biodigestor para cada una de las granjas esto teniendo en cuenta la disponibilidad de terreno. Cabe aclar que la ubicación del tanque de biogas y biofertilizante se ha cómoda con base a él biodigestor.

Tabla 14.

Dimensiones Biodigestor Taiwán en la granja el Roble y Balsora.

Dimensiones	Balsora	El Roble
Radio (m)	0,7	0,7
Largo (m)	20,52	19,64

Nota. En la tabla se describen las dimensiones para ambas granjas, estas se calculan con el volumen requerido para el biodigestor y teniendo en cuenta que la figura más similar a un biodigestor es cilíndrica.

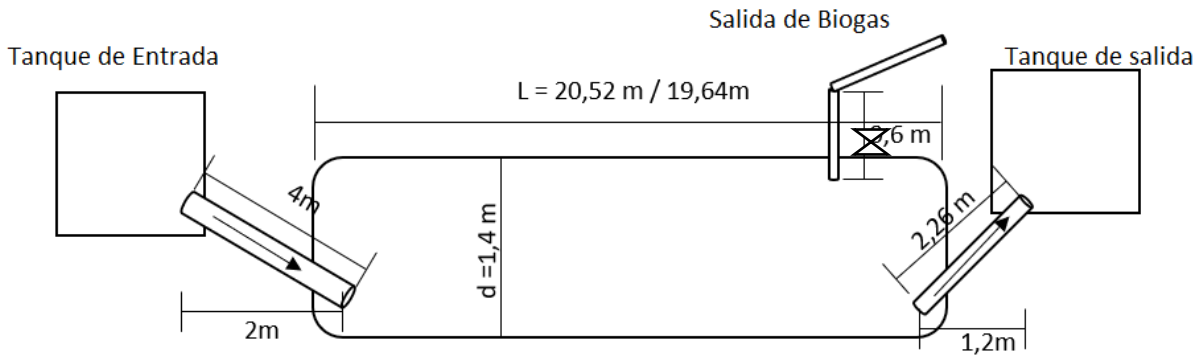
Con las dimensiones obtenidas se realiza un esquema donde se muestra como ser el biodigestor en corte horizontal, indicando como es la carga y descarga del mismo. Esto se realiza mediante dos tanques ubicados antes y después del biodigestor los cuales tienen una capacidad de 2000 litros, con unas dimensiones de 1,55 m de diámetro, 1,65 m de alto.

El tanque de carga se encuentra a una distancia de 2 m y el tanque de descarga está ubicado a 1,2 m del biodigestor, la tubería descarga debe estar ubicada a en un ángulo de 45°, el de carga estará ubicado en un Angulo de 60°

El radio establecido para realizar el cálculo de las dimensiones es de 0,7 m esto debido a que es la medida de las bolsas de polietileno de alta densidad que se encuentran en el mercado para la construcción del biodigestor

Figura 18.

Distribución del Biodigestor



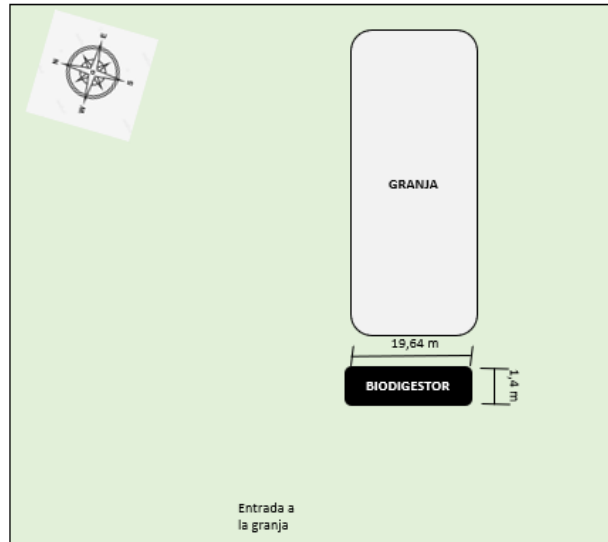
Nota. en la imagen se evidencia el sistema de cargue y descargue del biodigestor. Elaboración propia.

Como se menciona las dimensiones están relacionadas directamente con la ubicación de las granjas por lo tanto en la figura 18 se muestra como seria esta distribución para ambas granjas, teniendo en cuenta tanto el tamaño de este.

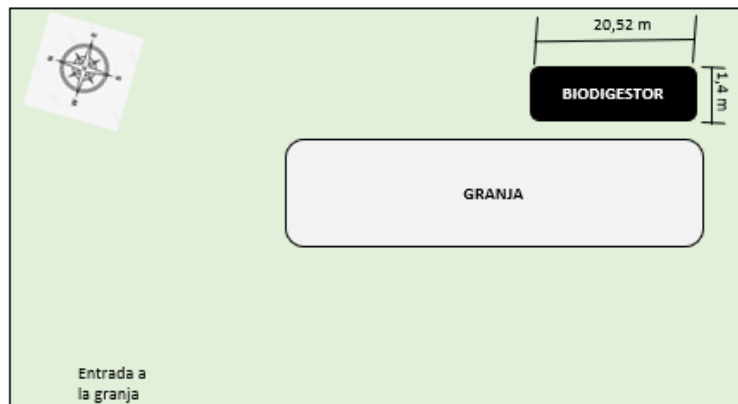
Figura 19.

Ubicación del Biodigestor dentro de la granja.

A.



B.



Nota. En la figura A. se encuentra como sería la distribución dentro de la granja el Roble en la figura B. se muestra la distribución dentro de la granja Balsora.

Las dimensiones para otras granjas van a variar según el lote donde esta esté ubicada, para el caso de lotes donde no se puede realizar el biodigestor en uno solo se puede desarrollar más de uno con menor dimensión, pero esto con lleva a más gasto en tuberías instrumentación y demás. Por lo tanto, se sugiere la construcción de un solo biodigestor, a menos que el volumen de este sea superior.

Para la selección de los demás materiales e instrumentos se hace la evaluación en el capítulo 4 de análisis de costo- beneficio, en donde con base a los precios se hace la selección del material e instrumentos y se detalla las características que estos deben tener.

