

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA:

“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE BIOMETANO A
PARTIR DE LAS VINAZAS GENERADAS EN LA DESTILERÍA
“RIVERA REVILLA FRAY ÁNGEL”

AUTORES:

MACHADO LOOR MELANY DAYANA

ROMERO PADILLA SARA DANIELA

DIRECTORES DEL PROYECTO:

Ing. KAREL DIÉGUEZ SANTANA MSc.

Dr. AMAURY PÉREZ MARTÍNEZ

PASTAZA – ECUADOR

2019

AGRADECIMIENTO

Al culminar mi carrera profesional agradezco infinitamente a Dios quien me ha llenado de sabiduría y me ha dado la fortaleza para realizar este proyecto de titulación.

A mi familia en especial a mis padres Jaime Romero y Sara Padilla que siempre confiaron en mí y me brindaron su apoyo incondicional.

A mis tutores de proyecto Karel Diéguez y Amaury Pérez por siempre estar pendientes de la realización del proyecto y por los conocimientos compartidos.

A mi estimado amigo Carlos David Villarroel Aman que estuvo en los momentos más difíciles de la realización de mi proyecto de titulación, mi agradecimiento total por el tiempo y apoyo prestado.

A mi amiga y compañera Melany Machado por el apoyo brindado a lo largo de esta etapa. A la Ing. Andrea Tapuy por la paciencia y la ayuda prestada en los análisis realizados.

De manera general a todos los docentes de la Universidad Estatal Amazónica que me han llenado de conocimiento a lo largo de mi formación como Ing. Ambiental.

Sara Daniela Romero Padilla.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecir mi diario vivir logrando que los días de dificultad y debilidad que he pasado los supere conjuntamente de la mano de él.

A mi padre Efrén Machado por su ardua labor en criarme, enseñarme los mejores valores y hacer de su papel de padre el mejor del mundo ante mis ojos él sabe que su hija lo ama incondicionalmente, a mi madre por sus consejos y a mis hermanos por su infinito amor brindado desde nuestra niñez.

Daniela Romero por convertirse en una gran amiga y compañera de proyecto, conjuntamente con mis amigos los cuales me han apoyado en los momentos más cruciales de mi vida.

Ing. Karel Diéguez y Ing. Amaury Pérez, por su apoyo incondicional en nuestro proyecto de titulación, sin sus conocimientos impartidos que sin ellos no hubiéramos logrado llegar hasta los últimos días en esta prestigiosa Universidad Estatal Amazónica quien nos ha brindado los mejores años estudiantiles, y no hay más que decir a todas las personas que nos han apoyado incondicionalmente mi más sincero agradecimiento de corazón.

Melany Dayana Machado Loor.

DEDICATORIA

Mi proyecto de titulación se lo dedico a Dios por ser el autor de mi vida y nunca dejarme sola en esta etapa.

A mi hija Daniela por darme la fuerza y la valentía para salir adelante, por ser mi motor de lucha en mí día a día.

A mis Padres Jaime Romero y Sara Padilla por siempre darme su amor, su confianza y su apoyo incondicional, para ellos va todo mi esfuerzo por ser eje fundamental en mi vida.

A mis hermanos Christian y Angie por estar ahí cuando más los he necesitados, por su paciencia y amor.

Sara Daniela Romero Padilla.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado a Dios por permitirme superar todos los obstáculos que he pasado lejos de mi familia por superarme y acabar mi carrera universitaria.

Como no hablar del hombre que ha luchado constantemente por darme lo necesario para no rendirme en mi carrera hablo de mi padre Efrén Machado quien se ha sacrificado pese a las adversidades de la vida, te dedico a ti padre mío porque has sido mi mayor fortaleza todos estos años fuera de casa y pese a la distancia siempre estas pendientes de mi como padre y mejor amigo al cual admiro infinitamente por ser el mejor de mi mundo.

A mi madre Magaly Loor por sus consejos al no verme caer y ser aquella que con sus sabias palabras alivia mis días de dolor, a mis hermanos Erika Quijije y Johann Machado por mantener ese amor que desde niños nos tenemos y mis fieles cómplices en los momentos más locos de mis etapas vividas.

A mi prima Daysi Machado porque ha estado pendiente de mi con sus consejos y mensajes constantes de ánimos procurando tratarme como parte de su familia junto a sus hijos que son como hermanos para mí y a todos los familiares que me han apoyado incondicionalmente con sus palabras sabias para seguir superándome.

Amigos como no agradecerles por estar en los momentos más difíciles que he atravesado en mi vida no queda más que decirles mil gracias por cada día vivido y aprendió a lado de ustedes los llevare en el corazón.

Y a mí prestigiosa Universidad Estatal Amazónica por acogerme con los mejores docentes que uno puede encontrar en estos tiempos, infinitamente agradecida con todos y cada uno de las personas que me han sabido apoyar y guiar en este largo camino.

Melany Dayana Machado Loor

RESUMEN

En la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel” ubicada en la parroquia Tnte. Hugo Ortiz se genera gran cantidad de residuos de vinaza, provenientes de la destilación del etanol artesanal, lo que causa en cierta manera una contaminación al medio ambiente por la mala disposición final de estos desechos. El objetivo principal de esta investigación consiste en determinar el potencial de producción de biometano generado mediante la biodegradación anaeróbica de la vinaza en la destilería. Se estipula la cantidad de residuo orgánico generado por la destilería misma que se encontraba en base líquida, alcanzando: 15360 L/mes de vinaza. Subsiguiente se realizó análisis de algunos parámetros del sustrato ingresado en el tratamiento experimental, en los cuales se obtuvo de sólidos totales 65.456 g/L; sólidos suspendidos volátiles 58.822 g/L; de nitrógeno 0,1%; de fósforo 0,21% y durante el período de 32 días que se dio el tiempo de retención del sustrato, se realizó el análisis de materia orgánica ya digerida por los microorganismos, donde se menciona el porcentaje de remoción para sólidos totales de 13,39% y de sólidos suspendidos volátiles 39,53%. De esa manera se obtuvo la cantidad de metano producido a base de los residuos de vinaza, obteniéndose 106,87 m³/mes de metano, mencionando que esta cantidad de metano puede generar energía para encender una cocina que consume 0,45 m³/h, por un intervalo de tiempo de 237 h, o puede también servir para poner en marcha un motor de cuatro tiempos de 1HP que consume 0,55 m³/HP/h por un intervalo de tiempo de 194 horas, lo que permitirá una recirculación de energía a partir de los residuos de vinaza. Podemos corroborar que mediante el proceso de digestión anaeróbica se puede reducir la contaminación ambiental utilizando los residuos de la vinaza, sin tener que arrojarlos directamente en el medio.

Palabras Clave.

Digestión anaeróbica / vinaza / metano / microorganismos / contaminación.

ABSTRACT

In the "Rivera Revilla Fray Ángel" distillery located in the Tnte parish. Hugo Ortiz generates a large quantity of vinasse waste, coming from the distillation of artisanal ethanol, which causes a certain contamination to the environment due to the final poor disposal of these wastes. The main objective of this research is to determine the production potential of biomethane generated by the anaerobic biodegradation of the vinasse in the distillery. It stipulates the amount of organic waste generated by the distillery itself that was in liquid base, reaching: 15360 L / month of vinasse. Subsequently, some parameters of the substrate entered into the experimental treatment were analyzed, in which 65,456 g / L were obtained from total solids; volatile suspended solids 58,822 g / L; of nitrogen 0.1%; of phosphorus 0.21% and during the period of 32 days that the retention time of the substrate occurred, the analysis of organic matter already digested by the microorganisms was carried out, where the percentage of removal for total solids of 13.39 is mentioned. % and volatile suspended solids 39.53%. In this way, the amount of methane produced from vinasse residues was obtained, obtaining 106.87 m³ / month of methane, mentioning that this amount of methane can generate energy to light a kitchen that consumes 0.45 m³ / h, for a time interval of 237 h, or can also serve to start a four-stroke engine of 1HP consuming 0.55 m³ / HP / h for a time interval of 194 hours, which will allow a recirculation of energy from the waste of vinasse. We can corroborate that through the process of anaerobic digestion can reduce environmental pollution using the waste of the vinasse, without having to throw them directly in the middle.

Keywords

Anaerobic digestion / vinasse / inoculum / biogas / methane.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. PROBLEMA	3
1.4.- OBJETIVOS	4
1.4.1.- OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2.-OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
CAPÍTULO II	5
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1 ANTECEDENTES.....	5
2.2 PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR.....	5
2.3 RESIDUOS DE LA DESTILERÍA.....	6
2.4 VINAZAS	7
2.4.1 TIPOS DE VINAZA	7
2.4.2 COMPOSICIÓN DE LA VINAZA	8
2.4.3 VINAZA: EMISIONES	9
2.5 DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	9
2.5.1 BASES MICROBIOLÓGICAS DEL PROCESO ANAEROBIO.....	10
2.5.2 FACTORES FÍSICOS Y QUÍMICOS	12
2.5.3 COMPOSICIÓN DEL RESIDUAL.....	13
2.6 BIOGÁS.....	13
2.6.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BIOGÁS.....	15
2.6.2 RELACIÓN BIOGÁS-CLIMA	16

2.7 METANO.....	16
2.8 ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DEL BIOMETANO	17
2.9 MARCO LEGAL.	17
2.9.1 Constitución de la República del Ecuador.....	17
2.9.2 Código Orgánico del Ambiente (COA).....	18
2.9.3 Acuerdo Ministerial 097 límites permisibles.....	20
CAPÍTULO III.....	22
3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	22
3.1 LOCALIZACIÓN.	22
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	23
3.4 MATERIALES Y EQUIPOS.....	23
3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	24
3.5.1. TRABAJO DE CAMPO.	24
3.5.2. TOMA DE MUESTRAS.	24
3.5.3. CUANTIFICACIÓN DE VINAZAS GENERADAS EN LA DESTILERIA.	24
3.5.4. CARACTERIZACIÓN DE LAS VINAZAS.....	25
3.6. DETERMINACIÓN DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y METANO.....	28
3.7. DETERMINACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA PROVENIENTE DE LOS RESIDUOS DE VINAZA EN LA DESTILERÍA ARTESANAL.....	29
CAPÍTULO IV.....	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1 CUANTIFICACIÓN DE LAS VINAZAS GENERADAS DIRECTAMENTE EN LAS DESTILERIAS.	31

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS VINAZAS.....	32
4.3 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS PARA GENERAR EL BIOMETANO MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA.	34
4.3.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) Y TEMPERATURA	35
4.3.2. FÓSFORO	36
4.3.3. NITRÓGENO.	37
4.3.4. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.	38
4.3.5 SÓLIDOS VOLÁTILES	39
4.3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL.	40
4.4 Aprovechamiento de la energía proveniente del residuo de la vinaza en la destilería artesanal.	43
CAPÍTULO V	49
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1 CONCLUSIONES.....	49
5.2. RECOMENDACIONES.....	50
CAPÍTULO VI	51
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
CAPÍTULO VII	60
6. ANEXOS.....	60

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Bacterias presentes en cada una de las etapas metabólicas.....	12
Tabla 2. Rendimiento de gas metano para diferentes sustratos.	13
Tabla 3. Componentes del biogás en función del sustrato utilizado.....	15
Tabla 4. Límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	21
Tabla 5. Cuantificación de la vinaza resultante de la destilación de alcohol en la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”.	31
Tabla 6. Comparación de la caracterización de vinazas con diferentes destilerías.	33
Tabla 7. Caracterización de la vinaza en función del pH y la temperatura.	35
Tabla 8. Potencial de biometano.....	42
Tabla 9. Cantidad de metano generado en base a SV.	43
Tabla 10. Aprovechamiento de la energía producida por el metano.	46
Tabla 11. Aprovechamiento de la energía producida por el biogás.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del proceso de obtención de etanol a partir de caña de azúcar.	6
Figura 2. Esquema simplificado de las etapas metabólicas anaeróbicas.	11
Figura 3. Ubicación del área de estudio donde se realiza el proceso de destilación.	22
Figura 4. Diseño del experimento empleado en el biodigestor discontinuo.	29
Figura 5. Medición del fósforo (P).	36
Figura 6. Producción de Nitrógeno (N) generado en el proceso de producción de biometano.	37
Figura 7. Producción de Sólidos Totales (ST), a partir de residuos de vinazas.	38
Figura 8. Producción de Sólidos Volátiles (SV), a partir de residuos de Vinaza.	39
Figura 9. Desplazamiento volumétrico en mL de biogás y metano en 32 días.	40

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

En los países a nivel mundial que se dedican a la producción de caña de azúcar y alcohol etílico, en el año 2008 se obtuvo 79 mil millones de litros de alcohol, con un rendimiento de 1 L de etanol / 8-15 L de vinazas (Mohana, Acharya, y Madamwar, 2009), dando como consecuencia uno de los principales problemas ambientales de esta industria, la generación de residuos orgánicos, como vinazas los cuales tienen alto grado de contaminación debido a su bajo pH y elevada demanda química de oxígeno (DQO) (Bermúdez y Hoyos, 2000).

Las vinazas en general poseen un alto contenido de materia orgánica, varía según la materia prima empleada y la eficiencia de los procesos de fermentación y destilación, se compone de DQO oscila entre 50 y 150 kg de DQO/m³ y así como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) entre 25 y 80 kg de DBO₅/m³, posee concentraciones por encima de 750 mg/L de sulfatos, 100 mg/L de nitrógeno total, 345 mg/L de potasio, un pH entre 3.5 y 5, obteniendo la temperatura de ebullición cercana a los 100 ° C y dándonos un color oscuro casi negro con un olor fuerte (Jiménez, Borja, y Martín, 2006).

Los residuos obtenidos de las vinazas se puede transformar en biogás, que se considera un combustible renovable, ya que es rico en metano (CH₄) y contiene dióxido de carbono (CO₂), con pequeñas cantidades de nitrógeno (N₂), hidrógeno (H₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S), vapor de agua, amoníaco (NH₃) y otros compuestos aromáticos(Montalvo, 2003), pero podemos detallar que la presencia mayoritaria de CH₄ siendo un gas inodoro, incoloro e insípido pero tiene un alto valor combustible lo cual se le considera dañino para efectos climatológicos ya que es un gas que aporta al problema ambiental llamado efecto invernadero.

En Ecuador, el Ministerio del Ambiente informó que en la actualidad las industrias productoras de etanol han crecido notoriamente por su demanda, rentabilidad y usos varios que tiene este producto (CFN, 2017), pero la producción de vinazas se ha incrementado considerablemente, llegando a obtener una producción de 8.661.609 t/ha; lo que vincula a un crecimiento adicional en la producción de etanol generando 1560 L/ ha de cultivo de caña (Cajamarca Carrazco, Avalos Alvarado, y Melendrez, 2018).

Debido a las grandes cantidades generadas de vinazas en el país, se comenzó a estudiar su uso para aprovechar sus propiedades fisicoquímicas, se han propuesto diferentes soluciones para su tratamiento y disposición como son: la fertirrigación y su variante de enmienda orgánica, la producción de biogás, la desalinización y concentración, incineración y recirculación al proceso de producción de etanol (Otero Guerrero, 2017); sin embargo es una de las potenciales aplicaciones de este subproducto es la producción de bioenergía en forma de metano a partir de la digestión anaerobia, ya que se le da un valor agregado a un residuo industrial, lo que puede significar una fuente de ingreso importante para la industria, y a la vez, se le da un tratamiento que reduce notablemente la carga de contaminantes (Mariscal, 2015).

La destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”, es una destilería artesanal, de la provincia Pastaza, que tiene un flujo productivo mensual de alrededor de 1400 L de alcohol. Dicha entidad emplea entre 40-50 toneladas de caña de azúcar y genera aproximadamente 25 toneladas de bagazo y 15 000 L de vinazas.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los impactos ambientales ocasionados por la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel” son severamente dañinos a la población, flora y fauna aledaña de la comunidad “La Mariscal” en La Parroquia Teniente Hugo Ortiz por las descargas que hacen a las cuencas hídricas con residuos de vinaza que poseen altas cargas de contaminantes debido al proceso de fermentación provenientes de la elaboración de etanol, ya que no le dan un pre tratamiento el que dificulta el saneamiento ambiental ocasionando eutrofización del agua, pérdidas de especies endémicas y desgaste de los nutrientes que posee el suelo.

