

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Suroccidente
Ingeniería en Gestión Ambiental Local



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DEL PRE-TRATAMIENTO DE LA VINAZA A TRAVÉS DE LA
OZONIZACIÓN EN EL LABORATORIO DE METANO DE LA DESTILADORA DE
ALCOHOLES Y RONES S. A.**

Por:

Sharon Ericka Sabrina Najarro Sánchez
Carné 201540933

Mazatenango, Suchitepéquez, enero de 2,020.

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Suroccidente
Ingeniería en Gestión Ambiental Local



TRABAJO DE GRADUACIÓN
EVALUACIÓN DEL PRE-TRATAMIENTO DE LA VINAZA A TRAVÉS DE LA
OZONIZACIÓN EN EL LABORATORIO DE METANO DE LA DESTILADORA DE
ALCOHOLES Y RONES S. A.

Por:

Sharon Ericka Sabrina Najarro Sánchez

Carné 201540933

ASESORA:

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes

Presentado ante las autoridades del Centro Universitario de Suroccidente -CUNSUROC-, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, previo a conferírsele el título que le acredita como Ingeniera en Gestión Ambiental Local en el grado académico de Licenciada.

Mazatenango, Suchitepéquez, enero de 2,020.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

AUTORIDADES

MSc. Murphy Olimpo Paiz Recinos	Rector
Arq. Carlos Enrique Valladares Cerezo	Secretario General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE
SUROCCIDENTE**

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano	Director
----------------------------------	----------

REPRESENTANTES DE PROFESORES

Dr. Reynaldo Humberto Alarcón Noguera	Secretario
Lic. Luis Carlos Muñoz López	Vocal

REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC

Lic. Vilser Josvin Ramírez Robles	Vocal
-----------------------------------	-------

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel	Vocal
PEM y TAE Rony Roderico Alonzo Solís	Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

Coordinador Académico

MSc. Héctor Rodolfo Fernández Cardona

Coordinador Carrera de Licenciatura en Administración de Empresas

MSc. Rafael Armando Fonseca Ralda

Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Lic. Edín Aníbal Ortíz Lara

Coordinador Carreras de Pedagogía

Dr. René Humberto López Cotí

Coordinador Carrera de Ingeniería en Alimentos

MSc. Víctor Manuel Nájera Toledo

Coordinador Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical

MSc. Erick Alexander España Miranda

Coordinador Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales, Abogado y Notario

MSc. José David Barillas Chang

Coordinadora Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes

Coordinador Área Social Humanista

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

Carreras Plan Fin de Semana del CUNSUROC

Coordinadora Carreras de Pedagogía

M.Sc. Tania Elvira Marroquín Vásquez

Coordinador Carrera de Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

MSc. Heinrich Herman León

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Principal responsable por este triunfo, gracias por las bendiciones y su protección a lo largo de mi vida.

MI MADRE: Magda Editt Sánchez Mancio. Por ser parte indispensable en mi vida, por su amor, apoyo incondicional en los buenos y malos momentos, sus consejos; todas sus enseñanzas que me han ayudado a ser lo que soy hoy en día.

MI PADRE: Erick Mauricio Najarro Celis. Por ser un pilar fundamental en mi vida, por su amor, esfuerzo, sus consejos y apoyo incondicional; por todas sus enseñanzas que me han ayudado a ser lo que soy hoy en día; por ser mi ángel y la estrella que guía mi presente y futuro.

MI ABUELA: Alma Lilia Mancio. Por su amor y apoyo incondicional.

MIS HERMANOS: Bryan Najarro y Jacqueline de León. Por ser mi compañía, mi apoyo en todo momento y por el amor que me dan.

MIS SOBRINOS: Héctor Roberto y Emilio Roberto Kestler de León. Porque este logro sea un ejemplo para su futuro.

AGRADECIMIENTOS

- A: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Suroccidente. Por ser el centro de enseñanza que inculcó en mi la responsabilidad, el trabajo y la dedicación.
- A: Destiladora de Alcoholes y Rones S. A. Por darme la oportunidad de realizar el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) en sus instalaciones.
- A: MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes. Por su asesoría y apoyo en el presente trabajo de graduación.
- A: Todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, por las enseñanzas brindadas.

Índice General

	Página
Resumen.....	v
Abstract.....	vii
I. Introducción.....	1
II. Revisión de Literatura.....	3
2.1 Marco Referencial.....	3
2.1.1 Antecedentes.....	3
2.1.2 Proceso de destilación de DARSA.....	5
2.1.3 Laboratorio de Metano.....	6
2.1.4 Controles operacionales.....	6
2.1.5 Servicios que presta.....	6
2.1.6 Líneas de acción.....	7
2.1.7 Localización.....	7
2.1.8 Producción.....	8
2.1.9 Croquis del Laboratorio de Metano.....	9
2.1.10 Generación de biogás.....	10
2.1.11 Proceso del Laboratorio de Metano.....	11
2.2 Marco Conceptual.....	12
2.2.1 Términos relacionados a la producción de metano.....	12
2.2.1.1 Biogás.....	12
2.2.1.2 Vinazoducto.....	12
2.2.1.3 Vinaza.....	12
2.2.2 Proceso Avanzado de Oxidación como pre-tratamiento de vinaza.....	13
2.2.2.1 Ozono.....	13
2.2.2.2 Caracterización de las vinazas.....	13
2.2.2.3 Metodología del Proceso Avanzado de Oxidación.....	14
2.2.3 Análisis de referencia para el proceso de oxidación.....	14
2.2.3.1 Potencial de hidrógeno.....	15
2.2.3.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	15
2.2.3.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	15

2.2.3.4 Fenoles Totales	16
2.2.3.5 Sólidos Suspendidos Totales.....	16
2.2.4 Análisis estadísticos de datos.	16
2.2.4.1 Media aritmética	17
2.2.4.2 Rango.....	17
2.2.4.3 Máximo y mínimo de datos estadísticos.	17
2.2.4.4 Cálculo de producción de biogás.	17
III. Objetivos.....	18
3.1 Objetivo General	18
3.2 Objetivos Específicos.....	18
IV. Materiales y métodos.....	19
4.1 Materiales	19
4.2 Métodos	20
4.2.1 Proceso general de ozonólisis	20
4.2.1.1 Análisis en laboratorio.....	20
4.2.1.2 Metodologías para la realización de los análisis pre y post ozonización.....	23
4.2.1.3 Análisis estadísticos	28
4.2.1.4 Análisis de impacto económico.....	28
V. Resultados y discusión.....	30
5.1 Evaluación a escala de laboratorio.....	30
5.2 Comparación y análisis	32
5.3 Estimación del impacto económico.	36
5.4 Estimación del impacto ambiental.	39
VI. Conclusiones.....	41
VII. Recomendaciones.....	42
VIII. Referencias Bibliográficas.....	43
IX. Anexos.....	45

Índice de Tablas

Tabla	Página
1. Controles operacionales.....	6
2. Recursos humanos utilizados para la realización de la investigación.	19
3. Recursos financieros contemplados para la elaboración del trabajo de investigación inferencial en el Laboratorio de Metano.....	19
4. Condiciones de operación utilizado en el proceso de ozonólisis.....	22
5. Resultados de análisis antes de la aplicación de los pre-tratamiento.	30
6. Resultados de análisis después de la aplicación de los pre-tratamiento.....	31
7. Comparación de resultados de vinaza cruda.....	32
8. Comparación de resultados de vinaza con ozonización	33
9. Pre-tratamiento más eficiente obtenido.	35
10. Resultados de análisis antes de la aplicación de los pre-tratamiento.	48
11. Cálculos de los análisis antes de la aplicación de los pre-tratamiento.....	49
12. Resultados de análisis después de la aplicación de los pre-tratamiento.....	49
13. Cálculos de los análisis realizados después de los pre-tratamientos.....	50
14. Costos de inversión.....	50
15. Amortizaciones.....	50
16. Depreciaciones.....	51
17. Flujo de ondas al 20%.....	52
18. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno.	58

Índice de Figuras

Figura	Página
1. Localización de DARSA a nivel municipal.	4
2. Proceso para obtención de alcohol.	5
3. Vías de acceso de Laboratorio de Metano.	8
4. Croquis de Laboratorio de Metano.	9
5. Descripción del proceso de generación de biogás.	10
6. Proceso para la producción de biogás.	11
7. Tuberías que conecta las pilas de enfriamiento y los digestores.	20
8. Vinaza para aplicar ozono.	21
9. Ajuste de pH a muestra de vinaza.	21
10. Aplicación de ozono a vinaza.	22
11. Flujograma de la metodología utilizada	27
12. Generador de ozono.	53
13. Soporte universal.	53
14. Instrumentos utilizados para el pre-tratamiento.	53
15. Matraz kitasato de 1000 ml.	54
16. Tubo destilador	54
17 Beacker de 1000 mL.	54
18. Aparato generador de ozono	54
20. Dilución para análisis de DBO y DQO.	54
19. Dilución para análisis fenoles	54
22. Muestra para análisis de DBO.	54
21. Ajuste de pH a muestra de vinaza.	54
24. Análisis de ácidos volátiles.	54
23. Resultados en análisis de fenoles.	54
26. Destilación de la muestra para ácidos volátiles.	54
25. Análisis de DQO.	54
28. Aplicación de ozono en vinaza.	54
27. Aplicación de ozono a vinaza.	54
30. Pileta vinaza cruda.	54
29. Pilas de enfriamiento.	54

Resumen

La Destiladora de Alcoholes y Ronas S.A. obtiene como subproducto de la destilación la vinaza; que es utilizada para la generación de biogás y los desechos líquidos restantes son utilizados como parte del fertirriego del Ingenio Tululá.

Actualmente se produce una cantidad de 65,000 metros cúbicos (m³) de biogás.

La presente investigación evaluó las condiciones ideales de pre-tratamiento de la vinaza cruda, para así eficientar la producción de biogás. Los objetivos de la misma fueron: demostrar a escala de laboratorio la influencia de tiempos de oxidación sobre la producción de metano a partir de vinazas pre-tratadas bajo diferentes concentraciones de ozono, pH y tiempo de aplicación; comparar y analizar los resultados de los procesos de pre- tratamiento y seleccionar el más eficiente; y estimar el impacto económico de la producción de metano a partir de vinazas pre-tratadas con un Proceso Avanzado de Oxidación.

El pre-tratamiento evaluado consiste en someter la vinaza cruda a un proceso de ozonización con el objetivo de oxidar subproductos presentes que disminuyen la eficiencia de su descomposición.

La investigación por ende se basó en establecer las condiciones ideales en concentración de ozono y de tiempo de aplicación del mismo.

El efecto del pre-tratamiento se midió a través de los análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), fenoles totales y ácidos volátiles; antes y después de aplicado el pre-tratamiento.

Se llevó a cabo el pre-tratamiento a 14 muestras de vinaza cruda, bajo concentraciones de ozono de 80 mg, 3 g, 4 g y 8g; con un pH de 7.47 y 4.42; en tiempos de aplicación de 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas y 3 horas.

Basados en los resultados obtenidos se estima que al someter la vinaza en un pre-tratamiento de pH de 7.47, tiempo de exposición a ozono de 2 horas, a una concentración de 8 gramos, habría un aumento de 9,358 metros cúbicos (m^3) de biogás, con una producción total calculada de 74,358 metros cúbicos (m^3) de biogás. Implicando esto que la ganancia estaría en Q 37,534.48 por producción de energía eléctrica por mes.

En siete meses se mantendría un equilibrio económico para la producción de electricidad, con el pre-tratamiento de ozonización. También se calculó que por cada metro cúbico (m^3) de vinaza se produce 0.0771 metros cúbicos (m^3) de biogás.

Abstract

Destiladora de Alcoholes y Ronas S.A. obtains as a byproduct of distillation vinasse; which is used for the generation of biogas and the remaining liquid wastes are used as part of the fertigation of the Ingenio Tulula.

At present, an amount of 65,000 cubic meters (m³) of biogas is produced.