3.6 Análisis fisicoquímico Biofertilizante

Tanto el biogas y el biofertilizante son valores agregados que se tiene en las granjas porcícolas como se menciona anteriormente, inicialmente se hace una caracterización de la biomasa (porcinaza), luego se desarrolla por medio de la conversión del D.Q.O el balance de masa, y adicional se muestran opciones para la purificación del biogas por el contenido de ácido sulfhídrico que este puede tener.

Se sabe que el biofertilizante es aquel que sale con todo el material que no fue degradado dentro del biodigestor y con gran contenido de agua. Este se usa y comercializa Biofertilizante el cual debe cumplir con la norma NTC 5167 la cual habla de productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo.

En la tabla 15 se muestran las especificaciones que debe cumplir este biofertilizante para ser regado. Al igual que este va a depender de los suelos donde va ser regado ya que esto va a determinar la manera que este se debe regar[54]

Tabla 15.

Especificaciones biofertilizante

Parametro	Especificación
Solidos insolubles	
en agua	< 40 g/L
Carbonos organicos	
oxidables	> 20 g/L
Macronutrientes	
(N, P ₂ O ₅ y K ₂ O)	> 40 g/L
Contenido de sodio	< 10 g/L
Densidad	Informativo
pH	< 8,5
Conductividad	Informativo
Cd	< 39 mg/kg
Cr	< 1200 mg/kg
Hg	< 17 mg/kg
Ni	< 420 mg/kg
Pb	< 300 mg/kg
As	< 41 mg/kg

Nota. en la tabla se muestran los parámetros y especificaciones que debe cumplir los biofertilizantes según la norma. Tomado de: J. I. Gallo, “*Manejo de biol porcino obtenido por medio del Biodigestor en Rionegro - Antioquia,*” Universidad Nacional Abierta y a distancia UNAD, Medellin, 2021.

4. ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO

Para el desarrollo de este análisis de costos y beneficios del biodigestor tenemos en cuenta, los costos de implementación y los beneficios obtenidos. Esto se hace evaluando los costos de implementación de biodigestor para las dos granjas evaluadas en este proyecto.

4.1 Costos Biodigestor

Para el costo de implementación del biodigestor se tiene en cuenta el biodigestor, la tubería, manómetros y válvula. En la tabla 15 se tiene el costo discriminado por cada elemento del proceso.

Tabla 16.

Costos de biodigestor

Ítem	Costo (COP)
Biodigestor	\$8'000.000
Tanque de almacenamiento x 2	\$955.800
Tubería ½'' (x 30 m)	\$276.000
Tubería de 2'' (x 6 m)	\$63.900
Tubería de 6'' (x 2 m)	\$97.800
Manómetro (x 2)	\$107.814
Válvulas	\$71.800
Transportes materiales	\$100.000 – 600.000

Nota. En la tabla podemos evidenciar los costos para cada elemento en el biodigestor los costos obtenidos se toman de la página web de Homecenter.

El costo de biodigestor es calculado teniendo los siguientes factores, mano de obra, máquina y materiales. Mano de obra contempla el costo de la elaboración de la zanja dónde estará el biodigestor y los tanques de cargue y descarga que se debe contemplar, en Máquina se tiene contemplado el valor de la compra y/o alquiler de la maquinaria necesaria para la elaboración de la zanja y en materiales se contemplan los materiales de soporte del biodigestor, en este favor es donde contemplamos el plástico de PEAD de color negro que se va a utilizar para el montaje del biodigestor tiene un valor de \$352.000 (Proveedor DistriLandam y Ferroplas) para un calibre 8 para el total del metraje a utilizar. Para el resto de costos entendidos como los es la mano de obra

y construcción del biodigestor se realiza la cotización con arquitecto y maestro de obra que ha trabajado para una de las granjas las cuales estiman el valor en construcción y mano de obra. Los valores mostrados son discriminados en la Tabla 17.

Tabla 17

Valor discriminado de costo del biodigestor.

Ítem	Valor
Plástico Biodigestor	\$352.800
Mano de obra:	
*Excavación.	
*Construcción tan que de entra y salida con sus respectivas tuberías	\$4'927.200
*Maquinaria (retroexcavadora, picas, ETC.)	
Materiales:	
*Ladrillos	\$1'360.000
*Cemento	
Total	\$8'000.000

Nota. En la tabla se evidencia los costos discriminados para la construcción del biodigestor, la elaboración de la tabla se hace mediante consulta a arquitecto y maestro de obra que trabaja para la granja el roble y el valor del plástico es el valor cotizado con DistriLandam.

En tanques de almacenamiento se contemplan dos en el cual se almacenará el Biofertilizante y el tanque de almacenamiento del Biogás. Cabe resaltar que para el tanque del biofertilizante el costo tiene un aumento ya que la ubicación de este también requiere de una parte que se encuentre bajo tierra y así alimentarse de manera constante del biodigestor y para ambos tanques se tiene un costo

adicional en transporte ya que por sus dimensiones no es fácil llevarlo a las granjas por lo que eventualmente tocará pagar el transporte de estos.

Cabe aclarar que por el tipo de biodigestor el tanque de almacenamiento no tiene que ser obligatorio en la implementación del biodigestor. Sin embargo, entre los costos se incluye por qué también va a depender de la capacidad de almacenamiento de Biogás en el biodigestor y la cantidad de Biogás producidas.

Para tuberías se estipula dos tamaños y que una va transportar el Biogás y la otra es la especial para el transporte de la biomasa (porcinaza) y el Biofertilizante, ambas tuberías son de PVC, la de ½” es especial para el transporte de gases. La cantidad de tubería utilizada va variar según la disposición de la granja, se cotizan 30 metros ya que dentro de la tubería está contemplado la tubería de transporte del biogas del gasómetro al lugar donde va a ser utilizado el diseño final del biodigestor. La tubería de 6” pulgadas es la que se utilizar para el cargue y descargue del biodigestor, la cantidad a usar de esta se determina ya que los tanques de entra y salida del biodigestor están a dos metros del mismo y tiene un Angulo especifico. La tubería de 2” es la que se a utilizar para el transporte de la porcinaza al tanque de entrada del biodigestor.