1.2. JUSTIFICACIÓN.

Entre uno de los productores más destacados en la producción de caña de azúcar se encuentra el Ecuador, que aprovecha al máximo este producto convirtiéndolo en etanol a partir de las destilerías de alcohol (Recalde, 2016). Mediante la fermentación del alcohol existe una gran cantidad de impurezas, las cuales debe ser sometido a varias etapas de separación por la destilación, estas pasan hacer parte de las aguas residuales por las impurezas pesadas que contiene las cuales son denominadas como vinazas (Rennola, Yépez, Bullón, y Salazar, 2007), y provocan un gran impacto ambiental por su alto contenido orgánico, ya que posee

una elevada cantidad de demanda química (40000 mg/L) y bioquímica de oxígeno (12000 mg/L) (Salazar, Sánchez, y Aucatoma, 2009).

Guevara (1999) detalla la importancia de disminuir el contenido orgánico de estos efluentes como la vinaza considerando los procesos anaerobios como alternativa de tratamiento, puesto que reduce la DQO y DBO de las vinazas, convirtiéndolas en biogás, principalmente en metano (CH₄).

Para el Ecuador desde el punto de vista legal presenta su Código Orgánico del Ambiente donde expresa en su artículo 225, literal 6: políticas de gestión integral de residuos y desechos, como el “fomento de la investigación, desarrollo y uso de las mejores tecnologías disponibles que minimicen los impactos al ambiente y la salud humana”(COA, 2018). También existe una normativa de calidad ambiental para descargas industriales por destilación de efluentes que deben ser cumplidas (TULSMA, 2015).

La metanización desde el punto de vista ambiental posibilita su aplicación agrícola por el contenido valioso de nutrientes inorgánicos presentes en los lodos residuales del tratamiento y mitigaría los problemas ambientales emitidos por las vinazas. Pero el punto de vista económico se propone un valor agregado al sistema de tratamiento de las vinazas por la generación del biogás que reemplaza el gas natural que sirve para generar vapor y electricidad, este proyecto cumple con los requisitos de una alternativa sustentable (Moraes, Zaiat, y Bonomi, 2015).

Tras estas razones planteadas el proyecto tiene como propósito evaluar la producción de biometano con las aguas residuales determinadas vinazas, mediante el tratamiento anaerobio que ayudaría a disminuir la contaminación generada por la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”

1.3. PROBLEMA

¿Cómo reducir el vertimiento y grado de contaminación de las vinazas en la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el potencial de producción de biometano generado mediante la biodegradación anaeróbica de la vinaza en la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Cuantificar los parámetros físico-químicos de las vinazas generadas en la operación de destilación.

Determinar la producción de biogás y metano mediante la biodegradación anaeróbica de las vinazas.

Determinar el aprovechamiento de la energía proveniente de los residuos de vinaza en la destilería artesanal.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1. ANTECEDENTES.

A finales del siglo XIX, “Popoff, Van Sensus” y “Omelianski” realizan estudios detallados sobre la producción microbiológica de metano, en donde los investigadores fundamentan a la metanogénesis como un proceso, derivado del quebrantamiento de materiales poliméricos, tales como la celulosa, sin embargo, hasta ese instante aun no era muy claro si las bacterias creadoras de metano eran capaces de utilizar polímeros directamente, para la generación de este gas, o este se debía a la utilización de moléculas de carácter simple producidas por el quebrantamiento de los polímeros por ciertos microorganismos, sin embargo “Omelianski”, demostró que durante el proceso de fermentación metánica de la celulosa, esta genera, hidrógeno, ácido acético, y ácido butírico, para posteriormente formar metano de acuerdo con la siguiente reacción (Ecuación 1) sin embargo, las observaciones y los resultados obtenidos por “Omelianski”, permitieron ir generando en consiguiente una serie de experimentos, en los cuales se siguió estudiando la obtención de metano a partir de sustratos puros como el acetato, el butirato y el etanol (Díaz-Báez, Espitia Vargas, y Molina Pérez, 2002).



2.2. PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR.

Es un sector económico las industrias azucareras, dedicados a las cosechas y procesados de la caña de azúcar (Calderon y Jazmin, 2016). Se inicia todo el proceso con la cosecha del producto y la limpieza del mismo para pasar al trapiche para obtener el jugo de la caña también conocido como guarapo, llevándolo al proceso de fermentación que dura alrededor de 48 horas con el propósito de eliminar completamente el azúcar, continuando con la etapa de destilación en el alambique, sometándose a evaporación para obtener el etanol. Los vapores salientes pasan por refrigerantes o un brazo para ser recolectados en un recipiente (Economía, 2017).



Figura 1. Esquema del proceso de obtención de etanol a partir de caña de azúcar.

Fuente: (Economía, 2017)

2.3. RESIDUOS DE LA DESTILERÍA

Según, Valeiro, Portocarrero, Ullivarri, Vallejo, y Famaillá (2017) los residuos principales generados por la industria azucarera son: bagazo, cachaza o torta de filtro y vinazas de residuos alcohólicos, así como entre otros residuos como; cenizas y las aguas residuales resultantes de la fabricación de azúcar, a continuación, se muestra la definición de cada uno de ellos.

Vinaza

A la vinaza se la define como un líquido procedente de la producción del etanol, se da por el jugo de la caña fermentada o la destilación de la melaza fermentada (López, 2013), tiene un color café oscuro, pose en su composición un pH ácido y saliendo del proceso de la destilación tiene una temperatura de 107°C aproximadamente (García Salazar y Intriago Zambrano, 2019).

Bagazo

Es el residuo fibroso que queda generalmente luego de la extracción del jugo de caña durante el proceso de fabricación de azúcar, el cual a su vez es aprovechado en cierta medida como principal combustible para generar calor dentro las calderas (Pernalet, Piña, Suárez, Ferrer, y Aiello, 2008).

Cachaza o torta de filtro

Es un subproducto derivado de la filtración del jugo de caña de azúcar, en los filtros rotativos durante la molienda, cuyo residuo generado va entre 18 y 30 kg de cachaza húmeda por tonelada de caña molida (Valeiro et al., 2017).

2.4. VINAZAS

Las vinazas son el residuo de la elaboración del alcohol, esta materia orgánica que sobresale como fertilizante en la industria cañera mundial ya que es rica en una amplia gama de sustancias como: potasio, magnesio, calcio fósforo y nitrógeno (Suárez-Hernández et al., 2017). A su vez provienen de la caña de azúcar y se obtienen de la fermentación y destilación de las melazas; son el principal residuo orgánico en la obtención de alcohol, además de ser una sustancia rica en potasio, calcio y magnesio, cuyo líquido de color de café posee un bajo nivel de pH, con olor dulce y alto contenido de materia orgánica disuelta y en suspensión, además cabe resaltar que por cada litro de alcohol producido se obtienen de 12 a 15 litros de vinaza aproximadamente (Aguilar-Rivera, 2017).

2.4.1. TIPOS DE VINAZA

Según, Zúñiga Cerón y Gandini Ayerbe (2013), en el estudio realizado, en base a la caracterización ambiental de las vinazas, procedente de los residuos de caña de azúcar resultantes de la producción, menciona que existen 2 tipos de vinaza:

Por la materia prima de la que es originada:

- Esta se puede obtener por el jugo de caña de azúcar o a su vez por las mieles de caña de azúcar, la melaza (mieles, jugo o mezcla) procedentes de la caña de azúcar, la remolacha, la cebada, el maíz y la melaza de agave.

Por la concentración de sólidos totales que contengan:

- La vinaza sólida contiene del 99 a 99.9 %, mientras que la vinaza diluida tiene alrededor del 8 a 10% de sólidos totales.
- Las vinazas concentradas poseen del 55 a 60% y las semiconcentradas solo tienen del 20 a 30% de sólidos totales.

2.4.2. COMPOSICIÓN DE LA VINAZA

Las vinazas poseen una composición que depende generalmente de las características de la materia prima la cual es utilizada durante el proceso de producción de alcohol, la melaza es el sustrato utilizado en este caso en la etapa de fermentación, la maduración y variación de la caña de azúcar de estos dependen los componentes finales que contengan las vinazas que son arrojados con alcohol, azúcar, células muertas de levadura, sustancias orgánicas volátiles, sustancias orgánicas insolubles y sustancias inorgánicas solubles que predominan los iones K, Ca y SO_4 (Ortiz, 2018).

Por otro lado, cabe mencionar que la vinaza como tal posee características propias, teniendo una cantidad mínima de azúcares solubles y una cantidad alta de proteínas, por lo mismo que tiene una composición de nutrientes y materia orgánica como: azufre, fosforo, nitrógeno y una cantidad superior de potasio.

Entre los compuestos orgánicos más significativos que tienen las vinazas, están en los alcoholes, ácidos orgánicos y aldehídos; sin embargo, depende de la materia prima que se utilice para determinar la composición química de las vinazas, de las condiciones climáticas, los nutrientes o tipos de suelo que es sembrada la caña de azúcar y el proceso que se lleve a cabo para la producción de alcohol. Señalan Del Pino Machado, Casanova, Hernández, Takata, y Panissa (2017), que las vinazas está compuesta por un 93% de agua, 2% de compuestos inorgánicos entre los que constan; el potasio, fósforo, calcio, nitrógeno, cloruros, sulfatos, etc., así como un 5% de compuestos orgánicos que se volatilizan al ser expuestos a temperaturas $> 65^\circ \text{C}$.

2.4.3. VINAZA: EMISIONES

Según el, Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), en el último siglo se ha venido dando un aumento considerable de la temperatura, en cuyo estudio concluyen que es se deba enormemente a la emisiones hacia la atmosfera de los Gases de Efecto Invernadero (GEI): CH₄ (metano), CO₂ (dióxido de Carbono), HFC (compuestos hidrofluocarbonados), N₂O (óxido nitroso), SF₆ (hexafluoruro de azufre) PFC (perfluorocarbono), los cuales absorben y emiten radiación generando en si una mayor absorción de energía que la emitida dando como resultado la elevación de la temperatura del planeta. Para esto es necesario comprender que las emisiones de gases de efecto invernadero, se miden en unidades equivalentes de CO₂, por ejemplo una molécula del gas metano (CH₄) en la atmósfera, posee el potencial de efecto invernadero unas 21 veces mayor que la de CO₂, mientras que una molécula de óxido nitroso (N₂O) presenta un potencial de al redor de 310 veces mayor según datos del IPCC (Ortiz, 2018).

2.5. DIGESTIÓN ANAEROBIA.

La digestión anaerobia, es una fermentación microbiana producida en total ausencia de oxígeno, en la cual se producen una mezcla de gases, principalmente de CH₄ (50% a 70%) y CO₂ (30% a 50%), además de otras pequeñas cantidades de ciertos componentes como; oxígeno, sulfuro de hidrógeno, nitrógeno, hidrógeno, cuya composición generalmente depende, tanto de la materia prima como la del proceso en sí, lo cual se obtiene como producto principal de la digestión anaerobia el “biogás” (Holm-Nielsen, Al Seadi, y Oleskowicz-Popiel, 2009).

En la crisis energética de los años 70, aumentó el interés por producir metano a partir de residuos sólidos, como una energía sustitutiva ante el futuro agotamiento del petróleo (Yang, Zhang, Zhang, Wang, y Yang, 2015). Actualmente, la digestión anaerobia es una de las técnicas mayormente utilizadas en el campo y en la industria, enfocada a disminuir considerablemente los olores y mejorar la capacidad fertilizante del suelo, dado al aprovechamiento de su alto contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y micronutrientes, aportando grandes beneficios en la agricultura y en actividades de recuperación de tierras degradadas (Liew, Shi, y Li, 2011).

2.5.1. BASES MICROBIOLÓGICAS DEL PROCESO ANAEROBIO.

Durante el proceso de degradación anaerobia bajo la ausencia de oxígeno, existen un sinnúmero de microorganismos que trabajan y degradan en serie o en serie-paralelo, la materia orgánica en la práctica se acostumbra a considerar tres etapas para residuos sólidos o lodos tales como ; hidrólisis, acidogénesis, metanogénesis y dos para residuos líquidos tales como acidogénesis y metanogénesis; sin embargo un enfoque más actual lo constituye en cuatro etapas o niveles tróficos; hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Sträuber, Lucas, y Kleinsteuber, 2016).

Hidrólisis o licuefacción.

En esta etapa los compuestos orgánicos son solubilizados por enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas que actúan en el exterior celular, por tanto, la hidrólisis es la conversión de los polímeros en sus respectivos monómeros, en donde a su vez durante el proceso de fermentación se generan ciertos productos que comprenden diversos ácidos grasos volátiles (Sträuber et al., 2016).

Las principales bacterias involucradas en este proceso son anaerobias estrictas o facultativas y pertenecen a diferentes géneros como: *Clostridium*, *Bacteroides*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Pelobacter* y *Acetobacterium* (Alzate, 2014).

Acidogénesis.

En esta fase los compuestos orgánicos solubles procedente de la hidrólisis, son transformados en ácidos orgánicos tales como; propiónico, acético y butírico, fundamentalmente, dado a que los compuestos generados en la fase anterior tales como; ácido láctico, etanol, ácido pirúvico continúan su degradación a ácidos grasos volátiles (Di Bernardo, Pozzetto, y Rocco, 2017).

Acetogénesis.

Se le conoce también como acidogénesis intermediaria en la cual los productos correspondientes son convertidos en ácido acético, hidrógeno y CO₂, en donde los compuestos orgánicos como; el ácido láctico, propiónico, butírico o etanol pasan a ser oxidados por bacterias acetogénicas a ácido acético (Guerrero, Ortiz, y Rodríguez, 2016).

Metanogénesis.

En esta fase metabólica el CH_4 es producido a partir del ácido acético o de mezclas de H_2 y CO_2 , o a su vez formarse a partir de otros sustratos tales como; ácido fórmico y metanol (Ochoa y Noguera, 2014).

Las cuatro etapas metabólicas que ocurren en los procesos de digestión anaerobia pueden ser representadas según el diagrama siguiente (Figura 2):

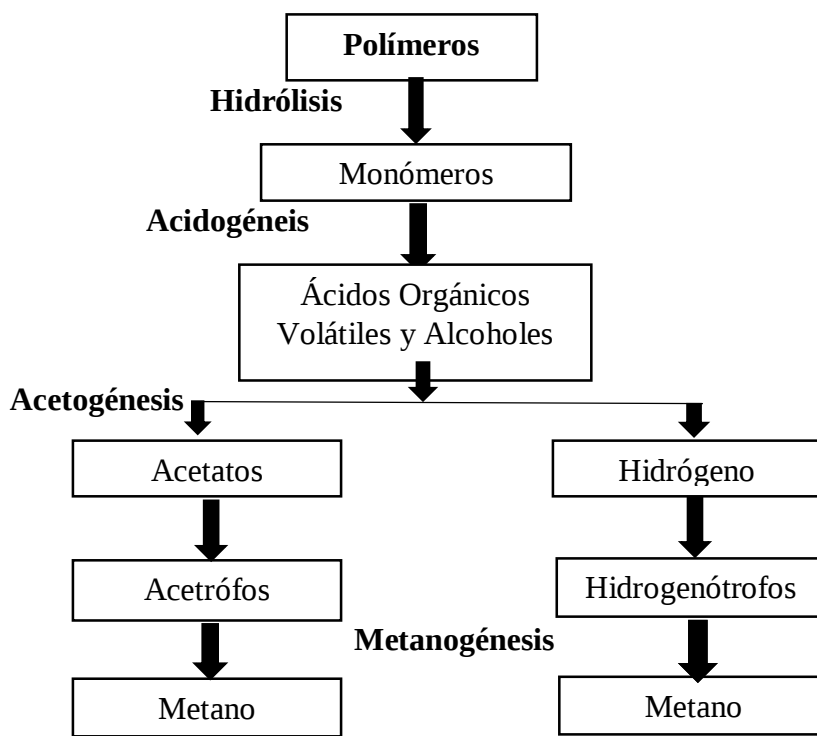


Figura 2. Esquema simplificado de las etapas metabólicas anaeróbicas.