The present investigation evaluated the ideal conditions of pre-treatment of raw vinasse, in order to make biogas production more efficient. Its objectives were: to demonstrate at the laboratory level the influence of oxidation times on methane production from pre-treated vinasses under different concentrations of ozone, pH and application time; compare and analyze the results of the pretreatment processes and select the most efficient one; and estimate the economic impact of methane production from pre-treated vinasses with an Advanced Oxidation Process.

The pre-treatment evaluated consists in subjecting the raw vinasse to an ozonation process with the objective of oxidizing present by-products that decrease the efficiency of its decomposition.

The investigation therefore was based on establishing the ideal conditions in ozone concentration and its application time.

The pre-treatment effect was measured through the analysis of Chemical Oxygen Demand (COD), pH, Total Suspended Solids (SST), Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), total phenols and volatile acids; before and after applying the pre-treatment.

Pretreatment was carried out on 14 samples of raw vinasse, under ozone concentrations of 80 mg, 3 g, 4 g and 8g; with a pH of 7.47 and 4.42; in application times of 15 minutes, 30 minutes, 1 hour, 2 hours and 3 hours.

Based on the results obtained, it is estimated that by submitting the vinegar in a pH pre-treatment of 7.47, exposure time to ozone of 2 hours, at a concentration of 8 grams, there would be an increase of 9,358 cubic meters (m³) of biogas, with a total estimated production of 74,358 cubic meters (m³) of biogas. Implying this that the gain would be in Q 37,534.48 per production of electricity per month.

In seven months an economic balance for the production of electricity would be maintained, with the pre-treatment of ozonation. It was also calculated that for each cubic meter (m³) of vinasse, 0.0771 cubic meters (m³) of biogas is produced.

I. Introducción

La presente investigación se llevó a cabo como parte del Ejercicio Profesional Supervisado de la unidad de práctica, Laboratorio de Metano de la Destiladora de Alcoholes y Ronas S. A. (DARSA).

En DARSA se obtiene la vinaza como subproducto líquido del proceso de destilación. Este subproducto es aprovechado por la empresa, a través del Laboratorio de Metano, para la generación de biogás, mismo que es utilizado internamente para el calentamiento de las calderas.

La vinaza luego de ser generada es enviada a los tanques de enfriamiento y sedimentación, para enfriar y poder eliminar sólidos. Luego enviada a digestores, tanques cerrados herméticamente, donde se produce biogás a través de la digestión anaerobia utilizando la vinaza como materia prima. El biogás es posteriormente suministrado al área de calderas utilizándolo como combustible para la generación de vapor.

La vinaza se caracteriza por tener compuestos fenólicos, por lo que la presencia de compuestos orgánicos recalcitrantes como los fenoles puede disminuir la producción de metano y afectar la estabilidad del proceso.

Se realizó la presente investigación con el objeto de elaborar un perfil acerca de los procedimientos e información básica para llevar a cabo el pre-tratamiento de la vinaza mediante un proceso avanzado de oxidación (PAO), bajo diferentes condiciones de pH, tiempo de aplicación y concentración de ozono.

Previo al pre-tratamiento con ozono, se analizó la vinaza y se determinó la Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), fenoles totales y ácidos volátiles. Se llevó a cabo el pre-tratamiento a 14 muestras de vinaza cruda, bajo las condiciones previstas de operación.

Cuando se finalizó con el pre-tratamiento se llevaron a cabo los mismos análisis que se realizaron al inicio para evaluar los resultados obtenidos.

Al evaluar los resultados se encontró que la exposición de una muestra bajo condiciones de 2 horas, con un pH de 7.47 y una concentración de ozono de 8 gramos, permite una reducción significativa de fenoles, siendo 105 miligramos de fenoles por litro en las pruebas realizadas, así mismo se logró una disminución significativa de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), ácidos volátiles y un aumento en los Sólidos Suspendidos Totales (SST) evidenciando un mejor proceso de descomposición.

Así mismo se beneficia la calidad de la vinaza utilizada como fertirriego ya que disminuye la concentración de materia orgánica, es una energía renovable que se regenera en un tiempo corto sin impactar sobre el ambiente, también aporta un proceso para aplicar a mercados regulados de carbono que consiste en la compra y venta de certificados de reducción de emisiones (CERs).

II. Revisión de Literatura

2.1 Marco Referencial

2.1.1 Antecedentes

De acuerdo a los antecedentes de Industrias Licoreras de Guatemala (2010) dice:

Son distribuidas por todo el país e impulsadas por la visión y el entusiasmo de varias familias guatemaltecas, nacen las compañías licoreras, antes llamadas destiladoras. Establecidas individualmente, cada una de estas empresas contaba con sus propias tierras, destilerías y embotelladoras en donde se producían bebidas espirituosas. Eran, cada una en su dimensión, el semillero de lo que años después germinaría en una de las industrias más importantes de Centroamérica. El Gobierno emitió la Ley de Alcoholes, Bebidas Alcohólicas y Fermentadas, por medio de la cual se obligaba a los 'destiladores' a crear sus reservas de añejos para garantizar la calidad de los productos. (pág. 2)

Destiladora de Alcoholes y Rones S.A. es una empresa que nace en 1945, a continuación se detallan los momentos más relevantes en su historia:

Inicia operaciones Central Añejadora Guatemalteca, S.A. luego de 24 años en funcionamiento es fundada la Destiladora de Alcoholes y Rones, S.A. –DARSA– con una capacidad instalada de 20,000 litros de alcohol por día; 33 años después inicia operaciones DARSA TULULÁ, operando un proceso de fermentación que combina desarrollo de levadura con reúso. En el año 2,013 inicia operaciones Laboratorio de Metano, también conocido como Biomet, para aprovechamiento de la vinaza subproducto líquido de la destilación del alcohol (Industrias Licoreras de Guatemala, 2010, pág. 2).

La ubicación de DARSA a nivel municipal es la siguiente:



Figura No. 1. Localización de DARSA a nivel municipal.

A continuación, se describe el proceso de destilación que se lleva a cabo en la Destiladora de Alcoholes y Ronés S.A. para la obtención de alcohol.

2.1.2 Proceso de destilación de DARSA.

El proceso para la obtención de alcohol es el siguiente (Industrias Licoreras de Guatemala, 2010):

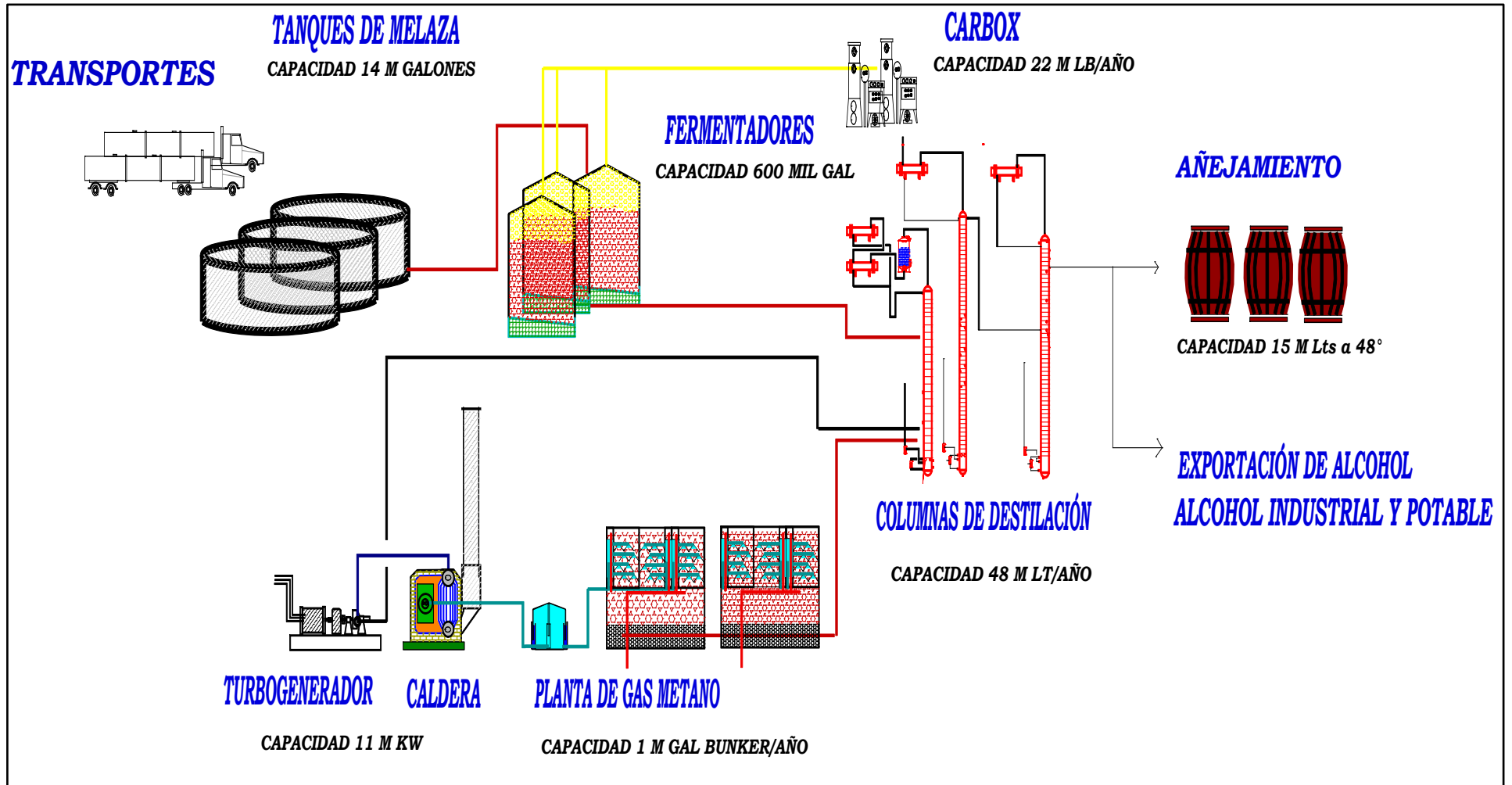


Figura No. 2. Proceso para obtención de alcohol.

Fuente: Industrias Licoreras de Guatemala, (2010).

2.1.3 Laboratorio de Metano

El Laboratorio de Metano se crea en el año 2013, debido a la necesidad de darle tratamiento a la vinaza, subproducto líquido de la destilación del alcohol. Al obtener resultados en la reutilización de la vinaza se obtuvieron beneficios económicos para la empresa, ya que del proceso se obtuvo biogás, utilizado como fuente de energía en los procesos de la destiladora.

El laboratorio actualmente utiliza la vinaza como materia prima para la producción de biogás y suministrarlo al área de calderas en donde se utiliza como combustible para la generación de vapor. Se realiza posteriormente análisis a la vinaza para ser incorporado a los procesos de fertirriego del Ingenio Tuluá.

El objetivo principal del Laboratorio de Metano es establecer los lineamientos para la producción de biogás de la planta (Laboratorio de Metano, 2019, pág. 32).

2.1.4 Controles operacionales

Los controles operacionales de los biodigestores en el Laboratorio de Metano, establece los valores normales que se debe encontrar la vinaza en los análisis de Demanda química de oxígeno y temperatura, para la eficiencia en la producción de biogás (Laboratorio de Metano, 2019, pág. 32).

Tabla No. 1. Controles operacionales.

	pH	Demanda Química de Oxígeno mg/l (DQO)	Temperatura (°C)
Vinaza	4.0-5.0	80000-140000	30-40
Biodigestor #1	7.0-8.0	≤60000	33-38
Biodigestor #2	7.0-8.0	≤60000	33-38
Biodigestor #3	7.0-8.0	≤60000	33-38
Biodigestor #4	7.0-8.0	≤60000	33-38

2.1.5 Servicios que presta

Los servicios que presta el Laboratorio de Metano son la recepción y almacenamiento de vinaza cruda, programa de alimentación de vinaza cruda, elaboración de reporte de

producción de biogás, monitoreo y control en la producción de biogás, monitoreo de condiciones de vinaza cruda y tratada para cumplimiento legal (Laboratorio de Metano, 2019, pág. 34).