Para los manómetros se contemplan dos, el que estará el en biodigestor y el que estará el tanque de almacenamiento del Biogás. Estamos manómetro tienen lectura entre 0 a 100 psi, a medida que el rango de presión que se quiere leer aumenta así mismo aumenta el costo que este tiene, la resolución de este manómetro debe ser de 2 psi. En válvulas se contemplan 2 válvulas una para la tubería de ½”, las cuales están ubicada una entre el biodigestor y el tanque de almacenamiento de gas y la otra entre el tanque de biogas y la salida de este.

Uno de los valores que se tiene en cuenta durante el proceso es el transporte de los tanques y/o materiales a la granja este es valor alto debido a que las granjas en Colombia no son de fácil acceso por lo que con lleva a que el transporte sea complicado y así aumentando los costos del biodigestor. Este costo está entre un rango 100 mil y 600 mil pesos ya que va varias según la lejanía de la granja a una ciudad principal, las rutas de acceso, las condiciones de las vías, cantidad de peajes,

disponibilidad de gasolina, entre otros más. Este valor puede superar los 600 mil pesos cuando cada uno de los factores es demasiado crítico.

Para los costos de materiales, tuberías, instrumento y demás se toma el valor de la página web de Homecenter ya que estas tiendas están distribuidas en todo el país y es de fácil acceso a todas las personas lo que facilita la compra de los materiales.

4.2 Costos de eliminación de ácido sulfhídrico

Para los sistemas de purificación, lo que se plantea, es la comparación en costos que tiene cada uno de los sistemas de eliminación y así mismo por decisión de la persona se elige el sistema de purificación a elegir o simplemente no se elige el uso de estos sistemas.

Tabla 18.

Costos aproximados de implementación de los diferentes métodos.

Metodología a usar	Costo de implementación (COP)
Adición de cloruro ferroso o férrico	\$85.000 x 25 kg
Adición de oxígeno	\$2'000.000
Filtros de adsorción	\$224.600
Torres de absorción	\$3'500.000
Filtros biológicos	\$150.000-500.000

Nota. En la tabla se observa el precio de implementación de los diferentes sistemas utilizados para la purificación del biogás basado en los precios encontrados en internet.

El cloruro férrico cotizado viene en una solución entre el 40% y 42% de concentración, este se mezcla en la tubería antes del ingreso del biodigestor con un flujo de 0.71 kg/h, este flujo se calcula, para tener la cantidad de cloruro férrico suficiente para reaccionar con los sulfatos presentes en la porcinaza. Se requeriría de cada 2 días comprar esta cantidad de cloruro férrico

Para el método de adición de oxígeno el precio contempla el compresor, la tubería, medidor de flujo de oxígeno, manómetro, válvulas y oxígeno. El precio para este método se debe a los costos del

compresor y el medidor de flujo. Estos elementos son fundamentales para así garantizar el flujo de oxígeno suficiente para inhibir las bacterias sulfatorreductoras pero que no sea el suficiente para inhibir la producción de gas metano.

El filtro consta de limaduras de hierro y carbón activado y tiene la capacidad de retener el 75% del ácido sulfhídrico de biogas. Este es fácil de adquirir y de instalar ya que se adapta a la tubería de salida de biogas.

Figura 20.

Filtro de carbón activado con limaduras de hierro.



Nota. En la imagen se observa el filtro de absorción propuesto para la purificación de Biogas. Tomada de: “*Filtro de Sulfuros.*” <https://www.Homcentres.com.co> (accessed May 04, 2022).

Para la torre de absorción se contemplan los costos que lleva la implementación de la torre y accesorios necesarios para el funcionamiento de la misma como lo es el sistema de purificación de agua e hidróxido de sodio y el hidróxido de sodio a utilizar en la torre. En estas torres se tiene un plus y es que también se tiene eliminación de CO₂.

El filtro biológico, el precio está dentro de un rango ya que para este tipo de filtros el precio varía depende de los microorganismos a usar y la técnica de implementación de estos. Con este filtro se puede tener una remoción del 90% al 100% del ácido sulfhídrico.[56]

De los 5 opciones mostrados, para la reducción de ácido sulfhídrico en el biogas, para las granjas pequeñas se da como opción el uso del filtro de carbón activado y limaduras de hierro, como alternativa se plantean los biofiltros, el problema de estos filtros es que como no con comerciales la implementación de esto, pueda ser más compleja. Para la selección del método purificación de ácido sulfhídrico se realiza bajos los parámetros de costo y disponibilidad del mismo.

4.3 Relación Costo - Beneficio

Para la relación costo beneficio del biodigestor se van a evaluar los dos productos que tenemos que son el biogas y el fertilizante.

4.3.1 Beneficio biogas

Para evaluar el beneficio del biogas se tiene en cuenta la capacidad energética que se tiene del biogas producido. Este cálculo se realiza teniendo en cuenta que la cantidad de biogas producido y la capacidad calorífica que este proporciona a la granja.

En la tabla 2. Se muestra la capacidad energética que tiene el Biogas lo cual nos dice que está en un rango de 6,0 y 6,5 KW/ h*m³ la cual es un 50% más baja con respecto al gas natural [57]. Con la producción de biogas tenida en el día se tiene un rango de 19,5 Kw/h y 21,13 KW/h para consumo en la granja diario. Esta cantidad de energía se espera principalmente como energía térmica con la quema del biogas, pero esta energía puede ser transformad a energía mecánica y a energía eléctrica como se menciona en la figura 21. Para esto últimos casos se requiere de infraestructura y maquinaria necesaria como lo son turbina, motores y/o generadores eléctricos, lo cual conllevaría a un gasto de más.

Con el valor de KW/h de gas natural en Colombia el cual es 254,77 pesos colombianos[58], se tiene un ahorro energético de \$6.000 pesos colombianos diarios. Esto ya que es el gas más usado en colombia para ser transformado en energía térmica.

Figura 21.

Transformación de energía térmica a mecánica.



Nota. En la imagen podemos ver brevemente una forma de convertir la energía eléctrica.

Tomada de: <https://sites.google.com/>.