Fuente: (Nestares y Estefan, 2010)

En cada una de estas etapas, hay que recalcar que intervienen un número sustancial de bacterias (Tabla 1), de especies particulares metanogénicas que constituyen el grupo biológico que determina el mayor o menor éxito del proceso dada su baja velocidad de crecimiento y los estrictos requerimientos de bajo potencial Redox (-300 MV) y de pH, así como su alta sensibilidad a la inhibición por presencia de oxígeno molecular.

Tabla 1. Bacterias presentes en cada una de las etapas metabólicas.

Bacterias aisladas en un reactor anaerobio		
Fase No Metanogénica		Fase Metanogénica
Anaeróbicos facultativos	Anaeróbicos estrictos	Anaeróbicos extremos
Lactobacilus	Bacteroides	Methanobacterium
Spirillum	Clostridium	Methanococcus
Klebsiella	Bifidobaterium	Methanospirillum
Anctinomyces	Sphaerophorus	Methanobrevibacter
Vibrio	Fusobacterium	Methanomicrobium
Corynebacterium	Veillonella	
Bacilus	Peptococcus	
Micrococcus	Deulfovibrio	
Pseudomonas		
Alcaligenes		
Sarcina		
Aerobacter		

Fuente: Adaptado de Varela y Grotiuz (2008)

2.5.2. FACTORES FÍSICOS Y QUÍMICOS

Corrales, Romero, Macías, y Vargas (2015) describen que las condiciones que se presenten en el medio ayudaran a que el resultado sea satisfactorio o no para el procesos biológico de la sugestión anaerobia, por ellos es importante el desarrollo de los microorganismos que actúan sobre el sustrato o materia orgánica, por lo tanto es de gran importancia conocer, en qué medida ayudan o no a la biodegradación, para ello es fundamental conocer los diferentes parámetros físicos y químicos siempre están presentes en los procesos anaerobios; siendo los factores principales que influyen en el proceso, los siguientes:

- Composición del residual.
- Temperatura
- Acidez
- Contenido en sólidos
- Nutrientes

- Existencia de cantidades de N y P en el residuo, compatibles con la cantidad de carbono.
- No ocurrencia de sobrecargas orgánicas o tóxicas además del límite soportable por el proceso.

2.5.3. COMPOSICIÓN DEL RESIDUAL

Dependiendo de las sustancias que conformen la materia residual (orgánica o inorgánica), así será su biodegradación anaerobia, dado que se ha demostrado que mientras más complejo es la materia orgánica o residual, produce más ácidos grasos volátiles y el rendimiento de CH_4 es mayor, por otro la se puede decir que el rendimiento de gas en base a kg de sólidos volátiles (SV) destruidos y no totales ya que no todos los SV son biodegradables, es decir, que no todos van a producir biogás, además de tener en cuenta que alrededor de un 10 % de la materia orgánica consumida es empleada en la síntesis celular (Corrales et al., 2015).

Tabla 2. Rendimiento de gas metano para diferentes sustratos.

Componente	% CH_4	m^3/kg SV destruido
Carbohidratos ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)	50	0,886
Grasas ($\text{C}_{50}\text{H}_{90}\text{O}_6$)	70	1,335
Proteínas ($6\text{C}.2\text{NH}_3.3\text{H}_2\text{O}$)	84	0,587

Fuente: Adaptado de Carmona, Vergara, y Giraldo (2005)

2.6. BIOGÁS

Es una mezcla gaseosa formada principalmente por metano y dióxido de carbono, lo general el biogás es el producto gaseoso, procedentes de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos, cuya composición, que depende generalmente del sustrato digerido, condiciones de operación o del tipo de tecnología implementada, cuyos porcentajes o concentraciones puede ser :50 a 70% de metano (CH_4), 30 a 40% de anhídrido carbónico (CO_2) y $\leq 5\%$ de hidrógeno (H_2), ácido sulfhídrico (H_2S), entre otros gases (Pinto-Ruiz et al., 2017). Por otro lado, cae mencionar que, debido a su alto contenido en metano, tiene un poder calorífico

ciertamente mayor que la del gas natural, por otra parte, otros autores definen al biogás como la combinación entre metano y otros gases no combustibles, cuya mezcla variará en su composición, dependiendo de la materia prima utilizada para su producción (Souza y Schaeffer, 2013).

La producción de biogás por descomposición anaeróbica, es uno de los métodos mayormente hoy en día para tratar residuos biodegradables, dado a que se puede aprovechar como combustible y abono genérico, dentro de sus posibles aplicaciones es el producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, o para generar calor en hornos, secadoras, estufas, calderas u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptadas para este tipo de combustible (Acosta y Abreu, 2005). Dado que el potencial calórico inferior del biogás es aproximadamente de 5250 kcal/m^3 , para una riqueza en metano de 60 %, sin embargo, cae mencionar que el aprovechamiento del biogás producido por los digestores sólo presenta interés económico, siempre y cuando se trate de grandes plantas ya que se puede generar energía hasta 20000 habitantes, sin embargo, resulta un problema, cuando se trata de pequeñas instalaciones, dado a su manejo y operación de las mismas , sin embargo estas pueden satisfacer necesidades básicas, en comunidades pequeñas, como en cocinas o en alumbrados (Plúa, Elena, García, y Corina, 2016).

En la tabla se muestran valores medios de composición del biogás en función del substrato utilizado.

Tabla 3. Componentes del biogás en función del sustrato utilizado.

Componente	Residuos agrícolas	Lodos de depuración	Residuos industriales	Gas de vertedero
Metano	50-80 %	50-80 %	50-70 %	45-65 %
Dióxido de carbono	20-50 %	20-50 %	30-50 %	34-55 %
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2 %	0-5 %	0-2 %	0-1 %
Sulfuro de hidrógeno	100-700 %	0-1 %	0-8 %	0.5-100 ppm
Amoníaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Monóxido de carbono	0-1 %	0-1 %	0-1 %	Trazas
Nitrógeno	0-1 %	0-3 %	0-1%	0-20 %
Oxígeno	0-1%	0-1 %	0-1 %	0-5 %
				5 ppm
Compuestos orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	(terpenos, ésteres)

Fuente: Adaptado de Montes Carmona (2008)

2.6.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BIOGÁS

La composición del biogás, esta fundamentalmente constituida por metano (CH_4), cuyos porcentajes oscilan entre un (50% a un 70%), y el otro resultante de dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas proporciones de otros gases como el hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S), que son un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica dada en la naturaleza (Molina Betancourt, 2012).

Según Cendales Ladino y Jiménez Castellanos (2014), constituyen una de las cadenas de microorganismos las bacterias metanogénicas encargadas en digerir la materia orgánica y devolver los elementos básicos al medio para reiniciar el ciclo, dado que se estima que anualmente gracias a la actividad microbiológica, se libera a la atmosfera alrededor de 590 y 880 millones de toneladas de metano.

2.6.2. RELACIÓN BIOGÁS-CLIMA

Dado a la actual problemática de la afectación de la capa de ozono y el incremento del efecto invernadero “Kaspersen”, hace referencia que hay que enmarcar una relación del biogás con el clima, como una alternativa sostenible y económicamente viable para hacer frente ante el evidente cambio climático, sin embargo en muchos de los países, ya sea por dificultades, como la falta de capacidad económica para adquirir o difundir la tecnología, o bien por cuestiones inherentes a las formas, en que se maneja la producción agrícola y al no ser recogidos y procesados los desechos de cosechas, en otras palabras no aprovechados, pueden ocurrir fermentaciones de forma natural (Kaspersen et al., 2016), dado a que al descomponerse la materia orgánica y producirse biogás, significa un ingreso sustancial hacia la atmósfera de metano, junto al dióxido de carbono, elementos que incrementan el sobrecalentamiento de la atmósfera y, por ende, afectan a la larga el clima en el planeta, dado a que ambos gases se encuentran dentro del conjunto de los denominados gases de efecto invernadero, es por ello que resulta favorable el aprovechamiento del metano y combustión de tal forma que se aproveche su potencial energético, en lugar de dejarlo escapar hacia a la atmósfera, de tal forma que se logre contribuir en cierta medida a reducir el calentamiento global de la tierra (Untenecker, Tiemeyer, Freibauer, Laggner, y Luterbacher, 2017).

2.7. METANO

El metano es uno de los principales gases del efecto invernadero, cuyo efecto negativo sobre el calentamiento del planeta, según diversos estudios resulta 21 veces mayor que el del dióxido de carbono, además cabe mencionar que, en la época actual, el metano ocupa el 20% de los gases de invernadero que se producen por acción humana siendo sus principales fuentes de emisión; los combustibles fósiles, las explotaciones agropecuarias y los vertederos (Bravo, Acevedo, y Jaramillo, 2016), sin embargo últimamente han sonado las alarmas que el calentamiento global iniciara, con la liberación rápida de enormes cantidades de metano, almacenadas en el Ártico, debido en gran parte al descongelamiento del permafrost e hidratos de metano bajo las aguas, lo que podría desencadenar un calentamiento apocalíptico por lo cual resulta importante tratar de reducir al máximo la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, evitando así el derretimiento desmesurado de los casquetes polares (Pogo Correa, 2016).

2.8. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DEL BIOMETANO

El biometano puede sustituir al combustible vehicular GNV (Gas Natural Vehicular) sin perjudicar la potencia del vehículo y sin grandes modificaciones en los equipamientos. Podrá ser utilizado también en sistemas de refrigeración industrial, equipos de tratamiento térmico, estufas y hornos industriales, equipos de calefacción, climatización, combustible agrícola, motores de combustión interna, turbinas, etc. Además, podrá ser utilizado para producir hidrógeno (H_2), excelente recurso para células de combustible (Junqueira et al., 2016).

En el proceso de purificación del biogás y conversión de este para biometano se retira el dióxido de carbono (CO_2) hasta que el porcentaje de metano quede próximo a del gas natural, para que pueda ser utilizado en los mismos usos finales. Existen diversos disolventes que pueden ser utilizados. Tratándose de solubilidad, el polietileno glicol viene siendo utilizado debido a la alta solubilidad del dióxido de carbono y del sulfuro de hidrógeno (H_2S), este último también presente en el biogás en bajas concentraciones (Magalhães, 2004).

La mayoría de los biodigestores produce un biogás que contiene entre 0,3 a un 3% de sulfuro de hidrógeno que puede ser eliminado por un filtro compuesto de óxido de hierro (Souza y Schaeffer, 2013). La filtración del sulfuro de hidrógeno, entre otros componentes, es necesaria para la utilización eficiente, aumento del poder calorífico, concentración de metano y no agresión a las partes metálicas de motores y equipamientos de quema (Rutz, 2007).

2.9. MARCO LEGAL.

2.9.1. Constitución de la República del Ecuador.

La Constitución es la ley que prevalece sobre un estado. Es la ley suprema, que contiene de forma general todas las normas fundamentales, la cual le da forma y consistencia jurídica. Todas las leyes, reglamentos y normas jurídicas en general deben coincidir con los principios fundamentales que se establecen en la constitución, ninguna de ellas puede estar en contra a la constitución del Ecuador (Constitucional, 2008).

- TÍTULO VII. RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR.
 - Capítulo segundo: Biodiversidad y recursos naturales.
 - Sección primera Naturaleza y Ambiente.
 - ✓ Art.396, art.397, art.398, art.399.
 - Sección cuarta Recursos naturales.
 - ✓ Art.408.
 - Sección sexta Agua.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

2.9.2. Código Orgánico del Ambiente (COA).

Libro tercero de la Calidad ambiental

CAPÍTULO V: Calidad de los Componentes Abióticos y Estado de los Componentes Bióticos.

Artículo 196.- Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto.

Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública.

Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades competentes en la materia.

Artículo 197.- Actividades que afecten la calidad del suelo. Las actividades que afecten la calidad o estabilidad del suelo, o que puedan provocar su erosión, serán reguladas, y en caso de ser necesario, restringidas. Se priorizará la conservación de los ecosistemas ubicados en zonas con altas pendientes y bordes de cuerpos hídricos, entre otros que determine la Autoridad Ambiental Nacional.

CAPITULO III: Gestión Integral de Residuos y Desechos Peligrosos y Especiales

TÍTULO VI

Producción y Consumo Sustentable.

Artículo 243.- Objeto. La Autoridad Ambiental Nacional impulsará y fomentará nuevos patrones de producción y consumo de bienes y servicios con responsabilidad ambiental y social, para garantizar el buen vivir y reducir la huella ecológica.

El cumplimiento de la norma ambiental y la producción más limpia serán reconocidos por la Autoridad Ambiental Nacional mediante la emisión y entrega de certificaciones o sellos verdes, los mismos que se guiarán por un proceso de evaluación, seguimiento y monitoreo.

Artículo 244.- Medidas preventivas. Las instituciones del Estado adoptarán las medidas y acciones preventivas necesarias fundamentadas en el uso de tecnologías limpias, considerando el ciclo de vida del producto y el fomento de hábitos de producción y consumo sustentable de la población. Se generarán buenas prácticas ambientales en las instalaciones.

Artículo 245.- Obligaciones generales para la producción más limpia y el consumo sustentable.

Todas las instituciones del Estado y las personas naturales o jurídicas, están obligadas según corresponda, a:

1. Incorporar en sus propias estructuras y planes, programas, proyectos y actividades, la normativa y principios generales relacionados con la prevención de la contaminación, establecidas en este Código;
2. Optimizar el aprovechamiento sustentable de materias primas;
3. Fomentar y propender la optimización y eficiencia energética, así como el aprovechamiento de energías renovables;
4. Prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes al ambiente, considerando el ciclo de vida del producto;
5. Fomentar procesos de mejoramiento continuo que disminuyan emisiones;

6. Promover con las entidades competentes el acceso a la educación para el consumo sustentable;
7. Promover el acceso a la información sobre productos y servicios en base a criterios sociales, ambientales y económicos para la producción más limpia y consumo sustentable;
8. Coordinar mecanismos que faciliten la transferencia de tecnología para la producción más limpia;

Artículo 246.- Compras públicas sustentables. La Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con la entidad rectora de compras públicas y demás autoridades competentes, deberá armonizar e implementar criterios ambientales en los procedimientos de compras públicas, con el fin de fomentar la transacción de bienes, servicios y obras enmarcadas en el desarrollo sostenible, así como los mecanismos que permitan la protección de la naturaleza (COA, 2018).

2.9.3. Acuerdo Ministerial 097 límites permisibles.

Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce

Dentro del límite de actuación, los municipios tendrán la facultad de definir las cargas máximas permisibles a los cuerpos receptores de los sujetos de control, como resultado del balance de masas para cumplir con los criterios de calidad para defensa de los usos asignados en condiciones de caudal crítico y cargas contaminantes futuras. Estas cargas máximas serán aprobadas y validadas por la Autoridad Ambiental Nacional y estarán consignadas en los permisos de descarga.

Ante la inaplicabilidad para un caso específico de algún parámetro establecido en la presente norma o ante la ausencia de un parámetro relevante para la descarga bajo estudio, la Autoridad Ambiental Nacional deberá establecer los criterios de calidad en el cuerpo receptor para los caudales mínimos y cargas contaminantes futuras. La carga máxima permisible que deberá cumplir el sujeto de control será determinada mediante balance de masa del parámetro en consideración.

La Entidad Ambiental de Control determinará el método para el muestreo del cuerpo receptor en el área de afectación de la descarga, esto incluye el tiempo y el espacio para la realización de la toma de muestras (MAE, 2015).

Tabla 4. Límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce.

LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE			
Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 mL	2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	200
Fósforo Total	P	mg/L	10,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/L	30,00
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	50,0
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	130
Sólidos totales	ST	mg/L	1 600
Temperatura	°C		Condición natural ± 3

Fuente: Acuerdo Ministerial 097.

CAPÍTULO III

3.METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN.

El proyecto de investigación se llevó a cabo en la Universidad Estatal Amazónica (UEA) ubicada en la ciudad de Puyo, en la Provincia de Pastaza en el Km. 2. 1/2 vía Puyo a Tena (Paso Lateral).