2.1.6 Líneas de acción

Las líneas de acción en las que se basa el Laboratorio de Metano son las siguientes:

-Generación de biogás con el subproducto de la destilería con el objetivo de disminuir el consumo de combustibles fósiles al reemplazarlos por gas. (Laboratorio de Metano, 2019, pág. 33).

-Fertirriego, enriquecimiento de los suelos mediante la utilización del subproducto de la generación de biogás como fertilizante, previo a sembrar caña de azúcar. (Laboratorio de Metano, 2019, pág. 33).

2.1.7 Localización

Laboratorio de Metano se encuentra en la Finca Tululá, en San Andrés Villa Seca municipio de Retalhuleu, a 4.5 kilómetros de la cabecera municipal de Cuyotenango Suchitepéquez, a la par de las instalaciones de Destiladora de Alcoholes y Rones S.A. (DARSA).

A continuación, se indican las vías de acceso para la localización del Laboratorio de Metano, sobre la carretera CA 2 del Pacífico:

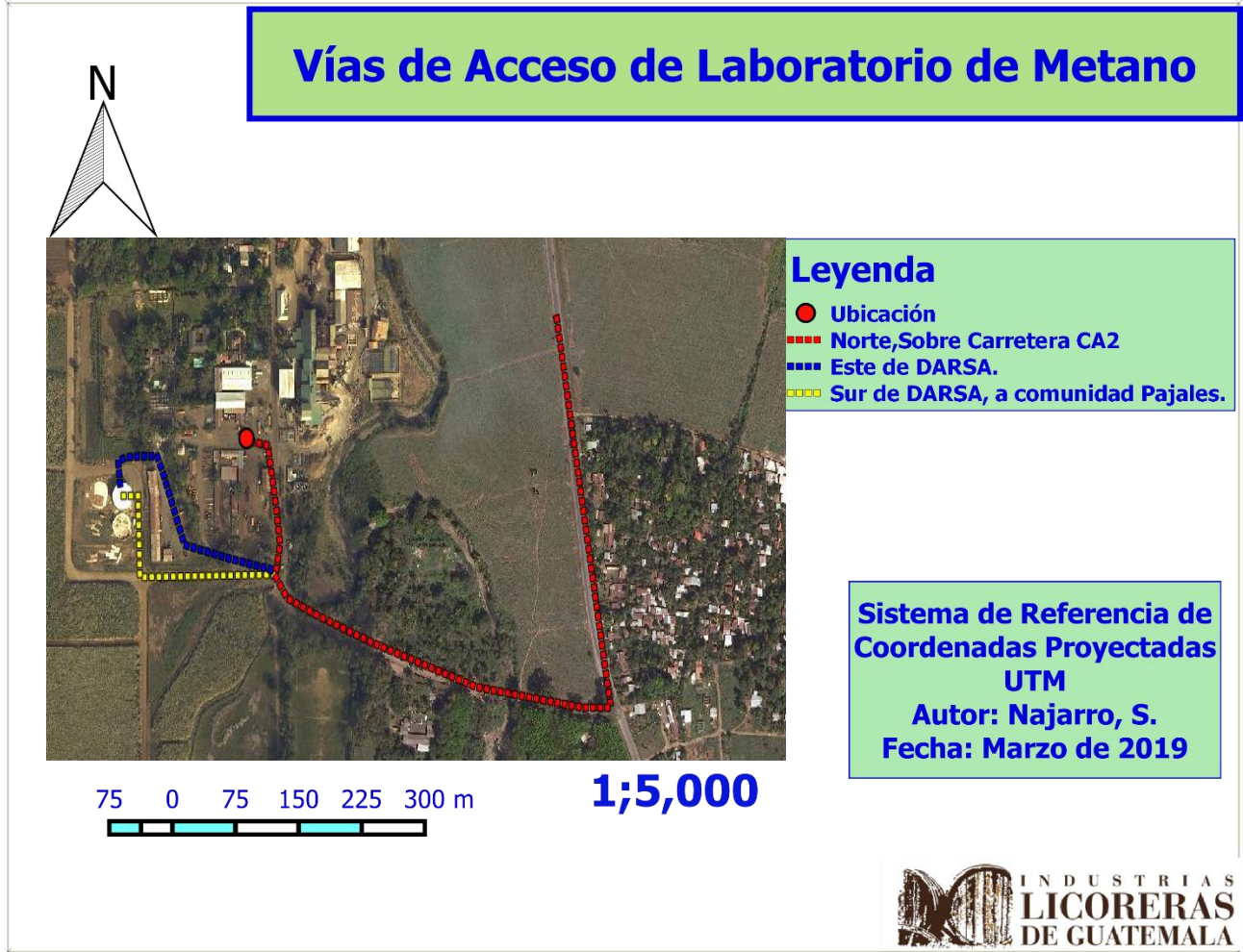


Figura No. 3. Vías de acceso de Laboratorio de Metano.

2.1.8 Producción

Laboratorio de Metano (2,019) detalla como producción 65,000 metro cúbico (m³) biogás por mes, con el funcionamiento de los tres digestores.

2.1.9 Croquis del Laboratorio de Metano

Laboratorio de Metano cuenta con cuatro digestores, los cuales son los tanques en donde se lleva a cabo el proceso de producción de metano, utilizando como materia prima la vinaza, cuenta así mismo con un edificio administrativo. (Laboratorio de Metano 2,019)

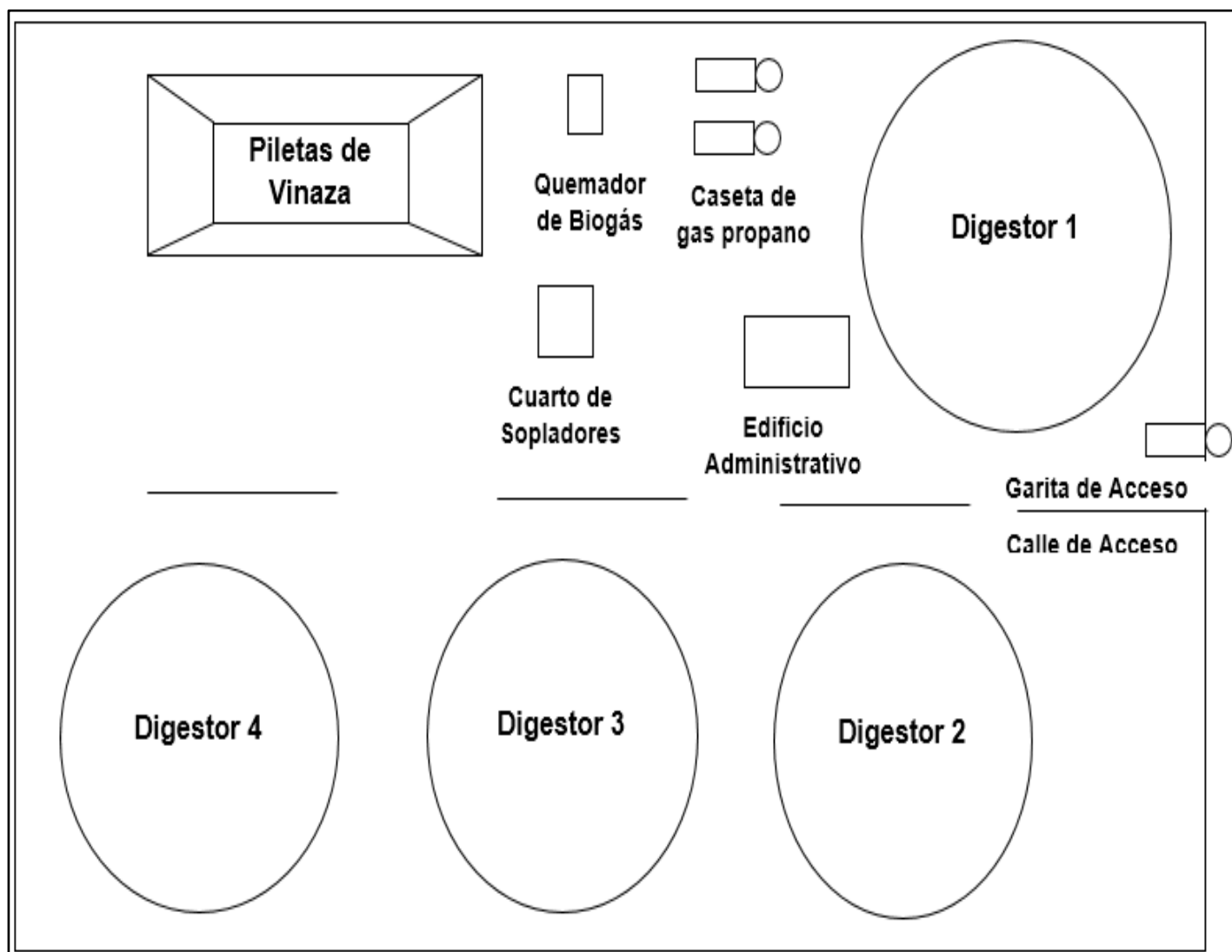


Figura No. 4. Croquis de Laboratorio de Metano.

Fuente: Laboratorio de Metano, 2019.

2.1.10 Generación de biogás

El propósito del Laboratorio de Metano es generar y proveer biogás al proceso de servicios y suministros industriales manteniendo la eficiencia para cumplir el presupuesto anual (Laboratorio de Metano, 2,019, pág.14).

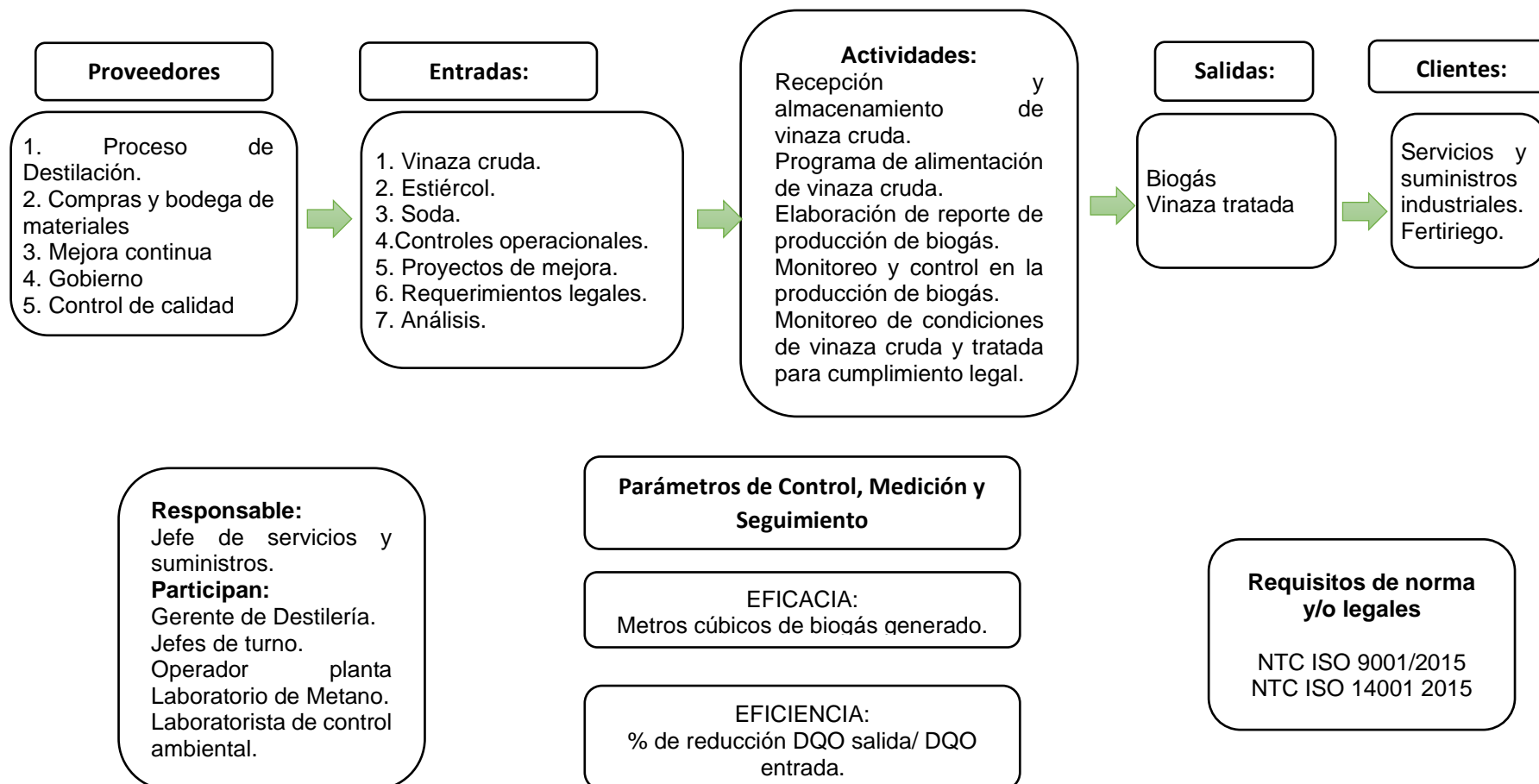


Figura No. 5. Descripción del proceso de generación de biogás.