Cabe aclarar que la energía proporcionada por el biogas alcanza a cumplir ya que estos son todos los requerimientos energéticos de la granja los cuales principalmente son eléctricos y térmico, pero si los logra disminuir. No se estima en cuanto se reduce este consumo energético ya que este depende del tamaño de la granja, las instalaciones con la que estas cuente y si también se tiene consumo de hogar dentro de la misma granja.[60]

4.3.2 Beneficio Biofertilizante

El Biofertilizante que se obtiene del biodigestor, tiene gran cantidad de nutrientes para el suelo, por lo que, si este se comercializa, va a gustar en el mercado. Este biofertilizante al cambiar sus propiedades según la biomasa debe ser analizado para cada granja y así garantizar que este se puede comercializar sin algún tratamiento, dado el caso que este no cumpla con alguna especificación este biofertilizante se comercializa y se utiliza para enriquecer otro tipo de fertilizante. Este análisis debe constar de análisis de macronutrientes, micronutrientes, nitrógeno y metales pesados

En el mercado el biofertilizante se encuentra en \$6.400 COP el litro mientras tanto el fertilizante común, se encuentran el mercado con precios 10 veces más que el biofertilizante. Por lo que, la

venta del biofertilizante al ser de fácil acceso, y económico va a ser muy fácil de vender; cabe aclarar que el bio fertilizante debe cumplir con la norma NTC 5167 y al igual se debe contar con un registro ICA para poder comercializar este.

Adicional a esto si la granja está ubicada en fincas con terrenos agrícolas o ganaderas, este biofertilizante se puede usar directamente en la granja y sería un gasto menos que se tiene dentro de la granja.

4.3.3 Análisis costo-beneficio total

Para finalizar el análisis costo beneficio se realiza todo el análisis de ingresos y egresos que se tiene en el uso del biodigestor con el cual se tiene una ganancia anual con la venta del biofertilizante ya que como se evidencia en el numeral 4.3.1 y 4.3.2 el biogas si es un beneficio y se considera como un ahorro energético que se va tener dentro de la granja para la granja sin embargo la venta del biofertilizante traerá ganancias adicionales de \$ 862'609.049 pesos colombianos a la actividad trabajada dentro de la granja. Esta ganancia se obtiene quitándole a los ingresos los valores de costos totales por año y gastos anuales que se presentan para la comercialización de la porcinaza.

En la tabla 19. Se puede evidenciar como se realiza el cálculo de costo de implementación y la depreciación de este a través de su vida útil, para el caso del plástico la vida útil es la recomendada por el fabricante y proveedor para el uso de esta. Cabe resaltar que con base a los resultados que se tenga del biofertilizante el costo de implementación y/o el valor del litro de biofertilizante aumente y disminuya respectivamente ya que si este no cumple con las especificaciones según la norma toca implementar otro sistema o comercializar el lodo no como biofertilizante sino como un enriquecedor de fertilizantes.

Tabla 19.*Costos y depreciación anual*

Costo de implementación			
Item	Valor	Vida útil (Años)	Depreciación año
Plastico biodigestor	\$ 352.800,00	3	\$ 117.600,00
Mano de obra	\$ 4.927.000,00	30	\$ 164.233,33
Materiales	\$ 1.360.000,00	8	\$ 170.000,00
Tanque de almacenamiento x 2	\$ 955.800,00	15	\$ 63.720,00
Tubería ½" (x 30 m)	\$ 276.000,00	15	\$ 18.400,00
Tubería de 2" (x 6 m)	\$ 63.900,00	10	\$ 6.390,00
Tubería de 6" (x 2 m)	\$ 97.800,00	10	\$ 9.780,00
Manómetro (x 2)	\$ 107.814,00	15	\$ 7.187,60
Válvulas	\$ 71.800,00	15	\$ 4.786,67
Transportes materiales	\$ 600.000,00	8	\$ 75.000,00
Total			\$ 637.097,60

Nota. en la tabla se puede ver los costos de implementación del biodigestor para el pate del biodigestor se describen según la tabla 17. La cual discrimina en tres valores distintos el biodigestor esto dado a que se tiene vidas útiles diferentes.

Para los gastos se contemplan los gastos necesarios para la comercialización del biofertilizante como lo es el valor anual del registro ICA, el análisis anual de porcinaza y biofertilizante, Nomina del personal adicional para el manejo del proceso de biodigestión, etc. Para el análisis de la biomasa y biofertilizante se puede tener un descuento para porcicultore adscritos a PorkColombia con el laboratorio Chemical por lo que el valor puede disminuir.[61]

Tabla 20.

Gastos anuales comercialización de biofertilizante

Gastos Anuales	
Item	Valor
Registro ICA Anual	\$ 1.088.473,00
Recipientes Anuales	\$ 180.000.000,00
Nomina	\$ 96.000.000,00
Filtro de Adsorción anuales	\$ 449.200,00
Análisis Biomasa	\$ 608.090,00
Análisis Biofertilizante	\$ 608.090,00
Transporte	\$ 10.000.000,00
Total	\$ 288.753.853,00

Nota. En la tabla se pueden evidenciar los gastos anuales que se tiene para poder comercializar el biofertilizante.

Tabla 21.

Ingresos y ganancias totales anuales

Ingresos	
Item	Valor
Costo (L) de biofertilizante	\$ 6.400,00
Cantidad de litros anuales	180000
Ingresos Totales	\$ 1.152.000.000,00
Ganancia anual	\$ 862.609.049,40

Nota. en esta tabla podemos evidenciar el valor de ingresos anuales que se tiene con la venta del biofertilizante y la ganancia anual que se obtener de este.

5. CONCLUSIONES

Se determina gracias a la caracterización fisicoquímica que la porcinaza de las granjas evaluadas está dentro de los rangos que permiten el crecimiento microbiano que llevara a cabo el proceso digestión anaerobia dentro del biodigestor sin la implementación de tratamientos previos a la biomasa.

Se planteo un diseño de un biodigestor tipo Taiwán de un volumen de 3,57 m³ que produce 3,25 m³/día de Biogas, alimentando 1,79 m³/día de porcinaza. El cual cuenta de dos tanques adicionales de 2 m³ cada uno al ingreso y salida del mismo y un tanque de almacenamiento de biogas.