La destilería “Rivera Revilla Fray Ángel” se encuentra ubicada en la comunidad “La Mariscal” en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz que a la vez esta se encuentra ubicada al norte del Cantón Pastaza, sus límites son: Al Norte con la Parroquia San José del cantón Santa Clara, al Sur con la Parroquia Fátima, Diez de Agosto, El Triunfo, al Este con la Parroquia El Triunfo, y al Oeste con la Parroquia Mera del Cantón Mera. (Ortiz, 2011)

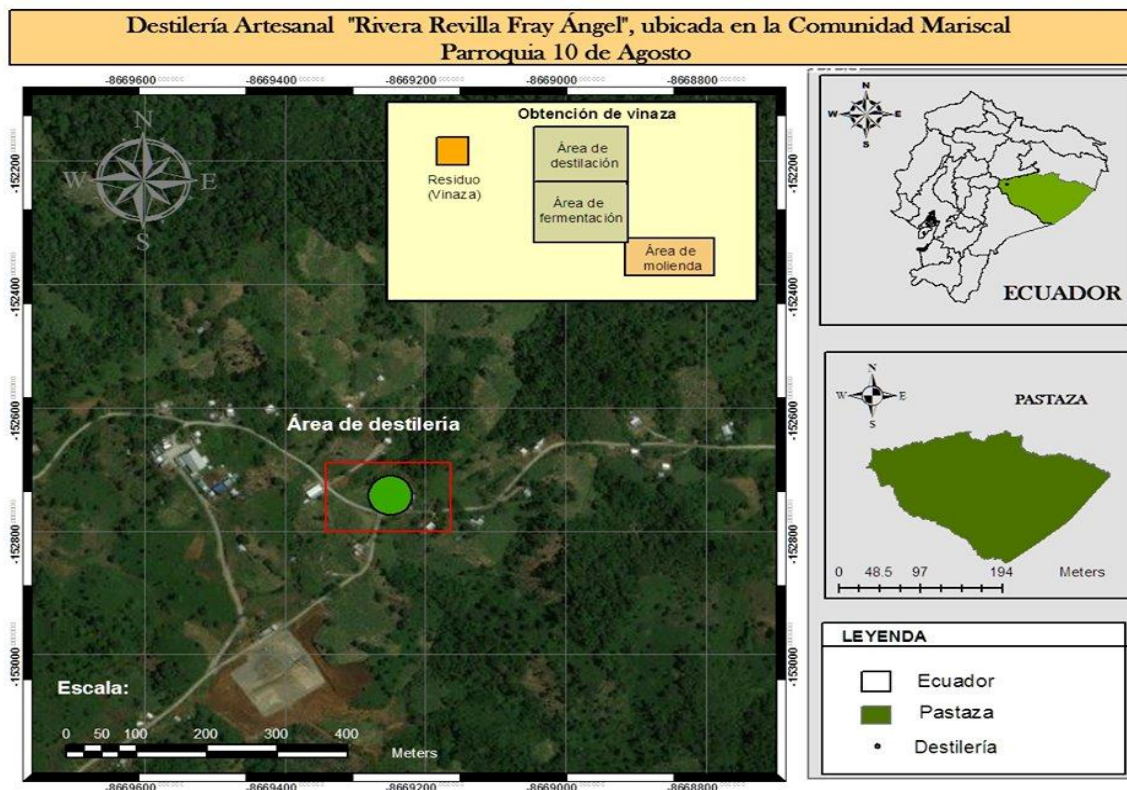


Figura 3. Ubicación del área de estudio donde se realiza el proceso de destilación.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El presente proyecto se orientó a realizar dos tipos de investigación: experimental y exploratoria.

Experimental: en este tipo de investigación se trató con variables experimentales que aún no han sido comprobadas, se analizó las posibles causas de por qué se dio tal acontecimiento.

Exploratoria: al realizar este tipo de investigación se hizo un análisis concreto de la realidad que básicamente no han sido analizados en profundidad, es un primer acercamiento que nos permitió basarnos en revisión bibliográfica de temáticas parecidas (Martínez Ruiz y Ávila Reyes, 2010).

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

- Método cuantitativo.
- Método analítico.

3.4. MATERIALES Y EQUIPOS

MATERIALES DE LABORATORIO.

- Papel filtro.
- Agua destilada.
- Crisoles 50 mL
- Recipientes de aluminio.
- Matraz aforado.
- Probeta.
- Kitasatos 500 mL
- Vaso de precipitación 500 mL.
- Mortero.
- Agitadores.
- Matraces cónicos.
- Pipetas.

EQUIPOS DE LABORATORIO

- Mufla.
- Plancha de calentamiento con agitador magnético.
- Balanza analítica.
- Termostato.
- Espectrofotómetro UV-Vis.

REACTIVOS.

- Molibdato de amonio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$.
- Metavanadato de amonio (NH_4VO_3) .
- Disolución estándar de fósforo.
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) .
- Ácido clorhídrico (HCl) .
- Ácido bórico. (H_3BO_3) .

MATERIALES EXPERIMENTALES.

- 3 botellas de vidrio.
- Dos mangueras.
- Once abrazaderas.
- Tres tapones.
- Dos tinas de plástico.
- Dos válvulas.

3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

3.5.1. TRABAJO DE CAMPO.

En el trabajo de campo se realizó la toma de muestras, tanto de la vinaza resultante de la destilación como del inóculo utilizado para la digestión anaerobia. Posteriormente, se procedió a realizar la cuantificación de las vinazas que se generan en la destilería.

3.5.2. TOMA DE MUESTRAS.

Las muestras de vinaza se colectaron directamente de la tubería de salida, una vez culminado el proceso de destilación (muestreo puntual, de forma manual). Se recolectó en un recipiente de plástico de 5 L e inmediatamente se colocó en una refrigeradora de campo transportable a una temperatura 5 a 7 °C (Ecuatoriana, 2013).

3.5.3. CUANTIFICACIÓN DE VINAZAS GENERADAS EN LA DESTILERÍA.

Se calculó el volumen de las vinazas generadas en la destilería utilizando un tanque de 100 L, el cual se colocó en la tubería de salida de la vinaza resultante, en un día se realizó el control de generación de vinaza por cuatro veces consecutivas y a la semana los procesos de

destilación se realizaron los días lunes, miércoles y viernes durante 1 mes. Se tomó en consideración la cantidad de materia prima que ingresaba para la realización de la fermentación, esto se colocó en un tanque de 360 L.

3.5.4. TRABAJO EN LABORATORIO.

En el trabajo de laboratorio se realizó los análisis respectivos para la caracterización de las vinazas, se determinó la producción de biogás y metano mediante la digestión anaerobia. En el laboratorio de física se hizo el montaje del diseño experimental para medir el desplazamiento volumétrico del biogás y metano.

3.5.4. CARACTERIZACIÓN DE LAS VINAZAS.

Se determinó la carga contaminante presente en las vinazas de residuos de caña, para ello se midió los siguientes parámetros físico-químicos:

Fósforo:

Disolución estándar (patrón de fósforo):

1. Se tomó 10 mL de la disolución de 1000 mg/L de fósforo, se lo llevo a 10 mL con ácido nítrico 0.1 mol para obtener el patrón de fosforo.

Procedimiento analítico:

1. Se añadió a la muestra de vinaza 20 mL de disolución ácida (H_2SO_4 0.02 M +HCl 0.05 M) y se agitó magnéticamente durante 5 min a temperatura ambiente.
2. Se realizó la filtración a través de un papel filtro en el que se colocó 0.2 g de carbón activado.
3. Se tomó 0.5 mL del filtrado más 4 mL de agua destilada más 0.5 mL del reactivo para el desarrollo del color (por triplicado).
4. Se elaboró la curva de calibración tomando los siguientes datos de la disolución del patrón de fósforo de 10 mg/L, (se añadió 0,5mL del reactivo para el desarrollo del color y se completó con agua destilada hasta 5 mL se agitó y se esperó 15 min para que se torne a un color verdoso (Cáñez-Carrasco y García-Alegría, 2015).

Sólidos Suspendidos Totales (SST):

Procedimiento analítico:

1. Se realizó 3 repeticiones tomando 100 mL de muestra del biodigestor piloto.
2. Antes de utilizar la muestra se la agitó para que esta sea homogénea. Una vez agitada la muestra, se tomó 100 mL del residuo de vinaza.
3. La cápsula para entonces se mantuvo en el desecador, se utilizó una pinza metálica para retirarlas, se evitó el contacto con las manos ya que estas podían ceder humedad lo que repercutiría en el pesado (Sierra, Bertel, y Barrios, 2013).
4. Se ubicó en las cápsulas los 100 mL de vinaza y se introdujo en la estufa a una temperatura de 104 °C, por una hora, hasta que el agua se haya eliminado (Leite et al., 2015).
5. Se enfrió la cápsula en el desecador por 15 minutos para después ser pesadas
6. Para el cálculo de los sólidos totales se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Sólidos totales} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(B - A) * 1000 \frac{mg}{g}}{V} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

A: peso de la cápsula, g.

B: peso de la cápsula + residuo después de la evaporación 103-105 °C, g.

V: volumen de la muestra.

Sólidos volátiles (SV)

Procedimiento analítico:

1. Al sustrato de vinaza colocado en el biodigestor piloto se calculó el porcentaje de sólidos volátiles con el fin de determinar la cantidad de materia orgánica que aportará a la digestión anaerobia (España-Gamboa et al., 2017).
2. La medición de sólidos volátiles se llevó a cabo secando las muestras a 105 °C por 24 horas y luego llevándolas a una mufla a 550 °C por otras 24 horas, de esta manera los compuestos volátiles se calcularon por diferencia de peso.
3. Una vez que el porcentaje de sólidos volátiles de los sustratos y del inóculo se determinó, se procedió a hacer el cálculo para estimar cuanto sustrato se debe

adicionar respecto al inóculo con el fin de tener una relación 1:6 de sólidos volátiles de sustrato respecto a los sólidos volátiles de inóculo en el reactor.

4. La cantidad pesada de cada inóculo y sustrato debe ser reportada con exactitud ya que a partir de estos valores se calcula el rendimiento de la digestión para cada gramo de sustrato (Nakasima-López, Taboada-González, Aguilar-Virgen, y Velázquez-Limón, 2017).

$$\text{Sólidos volátiles totales } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(B - C) * 1000 \frac{mg}{g}}{V} \text{ Ecuación (4)}$$

Donde:

B: peso de la cápsula, g.

C: peso de la cápsula + el residuo de la combustión a 550°C en la mufla, g.

V: volumen de la muestra, L.

Nitrógeno:

1. La digestión se realizó con un ácido fuerte generalmente con H₂SO₄ esta mezcla azeotrópica embulle a 330°C de manera tal que permite la conversión más rápida, se añadió una sal de sulfato para que incremente el punto de ebullición del H₂SO₄.
2. Se pesó 1,1 g de catalizador de Missouri bajo contenido de cobre y se añadió 3 mL de H₂SO₄ más 3 mL de muestra de vinaza, todo esto se colocó en un matraz de balón,
3. Se procedió a realizar una mezcla homogénea, luego se llevó a la muestra preparada a la estufa por 2 horas a 200°C, se hizo un control de la muestra cada media hora. Después se la dejó enfriar totalmente a temperatura ambiente.
4. Al matraz de balón de destilación se le agregó 10 mL de agua destilada y 10 mL de NaOH, en un vaso de precipitación se agregó 10 mL de Ácido Bórico más tres gotas de la solución preparada de Tashiro, se la colocó en el destilador,
5. La muestra pasó a digerirse durante 30 min adicionales. A medida que continuaba la digestión, las muestras de color o turbias se volvían transparentes y de color verde pálido (Sierra et al., 2013).

Potencial de hidrógeno pH - *Standard Methods 4500 H+B*.

La medición de pH se realizó con un pH-metro digital, marco o modelo X en un período de 5 – 15 minutos después de recolectada cada muestra simple.

Temperatura: Este parámetro se midió con un termómetro de inmersión parcial -20 a 150°C.

Materia Orgánica – Carbono (C):

La materia orgánica se calculó a partir del % de sólidos volátiles y totales. La ecuación 3 muestra, la relación y método de cálculo de la misma:

$$MO (\%) = \frac{SV}{ST} * 100 \text{ Ecuación (3)}$$

Donde:

MO= Materia Orgánica, %

SV=Sólidos Volátiles, %

ST=Sólidos Totales, %

A partir del porcentaje de materia orgánica se estima el % Carbono, pues según (SSL, 2004) recomienda utilizar un factor de corrección igual a 1.724, asumiendo que la materia orgánica tiene 58% de carbono orgánico.

3.6. DETERMINACIÓN DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y METANO.

1. Para medir el volumen de gas desplazado, se utilizó un sistema de desplazamiento líquido como el de la figura 4, el líquido de la botella es una solución de NaOH al 5 %. Como el biogás pasa a través de esta solución de elevado pH, mediante burbujeo, el CO₂ es absorbido en el líquido y solo el metano pasa a través de él, y un volumen equivalente del gas es desplazado de la solución de NaOH, el mismo que sale por una manguera adaptada y es recolectada en un kitasato graduado, sumergido en H₂O.
2. La solución debe ser lo suficientemente concentrada de modo que se asegure que todo el CO₂ sea absorbido en la solución alcalina (García Salazar y Intriago Zambrano, 2019).

- Para determinar el potencial de biometano (PBM), se empleó la ecuación 4, y se calculó en función de los gramos de sólidos volátiles consumidos en el biodigestor durante los días en funcionamiento.

$$PBM = \frac{mL \text{ de } CH_4 \text{ producidos}}{g \text{ SV consumidos}} \text{ Ecuación (4)}$$

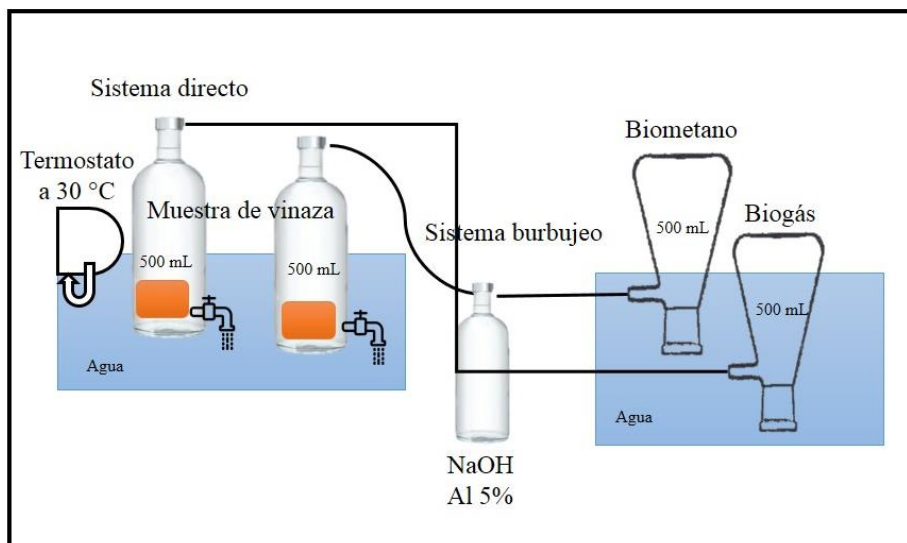


Figura 4. Diseño del experimento empleado en el biodigestor discontinuo.

Fuente: Elaboración propia.

Unidad experimental

La unidad experimental consistió en 2 biodigestores a escala de laboratorio de 500 mL cada uno. Cada biodigestor debía estar a una temperatura de 30 °C. El seguimiento de la producción de biogás y biometano se realizó a partir de un medidor de gas por 30 días para ello se utilizó dos kitsatos de 500 mL en donde se midió el desplazamiento del biogás y metano (García Rodríguez y Gómez Franco, 2016).

3.7. DETERMINACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA PROVENIENTE DE LOS RESIDUOS DE VINAZA EN LA DESTILERÍA ARTESANAL

Para determinar el aprovechamiento de la energía se realizó un análisis de metano y biogás generado en el biodigestor piloto, lo cual se comparó con el potencial de biogás y metano

que han generado otros autores. Además, este objetivo se basó en criterios bibliográficos obtenidos de la literatura científica.