Fuente: Laboratorio de Metano, 2019.

2.1.11 Proceso del Laboratorio de Metano.

Describe el proceso que se lleva a cabo en el laboratorio para generar metano, desde la generación de la vinaza hasta su proceso de descomposición.

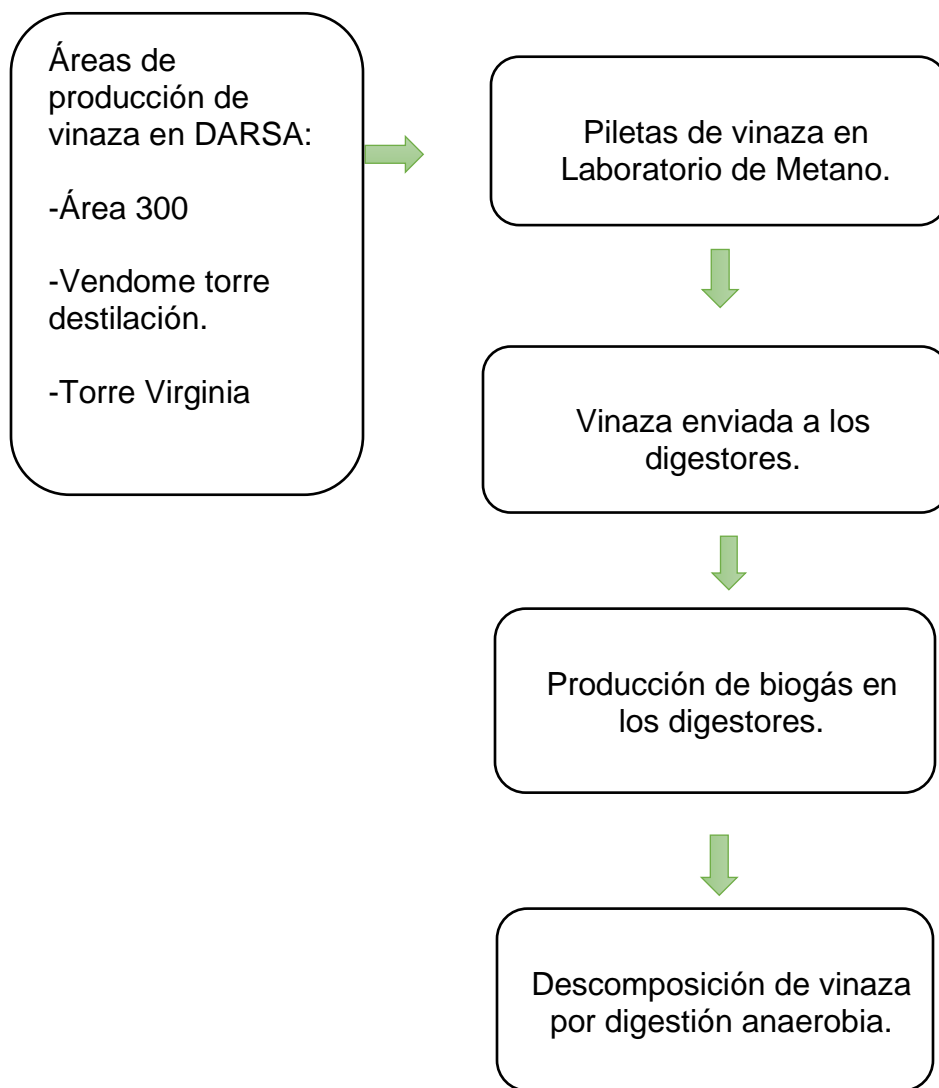


Figura No. 6. Proceso para la producción de biogás.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Términos relacionados a la producción de metano.

A continuación, se detallan algunos términos que se encuentran relacionados al proceso para la producción de metano:

2.2.1.1 Biogás

El criterio de Donadon (2010) dice que es el resultado de la descomposición en la ausencia de oxígeno de varias sustancias orgánicas, por una gran cantidad de bacterias. La energía contenida en los enlaces químicos se libera y se almacena principalmente en el metano, que junto con el dióxido de carbono es el principal componente del biogás. Tiene un alto valor calorífico y se puede convertir en electricidad y calor. (pág.1)

2.2.1.2 Vinazoducto

Industrias Licoreras de Guatemala (2010) establece que vinazoducto es la línea de riego de vinaza agotada a cultivo de caña. (pág.36)

2.2.1.3 Vinaza

Líquido espeso que queda después de la fermentación y destilación de la caña de azúcar. Es un subproducto de la fabricación del alcohol. La vinaza cuenta con grandes cantidades de materias orgánicas y nutrientes como, potasio (K), azufre (S), magnesio (Mg), nitrógeno (N) y calcio (Ca), (Clavijo, 2015, pág.5).

Clavijo (2015) define que la vinaza se caracteriza por tener compuestos fenólicos, la presencia de compuestos orgánicos recalcitrantes como los fenoles pueden disminuir la producción de metano y afectar la estabilidad del proceso (pág.5).

El afán mundial por reemplazar los combustibles fósiles con biocombustibles, ha generado un crecimiento desmesurado en la producción de alcohol carburante, biodiesel y de los residuos propios de cada proceso. (Industrias Licoreras de Guatemala, 2010).

2.2.2 Proceso Avanzado de Oxidación como pre-tratamiento de vinaza.

Los Procesos Avanzados de Oxidación (PAO) han sido usados como alternativa de descontaminación de agua, siendo capaces de mineralizar por completo los contaminantes orgánicos, por medio de digestión anaerobia permitiendo la producción de metano (Malato, 2009, pág.169).

Según García Montaña (2008) no obstante, estas tecnologías necesitan mayor desarrollo para que sean económicamente viables. De esta manera, los acoples con sistemas biológicos representan una de las mejores opciones para disminuir los costos de implementación y los impactos ambientales producidos por los mismos. (pág. 169)

Este estudio tuvo por objeto evaluar el ozono como proceso avanzado de oxidación para degradar compuestos fenólicos presentes en la vinaza generada a partir de la producción de etanol de caña de azúcar, acoplado al proceso de digestión anaerobia para la obtención de metano como biocombustible de segunda generación (García Montaña, 2008, pág.169).

2.2.2.1 Ozono

Es un gas cuyas moléculas están formadas por tres átomos de oxígeno, se descompone con facilidad, teniendo un carácter oxidante fuerte, por lo que se utiliza para desinfección terapéutica y en tratamiento de aguas (Quintana, 2015, p.1).

2.2.2.2 Caracterización de las vinazas.

Previo a cualquier aplicación de ozono se debe de realizar una caracterización a la muestra de vinaza.

Travaini (2013) indica que antes y después del tratamiento de vinaza se caracteriza mediante los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$), sulfuro (S^{-2}) y fenoles totales según el Standard Methods (pág. 169).

2.2.2.3 Metodología del Proceso Avanzado de Oxidación.

Para llevar a cabo un Proceso Avanzado de Oxidación se debe de seguir una metodología para observar el impacto que el método de oxidación llega a tener en las muestras de vinazas.

Los criterios de Gogate (2004) al referirse a la metodología dice:

Las vinazas fueron pre-tratadas mediante un proceso avanzado de oxidación (PAO): Ozonólisis, utilizando una columna de vidrio 40 cm de alto y 5 cm de diámetro, la cual opera con un flujo de 0,5 L/ min de mezcla oxígeno/ozono bajo condiciones de temperatura ambientales (26° C); la concentración de ozono empleada fue de 50 mg por litro. La vinaza se dispuso cruda (55 % de SST) en la columna de vidrio. Con el objetivo de evaluar el sistema de burbujeo y garantizar el flujo de ozono a través de la muestra, se recirculó la espuma generada durante el proceso, de esta manera se logró un contacto constante entre la vinaza y el flujo de ozono. El difusor empleado es de vidrio poroso de burbuja fina en la que la eficiencia de transferencia de ozono se maximiza aumentando el área interfacial (pág.169).

Según Caicedo (2010) utilizó una concentración de ozono de 50 mg/L, por ser esta la concentración considerada más eficiente para la eliminación de compuestos fenólicos en vinazas; el flujo de oxígeno/ozono utilizado fue de 0,5 L/min. Teniendo en cuenta que el objetivo de esta investigación fue la remoción de los compuestos fenólicos en vinazas causando el menor cambio en su composición orgánica para ser aprovechada en la digestión anaerobia, se expuso el sustrato al ozono con periodos cortos de aplicación, evaluando el pre-tratamiento a pH 7,47 y 4,42 (pág. 169).

2.2.3 Análisis de referencia para el proceso de oxidación.

Es importante llevar un control en la composición de las muestras de vinazas, para las comparaciones con el proceso de oxidación, con la realización de análisis de laboratorio. Los análisis establecidos se describen a continuación.

2.2.3.1 Potencial de hidrógeno

Según Raffino (2019) es una escala de medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia. Cuando se obtiene mediante una medida de pH que un producto, sustancia o elemento es ácido, quiere decir que posee una alta o baja cantidad de iones de hidrógeno ó si una sustancia es alcalina significa que no cuenta con estas concentraciones de iones de hidrógeno. (pág.3)

2.2.3.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Según Arocena (2016) la demanda bioquímica de oxígeno mide la cantidad de:

Oxígeno consumido por los microorganismos en la oxidación química de la materia orgánica contenida en la muestra de agua, durante un intervalo de tiempo específico (5 días) y a una temperatura determinada 20 grados centígrados (°C). La DBO₅ muestra la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y mide cuánto oxígeno se consume para su depuración. Cuanto mayor sea la DBO, mayor es la cantidad de materia orgánica degradable. Este parámetro es utilizado como indicador de la carga orgánica vertida por efluentes de aguas residuales o efluentes industriales. (pág.1)

2.2.3.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Rodier (1981) indica:

Determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujos en solución fuertemente ácida, ácido sulfúrico (H₂SO₄) con un exceso conocido de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) en presencia de sulfato de plata (AgSO₄) que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercurico (HgSO₄) adicionado para remover la interferencia de los cloruros.

Para muestras de un origen específico, la DQO se puede relacionar empíricamente con la DBO, el carbono orgánico o la materia orgánica; la prueba se usa para controlar y monitorear después que se ha establecido la correlación (pág.1).

2.2.3.4 Fenoles Totales

Según Hurman (1985) los fenoles son compuestos orgánicos aromáticos que contienen el grupo hidroxilo como su grupo funcional. Están presentes en las aguas naturales, como resultado de la contaminación ambiental y de procesos naturales de descomposición de la materia orgánica. La débil acidez del grupo fenólico ha determinado que se los agrupe químicamente junto a los ácidos carboxílicos y a los taninos, conformando así el grupo de los ácidos orgánicos (pág.1).