Se determina que la implementación de un biodigestor en una granja pequeña llega a generar un ahorro energético diario de 21,3 KW/h esto usando el biogas producido en el biodigestor. Se evidencia que con los ingresos obtenidos de la venta del biofertilizante es factible la implementación de un biodigestor en granjas de pequeña producción de carne de cerdo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ICA, *Resolucion N° 002640*. Colombia:
https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_ica_2640_2007.htm, 2007.
- [2] *Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar*. 2012. [Online]. Available: www.fao.org
- [3] 333, “*Colombia principales indicadores del sector porcicultor durante 2021*,” Apr. 2022.
https://www.3tres3.com/es-ar/ultima-hora/colombia-principales-indicadores-del-sector-porcicultor-durante-2021_13714/#:~:text=Colombia%3A%20principales%20indicadores%20del%20sector%20porcicultor%20durante%202021,-El%20a%C3%B1o%202021&text=De%20acuerdo%20con%20informaci%C3%B3n%20de,consolidaron%205'002.665%20cb%20beneficiadas.
- [4] “*Estadísticas Sectoriales – Porkcolombia*.” <https://www.porkcolombia.co/estadisticas-sectoriales/> (accessed Mar. 07, 2021).
- [5] C. M. C. Piñero, *Guia Mejores Tecnicas Disponibles para el sector porcicola en colombia*. Bogotá: Porck Colombia, 2015. [Online]. Available:
<https://www.porkcolombia.co/wp-content/uploads/2018/07/Guia-MTD-en-la-Porcicultura-de-Colombia.pdf>
- [6] J. Fajardo -Presidente and E. Porkcolombia, “*Siguiente nivel vamos a llevar a porkcolombia a un*.” [Online]. Available: www.miporkcolombia.co
- [7] “*El generador eléctrico fundacionendesa.org*”.
- [8] “*directiva (ue) 2018/ 2001 del parlamento europeo y del consejo – de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables*,” 2018. [Online]. Available: <https://www.boe.es/doue/2018/328/L00082-00209.pdf>
- [9] O. Castrillón Quintana, R. Andrés Jiménez Pérez, O. B. Mejía, and A. de Revisión, “*Porquinaza en la alimentacion animal*,” 2004. [Online]. Available:
<http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/192/1/072-76%20Porquinaza%20en%20la%20alimentaci%C3%B3n%20animal.pdf>
- [10] E. Crus Martinez, “*Tecnología de cama profunda para la crianza porcina*,” *PorciNewsLatam*, 2022, [Online]. Available: <https://porcino.info/tecnologia-de-cama>

- profunda-para-la-crianza-
 porcina/#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20de%20crianza%20porcina,de%20estos%
 20materiales%20bien%20deshidratados%2C
- [11] O. Iachetta, “*En Alemania, la cama profunda es baja agresión y bienestar. Y es competitiva - Todo Cerdos - El portal de noticias del sector porcino,*” *Todocerdos*, 2019, [Online]. Available: <http://todocerdos.com.ar/notas.asp?nid=2023#:~:text=En%20Alemania%2C%20la%20cama%20profunda,de%20noticias%20del%20sector%20porcino&text=John%20Gadd%2C%20experto%20en%20manejo,cosas%20puede%20ser%20muy%20exitoso>.
- [12] M. Varnero, “Manual de biogás.” Santiago de Chile, 2011.
- [13] L. C. A. D. M. B. J. A. C. A. M. Corrales, “*Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta,*” *NOVA*, vol. 13, pp. 55–81, 2015, [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702015000200007
- [14] M. Varnero, “Manual de biogás.” Santiago de Chile, 2011.
- [15] C. Ferrer, “*ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar,*” vol. 43, no. 1, pp. 9–20, 2010, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120681002>
- [16] K. F. Adekunle and J. A. Okolie, “*A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion,*” *Advances in Bioscience and Biotechnology*, vol. 06, no. 03, pp. 205–212, 2015, doi: 10.4236/abb.2015.63020.
- [17] R. Adolfo Parra Huertas, “*Anaerobic digestión: biotechnological mechanisms in waste water treatments and their application in food industry Digestão anaeróbica: mecanismos biotecnológicos no tratamento de águas residuais e sua aplicação na indústria alimentícia,*” 2015.
- [18] E. Giraldo-Gomez, “*Kinetics of anaerobic treatment: A critical review,*” *Critical Reviews in Environmental Control*, vol. 21, no. 5–6, pp. 411–490, Jan. 01, 1991. doi: 10.1080/10643389109388424.
- [19] C. L. Ernesto Barrera-Cardoso, L. Odales-Bernal, L. Annerys Carabeo-Pérez, Y. Alba-Reyes, and F. Orestes Hermida-García, “*Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural Compilation of theoretical aspects on biogas production technologies at rural scale,*” 2019.

- [20] Z.-M. J. C.-G. S. S.-K. F. L.-G. A. Sidartha, “*Guía Biogás.*” 2020.
- [21] *N ° 12 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) Colección documentos técnicos guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores.* [Online]. Available: www.fao.org
- [22] Vaca, J, “Evaluación de materiales adsorbentes en la remoción de ácido sulfhídrico presente en Biogás producido en una granja porcícola”.
- [23] B. Morero, E. Gropelli, and E. A. Campanella, “Revisión de las principales tecnologías de purificación de biogás.”
- [24] ICA, “Censo porcino 2021.” Accessed: Apr. 03, 2022. [Online]. Available: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>
- [25] Wikipedia, “Pacho.” <https://es.wikipedia.org/wiki/Pacho> (accessed Apr. 03, 2022).
- [26] INCONTEC, “NTC-ISO 5667-1,” 1995.
- [27] “Analquim Ltda Laboratorio Ambiental”, [Online]. Available: <https://analquim.com/>
- [28] J. gustavo Afanador, “pH en agua por electrometría.”
- [29] “National Environmental Methods Index.” <https://www.nemi.gov/home/>
- [30] L. C. D. M. B. J. A. C. A. M. Corrale, “Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta,” *NOVA*, vol. 13, pp. 55–81, 2015, [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702015000200007
- [31] MINAMBIENTE, *resolución 0883 de 2018*. Bogotá: Resolución.
- [32] U. de Lleida, “Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria.”
- [33] Carbotecnia, “*Significado de los sólidos disueltos totales en agua (TDS)*,” Oct. 03, 2021. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/solidos-disueltos-totales-tds/> (accessed Oct. 11, 2022).
- [34] L. Irene Ramírez-Burgos Ma del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa Juan Alejandro García-Fernández Ramón Montuy-Hernández Miguel Oaxaca-Grande, “*Demanda química de oxígeno de muestras acuosas (a) método alternativo (b) tratamiento de los*

residuos generados por el método tradicional de reflujo abierto y por el método alternativo.”