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. CUANTIFICACIÓN DE LAS VINAZAS GENERADAS DIRECTAMENTE EN LA DESTILERÍA.

El volumen de la vinaza generada en la destilería se estimó a partir de la materia prima que ingresa para el proceso de destilación es de 360 L donde sale 40 L de alcohol y 320 L de residuo de vinaza. En un día se realiza 4 veces el proceso de destilación lo que nos da un total de 1280 L/día de vinaza generada. El proceso se realiza tres veces por semana, por lo que la generación mensual sería de 15360 L de residuo de vinaza vertidas en las fuentes hídricas aledañas.

Tabla 5. Cuantificación de la vinaza resultante de la destilación de alcohol en la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”.

Vinazas Generadas					
Procesos de destilación por día	Día 1	Día 2	Día 3	Total semana	Total mes
Unidades	L/día	L/día	L/día	L/semana	L/mes
1	320	320	320	960	3840
2	320	320	320	960	3840
3	320	320	320	960	3840
4	320	320	320	960	3840
TOTAL	1280	1280	1280	3840	15360

Fuente: Elaboración propia.

Las cantidades de vinazas obtenidas están en el rango que propone la literatura pues según estadísticas del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador por cada litro de alcohol producido se generan alrededor de 10 litros de vinaza y en el año 2008 se generaron

aproximadamente 1'300.000 toneladas de bagazo, 140.000 toneladas de cachaza, 35.000 toneladas de ceniza y 510.000 m³ de vinaza (CENICAE, 2013), y en nuestro caso se generan 8 L, cantidades ligeramente inferiores. Por otra parte, datos del Ministerio de Industrias y Productividad en el Ecuador argumenta que anualmente se produce un aproximado de 51'000.000 litros de alcohol , y que es responsable de casi el 70% de la contaminación a la fauna y flora ocasionada por las destilerías ubicadas en diferentes regiones del país (Cobos, Ortiz, Acevedo, y Guerra, 2007).

4.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS VINAZAS.

La tabla 6 detalla las características de las vinazas dadas al inicio del proyecto, los mismos que han sido tomados sin modificaciones del rango habitual de su naturaleza, se realizó la comparación bibliográfica con dos destilerías según Camacho y Duharte (2018) donde los resultados obtenidos de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel” detallan la similitud de los parámetros con diferentes destilerías los cuales son parámetros naturales de la composición de la vinaza dándonos pequeñas diferencias significativas pero que nos dan un 95 % de confiabilidad.

Tabla 6. Comparación de la caracterización de vinazas con diferentes destilerías.

Caracterización del resultado de las vinazas				
		“Rivera Revilla Fray Ángel”	CAI Argeo Martínez	CAI Arquímedes Colina
Parámetros	Unidades	Destilería de Estudio (Camacho y Duharte, 2018)		
pH		4,5	3,95	4,35
SV	g/L	58,2	33,43	40,95
ST	g/L	65,45	42,87	47,6
MO	%	88,9	78,0	86,0
C	%	51,6	45,2	49,9
C/N		18,4	6,2	7,8
P	mg/L	3,07	10,23	12,5
N	%	2,8	7,3	6,4
T	°C	92	98,3	98,5

Fuente: Elaboración propia

Los resultados pueden variar de acuerdo a la materia prima que se utilice, tanto como a las condiciones climáticas, la composición del suelo y los procesos a los que se somete para la elaboración del etanol (Valdés, 2007).

La relación SV / ST indica que la mayor parte de los sólidos va a estar asociada a los sólidos totales volátiles, lo cual corrobora el gran contenido de materia orgánica que posee este residual, a pesar de no haberse realizado dicho análisis (Lezcano y Mora, 2006).

En la tabla 6 podemos observar que el carbono se encuentra en concentraciones altas de las vinazas generadas en las tres destilerías, lo cual se ve obligado a una adecuada disposición de este desecho para que no genere un daño al medio ambiente.

Los análisis realizados de sólidos volátiles y sólidos totales permiten determinar la cantidad de materia orgánica (MO) presente en el sustrato de vinaza, como se puede observar los datos se encuentra sobre el 70 %, y es posible determinar que habrá una buena digestión biológica

en el análisis inicial. Así la materia orgánica puede ser aprovechada en un sistema controlado con biodegradación anaeróbica, como el que se está utilizando en este estudio para la producción de metano lo cual sería utilizado como energía alternativa (Rodríguez et al., 2017).

El nitrógeno obtenido se encuentra en bajas concentraciones en comparación con las otras destilerías ya que su entorno natural no contiene todos los productos naturales, como los péptidos, proteínas, los aminoácidos, entre otros nutrientes que aporta para la calidad del suelo (Molina Betancourt, 2012).

Se puede observar, que las vinazas generadas en la destilería del presente estudio tienen un bajo contenido de nitrógeno (N), lo cual será beneficiosos para el sistema, esto no va a permitir que el proceso que se inhibe en el principio debido a la generación de amoníaco libre, derivado de la degradación de las proteínas.

La relación C/N, es uno de los factores determinantes en la producción de metano ya que si esta relación es de valores bajos el riesgo por exceso de nitrógeno se incrementa y, por ende, la inhibición del proceso, mientras que valores altos indican deficiencia de nitrógeno para la síntesis de la biomasa.

Específicamente, la relación C/N de las vinazas es de 18.4 un valor inferior al rango de valores de C/N sugerido (entre 20-30), ya que si estuviese en este rango presentaría valores positivos e incrementaría el rendimiento y el potencial de metano por lo que estos residuos son capaces por si solos de mantener el proceso de digestión anaerobia, las elevadas relaciones de SV/ST garantizan disponibilidad de materia biodegradable para la producción de metano (Montenegro Orozco, Rojas Carpio, Cabeza Rojas, y Hernández Pardo, 2016).

4.3. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS PARA GENERAR EL BIOMETANO MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA.

Esto se logró mediante análisis físico-químicos obtenidos en los laboratorios con ayuda de revisión literaria para determinar la producción de biogás y metano del sustrato de vinaza utilizado en un biodigestor escala laboratorio.

4.3.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) Y TEMPERATURA

Las vinazas tienen una temperatura de alrededor de 92 °C y pH entre 4.5 en su estado natural, la temperatura en el análisis final alcanzó 30 °C que es la temperatura que tenía el biodigestor piloto para un mayor crecimiento microbiano y el pH finalizó en 7.5. Los límites permisibles que nos da el Acuerdo Ministerial 097 sobre la temperatura es los °C en la condición original que sea obtenida la muestra de la vinaza al salir de la etapa de destilación, y dice la norma sobre los límites permisibles del pH que pueden ser vertidos si tienen un rango de 6-9. Los parámetros naturales de la temperatura y pH obtenidos de las vinazas ocasionan contaminación severa al medio ambiente al ser arrojados a un cauce hídrico sin un pretratamiento.

Tabla 7. Caracterización de la vinaza en función del pH y la temperatura.

Parámetros	Unidades	Inicial	Final
pH	-	4.5	7.5
Temperatura	°C	92	30

Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento que tiene el pH en el proyecto realizado es similar a los resultados obtenidos en el lapso de 15 días del experimento donde posee un rango de 7.0 a 8.2, pero a inicios del estudio tenía un pH de 3.5-5 siendo un contaminante dañino aproximadamente cien veces mayor que el de las aguas residuales domésticas

Según Morero, Groppelli, y Campanella (2011) la digestión anaerobia puede ser alterada por cambios en los niveles de pH que se encuentran fuera de rango. La regulación del pH en el rango deseado se logra agregando regularmente a la mezcla materiales alcalinos, tales como cal o cenizas.

La temperatura es un parámetro fisicoquímico importante dentro del estudio que afecta directamente al proceso de digestión anaerobia, el rango permisible para obtener el crecimiento máximo de los microorganismos metanógenos (Cendales, 2011). Permaneció

durante 32 días con termostato y fueron controlados a 30 ± 1 °C de temperatura en condiciones mesofílicas (Sanabria, 2012).

4.3.2. FÓSFORO

En las muestras de vinazas recolectadas se encontró que los valores del fósforo inicial 3.079 mg/L y final es de 5.625 mg/L por lo que es un rango de variación aceptable ya que no difiere su concentración obtenido al no sobrepasar los límites permisibles planteados en el Acuerdo Ministerial 097, los cuales son de 10.00 mg/L.

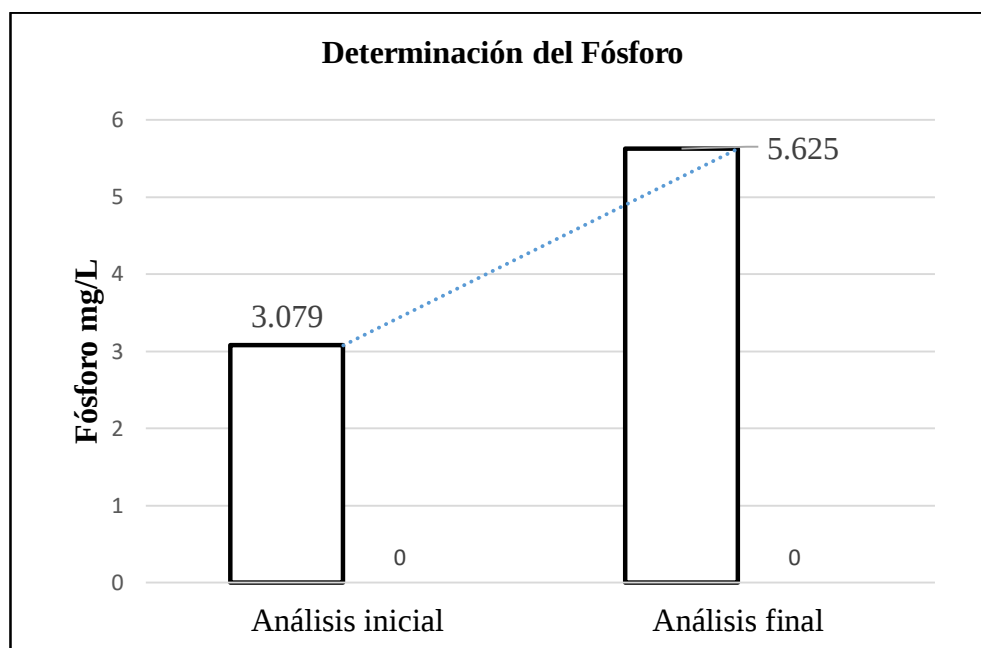


Figura 5. Medición del fósforo (P).

Fuente: Elaboración propia.

Mediante los resultados obtenidos notamos que no se encuentra muchas concentraciones de fósforo porque los suelos de la zona donde está ubicada la destilería son pobres de este elemento (López Pérez y R., 2000). Por otra parte, los contenidos de carbono orgánico altos y teniendo contenido de nitrógeno moderados se puede ayudar a que la vinaza de la destilería combinadas con otros materiales ricos en fósforo para la elaboración de compost, en si el nivel de fósforo obtenidos no altera el proceso de producción de biometano (Sánchez, 1994).

4.3.3. NITRÓGENO.

Los resultados obtenidos de nitrógeno (N) no son tan significativos, los cuales al iniciar con los análisis obtuvimos 2.80 % N y al finalizar disminuyó un 0.70 % quedando 2.10 % de N, los cuales son niveles inferiores a los límites permisibles dados en el Acuerdo Ministerial 097 que establece hasta 50.00 mg/L.

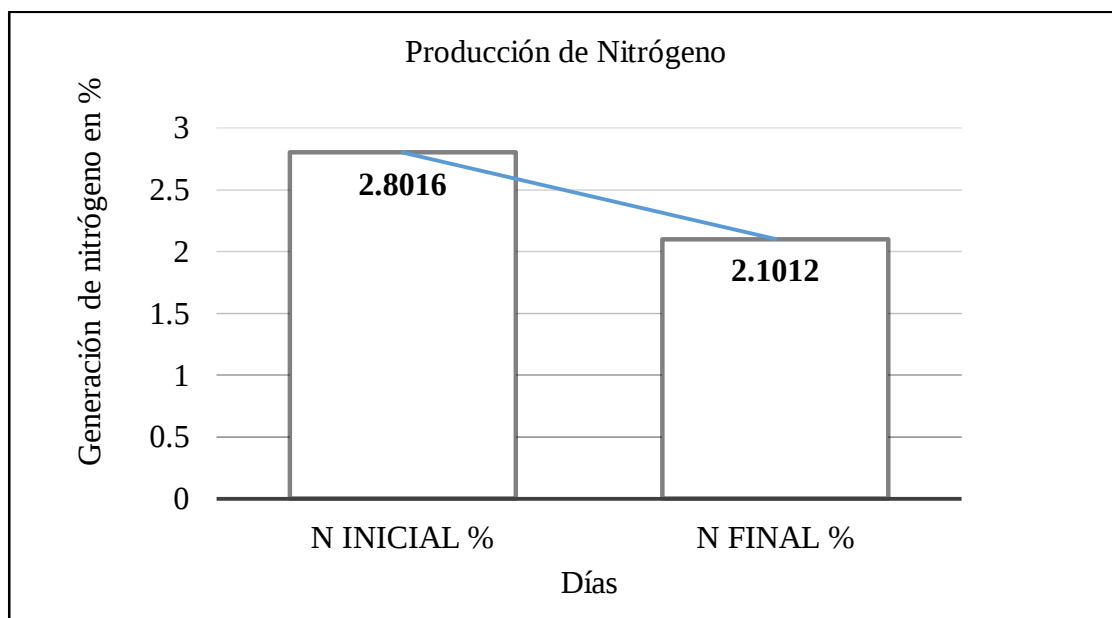


Figura 6. Producción de Nitrógeno (N) generado en el proceso de producción de biometano.

Fuente: Elaboración propia.

El pequeño consumo de nitrógeno puede relacionarse por las nuevas enzimas y la síntesis de proteínas como respuesta al cambio que generan las condiciones de cultivo (autotrófico en la propagación del inóculo, heterotrófico en el cultivo en vinaza) y en la fuente de nutrientes (CO₂ y nitratos) (Parnaudeau, Cazevieille, Condom, Recous, y Oliver, 2008).

Se debe tomar en cuenta que la limitación del nitrógeno está vinculada a la acumulación de lípidos que se puede encontrar en la planta de caña de azúcar (Markou G, 2014). Si las concentraciones del fósforo y del nitrógeno superarán los límites permisibles estos tuvieran repercusiones en los canales y cuerpos de agua causando la eutrofización (Vlyssides, Barampouti, Mai, Stamatoglou, y Tsimas, 2010).

4.3.4. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.

Los resultados obtenidos de los sólidos totales (ST) durante el proceso de investigación detalló que la vinaza al iniciar el experimento tuvo un valor de 65.45 g/L (ST), después de 16 días tomamos las muestras nuevamente obteniendo una ligera disminución a 60.80 g/L (ST) y al finalizar obtuvimos 56.72 g/L (ST). En la figura 7 podemos notar la disminución durante todo el proceso debido a la degradación de la materia orgánica de la vinaza con el inóculo para la generación de biogás y metano. Analizando con los límites permisibles redactados en el Acuerdo Ministerial 097, los cuales son de 1 600 mg/L por lo que sobrepasan los niveles de sólidos totales de descarga a un cuerpo de agua dulce.