Las concentraciones naturales de compuestos fenólicos son usualmente inferiores a 1 µg/l y los compuestos más frecuentemente identificados son fenol, cresol y los ácidos siríngico, vainílico y p-hidroxibenzoico. En aguas contaminadas es posible detectar otros tipos, como los clorofenoles, fenilfenol y alquilfenol. Los fenoles son cocarcinógenos, al aumentar la carcinogénesis cuando se administran simultáneamente con un carcinógeno (Hurman, 1985, pág.3).

2.2.3.5 Sólidos Suspendidos Totales

Rodier (1981) indica:

La cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro - mg/l), presentes, en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración en vacío, o la centrifugación del líquido. Algunas veces se asocia a la turbidez del agua. Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante (pág.1).

2.2.4 Análisis estadísticos de datos.

La importancia de la realización de análisis estadísticos es para la identificación de tendencias y detectar patrones de comportamiento ocultos.

2.2.4.1 Media aritmética

Ubaldo (2018) indica que la media aritmética es el valor promedio de las muestras y es independiente de las amplitudes de los intervalos. Se simboliza como \bar{x} y se encuentra sólo para variables cuantitativas. Se encuentra sumando todos los valores y dividiendo por el número total de datos (pág.1).

Visto desde un punto de vista más conceptual, la media aritmética es el centro de los datos en el sentido numérico, ya que intenta equilibrarlos por exceso y por defecto, (Ubaldo, 2018, pág.1).

2.2.4.2 Rango

Según Villagrán (2017) define el rango o recorrido de una variable estadística como la diferencia entre el mayor y el menor valor de la variable. El rango indica la longitud del intervalo en el que se hallan todos los datos de la distribución.(pág.1).

2.2.4.3 Máximo y mínimo de datos estadísticos.

Vallejo (2017) indica que el máximo y mínimo en estadística es el conjunto de datos cuantitativos tiene muchas características. Uno de los objetivos de las estadísticas es describir estas características con valores significativos y proporcionar un resumen de los datos sin enumerar cada valor del conjunto de datos. El mínimo es el valor más pequeño del conjunto de datos. El máximo es el valor más grande del conjunto de datos (pág.1).

2.2.4.4 Cálculo de producción de biogás.

Según Urias (2018) la producción de biogás se puede determinar de la siguiente manera:

$$P = 0,0003 \text{ (DQO)} = \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{m}^3 \text{ vinaza}}$$

$$\text{Producción Total} = \frac{\text{Producción de vinaza m}^3}{\text{día}} * \frac{\text{m}^3 \text{ biogas}}{\text{m}^3 \text{ vinaza}}$$

Dónde:

P = Producción de biogás a condiciones estándar, expresada en [m³ biogas/m³ vinaza]

DQO = Demanda Química de Oxígeno, expresada en [mg/l].

III. Objetivos

3.1 Objetivo General

- 3.1.1** Evaluar procedimientos para llevar a cabo el pre-tratamiento de la vinaza mediante un proceso avanzado de oxidación (PAO).

3.2 Objetivos Específicos

- 3.2.1** Demostrar a escala laboratorio la influencia de tiempos de oxidación sobre la producción de metano a partir de vinazas pre-tratadas bajo diferentes concentraciones de ozono, pH y tiempo de aplicación.
- 3.2.2** Comparar y analizar los resultados de los procesos de pre- tratamiento y seleccionar el más eficiente.
- 3.2.3** Estimar el impacto económico de la producción de metano a partir de vinazas pre-tratadas con un PAO.

IV. Materiales y métodos

4.1 Materiales

Los materiales utilizados durante la realización de la investigación fueron los siguientes:

Tabla No. 2. Recursos humanos utilizados para la realización de la investigación.

Descripción	Cantidad	Mes	Costo por unidad	Costo total
Estudiante epesista Ingeniería en Gestión Ambiental Local.	1	2	Q. 2,000.00	*
Docente Supervisor- Asesor de EPS	1	--	--	--
Encargado de Laboratorio de ambiente.	1	2	Q. 1,500.00	Q. 3,000.00
TOTAL				Q. 7,000.00

*Cubierto por el estudiante de EPS.

Tabla No. 3. Recursos financieros contemplados para la elaboración del trabajo de investigación inferencial en el Laboratorio de Metano.

Descripción	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
Lapicero	1	Q 2.00	Q 2.00
Computadora	1	Q 3,500.00	*
Memoria USB	1	Q 50.00	Q 50.00
Libreta de campo	1	Q 25.00	Q 25.00
Soporte universal (Ver Anexo 10.5 Figura No.14)	1	---	---
Vinaza	--	---	---
Generador de ozono (Ver Anexo 10.5 Figura No.18)	1	Q 968.83	Q 968.83
Matraz Kitasato de 1000 ml (Ver Anexo 10.5 Figura No.15)	1	Q 452.00	Q 452.00
Tubo refrigerante o tubo destilador (Ver Anexo 10.5 Figura No.16)	1	Q 107.00	Q 107.00
Botella pet	1	Q 3.00	Q 3.00
Beacker de 1000 ml (Ver Anexo 10.5 Figura No.17)	1	Q 100.00	Q 100.00
Manguera	1 metro	Q 10.00	Q 10.00
Corcho	1	Q 15.00	Q 15.00
Análisis de DQO	36	Q 100.00	Q 3,600.00
Análisis de DBO	36	Q 100.00	Q 3,600.00
Análisis de pH	36	Q 25.00	Q 900.00
Análisis de sólidos suspendidos totales	36	Q 125.00	Q 4,500.00
Análisis de ácidos volátiles	18	Q 50.00	Q 900.00
Fenoles totales	36	Q 125.00	Q 4,500.00
TOTAL			Q 19,732.83

*No fue necesaria la compra.

4.2 Métodos

La metodología utilizada durante la realización de la investigación fue la siguiente:

4.2.1 Proceso general de ozonólisis

4.2.1.1 Análisis en laboratorio

- a. Se colocó el tubo destilador en el soporte universal y se unió con una parte de manguera el tubo destilador, con el matraz kitasato y el aparato generador de ozono.
- b. Se realizó la recolección de la muestra de vinaza, en las pilas de enfriamiento y en la tubería que conducen a los digestores, se guardó 1 litro (lt) de muestra de vinaza cruda en una botella pet.



Figura No. 7. Tuberías que conecta las pilas de enfriamiento y los digestores.

- c. A la vinaza obtenida se le realizaron los análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), fenoles totales y ácidos volátiles (descritos en el inciso 4.2.12 pág. 23).
- d. Se colocaron 500 ml de muestra de vinaza cruda en un beaker de 1000 ml.



Figura No. 8. Vinaza para aplicar ozono.

- e. Se midió el pH de la muestra y se ajustó según el pH con el que se iba a evaluar el pre-tratamiento. Se aumentó el pH con hidróxido de sodio y se disminuyó con ácido sulfúrico, hasta alcanzar el pH necesario, por ejemplo 7.47 y 4.42.



Figura No. 9. Ajuste de pH a muestra de vinaza.

- f. Se colocó la vinaza cruda con el pH ajustado en un matraz kitasato de 1000 ml.



Figura No. 10. Aplicación de ozono a vinaza.

g. Se procedió a realizar los análisis bajo las condiciones previstas para el pre-tratamiento en cantidad y tiempo de ozono, que a continuación se detallan:

Tabla No. 4. Condiciones de operación utilizado en el proceso de ozonólisis.

pH	Tiempo de Aplicación	Cantidad de Ozono
7.47	15 minutos	80 mg y 3 g
	30 minutos	
	1 hora	4 g
	2 horas	8 g
	3 horas	
4.42	15 minutos	80 mg y 3 g
	30 minutos	
	1 hora	4 g
	2 horas	8 g
	3 horas	

h. Al finalizar la aplicación de cada pre-tratamiento con las condiciones de pH, tiempo y de ozono, la muestra de vinaza fue preservada durante 24 horas en una botella pet, posteriormente fue analizada mediante los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), fenoles totales y ácidos volátiles (Descritos en el inciso 4.2.12 pág. 23).

4.2.1.2 Metodologías para la realización de los análisis pre y post ozonización.

A continuación se describen los procesos de los análisis Sólidos Suspendidos Totales (SST), Fenoles Totales, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y ácidos volátiles.

4.2.1.2.1 Determinación de Sólidos Suspendidos Totales en vinaza.

Industrias Licoreras (2018) indica la metodología para la realización del análisis de Sólidos Suspendidos Totales, detallándolo a continuación:

- Insertar el filtro de micro fibra de vidrio Whatman 934-AH con el lado rugoso hacia arriba, en el aparato de filtración.
- Encender la bomba de vacío y se lava el filtro con tres porciones de 20 ml de agua desmineralizada.
- Continuar las aplicaciones de vacío hasta eliminar las trazas de agua.
- Remover el filtro del aparato a un vidrio de reloj utilizando pinzas.
- Secar en el horno a 105 °C durante 1 hora.
- Después se enfría en la desecadora durante 30 minutos.
- Se pesa el filtro en la balanza analítica (Peso B).
- Ensamblar el aparato de filtración (embudo, kitasato) y se inicia succión, humedecer el filtro con una pequeña porción de agua desmineralizada.
- Se mezcla la muestra con un agitador magnético.
- Mientras se está agitando extraer 50 ml de la muestra (agua) y 10 a 5 ml de muestra (vinaza) con una pipeta volumétrica.
- Lavar con tres porciones de agua desmineralizada de 20 ml cada una, permitiendo el drenaje complejo entre cada lavado.
- Continuar la succión hasta 3 minutos, después que se haya completado la succión.
- Cuidadosamente transferir el filtro con pinzas a un vidrio de reloj.
- Secar durante 1 hora en el horno a 105°C.
- Enfriar en la desecadora durante 15 minutos.
- Pesar el filtro de micro fibra de vidrio Whatman 934-AH

- Calcular los sólidos suspendidos totales de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$SST = \frac{(A-B) * 1000000}{\text{ml de muestra}}$$

ml de muestra

Dónde:

A= Es el peso del plato con residuos.

B= Es el peso del plato.

4.2.1.2.2 Análisis de Demanda Química de Oxígeno

Industrias Licoreras de Guatemala (2010) indica la metodología para la realización del análisis de Demanda Química de Oxígeno, detallándolo a continuación:

- Encender el termoreactor.
- Agitar la muestra.
- Realizar una dilución de 10 ml de muestra y 40 ml de agua desmineralizada, eso es para muestras de los digestores.

La dilución para muestras de vinaza cruda son 5 ml de muestra y 45 ml de agua desmineralizada.

- Agitar los viales (frascos) que se utilizan para medición de DQO.
- Agregar 0.2 ml de muestra diluida a los viales, (se tapan y se agitan).
- Colocar los viales en el termoreactor previamente calentado; cuando se cumple el tiempo de reacción esperar a que la temperatura baje a 120°C.
- Sacar los viales del termoreactor y agitarlos.
- Dejar enfriar los viales a temperatura ambiente.
- Encender el espectrofotómetro.
- Seleccionar en programas almacenados, el programa DQO HR+ (#435), se da clic en inicio.
- Colocar el vial de blanco (BLK)
- Se coloca el vial que se va a leer.
- Se multiplica el resultado por el factor de dilución:

En los digestores el resultado se multiplica por 50.

En la vinaza cruda el resultado se multiplica por 100.

4.2.1.2.3 Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Laboratorio de Metano (2019) indica la metodología para la realización del análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno, detallándolo a continuación:

- Realizar una dilución de 10 ml de muestra y 90 ml de agua desmineralizada, eso es para muestras de vinaza cruda.

La dilución para muestras de digestores son 20 ml de muestra y 80 ml de agua desmineralizada.