- [35] C. Ferrer, “*ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar,*” vol. 43, no. 1, pp. 9–20, 2010, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120681002>
- [36] A. Visser, I. Beeksma, F. van der Zee, A. J. M. Stams, and G. Lettinga, “Anaerobic degradation of volatile fatty acids at different sulfate concentrations,” 1993.
- [37] “*método NEMI - 4500-N(Org) C*”.
- [38] NEMI, “*método NEMI - 4500-NO2 - B*”.
- [39] “Anaerobic WWT”.
- [40] NEMI, “*Método NEMI - 9223B*”.
- [41] R. Número, “*Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial y ministerio de proteccion social,*” 2007.
- [42] O. Castrillón Quintana, R. Andrés Jiménez Pérez, O. B. Mejía, and A. de Revisión, “*Porquinaza en la alimentacion animal,*” *Revista lasallista de investivacion*, vol. 1, pp. 72–76, 2004, [Online]. Available: <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/192/1/072-76%20Porquinaza%20en%20la%20alimentaci%C3%B3n%20animal.pdf>
- [43] F.-S. P. Ochoa, “*Analisis comparativo entre la calidad del biol y la porquinaza cruda en dos agrosistemas del valle del cauca (Colombia),*” *Cadernos de Agroecologia*, vol. 13, no. 1, Jun. 2018.
- [44] “*Volver a: Producción porcina.*” [Online]. Available: www.produccion-animal.com.ar
- [45] G. Fernanda Rodríguez Rodríguez and Á. Marcela Sánchez Camargo, “*Evaluación ambiental de los usos potenciales de la porcinaza posterior a su tratamiento de estabilización,*” 2017. [Online]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria
- [46] “*Servicios Colombia Novatio*”.
- [47] R. A. Polo Salazar, M. M. Huamán Carranza, J. I. Flores Albornoz, C. B. Poma Villafuerte, and C. M. Dávila Paredes, “*Eficiencia de la Unidad Básica de Saneamiento empleando humedales artificiales con especies nativas para la depuración de aguas residuales en el centro experimental Tuyu Ruri – Marcara, para su reúso como agua de*

- riego*,” *APORTE SANTIAGUINO*, vol. 11, no. 2, p. 237, Jan. 2019, doi: 10.32911/as.2018.v11.n2.578.
- [48] “pdf-diseo-de-biodigestor-de-lodos-residuales_compress”.
- [49] “*Volver a: Producción porcina.*” [Online]. Available: www.produccion-animal.com.ar
- [50] A. María Calderón Martínez and H. Enrique López Salazar, “*Evaluación del desempeño de un reactor anaerobio de lecho expandido a escala laboratorio con agua residual de una industria de vinos en la ciudad de Bogotá D.C.*,” 2004. [Online]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1527
- [51] G. M. Morales *et al.*, *Energía limpia del agua sucia: aprovechamiento de lodos residuales.* [Online]. Available: <https://www.gob.mx/imta>
- [52] T. Académico, P. Miranda, and M. del Mar Agripina, “Autor: Infante Ramos, María de los Ángeles.”
- [53] Mercado Libre, “*Manómetro Glicerina Rango 0-60 psi bar Carátula 2.5*”, Accessed: May 01, 2022. [Online]. Available: https://www.googleadservices.com/pagead/aclk?sa=L&ai=DChcSEwiKl6vdl-T6AhUQ0YYKHawFB9cYABAIGgJ2dQ&ohost=www.google.com&cid=CAESbeD2zFpHAgRL8ootM2flrC6WEFH4EWORpCxJh0-8SUBT2_fMWjyS753e2ONYmjov7FoukADjHI8OM-y0RfEq6bs0jutVu6SupI38Y4g_dM2xkdYI5-EM-HZ6ky-LDLYP_7lbVEKxQRRp970CAs&sig=AOD64_3EjzbMcw1TtkfGb0uMBB2E2UwXfQ&ctype=5&q=&ved=2ahUKEwivkaPdl-T6AhW4RDABHS-bC0AQ9aACKAB6BAgIEA4&adurl=
- [54] J. I. Gallo, “*Manejo de biol porcino obtenido por medio del Biodigestor en Rionegro - Antioquia.*” Universidad Nacional Abierta y a distancia UNAD, Medellín, 2021.
- [55] “*Filtro de Sulfuros.*” <https://www.Homcentres.com.co> (accessed May 04, 2022).
- [56] M. T. Varnero, M. Carú, K. Galleguillos, and P. Achondo, “*Tecnologías disponibles para la purificación de biogás usado en la generación eléctrica.*” *Informacion Tecnologica*, vol. 23, no. 2, pp. 31–40, 2012, doi: 10.4067/S0718-07642012000200005.
- [57] “*¿Qué es el gas natural? Fórmula y composición.*” Feb. 15, 2022. <https://preciogas.com/instalaciones/gas-natural/composicion> (accessed Oct. 14, 2022).

- [58] “*En abril de 2022, el precio de bolsa de energía disminuyó un 36.51% (83.75 COP_kWh) respecto al precio de bolsa del mes anterior _ Portal XM*”.
- [59] “*Transformaciones de la energía - Energías renovables*”, Accessed: Jun. 12, 2022.
[Online]. Available: <https://sites.google.com/>.
- [60] J. L. Sosa Espinoza, “*Actualización en manejo de excretas de origen porcino,*” TORREÓN, Nov. 2015.
- [61] PorkColombia, “*Tarifas Laboratorios Chemical con PorkColombia.*” Bogotá, 2019.
[Online]. Available: www.chemilab.com.co