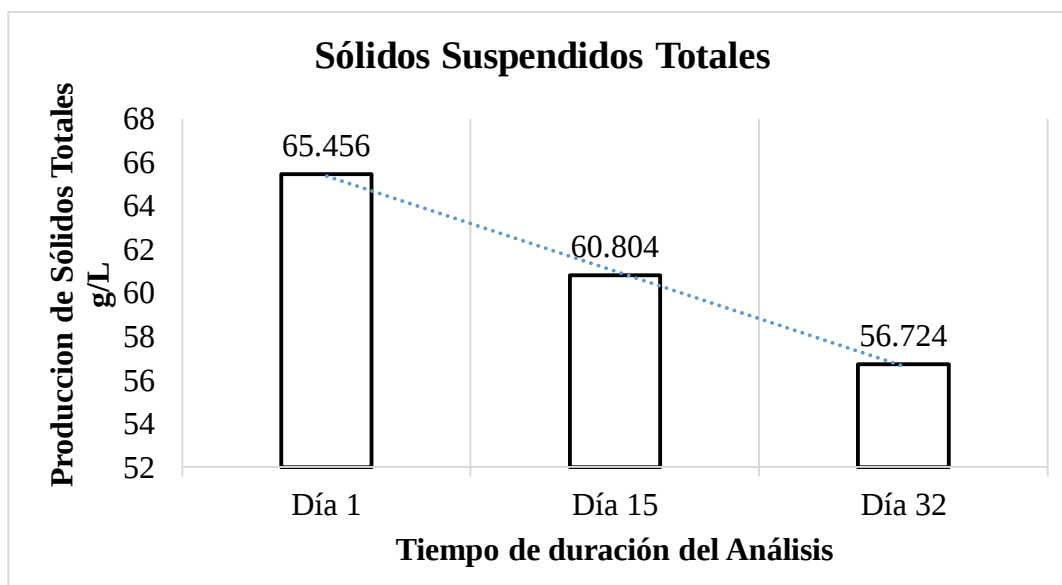


Figura 7. Producción de Sólidos Totales (ST), a partir de residuos de vinazas.

Fuente: Elaboración propia.

El contenido de sólidos totales (ST), en vinazas puede variar de acuerdo con la materia prima utilizada para la elaboración del licor, donde los resultados dependerán del tipo y cantidad de materia orgánica a eliminarse por volatilización (Dávila Rincón et al., 2009).

Se observa al inicio como disminuye los sólidos totales (ST) ligeramente entre los 1-7 días, esto se dio porque el inóculo estaba recién adaptándose al sustrato y a las reacciones del biodigestor. Entre los días 8-16 empezó a disminuirse rápidamente, esto se debe a la

degradación de la materia orgánica para producir biogás y para finalizar los días 17-32 se mantuvieron constantes por la etapa metanogénica (Zhang R., 2007).

Los sólidos totales que contienen la mezcla son distintos, es por eso que se debe tomar en cuenta y adecuar al sustrato, ya que las bacterias metanogénicas necesitan movilidad dentro de la muestra por su creciente limitada a medida que aumenta el contenido de sólidos, trayendo consigo problemas para la producción de gas (Lara, 2016).

4.3.5 SÓLIDOS VOLÁTILES

Los resultados de los sólidos volátiles (SV) que se observa en la Figura 5, se obtiene como valor inicial 58.82 g/L (SV), disminuyendo a los 16 días a 51.13 g/L (SV) y en la etapa final del muestreo se obtuvo un valor de 45.56 g/L (SV). Esta disminución de valores se da por la degradación de la materia orgánica dadas en las etapas de hidrolítica, acidogénica y acetogénica.

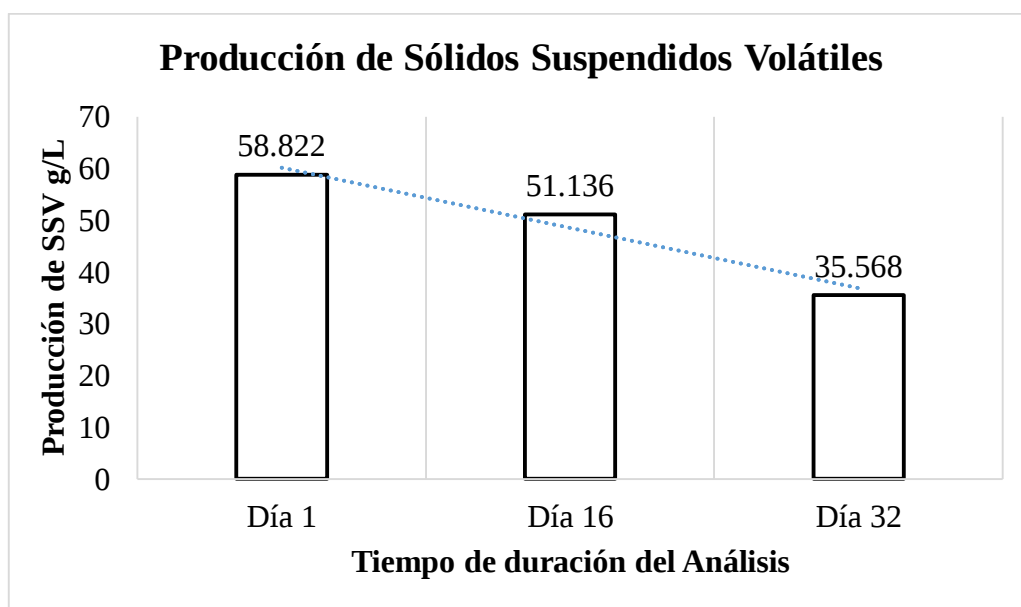


Figura 8. Producción de Sólidos Volátiles (SV), a partir de residuos de Vinaza.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados mostrados de sólidos volátiles (SV), según (Aguilera, 2016), corrobora que es posible obtener biogás a partir de los datos obtenidos de SV en este estudio, dado que la

cantidad de (SV) resultantes, representan el potencial de biometanización que posee la vinaza, para la obtención de biogás a través de la digestión anaerobia.

Los sólidos volátiles (SV) poseen un porcentaje de sólidos orgánicos que se convertirán en metano, estos se encuentran presentes en la misma muestra de sólidos totales que se los puede eliminar por volatilización (FAO, 2011)

Los sólidos volátiles (SV) han tenido una disminución de su contenido la cual es atribuida a los hidrólisis del residuo y la liberación de ácidos durante la etapa de acidogénica (Appels, Baeyens, Degréve, y Dewil, 2008)

4.3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL.

En la figura 9 se puede observar el desplazamiento volumétrico en cuanto a la generación de biogás y biometano considerando que se utilizó un biodigestor discontinuo o tipo batch dando como resultado que en 32 días y con 500 mL de muestra de vinaza independientemente para cada producción (biogás y metano) se generó 2258 mL de biogás y 1395 mL de metano.

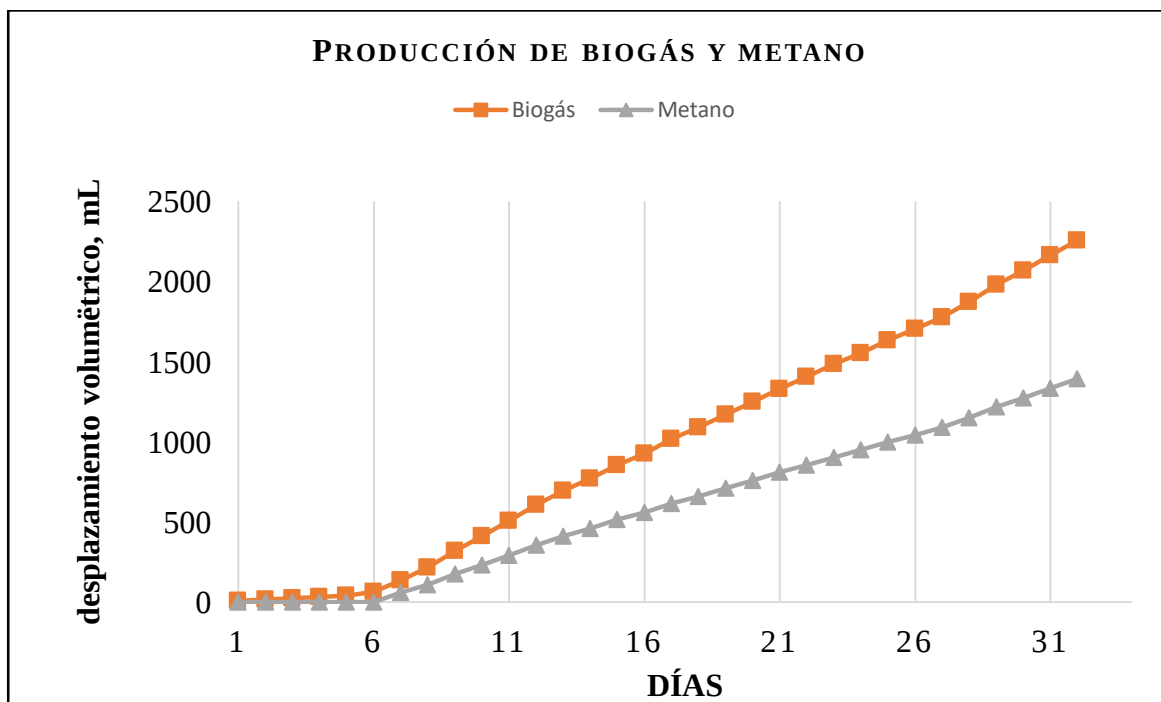


Figura 9. Desplazamiento volumétrico en mL de biogás y metano en 32 días.

Fuente: Elaboración propia

Según Vásquez Garavito y Riveros Jiménez (2013) este tipo de biodigestor resulta muy útil para trabajar a escala de laboratorio se carga una sola vez sin necesidad de estar cambiando de muestra y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir biogás y por ende metano, al paso de los días se pudo observar que la mezcla ya fermentada acelera el proceso para la obtención de biogás y esta mezcla da como resultado inoculante o bioabono.

Para determinar el volumen del metano generado, se hace la remoción de CO_2 a través de trampas que contienen solución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH) (López, 2013), dándonos como resultado un pH regulado de 7.5, esto se da por la absorción de CO_2 y se desplazará el volumen de gas metano al igual que el volumen de solución alcalina (Torres Lozada y Pérez, 2010).

La metodología empleada requiere de un montaje y seguimiento muy cuidadoso para evitar fugas, la medición del volumen que se desplace fuera de la botella que contiene la solución alcalina será el equivalente del volumen de biogás que esté generando el sistema. Este procedimiento es fundamental para determinar la composición del metano, pero no debemos ignorar la presencia de otros gases que encontraremos en el biogás solo que las tendremos en concentraciones insignificantes (Díaz-Báez et al., 2002) .

Determinación del potencial del biometano.

En la tabla 8 se puede visualizar los resultados de la producción de potencial de metano referente al estudio realizado a partir de residuos de vinaza generados en la destilería, dando como resultado de potencial de metano $119.55 \text{ mLCH}_4/\text{g SV}$ a partir de 15360 L/mes de residuo producido durante un mes.

Tabla 8. Potencial de biometano.

Sustratos	mL CH ₄ /g SV	MO	C / N	% CH ₄	Referencia
Residuo de vinaza generada a partir de la remolacha.	267.4	84,66	11,69	65.8	(Moraes et al., 2015)
Residuo de vinaza generada a partir de la caña de azúcar.	323	79,25	19,20		(Peixoto, Pantoja-Filho, Agnelli, Barboza, y Zaiat, 2012)
Residuo de vinaza generada a partir de la yuca.	311	86,05	16,09		(Wang, Xie, Chen, Luo, y Zhou, 2011)
Residuo de vinaza generada a partir de la caña de azúcar.	119.55	88,9	18.61	61.8	Este estudio

Fuente: Elaboración propia.

El potencial de metano de nuestro estudio es más bajo que el potencial de metano calculado de la caña de azúcar que fue estudiado por Peixoto et al. (2012) obteniendo como resultado 323 mL CH₄/g SV. También, las vinazas obtenidas de otras fuentes como la remolacha y yuca muestran resultados superiores, 267.4 y 311 mL CH₄/g SV, respectivamente (Moraes et al., 2015; Wang et al., 2011). Es importante resaltar que, en todos los estudios mencionados, las condiciones fueron, mesofílicas y las temperaturas superiores a 35 °C, mientras en nuestro trabajo, el experimento transcurrió con fluctuaciones entre 15 y 30 °C. La influencia de la temperatura sobre la digestión anaeróbica, es de gran importancia, pues a mayor temperatura se incrementan las tasas de producción de biogás y el proceso de degradación de los residuos se ve acelerado (Chae, Jang, Yim, y Kim, 2008).

Por otra parte, como plantea Moraes et al. (2015), la variación del rendimiento del metano a partir de las vinazas depende de las características de los sustrato y la fuente de procedencia de la materia prima (como remolacha azucarera, sorgo dulce, maíz, caña de azúcar, etc); también puede variar por los procesos industriales que se llevan a cabo mediante la fermentación hacia la destilación y que terminan repercutiendo en las características físico-químicas de las vinazas

Al realizar la comparación, de las relaciones de C/N, los valores de nuestro trabajo se encuentran en el rango medio de las demás vinazas, sin embargo, todos los valores son bajos para el proceso de digestión anaeróbica, pues para tener una óptima producción de metano es necesario una relación de C/N en un rango de 20 y 30, ya que a estos valores se incrementa la producción y potencial de metano, y estos residuos son capaces de mantener por si solos la digestión anaerobia al contar con altas concentraciones de sólidos totales y sólidos volátiles, que son materia biodegradable para la producción de metano (Montenegro Orozco et al., 2016). Valores inferiores como los presentes en las vinazas mostradas en la tabla 8 contienen cantidades de nitrógeno superiores a las necesarias para el crecimiento microbiano, lo que aumentará la transformación del mismo en amoníaco, e impedirá la correcta actividad biológica.

4.4. Aprovechamiento de la energía proveniente del residuo de la vinaza en la destilería artesanal.

Después de analizar las muestras de vinazas que se generan en la destilería con digestión anaerobia, se planteó evaluar la tecnología adecuada para los resultados obtenidos, esto debe realizarse, conjuntamente con la literatura existente sobre calderas bagaceras, las cuales serán recomendadas y aprovechadas al potencial estimado que generan las vinazas.

Tabla 9. Cantidad de metano generado en base a SV.

Descripción	Unidades	Valor
Potencial de biometano	mL CH ₄ /g SV	119,55
Generación de vinaza semanal	L/semana	3840
Generación de vinaza mensual	L/mes	15360
Generación de sólidos volátiles mensual	g/L SV	893952
Generación de metano Mensual	m ³ /mes CH ₄	106,87

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9 se muestra la cantidad de metano generado a partir de la generación total de residuos de vinaza de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”, para el cálculo total de metano se utilizó la generación mensual de residuo de vinaza, siendo un total de, 15360

L/Mes. Para el cálculo esta expresado en función de los sólidos volátiles, para lo cual se utilizó la generación de SV presentes en el total de residuos de vinaza generada mensualmente, siendo la cantidad de SV 893952 g/L SV. Una vez obtenidos los datos anteriores se puede calcular el potencial de metano que se genera en base a los SV, dando la cantidad de 119.55 mL CH₄/g SV, y en cuanto a la generación total de metano a partir de residuo de vinaza, el resultado es 106.87 m³/Mes CH₄. Según Hilbert (2003) se puede determinar la generación de metano mediante los sólidos totales presentes en el contenido de vinaza y el desplazamiento volumétrico del sistema, detallamos a continuación el procesamiento de datos:

Generación de metano a partir de sólidos totales ST

Según Salagaje, Antonio, y Pérez Urquizo (2015) para calcular la generación de metano, tenemos que tomar en cuenta la generación semanal del sustrato de vinaza residual de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”, la cual es 3840 L/semana, este valor se multiplica por la cantidad de sólidos totales del análisis inicial de la muestra empleada, la cantidad es, 0.06547 kg/L ST, una vez obtenido el producto de la multiplicación dividimos entre 0.5 L, valor correspondiente a la cantidad de muestra empleada en el proceso de digestión anaerobia arrojando un resultado de, 502.81 ST/semana. El cálculo la generación de total de metano se obtuvo de la multiplicación de los 502.81 ST/semana, por la cantidad de 0.25 m³ de metano, cantidad correspondiente al procesamiento de datos de la investigación realizada por el autor mencionado anteriormente, nos quedaría como resultado final un total de 125.70 m³/semana de generación de metano, en cuanto a la producción mensual se multiplicará por el intervalo de 4, correspondiente a 4 semanas equivalentes a 1 mes, dando un total de generación de metano mensual de 502.8 m³/mes.