- Colocar en la botella de vidrio No.1 una muestra de 22.7 ml de la dilución.
- Colocar dentro de la botella No.1 sobre pequeño de nutrientes, los cuales vienen en el kit para realizar el análisis.
- Colocar un imán dentro de la botella de vidrio No.1 utilizada.
- Se coloca un embudo pequeño de color negro que traen las botellas para el análisis de DBO.
- Dentro del embudo se colocan 4 perlas de hidróxido de potasio.
- Enroscar la batería en la botella, se presionan los dos botones al mismo tiempo para reiniciarlo y que empiece a realizar un nuevo conteo.
- Colocar en una plancha con movimiento durante 5 días.
- Al quinto día se realiza la lectura del análisis de DBO y se multiplica por el factor de dilución.

4.2.1.2.4 Determinación de Fenoles Totales

Laboratorio de Metano (2019) indica la metodología para la realización del análisis de fenoles totales, detallándolo a continuación:

- Realizar una dilución de 2 ml de muestra de vinaza y 98 ml de agua desmineralizada en un balón.
- Colocar en el recipiente no.1 de ejemplo y en el recipiente no.2 de ejemplo (lo trae el kit para realizar el análisis), la muestra diluida.
- Colocar el reactivo EDTA polvo, en el recipiente no.1 y no.2 con muestra.
- Agitar los recipientes.

- Se adicionan 15 gotas de solución buffer, para bajar la dureza, en los dos recipientes de ejemplo.
- Remover los recipientes.
- Colocar el recipiente no.1 en el aparato de lectura de fenoles totales.
- Aplicar el reactivo número 2 de Fenol, en el recipiente no.2.
- Agitar el recipiente.
- Agregar en el recipiente no.2, persulfato de potasio y se agita.
- Añadir en el aparato de lectura de fenoles totales los dos recipientes de ejemplo que se utilizó con los reactivos.
- Comparar con los colores que marque el aparato, hasta que el recipiente no.2 indique el mismo color que el recipiente no.1.
- Anotar el resultado y multiplicarlo por el factor de dilución.

4.2.1.2.5 Análisis de ácidos volátiles

Laboratorio de Metano (2019) indica la metodología para la realización del análisis de ácidos volátiles, detallándolo a continuación:

- Colocar 100 ml de muestra de vinaza al balón.
- Agregar 160 ml de agua.
- Añadir 5 ml de ácido sulfúrico.
- Adicionar 3 gotas de antiespumante.
- Posicionar el balón en el destilador hasta recolectar 150 ml de muestra destilada.
- Incrementar 5 ml de gotas de fenolftaleína a la muestra destilada.
- Titular con hidróxido de sodio hasta alcanzar un color rosado.
- Se multiplica el gasto de hidróxido de sodio por 10 y después por 60, es el resultado de la muestra.

A continuación, se detalla por medio de un flujograma, la metodología realizada en los pre-tratamiento con ozono a muestras de vinaza:

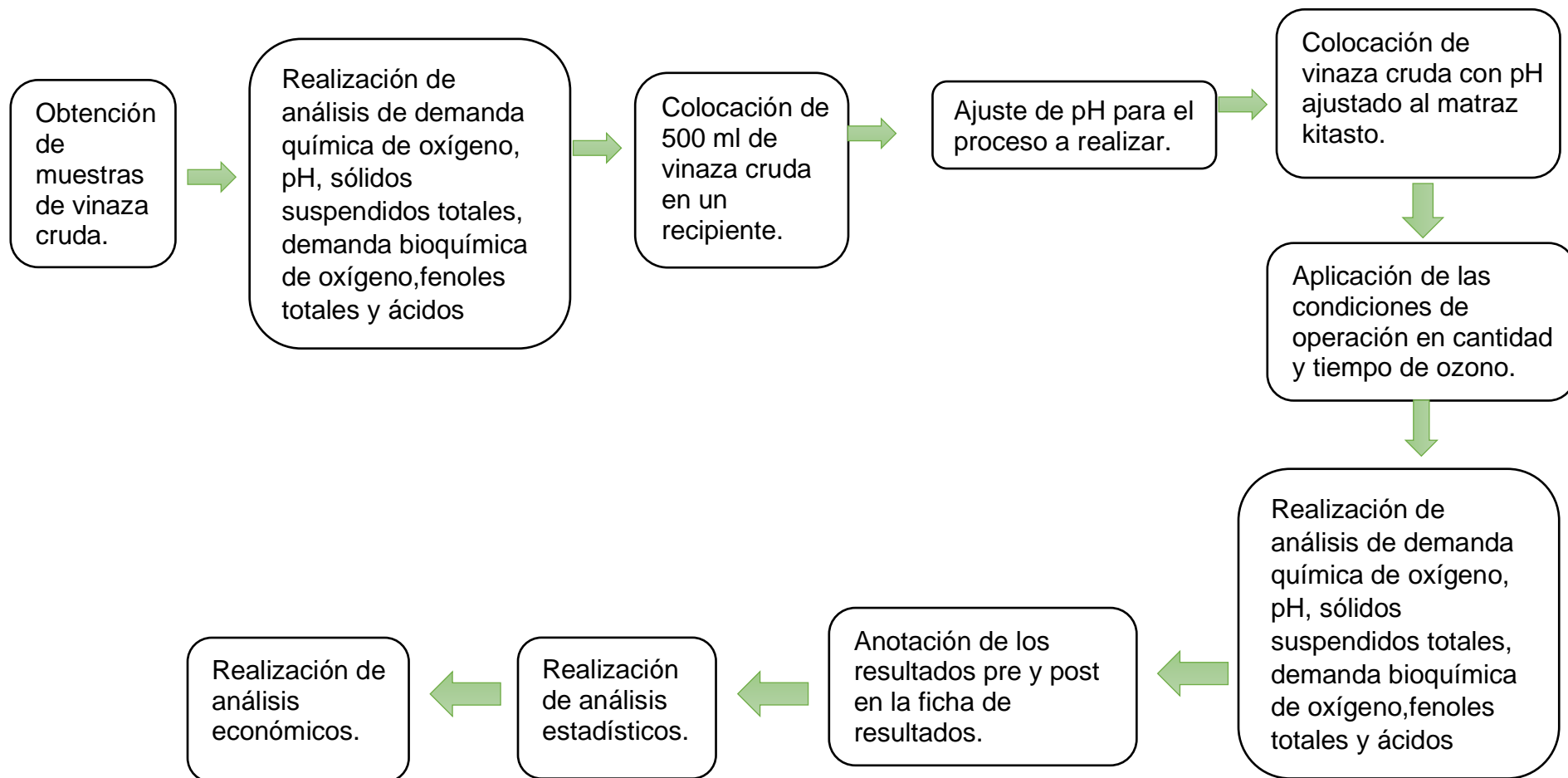


Figura No. 11. Flujograma de la metodología utilizada para la realización de vinaza pre-tratada con ozono.

4.2.1.3 Análisis estadísticos

a. Se compararon los resultados obtenidos en los análisis realizados a la muestra de vinaza, para la elección del pre-tratamiento más eficiente, por medio de los siguientes análisis estadísticos:

- *Mínimo*: El valor más pequeño del conjunto de datos de los resultados de los análisis.

- *Máximo*: El valor más grande del conjunto de datos de los resultados de los análisis.

- *Rango*: El rango se calcula como la diferencia entre el valor más grande y el valor más pequeño de los datos.

$$R = \text{Máximo} - \text{Mínimo}$$

- *Media aritmética*: se utiliza para calcular un valor representativo de los valores que se están promediando.

$$\bar{X} = \frac{\sum X \text{ (suma de todos los datos)}}{N \text{ (cantidad de datos)}}$$

4.2.1.4 Análisis de impacto económico

Se prosiguió a estimar el impacto económico con los siguientes análisis.

a. Producción de Biogás con el pre-tratamiento de ozonización

Según Urias (2018) la producción de biogás se puede determinar de la siguiente manera:

P = Producción de biogás a condiciones estándar, expresada en [m³ biogas/m³ de vinaza]

$$P = 0,0003 \text{ (DQO)} = \frac{\text{m}^3 \text{ biogas}}{\text{m}^3 \text{ vinaza}}$$

$$\text{Producción Total} = \frac{\text{Producción de vinaza m}^3}{\text{día}} * \frac{\text{m}^3 \text{ biogas}}{\text{m}^3 \text{ vinaza}}$$

Dónde:

P = Producción de biogás a condiciones estándar, expresada en [m³ biogas/m³ vinaza]

DQO = Demanda Química de Oxígeno, expresada en [mg/l].

b. Cálculo de kWh/mes

$$\frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{1 \text{ día}} * \frac{2.2 \text{ kW/h}}{1 \text{ m}^3 \text{ biogás}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = \text{kWh/mes}$$

c. Cálculo de Indicador de productividad

$$IP = \frac{\text{Vinaza}}{\text{Producto (m}^3 \text{ biogás)}}$$

Dónde:

Vinaza es la cantidad total de materia prima utilizada en metro cúbico (m³) de vinaza.

Producto son los metro cúbico (m³) de biogás generados.

d. Valor Actual Neto

$$-II + \frac{FF_1}{(1+i)^1} + \frac{FF_2}{(1+i)^2} + \frac{FF_3}{(1+i)^3} + \frac{FF_4}{(1+i)^4}$$

e. Punto de Equilibrio

$$PE = \frac{\text{Costo Fijo}}{\text{Margen de contribución (precio-costos variable)}}$$

V. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en el pre-tratamiento de vinaza cruda fueron los siguientes:

5.1 Evaluación a escala de laboratorio.

De la influencia de tiempos de oxidación sobre la producción de metano a partir de vinazas pre-tratadas bajo diferentes concentraciones de ozono, pH y tiempo de aplicación, se obtuvo la reducción de fenoles totales hasta 105 miligramos por litro de vinaza, en condiciones de tiempo de aplicación de 2 horas, con un pH de 7.47 y con una concentración de ozono de 8 gramos.

A continuación se presentan los análisis realizados antes de la aplicación de los pre-tratamiento a la muestra de vinaza cruda para el proceso de ozonólisis.

Tabla No. 5. Resultados de análisis antes de la aplicación de los pre-tratamiento.

Condiciones de Pre-tratamiento		Análisis realizados				
pH	Cantidad de Ozono	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Ácidos Volátiles (ppm)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Fenoles Totales (mg/L)
7.47	80 mg	10,000	60,600	1,740	6,000	80
	3 g					
	80 mg	10,000	67,900	2,040	9,800	120
	3 g					
	4 g					
	8 g					
8 g	13,500	82,800	2,286	800	140	
4.42	80 mg	12,000	51,600	2,040	6,200	120
	3 g	9,000	52,500	2,100	5,000	110
	80 mg					
	3 g	20,000	74,100	1,920	8,200	150
	4 g	30,000	65,000	2,220	6,400	170
	8 g					
8 g	15,500					

Se realizó los análisis a las muestras de vinaza, antes de la aplicación de los pre-tratamiento con ozono, para realizar la comparación entre las muestras pre-tratadas, de

esa forma determinar las diferencias significativas que se obtendría en la eficiencia de producción de biogás.

Posteriormente se presentan los análisis realizados después de la aplicación de los pre-tratamientos de la vinaza con el proceso de ozonólisis

Tabla No. 6. Resultados de análisis después de la aplicación de los pre-tratamientos.

Condiciones de Pre-tratamiento			Análisis realizados				
pH	Tiempo de Aplicación	Cantidad de Ozono	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Ácidos Volátiles (ppm)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Fenoles Totales (mg/L)
7.47	15 minutos	80 mg	12,000	42,800	1,680	8,200	100
	15 minutos	3 g	10,500	42,800	1,620	7,000	90
	30 minutos	80 mg	12,500	40,900	1,680	4,800	100
	30 minutos	3 g	8,500	51,100	1,680	6,400	90
	1 hora	4 g	10,500	58,800	1,440	7,600	70
	2 horas	8 g	10,000	45,900	1,800	8,400	15
	3 horas	8 g	14,000	70,900	2,340	4,000	90
4.42	15 minutos	80 mg	10,500	51,600	1,920	7,800	100
	15 minutos	3 g	10,000	44,500	1,980	5,600	100
	30 minutos	80 mg	10,000	45,800	2,040	5,400	105
	30 minutos	3 g	26,000	64,300	2,472	6,400	135
	1 hora	4 g	2,700	67,900	2,160	11,800	120
	2 horas	8 g	24,000	66,600	2,280	12,800	100
	3 horas	8 g	16,500	104,800	2,520	3,200	140

En las muestras pre-tratadas con ozono, se obtuvo la disminución de los parámetros de Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, fenoles totales y ácidos volátiles; aumentando en el análisis de sólidos suspendidos totales indicando la

degradación de la materia prima, en dónde un pre-tratamiento con la aplicación de ozono fue el más significativo en las diferencias encontradas.