ANEXOS

ANEXO 1

RESULTADO ANALQUIM LTDA – 229920



INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO				CODIGO:	229920
				PAGINA:	1 de 1
SEÑOR(ES):	LINA MARIA PATARROYO MORENO			TELÉFONO:	3003589971
DIRECCIÓN:	CALLE 77 B N° 116C - 75				
MUESTRA PROCEDENTE DE:	PACHO			DEPARTAMENTO:	CUNDINAMARCA
LUGAR TOMA DE LA MUESTRA:	PACHO			TIPO DE MUESTRA:	AGUA RESIDUAL
PUNTO DE CAPTACIÓN:	TUBERIA GRANJA ROBLES				
FECHA Y HORA DE MUESTREO:	2022-03-27 NO REPORTA			FECHA RECEPCIÓN:	2022-03-29
RESULTADOS					
ENSAYO	FEC-ANALISIS	TECNICA DE ANALISIS	REFERENCIA	RESULTADO	
a. ALCALINIDAD TOTAL	2022-03-29	Volumétrico	SM 2320 B	4335 mg CaCO ₃ /L	
a. COLIFORMES TOTALES	2022-03-29	Sustrato enzimático – Multicelda	SM 9223 B	1,317x10 ^{^7} NMP/100 mL	
a. D.B.O. 5	2022-03-29	Incubación 5 días y electrodo de membrana	SM 5210 B, 4500-O G	5055 mg O ₂ /L	
a. D.Q.O.	2022-03-30	Reflujo abierto y titulación	SM 5220 B	6480 mg O ₂ /L	
a. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	2022-04-02	Secado a 180°C	SM 2540 C	3120 mg/L	
a. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	2022-04-02	Secado a 103 °C - 105 °C	SM 2540 D	3220 mg/L	
a. SULFATOS	2022-03-29	Turbidimétrico	SM 4500-SO42-E	58,9 mg/L SO ₄	
z. NITRÓGENO TOTAL	2022-03-31	Cálculo	SM 4500-NOrp C, SM 4500-NH3 B C, SM 4500-NO2 B, SM 4500-NO3	1277,6 mg/L	
z. PH	2022-03-29	Electrometría	SM 4500-H+ B	6,51 Unidad de pH	
OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente.					
Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd Edition. 2017.					
a. Ensayo(s) de laboratorio acreditado(s) en Analquim Ltda. Resolución de acreditación N° 0090 de Febrero de 2021. IDEAM					
z. Parámetros no acreditados realizados en Analquim LTDA.					
Nota: Analquim Ltda no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente ni de las condiciones al momento de la toma (preservación o recipiente no entregado por Analquim LTDA) que puedan afectar la validez del resultado.					
DESCARGO DE RESPONSABILIDAD por desviación de las especificaciones analíticas:					
Tiempo de vigencia del parámetro Coliformes Totales y pH					
El presente documento no podrá ser reproducido parcialmente y es válido únicamente si tiene firma.					
Si desea verificar el Informe de Resultados, puede comunicarse al correo controldeproyectos@analquim.com					

Dayana Margarita Martínez Mendivil

Dayana Margarita Martínez Mendivil
Director de laboratorio

NOTA: Los resultados del presente informe hacen referencia únicamente a la muestra analizada.

Bogotá, 2022-04-25

FECHA DE EXPEDICIÓN

ANQ-PL-071-1 - Versión

FIN DE FIRMAS

El plazo límite para cualquier observación sobre los resultados de este informe, es de 5 días hábiles contados a partir de la fecha de expedición del mismo.

Sede Laboratorio Carrera 25 No. 73 - 60/66 • www.analquim.com • Bogotá, D.C. - Colombia
Sede Administrativa Carrera 27 No. 73 - 77 • PBX: (57) (1) 6309945 • Celulares: 315 7718638 - 321 4682946 - 312 4203739 - 315 8602196
E-mail: gerenciacomercial@analquim.com - resultados@analquim.com - atencionalcliente@analquim.com - gerencia@analquim.com

ANEXO 2

RESULTADO ANALQUIM LTDA-229919



INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO				CODIGO: 229919
				PAGINA: 1 de 1
SEÑOR(ES):		LINA MARIA PATARROYO MORENO		
DIRECCIÓN:		CALLE 77 B N° 116C - 75		TELÉFONO: 3003589971
MUESTRA PROCEDENTE DE:		PACHO		
LUGAR TOMA DE LA MUESTRA:		PACHO		
PUNTO DE CAPTACIÓN:		TUBERIA GRANJA BALSORA		
FECHA Y HORA DE MUESTREO:		2022-03-27 NO REPORTA		FECHA RECEPCIÓN: 2022-03-29
RESULTADOS				
ENSAYO	FEC-ANALISIS	TECNICA DE ANALISIS	REFERENCIA	RESULTADO
a. ALCALINIDAD TOTAL	2022-03-29	Volumétrico	SM 2320 B	3774 mg CaCO ₃ /L
a. COLIFORMES TOTALES	2022-03-29	Sustrato enzimático – Multicelda	SM 9223 B	1,301x10 ⁷ NMP/100 mL
a. D.B.O. 5	2022-03-29	Incubación 5 días y electrodo de membrana	SM 5210 B, 4500-O G	4605 mg O ₂ /L
a. D.Q.O.	2022-03-30	Reflujo abierto y titulación	SM 5220 B	5880 mg O ₂ /L
a. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	2022-04-02	Secado a 180°C	SM 2540 C	1520 mg/L
a. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	2022-04-02	Secado a 103 °C - 105 °C	SM 2540 D	4000 mg/L
a. SULFATOS	2022-03-29	Turbidimétrico	SM 4500-SO42-E	201,6 mg/L SO ₄
z. NITRÓGENO TOTAL	2022-03-29	Cálculo	SM 4500 NOrg C, SM 4500-NH ₃ B C, SM 4500-NO ₂ B, SM 4500-NO ₃	1569,5 mg/L
z. PH	2022-03-29	Electrometría	SM 4500-H+ B	6,57 Unidad de pH
OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente.				
Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd Edition. 2017.				
a. Ensayo(s) de laboratorio acreditado(s) en Analquim Ltda. Resolución de acreditación N° 0090 de Febrero de 2021. IDEAM				
z. Parámetros no acreditados realizados en Analquim LTDA.				
Nota: Analquim Ltda no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente ni de las condiciones al momento de la toma (preservación o recipiente no entregado por Analquim LTDA) que puedan afectar la validez del resultado.				
DESCARGO DE RESPONSABILIDAD por desviación de las especificaciones analíticas:				
Tiempo de vigencia del parámetro Coliformes Totales y pH				
El presente documento no podrá ser reproducido parcialmente y es válido únicamente si tiene firma.				
Si desea verificar el Informe de Resultados, puede comunicarse al correo controldeproyectos@analquim.com				

Dayana Martinez Mendivil

Dayana Margarita Martinez Mendivil
Director de laboratorio

NOTA: Los resultados del presente informe hacen referencia únicamente a la muestra analizada.