Relación experimental con generación semanal de vinaza y desplazamiento volumétrico de metano

En este aparatado se detallan los valores obtenidos en cuanto a la generación experimental de metano y la generación por semana de residuo de vinaza de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”. Para obtener el valor de generación de metano, partimos del volumen desplazado en el sistema, equivalente a 1395 mL en 32 días, siendo 0.00139 m³, por lo tanto, se multiplicara la generación semanal de residuo de vinaza por la cantidad de desplazamiento

volumétrico del sistema, seguido dividiremos por la cantidad de muestra empleada en el sistema, siendo 0.5 L, dando como resultado $10.68 \text{ m}^3/\text{semana}$ de metano generado, en cuanto a la producción mensual se multiplicará por el intervalo de 4, correspondiente a 4 semanas equivalentes a 1 mes, dando un total de generación de metano mensual de $42.70 \text{ m}^3/\text{mes}$ de metano generado.

Según García Salazar y Intriago Zambrano (2019) evaluaron la generación de metano en función del contenido de SV y DQO, obteniéndose en 30 días de tratamiento una producción de 1520 mL de metano a partir de 3000 mL de muestra de vinaza, correspondiente al 51% de producción de la muestra empleada.

Generación de biogás a partir de solidos totales ST

Según Salagaje et al. (2015), para calcular la generación de metano, tenemos que tomar en cuenta la generación semanal del sustrato de vinaza residual de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”, la cual es 3840 L/semana, este valor se multiplica por la cantidad de sólido total del análisis inicial de la muestra empleada, la cantidad es, 0.06547 kg/L ST, una vez obtenido el producto de la multiplicación dividimos entre 0.5 L, valor correspondiente a la cantidad de muestra empleada en el proceso de digestión anaerobia arrojando un resultado de, 502.81 ST/semana. Ahora para calcular la generación de total de biogás, se multiplicó los 502.81 ST/semana, por la cantidad de 0.25 m^3 de metano, cantidad correspondiente al procesamiento de datos de la investigación realizada por el autor mencionado anteriormente, nos quedaría como resultado final un total de $125.70 \text{ m}^3/\text{semana}$ de generación de metano, en cuanto a la producción mensual se multiplicará por el intervalo de 4, correspondiente a 4 semanas equivalentes a 1 mes, dando un total de generación de metano mensual de $502.8 \text{ m}^3/\text{mes}$.

Relación experimental con generación semanal de vinaza y desplazamiento volumétrico de biogás

En esta sección se detallan los valores obtenidos en cuanto a la generación experimental de metano y la generación por semana de residuo de vinaza de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”. Para obtener el valor de generación de biogás, partimos de del volumen desplazado en el sistema, equivalente a 225.84 mL en 32 días, siendo 0.022584 m^3 , por lo tanto, se multiplicará la generación semanal de residuo de vinaza por la cantidad de desplazamiento

volumétrico del sistema, seguido dividiremos por la cantidad de muestra empleada en el sistema, sido 0.5 L, obteniendo como resultado 173.44 m³/semana de biogás generado, en cuanto a la producción mensual se multiplicará por el intervalo de 4, correspondiente a 4 semanas equivalentes a 1 mes, dando un total de generación de metano mensual 693.76 m³/mes de metano generado.

Según Salagaje et al. (2015), a partir de residuo de estiércol se genera 69.3 m³/semana de biogás bovino, realizando una comparación de la vinaza que generó 173.44 m³/semana se puede decir que los residuos de vinaza si resultan ser una buena fuente de residuos para generar biogás considerando que esto se produce en una destilería artesanal.

Tabla 10. Aprovechamiento de la energía producida por el metano.

Total metano (m3/mes)	Actividad	Valor	Unidad	Horas	Comparación de estudios
106.87	cocina	0.45	m ³ /h	237	Sólidos volátiles (Rodríguez et al., 2017)
	Motor de cuatro tiempos	0.55	m ³ /HP/h	194	
125.70	cocina	0.45	m ³ /h	279	Sólidos Totales (Salagaje et al., 2015)
	Motor de cuatro tiempos	0.55	m ³ /HP/h	229	
42.70	cocina	0.45	m ³ /h	95	Desplazamiento Volumétrico (Salagaje et al., 2015)
	Motor de cuatro tiempos	0.55	m ³ /HP/h	78	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla presentada anteriormente se detalla los resultados totales de metano generados a partir de los residuos de vinaza de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel” los resultados plasmados en la tabla 10 se lograron obtener por medio de diferentes metodologías, las cuales fueron analizadas en sólidos volátiles, por el cual Rodríguez et al. (2017) propone que la cantidad de metano que se genera mediante los residuos provenientes de vinaza pueden ser

calculados por medio se los sólidos volátiles, mismo que en la presente investigación arrojo como resultado un total de 106.87 m³ de metano /mes, esta misma cantidad de metano puede generar energía para encender una cocina que consume 0.45 m³/h, por un intervalo de tiempo de 237 h, o pude también servir para poner en marcha un motor de cuatro tiempos de 1HP que consume 0.55 m³/HP/h por un intervalo de tiempo de 194 horas, energía que fácilmente se puede utilizar en la destilería para sus fines correspondientes. Salagaje et al. (2015) propone de la misma manera una metodología basa en los sólidos totales donde se generan 125.70 m³/h de metano, de igual manera esto nos ayudaría a generar energía para encender una cocina por un intervalo de tiempo de 279 h, o puede también servir para poner en marcha un motor de cuatro tiempos de 1HP por un intervalo de tiempo de 194 horas, este mismo autor menciona que en base al desplazamiento volumétrico también se puede obtener la cantidad de generación de metano, dando como resultado 42.70 m³/mes, que de igual forma ayudaría a generar energía para encender una cocina por un intervalo de tiempo de 95 h, o pude también servir para poner en marcha un motor de cuatro tiempos de 1HP por un intervalo de tiempo de 78 horas, energía que fácilmente se puede utilizar en la destilería para sus fines correspondientes.

Tabla 11. Aprovechamiento de la energía producida por el biogás.

Total					Comparación
Biogás	Actividad	Valor	Unidad	Horas	de estudios
(m3/mes)					
693.76	cocina	0.45	m ³ /h	1540	Desplazamiento
	Motor de cuatro tiempos	0.55	m ³ /HP/h	1260	Volumétrico

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11, se detallan los resultados totales de metano generados a partir de los residuos de vinaza de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”, los resultados plasmados en la tabla se lograron obtener por medio de diferentes metodologías, Salagaje et al. (2015) propone que mediante desplazamiento volumétrico se puede obtener la cantidad de generación de biogás, dando como resultado 693.76 m³/mes, que de igual forma ayudaría a generar energía para

encender una cocina por un intervalo de tiempo de 1540 h, o puede también servir para poner en marcha un motor de cuatro tiempos de 1HP por un intervalo de tiempo de 1260 horas.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- La generación de vinaza resultante del proceso de destilación es de 15360 L al mes, que son vertidas sin ningún tratamiento lo que causa una gran contaminación en las fuentes hídricas aledañas. Se realizaron análisis de laboratorio del sustrato inicial que se incorporó en el biodigestor, pH 4.5, ST de 65.456 g/L; SV 58.822 g/L; nitrógeno 0.1%; fósforo 0.21%.
- Durante el lapso de 32 días recorridos de tiempo de retención del biodigestor piloto se realizó un análisis de materia orgánica digerida en el proceso ayudando a reducir los parámetros de SV de 39.53% y de ST de 13.34%, siendo estos necesarios para la producción de biogás dándonos como resultado 2258.4 mL y 1395 mL de metano. En base a estos datos se obtuvo el potencial de biometano generado que fue de 119,55mL CH₄/g SV.
- Mediante el potencial de biometano (119,55mL CH₄/g SV), la destilería puede generar 106.87 m³/mes de metano, cantidad que puede generar energía para encender una cocina que consume 0.45 m³/h, por 237 h, o puede también servir para poner en marcha un motor de cuatro tiempos de 1HP que consume 0.55 m³/HP/h por 194 horas.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Para tener resultados óptimos es necesario repetir el experimento considerando un mayor tiempo de retención del sustrato en biodigestor.
- Mantener el biodigestor piloto a temperatura constante de 25 a 30 °C, para que el crecimiento microbiano sea óptimo, y, exista una mejor digestión del sustrato empleado para la cuantificación de resultados.
- Determinar la DBO y DQO porque son parámetros necesarios para detallar los daños ambientales ocasionados por las vinazas y poder encontrar métodos más factibles para disminuirlos antes de ser arrojados sin un pre-tratamiento.
- Cuantificar la producción de biogás y metano mediante cromatografía de gases pues es un método más certero que el desplazamiento volumétrico empleado en este estudio.
- Instalar un biodigestor en la destilería artesanal para ayudar a reducir el impacto ambiental en cuanto a la generación de residuos de vinaza y que estos sean aprovechados mediante el sistema de digestión anaeróbica para el uso de la energía que genera.

CAPÍTULO VI

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Acosta, Y. L., y Abreu, M. C. O. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 39(1), 35-48.
- Aguilar-Rivera, N. (2017). Cadena de valor de la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar en México. *Agroproductividad*, 10(11), 21-29.
- Alzate, M. (2014). *Evaluación de la influencia de las condiciones de operación y pre-tratamientos en la digestión anaerobia de microalgas*. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid.
- Appels, L., Baeyens, J., Degréve, J., y Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 755-781.
- Bermúdez, S. R., y Hoyos, H. J. A. y. R., P. S. (2000). Evaluación de la disminución de la carga contaminante de la vinaza de destilería por tratamiento anaerobio. *Revista de Contaminación Ambiental.*, 103-107.
- Bravo, C. G., Acevedo, J., y Jaramillo, C. P. (2016). Biorrefinería a partir de banano de rechazo: un sistema integrado para la co-producción de etanol, proteína unicelular, biogás y compost. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 14(1), 78-86.
- Cajamarca Carrazco, D. I., Avalos Alvarado, P. A., y Melendrez, T. M. (2018). Polución hídrica en el Ecuador, como resultado del proceso agroindustrial cañero. *Revista caribeña de ciencias sociales*.
- Calderon, L., y Jazmin, M. (2016). *Diseño y gestión de marca para la comercialización de jugo de caña de azúcar en la provincia de El Oro*. Machala: Universidad Técnica de Machala.
- Camacho, R. I., y Duharte, L. L. (2018). Caracterización químico-física de vinazas de destilerías. *Ciencia en su PC*, 1(2), 1-13.
- Cáñez-Carrasco, M. G., y García-Alegría, A. M. (2015). Validación de un método analítico para la determinación de fósforo por espectrofotometría ultravioleta-visible. *Biotecnia*, 17(1), 32-39.

- Carmona, J. C., Vergara, D. M. B., y Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 49-63.
- Cendales, E. (Producer). (2011). Producción de biogás mediante la co-digestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable. *Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia*. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.com>
- Cendales Ladino, E. D., y Jiménez Castellanos, S. A. (2014). Modelamiento computacional de la producción de energía renovable a partir del biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino. *Revista EAN*(77), 42-63.
- CENICAE. (2013) Utilización de subproductos de la caña de azúcar y de la industria alcoholera ecuatoriana para uso en la fertilización en los cultivos de caña. El Triunfo, Guayas.: <http://cincae.org/>.
- CFN. (2017). Cultivo de caña de azúcar. Retrieved marzo 25, 2019, from <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2018/01/Ficha-Sectorial-Azucar-y-Can%CC%83a.pdf>
- COA (Producer). (2018). Código Orgánico del Ambiente. Quito. EC. Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/>
- Cobos, Y., Ortiz, H., Acevedo, L., y Guerra, C. (2007). *Evaluación del impacto ambiental producido por el tratamiento anaerobio de vinazas*. Paper presented at the XXXI Congreso Interamericano AIDIS, Centro de Eventos Casa Piedra, Santiago de Chile, Chile.
- Constitucional, T. (2008). Constitución de la República del Ecuador. *Quito-Ecuador: Registro Oficial*, 449, 20-10.
- Corrales, L. C., Romero, D. M. A., Macías, J. A. B., y Vargas, A. M. C. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*, 13(24), 55-82.
- Chae, K., Jang, A., Yim, S., y Kim, I. S. (2008). The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. *Bioresource technology*, 99(1), 1-6.

- Del Pino Machado, A., Casanova, O., Hernández, J., Takata, V., y Panissa, G. (2017). Efecto de la aplicación de vinaza en suelos bajo cultivo de caña de azúcar. *Revista Ciencias Agronómicas*, XXX, 30-36.
- Di Bernardo, E., Pozzetto, D., y Rocco, S. (2017). Theoretical comparison between a traditional anaerobic digestion and an innovative one. *European academic research*, IV(10), 8581-8603.
- Díaz-Báez, M. C., Espitia Vargas, S. E., y Molina Pérez, F. (2002). *Digestión anaerobia: una aproximación a la Tecnología*: Universidad Nacional de Colombia.
- Economía, R. (2017). El telégrafo. *Integrar bolsas de valores las hará eficientes*, 1.
- Ecuadoriana, N. T. (2013). INEN 2 176: 98. Calidad del Agua. Muestreo. *Técnicas de muestreo*.
- España-Gamboa, E., Vicent, T., Font, X., Dominguez-Maldonado, J., Canto-Canché, B., y Alzate-Gaviria, L. (2017). Pretreatment of vinasse from the sugar refinery industry under non-sterile conditions by *Trametes versicolor* in a fluidized bed bioreactor and its effect when coupled to an UASB reactor. *Journal of Biological Engineering*, 11(1). doi: 10.1186/s13036-016-0042-3
- FAO (Producer). (2011). Manual de biogás. Retrieved from www.fao.org
- García Rodríguez, A. M., y Gómez Franco, J. D. (2016). *Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos en la central de abastos de Bogotá mediante digestión anaerobia*. Fundación Universidad de América.
- García Salazar, M. S., y Intriago Zambrano, S. P. (2019). *Evaluación de la producción de metano mediante digestor anaerobio tipo batch en aguas residuales agroindustriales de destilería (vinaza)*. Calceta: ESPAM MFL.
- Guerrero, I., Ortiz, M., y Rodríguez, M. (2016). *Pruebas de biodegradabilidad acidogénica y metanogénica de sedimentos obtenidos por floculación química de vinaza alcohólica*. (Para obtener el grado de Especialización en Biotecnología), Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
- Guevara, L. (1999). *Caracterización y digestión anaeróbica de vinazas destiladas del Ecuador*. (Trabajo en opción al título de magister en biotecnología), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec>
- Hilbert, J. (2003). Manual para la producción de biogás. *Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Morón, Argentina*.

- Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., y Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource technology*, 100(22), 5478-5484.
- Jiménez, A., Borja, R., y Martín, A. a. R., F. (2006). Kinetic analysis of the anaerobic digestion of untreated vinasses and vinasses previously treated with *Penicillium decumbens*. *Journal of Environmental Management*, 303-310.
- Junqueira, T. L., Moraes, B., Gouveia, V. L., Chagas, M. F., Morais, E. R., Watanabe, M. D., . . Bonomi, A. (2016). Use of VSB to plan research programs and public policies *Virtual Biorefinery* (pp. 257-282): Springer.
- Kaspersen, B. S., Christensen, T. B., Fredenslund, A. M., Møller, H. B., Butts, M. B., Jensen, N. H., y Kjaer, T. (2016). Linking climate change mitigation and coastal eutrophication management through biogas technology: Evidence from a new Danish bioenergy concept. *Science of the Total Environment*, 541, 1124-1131.
- Lara, M. (Producer). (2016). Diseño de un biodigestor para la producción de biogás generado por las excretas de ganado vacuno, en el criadero Jersey Chugllin. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/>
- Leite, A. F., Janke, L., Harms, H., Zang, J. W., Fonseca-Zang, W. A., Stinner, W., y Nikolausz, M. (2015). Assessment of the Variations in Characteristics and Methane Potential of Major Waste Products from the Brazilian Bioethanol Industry along an Operating Season. *Energy and Fuels*, 29(7), 4022-4029. doi: 10.1021/ef502807s
- Liew, L. N., Shi, J., y Li, Y. (2011). Enhancing the solid-state anaerobic digestion of fallen leaves through simultaneous alkaline treatment. *Bioresource technology*, 102(19), 8828-8834.
- López, G. (2013). Método no convencional de medición de gases en la digestión anaerobia. *Cent. Investig. y Desarro. Científico, Univ. Dist. Fr. José Caldas*, 1(5), 1-16.
- López Pérez, J., y R., M. (2000). Evaluación química analítica de la calidad de la bebida alcohólica obtenida de la planta *Agave cocui*, a los finales de garantizar su consumo humano y su posible correlación con algunos parámetros de producción. *Fundacite Falcón, Coro, Venezuela*, 57-68.
- MAE. (2015). *Acuerdo Ministerial 097. Libro VI de la Calidad Ambiental, Anexo I*. Quito-Ecuador.