5.2 Comparación y análisis

Los resultados de los procesos de pre- tratamiento y seleccionar el más eficiente.

A continuación, se detallan los resultados de los análisis realizados a muestras de vinaza cruda, obteniendo los cálculos de los datos por medio de ecuaciones estadísticas que conlleva a la comparación de los resultados.

Tabla No. 7. Comparación de resultados de vinaza cruda. (ver anexo pág. 39 y pág. 40)

Resultados de Vinaza Cruda					
	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Ácidos Volátiles (ppm)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Fenoles Totales (mg/L)
Valor Máximo	30,000	110,600	2,430	9,800	170
Valor Mínimo	9,000	51,600	1,740	800	80
Rango	21,000	59,000	690	9,000	90
Media Aritmética	9,428.57	44,050	1,344	3,685.71	84.28

Se obtuvo el valor máximo, mínimo, rango y media aritmética, de todos los datos obtenidos en los análisis de las muestras de vinaza sin pre-tratamiento, para determinar los cambios en cada uno de los análisis realizados.

Se detallaron los resultados de los análisis realizados a muestras de vinaza pre-tratadas, obteniendo los cálculos de los datos por medio de ecuaciones estadísticas que conlleva a la comparación de los resultados.

Tabla No. 8. Comparación de resultados de vinaza con ozonización, (ver anexo pág. 40)

Resultados del pre-tratamiento de Vinaza con Ozonización.					
	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Ácidos Volátiles (ppm)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Fenoles Totales (mg/L)
Valor Máximo	26,000	104,800	2,520	12,800	140
Valor Mínimo	2,700	40,900	1,440	3,200	15
Rango	23,300	63,900	1,080	9,600	125
Media Aritmética	12,692	57,050	1,972	7,100	96.78

Se compararon los resultados estadísticos de las muestras de vinaza pre-tratadas con los de vinaza cruda; obteniendo datos significativos ya que disminuyeron en gran cantidad.

a. Valor Mínimo

Se llevó a cabo la comparación de los resultados obtenidos de cada análisis realizado, en cada uno de los pre-tratamientos aplicados y de la muestra de vinaza cruda, para determinar los incrementos o disminución en cantidades.

Los valores mínimos con la aplicación de ozono tuvieron resultados significativos, ya que el DBO sin el pre-tratamiento se encontraba en 9,000 mg/L y con el pre-tratamiento se encontraba en 2,700 mg/L, DQO sin el pre-tratamiento en 51,600 mg/L y con el pre-tratamiento se encontraba en 40,900 mg/L, ácidos volátiles sin el pre-tratamiento en 51,600 ppm con pre-tratamiento se encontró en 1,440 ppm; los fenoles totales sin el pre-tratamiento en 80 mg/L con el pre-tratamiento se encontró en 15 mg/L; siguió disminuyendo con la ozonización.

Se obtuvieron resultados significativos ya que la materia orgánica, no biodegradable y fenoles totales disminuyeron, logrando la disminución de los ácidos volátiles, siendo estos un factor determinante en la eficiencia de producción de biogás.

b. Valor Máximo

Se compararon 14 datos por cada análisis realizado, en la muestra de vinaza cruda y con la vinaza pre-tratada.

Los valores máximos con la aplicación de ozono tuvieron resultados significativos ya que el DBO se encontraba sin el pre-tratamiento en 30,000 mg/L con el pre-tratamiento en 26,000 mg/L, DQO sin el pre-tratamiento en 110,600 mg/L con pre-tratamiento se encontraba en 104,800 mg/L y fenoles totales disminuyeron en sus valores máximos.

El pre-tratamiento accionó de una forma positiva ya que sin el pre-tratamiento se encontraba en 170 mg/L y con el pre-tratamiento se obtuvo 140 mg/L, ya que en los valores más altos de los análisis disminuyeron.

La importancia radica en que los fenoles totales disminuyeron, la materia no biodegradable también disminuyó, pero produjo la elevación de sólidos suspendidos totales, sin el pre-tratamiento se encontraba en 9,800 mg/L con el pre-tratamiento en 12,800 mg/L, los cuales deberán de ser removidos en los digestores cuando llegue aplicarse en la planta de Laboratorio de Metano la investigación realizada.

c. Rango

Se obtuvo la longitud del intervalo en el que se hallan todos los datos de distribución al aplicar ozono en la vinaza, los cuales establecen que los datos se encuentran más dispersos mientras el rango tenga un aumento, en este caso, en la investigación inferencial, se obtuvo que los datos tuvieron cambios significativos, ya que se encuentran en una distribución mayor a la obtenida antes de la aplicación de ozono.

Los datos obtenidos con la aplicación de ozono en vinaza en el análisis de DBO fue de 23,300 g/L, en DQO de 63,900, ácidos volátiles de 1,080 ppm, sólidos suspendidos totales 9,600 mg/L y en fenoles totales de 125 mg/L, todos los datos aumentaron con los pre-tratamientos, lo que indica que hubo variaciones y beneficia el proceso en cada

análisis realizado; ya que en la vinaza cruda se obtuvo un rango en el análisis de DBO de 21,000 mg/L, en DQO 59,000 mg/L, ácidos volátiles de 690 ppm, sólidos suspendidos totales de 9,000 mg/L y en fenoles totales de 90 mg/L.

d. Media aritmética

Se obtuvo un promedio en la muestra de vinaza cruda y con los pre-tratamiento, en cada análisis realizado, para equilibrar los datos obtenidos por exceso y por defecto, dar de esta forma valores de referencia en los resultados obtenidos.

La media de los datos obtenidos en los análisis de vinaza pre-tratada aumentaron, lo cual indica que hubieron cambios; los análisis de DBO con vinaza pre-tratada se encontraba en una media de 12,693 mg/L, DQO de 57,050 mg/L, ácidos volátiles de 1,972 ppm, sólidos suspendidos totales de 7,100, fenoles totales 96 mg/L; la media de los análisis de DBO con vinaza cruda se encontraba en 9,428 mg/L, DQO de 44,050 mg/L, ácidos volátiles de 1,344 ppm, sólidos suspendidos totales de 3,685 mg/L y fenoles totales de 84 mg/L.

Seguidamente se presenta el pre-tratamiento más eficiente obtenido en la realización de la investigación:

Tabla No. 9. Pre-tratamiento más eficiente obtenido.

Condiciones de Pre-tratamiento			Análisis realizados				
pH	Tiempo de Aplicación	Cantidad de Ozono	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Ácidos Volátiles (ppm)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Fenoles Totales (mg/L)
7.47	2 horas	8 g	10,000	45,900	1,800	8,400	15

El análisis más eficiente fue la muestra de vinaza con un pH de 7.47, en un tiempo de aplicación de 2 horas y una concentración de ozono de 8 gramos, fue el único pre-tratamiento que eliminó una cantidad de 105 mg/L de fenoles totales, también eliminó

cantidades de DBO, DQO ácidos volátiles y los sólidos suspendidos totales aumentaron por la degradación de la materia prima.

5.3 Estimación del impacto económico.

De la producción de metano a partir de vinazas pre-tratadas con un Proceso Avanzado de Oxidación (PAO).

A continuación, se detalla la utilización de metano para sustitución en kWh/mes en el área de calderas y en reemplazo de combustibles fósiles, tomando en cuenta los datos de producción actual y de producción con el pre-tratamiento de ozonización.

Se utilizará el estándar obtenido de metano mensual. De 65,000 metros cúbicos (m³) de biogás.

a. Producción actual de biogás

$$\frac{65,000 \text{ m}^3 \text{ biogás}}{1 \text{ mes}} * \frac{2.2 \text{ kW/h}}{1 \text{ m}^3 \text{ biogás}} = 143,000 \text{ kWh/mes}$$

Se produce actualmente 143,000 kWh/mes en la empresa, con los datos obtenidos en metro cúbico (m³) biogás.

Ahorro estimado de bunker:

$$65,000 \text{ m}^3 \text{ biogás} * \frac{58 \text{ kg de bunker}}{100 \text{ m}^3 \text{ biogás}} = 37,700 \text{ kg de bunker}$$

R// 37,700 kg de bunker

Es importante resaltar que 100 metros cúbicos (m³) de biogás equivalen a 58 kilogramos de bunker.

Se produce actualmente 37,700 kg de bunker en la empresa, con los datos obtenidos en metro cúbico (m³) biogás.

b. Producción con el pre-tratamiento de ozonización

A continuación se detalla la producción total por cada metro cúbico de biogás producido en los metros cúbicos de vinaza con ozonólisis con los que contaría la empresa.

$$P = 0.0003 (45,900) = 13.77 \text{ m}^3 \text{ biogás/ m}^3 \text{ de vinaza}$$

$$\text{Producción total} = 5,400 \text{ m}^3 \text{ vinaza mes} * \frac{13.77 \text{ m}^3 \text{ biogás mes}}{\text{m}^3 \text{ vinaza mes}} = 74,358 \text{ m}^3 \text{ biogás/mes}$$

$$\frac{74,358 \text{ m}^3 \text{ biogás mes}}{1 \text{ mes}} * \frac{2.2 \text{ kW/h}}{1 \text{ m}^3 \text{ biogás mes}} = 163,587.6 \text{ kWh/mes}$$

Se obtendría con la vinaza pre-tratada 163,587.6 kWh/mes, con una producción de 74,358 m³ biogás/mes.

100 m³ de biogás equivale a 58 kg de bunker.

$$74,358 \text{ m}^3 \text{ biogás} * \frac{58 \text{ kg de bunker}}{100 \text{ m}^3 \text{ biogás}} = 43,127 \text{ kg de bunker}$$

R// 43,127 kg de bunker

Se obtendría con la vinaza pre-tratada 43,127 kg de bunker, con una producción de 74,358 metro cúbico (m³) biogás por mes.

c. Ahorro demanda

$$143,000 \text{ kWh/mes} * 1.82316 \text{ Q/ Kwh} = \text{Q } 260,711.88$$

$$163,587.6 \text{ kWh/mes} * 1.82316 \text{ Q/ Kwh} = \underline{\text{Q } 298,246.36}$$

$$\text{Ganancias de Impacto Económico} = \text{Q } 37,534.48$$

37,700 kg de bunker - 43,127 kg de bunker = 5,427 kg de bunker ahorro por mes

En el ahorro de bunker por mes se tendría un ahorro de 5,427 kg y en el impacto económico por mes se estima una cantidad de Q 37,534.48.

d. Valor Actual Neto

Se llevó a cabo un flujo de fondo para la determinación del valor actual neto (Ver Tabla No.17 pág.61).

$$\begin{aligned} \text{VAN} = & -Q 539,935.48 + (Q198,701.54 / (1+0.20)^1) + (Q215,255.29 / (1+0.20)^2) + \\ & (Q 215,255.29 / (1+0.20)^3) + (Q 215,255.29 / (1+0.20)^4) \\ \text{VAN} = & Q 3,508.52 \end{aligned}$$

Se obtuvo un indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad del proceso propuesto tras medir los flujos de los futuros ingresos, egresos y descontar la inversión inicial quedando alguna ganancia, llamado valor actual neto.

Se determina con el indicador financiero que el proyecto es viable, ya que se obtuvo como resultado en el VAN Q 3,508.52; siendo ganancias para la empresa y estableciendo el proyecto como rentable.