Bogotá, 2022-04-25

FECHA DE EXPEDICIÓN

ANQ-PL-071-1 - Versión 2

FIN DE FIRMAS

El plazo límite para cualquier observación sobre los resultados de este informe, es de 5 días hábiles contados a partir de la fecha de expedición del mismo.

Sede Laboratorio Carrera 25 No. 73 - 60/66 • www.analquim.com • Bogotá, D.C. - Colombia
Sede Administrativa Carrera 27 No. 73 - 77 • PBX: (57) (1) 6309945 • Celulares: 315 7718638 - 321 4682946 - 312 4203739 - 315 8602196
E-mail: gerenciacomercial@analquim.com - resultados@analquim.com - atencionalcliente@analquim.com - gerencia@analquim.com

ANEXO 3

CÁLCULOS EN EXCEL DEL BALANCE DE MASA

Cálculos de balance de masa		
Datos de entrada		
Q de diseño	1,79	m ³ /día
DQO Afluyente	5542,5	mg/L
	5,5425	Kg/m ³
DBO Afluyente	4054,5	mg/L
	4,0545	Kg/m ³
SST Afluyente	3610	mg/L
	3,61	Kg/m ³
SSV Afluyente	2320	mg/L
	2,32	Kg/m ³
SO ₄ ⁻ Afluyente	130,25	mg/L
	0,13025	Kg/m ³
Relación DQO:SO ₄	43	
Carga		
DQO Afluyente (máscico) Q X C	9,92	
Eficiencia de remoción e	0,81	Parámetro adoptado Eficiencia entre 70 a 90%
DQO Efluyente		
$DQO_{ef} = (1 - e) \cdot DQO_{inf}$	1,89	kg DQO/día
DQO Convertida (Afluyente-Efluyente)	8	kg DQO/día
Estimación de Metano		
Fracción DQO convertida a biomasa (Y)	0,10	Parámetro adoptado 5 a 15% Lodo
Fracción DQO convertida a metano (Z)	0,90	
Masa de DQO convertida a metano (M CH ₄) $M_{CH} = Z \cdot DQO_{conv}$	7,23	Kg de DQO convertido CH ₄ /día
Volumen de metano a condiciones normales	$V_{CH_4}^0 = \frac{22,4 \cdot M_{CH}}{64}$	
V CH ₄	2,53	m ³ CH ₄ /día
CH ₄ disuelto en el agua	0,1	
CH ₄ en el biogas	0,9	

Flujo efectivo de CH ₄ en el biogás	2	m ³ CH ₄ /día
Fracción de metano en el biogás (55% al 70%)	0,7	
Q biogás efectivo	3,25	m ³ biogás/día
Estimación de producción de lodo		
La DQO convertida en biomasa se calcula con el factor de rendimiento de biomasa Y expresado en términos de Kg SSV DQO/Kg DQO Convertida		
Rendimiento Biomasa (Y)	0,10	
$DQO_{biomasa} = Y \cdot DQO_{conv}$	0,80	Kg de DQO convertido en Sólidos/día
La biomasa está expresada como DQO. Hay que transformarla en unidades de SSV. $\frac{1 \text{ Kg SSV Lodo}}{1.42 \text{ Kg DQO convertida sólidos}}$		
Factor estequiométrico	1,42	
Lodo generado	0,57	Kg SSV Lodo/día
SSV = 0.7 SST	0,7	
Lodo generado	0,81	Kg SST/día

ANEXO 4
ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

Costo de implementación				Gastos Anuales		Ingresos	
Ítem	Valor	Vida útil (Años)	Depreciación año	Ítem	Valor	Ítem	Valor
Plástico biodigestor	\$ 352.800,00	3	\$ 117.600,00	Registro ICA Anual	\$ 1.088.473,00	Costo (L) de biofertilizante	\$ 6.400,00
Mano de obra	\$ 4.927.000,00	30	\$ 164.233,33	Recipientes Anuales	180.000.000,00	Cantidad de litros anuales	180000
Materiales	\$ 1.360.000,00	8	\$ 170.000,00	Nomina Filtro de Adsorción anuales	96.000.000,00	Ingresos Totales	\$ 1.152.000.000,00
Tanque de almacenamiento x 2	\$ 955.800,00	15	\$ 63.720,00	Análisis Biomasa	\$ 449.200,00	Ganancia anual	\$ 862.609.049,40
Tubería ½" (x 30 m)	\$ 276.000,00	15	\$ 18.400,00	Análisis Biofertilizante	\$ 608.090,00		
Tubería de 2" (x 6 m)	\$ 63.900,00	10	\$ 6.390,00	Transporte	\$ 608.090,00		
Tubería de 6" (x 2 m)	\$ 97.800,00	10	\$ 9.780,00		\$ 10.000.000,00		
Manómetro (x 2)	\$ 107.814,00	15	\$ 7.187,60	Total	288.753.853,00		
Válvulas	\$ 71.800,00	15	\$ 4.786,67				
Transportes materiales	\$ 600.000,00	8	\$ 75.000,00				
		Total	\$ 637.097,60				

ANEXO 5

RECOMENDACIONES

Para próximos trabajos sobre el tema abordado en este proyecto se recomienda el cálculo de la cinética de reacción, al igual que el desarrollo de un biodigestor piloto donde se pueda determinar la cinética de reacción para las distintas granjas. Se recomienda el estudio y la factibilidad y rendimiento de los diferentes métodos de purificación del biogas producido en el biodigestor. Al igual que se recomienda el análisis del mantenimiento que requiere el biodigestor, y el costo que este con lleva. Al igual el análisis fisicoquímico y biológico completo del biofertilizante y así mismo ver si este cumple con la normativa para ser distribuido como este.