- Magalhães, E. A., Souza, S. N. M., Afonso, A. D. L. y Ricieri, R. P. (2004). Confecção e avaliação de um sistema de remoção do CO₂ contido no Biogas. *Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, Brasil. Maringá*, v. 26, nº. 1, 11-19.
- Mariscal, J. P., & Camargo, M. A. (2015). Alternativa para disminuir emisiones de gases de efecto invernadero en rellenos sanitarios. *UNIVERSIDAD ICESI, Facultad ciencias naturales*, 9833.
- Markou G, V. D., Muylaert K. (2014). Microalgal and cyanobacterial cultivation. *The supply of nutrients*, 186-202.
- Martínez Ruiz, H., y Ávila Reyes, E. (2010). *Metodología de la investigación*: Cengage Learning.
- Mohana, S., Acharya, B. K., y Madamwar, D. (2009). Treatment technologies and potential applications. *Journal of Hazardous Materials*, 163(1), 12-25.
- Molina Betancourt, A. C. (2012). *Biodegradación anaeróbica de vinaza generada en la destilería Soderal y aprovechamiento energético del biogás como medio para bajar el impacto de gases de efecto invernadero*. (Magister en Sistemas Integrados de Gestión de la Calidad, Ambiente y Seguridad), Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.
- Montenegro Orozco, K. T., Rojas Carpio, A. S., Cabeza Rojas, I., y Hernández Pardo, M. A. (2016). Potencial de biogás de los residuos agroindustriales generados en el departamento de Cundinamarca. *Revista Ion*, 29(2), 23-37.
- Montes Carmona, M. E. (2008). *Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás*. Caminos.
- Moraes, B., Zaiat, M., y Bonomi, A. (Producer). (2015). Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 44, 888 -900. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/>
- Morero, B. d. V., Groppelli, E., y Campanella, E. A. (2011). Revisión de las principales tecnologías de purificación de biogás. *Ciencia y Tecnología*, 1-9.

- Nakasima-López, M., Taboada-González, P., Aguilar-Virgen, Q., y Velázquez-Limón, N. (2017). Adaptación de Inóculos Durante el Arranque de la Digestión Anaerobia con Residuos Sólidos Orgánicos. *Información tecnológica*, 28, 199-208.
- Nestares, S., y Estefan, P. (2010). *Influencia de los factores que intervienen en la digestión anaeróbica de purines de bovino para obtener bioabono*. (Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias ambientales), Universidad Nacional De Trujillo, Trujillo, Perú.
- Ochoa, S. P., y Noguera, R. (2014). Metanogénesis ruminal y estrategias para su mitigación. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 9(2), 307-323.
- Ortiz, G. T. H. (2011). Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial de Parroquia Teniente Hugo Ortiz http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1660010990001_PDyO_T%20TENIENTE%20HUGO%20ORTIZ%202015_30-10-2015_15-33-12.pdf
- Ortiz, J. M. (2018). *Producción de energía a partir de vinaza en Tucumán: análisis de las diferentes alternativas*. (Trabajo De Tesis Maestría En Energía Y Ambiente), ITBA, Ciudad Autonoma de Buenos Aires.
- Otero Guerrero, O. (2017). *Evaluación del potencial de producción de biogás a partir de residuos agroindustriales de la caña de azúcar*. Universidad ICESI, Cali, Colombia.
- Parnaudeau, V., Cazevieille, P., Condom, N., Recous, S., y Oliver, R. (2008). Vinnasse organic matter quality and mineralization potential, asinfluenced by raw material, fermentation and concentration processes. *Bioresour Technol*, 1553-1562.
- Peixoto, G., Pantoja-Filho, J. L. R., Agnelli, J. A. B., Barboza, M., y Zaiat, M. (2012). Hydrogen and methane production, energy recovery, and organic matter removal from effluents in a two-stage fermentative process. *Applied biochemistry and biotechnology*, 168(3), 651-671.
- Pernalete, Z., Piña, F., Suárez, M., Ferrer, A., y Aiello, C. (2008). Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco. *Bioagro*, 20(1), 3-10.
- Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernández, F., Medina, J. A., Hernández-Sánchez, D., Ley-de Coss, A., y Guerra-Medina, E. (2017). Conducta ingestiva y preferencia bovina por el ensilaje de Pennisetum y pulpa de café. *Agromía Mesoamericana*, 28(1), 59-67.

- Plúa, M., Elena, S., García, R., y Corina, Y. (2016). *Estudio del contenido energético renovable mediante tratamiento anaerobio mesofílico de residuales de camal y avícola del cantón Naranjito*. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química.
- Pogo Correa, D. C. (2016). *Determinación de puntos de control para la protección de cuerpos hídricos expuestos a contaminarse por posibles derrames de hidrocarburos del campo drago operado por Petroamazonas ep en la comunidad nueva Esmeraldas, cantón Shushufindi, provincia de Sucumbíos*. (Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente), Universidad Nacional de Loja, Sucumbíos, Ecuador.
- Recalde, P. (2016). Sistematización de la experiencia, producción de aceite de piñón para plan piloto de generación eléctrica en Galápagos. Quito, Ecuador.
- Rennola, L., Yépez, C., Bullón, J., y Salazar, F. (2007). Tratamiento de las aguas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 30, <http://www.scielo.org.ve>.
- Rodríguez, A., Ángel, J., Rivero, E., Acevedo, P., Santis, A., Rojas, I. C., . . . Hernández, M. (2017). Evaluation of the biochemical methane potential of pig manure, organic fraction of municipal solid waste and cocoa industry residues in Colombia. *J Chemical engineering transactions*, 57, 55-60.
- Rutz, D. y. R., J. (2007). *BioFuel Technology Handbook*. WIP Renewable Energies Sylvensteinstr.
- Salagaje, E., Antonio, E., y Pérez Urquiza, O. D. (2015). *Implementación de un Biodigestor para producir Biogás a partir de los residuos orgánicos generados en el Centro de Faenamiento Municipal Tena, Napo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Salazar, M., Sánchez, M., y Aucatoma, B. (Producer). (2009). Uso de cachaza descompuesta y porcentaje de sustitución de fertilizante químico en un lote del ingenio Valdez. *Centro de Investigación de la caña de azúcar del Ecuador*, 1. . Retrieved from <https://cincae.org/>
- Sanabria, D. y. G. (2012). Comparación de dos métodos de medición de actividad metanogénica específica en reactores anaerobios aplicados al tratamiento de vinazas. *Revista Ingeniería y Región*, 9, 77-78.

- Sánchez, E. (1994). estudio de los residuos de Algas Agarofitas para su aprovechamiento agroindustrial e industrial. *Departamento de Química UNEFM. (Trabajo de ascenso)*, 100-105.
- Sierra, C. A. S., Bertel, M. E. C., y Barrios, R. L. A. (2013). Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. *Cartegana de Indias*.
- Souza, J., y Schaeffer, L. (2013). Sistema de compresión de biogas y biometano. *Información tecnológica*, 24(6), 03-08.
- SSL, S. (2004). Methods manual. Soil Survey Investigations Report N° 42. *Version 3.0. E.E.U.U.*
- Sträuber, H., Lucas, R., y Kleinstеuber, S. (2016). Metabolic and microbial community dynamics during the anaerobic digestion of maize silage in a two-phase process. *Applied microbiology and biotechnology*, 100(1), 479-491.
- Suárez-Hernández, J., Sosa-Cáceres, R., Martínez-Labrada, Y., Curbelo-Alonso, A., Figueredo-Rodríguez, T., y Cepero-Casas, L. (2017). Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba *Pastos y Forrajes*, 41(2), 85-92.
- Torres Lozada, P., y Pérez, A. (2010). Actividad Metanogénica Específica: Una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*(9).
- TULSMA (Producer). (2015). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. Retrieved from <http://extwprlegs1.fao.org>
- Untenecker, J., Tiemeyer, B., Freibauer, A., Laggner, A., y Luterbacher, J. (2017). Tracking changes in the land use, management and drainage status of organic soils as indicators of the effectiveness of mitigation strategies for climate change. *Ecological indicators*, 72, 459-472.
- Valeiro, A., Portocarrero, R., Ullivarri, E., Vallejo, J., y Famaillá, I.-E. (2017). Los Residuos de la Industria Sucro-Alcoholera Argentina.
- Varela, G., y Grotiuz, G. (2008). Fisiología y metabolismo bacteriano. *Uruguay, Editorial Cefa*, 43-58.
- Vásquez Garavito, N. C., y Riveros Jiménez, D. R. (2013). *Diseño y construcción de un prototipo biodigestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano*.

(Grado en ingeniería mecatrónica), Universidad de San Buenaventura, Bogotá D.C., Colombia.

- Vlyssides, A., Barampouti, E., Mai, S., Stamatoglou, A., y Tsimas, E. (2010). Alternative biological systems for the treatment of vinasse from wine. *Water Science & Technology*. 62, 2899-2904.
- Wang, W., Xie, L., Chen, J., Luo, G., y Zhou, Q. (2011). Biohydrogen and methane production by co-digestion of cassava stillage and excess sludge under thermophilic condition. *Bioresource technology*, 102(4), 3833-3839.
- Yang, G., Zhang, P., Zhang, G., Wang, Y., y Yang, A. (2015). Degradation properties of protein and carbohydrate during sludge anaerobic digestion. *Bioresource technology*, 192, 126-130.
- Zhang R., E.-M. H. M., Hartman K., Wang F., Liu. (2007). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource Technol.* 98, 929-935.
- Zúñiga Cerón, V., y Gandini Ayerbe, M. A. (2013). Caracterización ambiental de las vinazas de residuos de caña de azúcar resultantes de la producción de etanol. *Dyna*, 80(177), 124-131.

CAPÍTULO VII

7.1 ANEXOS

Anexo 1: Desplazamiento volumétrico del biogás y metano generado durante 32 días.

Día	Biogás	Metano	Unidades
1	8,333333	0	mL
2	16,66667	0	mL
3	25	0	mL
4	33,33333	0	mL
5	41,66667	0	mL
6	64	0	mL
7	136,4	59	mL
8	217,4	110	mL
9	321,4	175	mL
10	411,4	233	mL
11	506,4	292	mL
12	606,4	356	mL
13	696,4	412	mL
14	771,4	459	mL
15	856,4	514	mL
16	928,4	558	mL
17	1018,4	616	mL
18	1092,4	661	mL
19	1170,4	710	mL
20	1250,4	760	mL
21	1330,4	810	mL
22	1405,4	855	mL
23	1485,4	905	mL
24	1555,4	950	mL
25	1635,4	1000	mL
26	1705,4	1045	mL
27	1780,4	1092	mL
28	1874,4	1150	mL
29	1984,4	1220	mL
30	2071,4	1275	mL
31	2166,4	1335	mL
32	2258,4	1395	mL

Fuente: elaboración propia.

7.2. Anexo: Datos tomados en el laboratorio para determinación de Sólidos Totales.

Sólidos Suspendidos Totales					
Volumen de la muestra	Día	Peso del Filtro	Cápsula peso final	Resultado	Unidades
50 mL	1	34,9809	38,2537	65,456	g/L
	15	34,5169	37,5571	60,804	g/L
	32	34,5195	37,3557	56,724	g/L

Fuente: Elaboración propia.

7.3. Anexo: Datos tomados en el laboratorio para la determinación de Sólidos Volátiles.

Sólidos Suspendidos Volátiles						
Volumen de Muestra (mL)	Peso de Crisol	Peso del Crisol con muestra	Total	Peso ignición	Resultado Final	Unidades
50	34,9809	49,2230	84,2039	35,3126	58,82	g/L
	34,5169	49,2333	83,7502	35,0003	51,13	g/L
	34,5195	50,0321	84,5516	35,5773	35,56	g/L

Fuente: Elaboración propia.

7.4. Anexo. Recolección y toma de muestras.

	
Recolección del inóculo en el CIPCA de la Universidad Estatal Amazónica.	Toma de muestras de las vinazas desechadas de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”

Fuente: Elaboración propia.

7.5. Anexo: Medición de las muestras para introducir en el biodigestor piloto.



Toma del inóculo con 500 mL de muestra de vinazas para ser colocadas en las botellas dentro del biodigestor piloto.

Fuente: Elaboración propia.

7.6. Anexo: Inicio del diseño experimental.



Construcción del biodigestor piloto, botellas con las muestras instaladas en la tina con adaptación del termostato para mantener la temperatura adecuada.



Instalación del sistema volumétrico para la medición del biogás y el metano generados mediante los 32 días del estudio.



Preparación del Hidróxido de Sodio para la producción de metano.



Fuente: Elaboración propia.

7.7. Anexo: Finalización del diseño experimental con la temperatura adecuada.



Diseño experimental del biodigestor discontinuo o tipo Batch terminado.



Funcionamiento del termostato a 30° C para que la digestión anaerobia se realice correctamente.

Fuente: Elaboración propia.

7.8. Anexo: Medición de temperatura y pH.



Medición de la temperatura de la vinaza en su estado natural con un termómetro de 200 °C.



Se midió el pH de las vinazas en su estado natural.

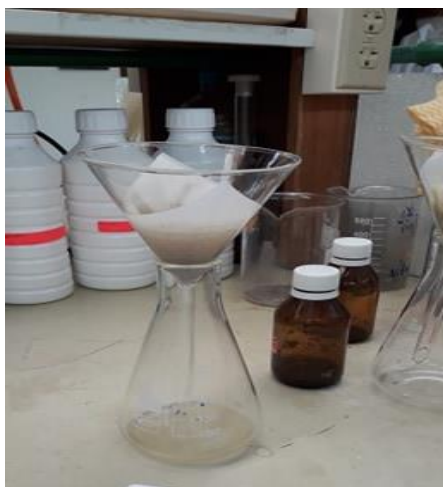
7.9. Anexo: Análisis en el laboratorio de los diferentes parámetros.



La matraz de balón contenía la muestra de vinaza y un vaso de precipitación se agregó 10mL de Ácido Bórico más tres gotas de la solución preparada de tashiro para la determinación de Nitrógeno.

Fuente: Elaboración propia.

7.10. Anexo: Análisis en el laboratorio de los diferentes parámetros.



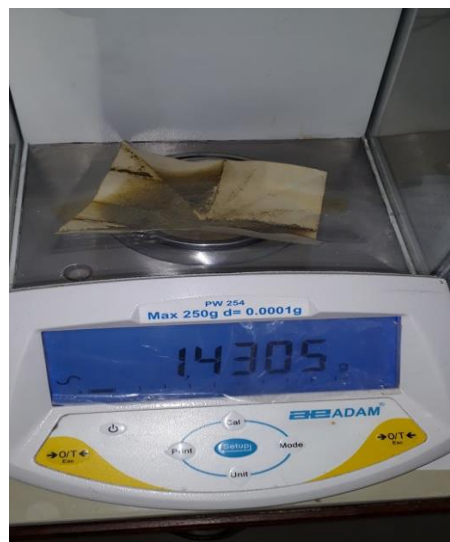
Filtrado que se hizo a las muestras de la vinaza para la determinación de fósforo y sólidos totales.



Para los sólidos volátiles se mantuvo en la mufla a 550 °C la muestra de la vinaza en la cápsula.



Determinación de los sólidos volátiles mediante el peso de la cápsula que contiene la muestra.



Peso del papel filtro con los sólidos suspendidos de la muestra de la vinaza para determinar los sólidos Totales.

Fuente: Elaboración propia.