Es beneficioso para la empresa porque aumenta 9,358 metro cúbico (m³) biogás por mes, utilizándolo como energía equivalente a 163,587.6 kWh/mes, se estima que es reemplazable a 43,127 kg de bunker; obteniendo una ganancia de Q 37,534.48 por mes en el ahorro de combustible en el área de calderas, siendo una ganancia de Q450,413.76 al año.

e. Punto de Equilibrio

$$\frac{70,000 \text{ m}^3 \text{ biogás}}{1 \text{ mes}} * \frac{2.2 \text{ kW/h}}{1 \text{ m}^3 \text{ biogás}} = 154,000 \text{ kWh/mes} * 1.82316 \text{ Q/ Kwh}$$

$$R = Q280,766$$

$$\text{PE} = \frac{\text{Costo Fijo}}{\text{Margen de contribución (precio-costo variable)}}$$

$$PE = \frac{Q280,766}{Q 298,246.36 - Q 260,711.88}$$

$$PE = \frac{Q280,766.00}{Q 37,534.00} = 7 \text{ meses}$$

En 7 meses se mantiene un equilibrio económico para la producción de electricidad, con el pre-tratamiento de ozonización, en donde no existen pérdidas para la sustitución de combustibles fósiles.

f. Cálculo de Indicador de productividad

$$IP = \frac{\text{Vinaza}}{\text{Producto (m}^3 \text{ biogás)}}$$

$$IP = \frac{5,400 \text{ m}^3 \text{ vinaza}}{70,000 \text{ m}^3 \text{ biogás}} = \frac{0.0771 \text{ m}^3 \text{ vinaza}}{\text{m}^3 \text{ biogás}}$$

Por cada metro cúbico (m³) de vinaza se produce 0.0771 metro cúbico (m³) de biogás.

Se determinó que con la cantidad de 5,400 metro cúbico (m³) de vinaza que produce la empresa, puede producir 0.0771 metro cúbico (m³) de biogás por cada metro cúbico (m³) de vinaza que se produce al mes; lo que equivale a 74,358 metro cúbico (m³) biogás por mes con la vinaza tratada, a mayor vinaza producida, mayor producción de biogás al mes.

5.4 Estimación del impacto ambiental

Estimar el impacto ambiental en la producción de metano a partir de vinazas pre-tratadas con un PAO:

Resulta muy importante ante el impacto insostenible de las fuentes de energías convencionales no renovables, las cuales contaminan el ambiente por la quema de

combustibles fósiles; una alternativa que permite combatir la contaminación ambiental, gases de efecto invernadero, cambio climático y el calentamiento global como son las fuentes de energías renovables.

Las energías renovables son aquellas que son naturales y que se regeneran en un tiempo corto sin impactar sobre el ambiente.

Entre algunos de los beneficios principales de las energías renovables son que la huella de carbono e impacto ambiental es reducida, por lo que aportaría beneficios en la obtención de la certificación de la huella de carbono, que se desea para la empresa, ayudaría a fortalecer la economía de la empresa con las ganancias a obtener, aportaría soluciones para la comunidad cercana a la empresa, disminuyendo olores y enfermedades a los miembros de dicha comunidad.

a. Reducción de huella de carbono

Entre los beneficios ambientales y económicos que tendría la implementación de la investigación realizada, sería aportar un proceso para aplicar a mercados regulados de carbono, que consiste en la compra y venta de certificados de reducción de emisiones (CERs), permisos de emisión, montos asignados anualmente o unidades de reducción de emisiones (ERUs). Obteniendo una cantidad de \$10 por producción de metro de metano (convertido a biogás), de esta forma poder vender los bonos de carbono que se obtendría por la reducción de emisiones de CO₂.

b. Reducción de materia orgánica en aplicación de fertirriego

Actualmente se calcula de producción una cantidad de 143,000 kWh/mes por la producción de biogás, se estima que con el pre-tratamiento de la muestra de vinaza sometida a un pH de 7.47, tiempo de 2 horas y una concentración de ozono de 8 gramos se llevó a cabo una producción de 163,587.6 kWh/mes; de esta manera se eficiente el proceso y así las muestras de vinaza utilizadas como fertirriego no contengan una gran cantidad de materia orgánica ya que satura los suelos.

VI. Conclusiones

- 6.1 Se produce actualmente 65,000 metros cúbicos (m^3) de biogás mensual, equivalente a 143,000 kiloWatt hora por mes, lo cual es un ahorro estimado de 37,700 kilogramos de bunker.
- 6.2 El pre-tratamiento seleccionado como el más eficiente fue el de pH de 7.47, en un tiempo de aplicación de 2 horas y una concentración de ozono de 8 gramos.
- 6.3 La reducción observada de fenoles totales bajo las condiciones de pre-tratamiento ideales es de 105 miligramos de fenoles por cada litro de vinaza.
- 6.4 El proceso más eficiente aumentaría la producción en 9,358 metros cúbicos (m^3) de biogás al mes, utilizándolo como energía equivalente a 163,587.6 kiloWatt hora por mes.
- 6.5 Se estima que el pre-tratamiento con ozonólisis, seleccionado es reemplazable a 43,127 kg de Bunker, con una producción de 74,358 metros cúbicos (m^3) de biogás por mes.
- 6.6 Se obtendría Q 450,413.76 de ganancias al año, por el ahorro de combustibles fósiles en las producciones de la empresa.

VII. Recomendaciones

- 7.1 La vinaza cruda que se encuentra en el área de pilas de enfriamiento, se debe homogenizar.
- 7.2 Realizar análisis de suelos antes y después de aplicada la vinaza pre-tratada con ozono, para determinar su aporte en sus características químicas.
- 7.3 Llevar un control operacional de la vinaza, por medio de los análisis físico-químicos realizados en el laboratorio de ambiente, para evaluar la eficiencia en la producción de biogás.
- 7.4 Es importante el pre-tratamiento en la vinaza cruda, ya que los niveles de olor disminuyen y eso beneficia a la comunidad cercana.
- 7.5 Llevar un control de los materiales e instrumentos necesarios para la realización de los análisis, para que los mismos no se suspendan o retrasen.

VIII. Referencias Bibliográficas

Alibaba, E. (2019). *Generador de Ozono*. Recuperado el 27 de mayo de 2,019. Disponible en: <https://www.cosemarozono.com>

Arocena, R. (2016). *Principios y métodos de limnología*. Recuperado el 27 de mayo de 2,019. Disponible en: https://www.dinama.gub.uy/indicadores_ambientales/ficha/oan-demanda-bioquimica-de-oxigeno/

Caicedo, N. (2010). *Pre-tratamiento con ozono de vinazas crudas provenientes de la industria de caña de azúcar*. (Tesis de grado). Universidad del Valle: Santiago de Cali, Colombia.

Clavijo, E. (2015). *Aumento de la Biodegradabilidad de la vinaza*. San Andrés Villaseca, Retalhuleu, Guatemala.

Donadon, E. (2010). *IESBIOGAS*. Recuperado el 20 de marzo de 2019. Disponible en: <http://www.iesbiogas.it/es/¿qué-es-el-biogás/527>

Fonseca, E. (2019). *Instrumentos de Laboratorio*. Recuperado el 27 de mayo de 2,019. Disponible en: <https://www.psicologiyamente.com/miscelanea/material-de-laboratorio>.

García, M. (2008). *The Testing of Several Biological and Chemical Coupled Treatments for Cibacron Red FN-R azo dye removal. Journal of Hazardous Materials*. San Andrés Villaseca, Retalhuleu, Guatemala.

Gogate, (2004). *A Review of Imperative Technologies for Wastewater Treatment I: Oxidation Technologies at Ambient Conditions. Advances in Environmental Research*. San Andrés Villaseca, Retalhuleu, Guatemala.

Hurman, E. (1985). *Organic Geochemistry of Natural Waters: Martinus Nijhoff*. Recuperado el 27 de mayo de 2,019. Disponible en: <https://www.mendoza.conet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Fenoles.htm>

Industrias Licoreras de Guatemala, (2010). *Nuestras empresas, nuestra historia*. Recuperado el 5 de marzo de 2019. Disponible en: <http://industriaslicorerasdeguatemala.com/>

Laboratorio de Metano, DARSA. (2019). *Manual del Laboratorio de Metano: Funciones, metodologías de utilización de los biodigestores utilizados para producción de biogás*. San Andrés Villaseca, Retalhuleu, Guatemala.

Malato, S. (2009). *Decontamination and Disinfection of Water by Solar Photocatalysis: Recent Overview*. San Andrés Villaseca, Retalhuleu, Guatemala.

Quintana, J. (2015). *Fundación descubre*. Recuperado el 20 de marzo de 2019. Disponible en: <https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/100-preguntas-100-respuestas/que-es-el-ozono/>

Raffino, M. (2019). *Concepto de pH*. Recuperado el 20 de marzo de 2019. Disponible en: <https://concepto.de/ph/>.

Rodier, J. (1981). *Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. Recuperado el 27 de mayo de 2,019. Disponible en: http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DQO.htm

Rodier, J. (1981). *Análisis de Aguas: Sólidos suspendidos totales*. Recuperado el 27 de mayo de 2019. Disponible en: http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_SST.htm

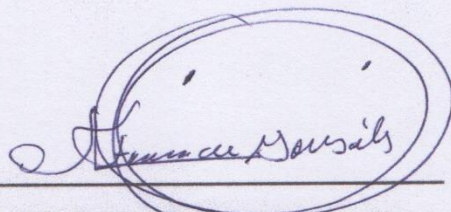
Travaini, R. (2013). *Sugarcane Bagasse Ozonolysis Pretreatment: Effect on Enzymatic Digestibility and Inhibitory Compound Formation*. *Bioresource technology*. San Andrés Villaseca, Retalhuleu, Guatemala.

Ubaldo, T. (2018). *Media Aritmética*. Recuperado el 27 de mayo de 2019. Disponible en: <https://www.sangakoo.com/es/temas/media-aritmetica>.

Urias, W. (2018). *Conversión de Biogás*. Recuperado el 27 de mayo de 2019. Disponible en: [http://www2.udec.cl/~alfaingam/pres/Tarde%20\(PDF\)/15_45%20Marcelo_munoz.pdf](http://www2.udec.cl/~alfaingam/pres/Tarde%20(PDF)/15_45%20Marcelo_munoz.pdf)

Vallejo, P. (2017). *Máximo y Mínimo para datos estadísticos*. Recuperado el 27 de mayo de 2019. Disponible en: <https://www.sangakoo.com/es/temas/media-aritmetica>.

Villagrán, N. (2017). *Rango para datos estadísticos*. Recuperado el 27 de mayo de 2019. Disponible en: <https://www.sangakoo.com/es/temas/media-aritmetica>.



Vo.Bo. Licda. Ana Teresa de González

Bibliotecaria del CUNSUROC



en la cual se pesan los camiones al entrar con la materia prima y por diferencia se saca el peso de miel ingresado a DARSA. También incluye el almacenaje y manejo de mieles durante el tiempo que no hay ingreso (Laboratorio de Metano, 2019, pág. 23).

9.1.2 Fermentación: Es el departamento donde se realiza la reacción mediante la cual el azúcar que contienen las mieles, es transformado en alcohol y gas carbónico. Incluye los tanques germinadores, propagadores y fermentadores (Laboratorio de Metano, 2019, pág. 23).

9.1.3 Destilación: Departamento en el que se encuentran todos los equipos de destilación, los cuales separan el alcohol producido en la fermentación, de los otros componentes del mosto. Este departamento incluye tanquería de recepción de lotes de producto terminado en fábrica y distribuidores de vapor para trabajar las columnas. Así como también la instrumentación de las columnas (Laboratorio de Metano, 2019, pág. 23).

9.1.4 Bodega de producto terminado: los productos terminados se almacenan en tanques previamente establecidos para cada tipo de alcohol producido en DARSA. Este departamento mide la cantidad exacta recepcionada por día y cuando el cliente lo requiere se despacha el producto. También incluye un proceso de añejamiento. Durante este proceso, se prepara el alcohol a ser añejado, mediante dilución con agua y luego se almacena en pipas de roble blanco. El control de todas las bodegas de alcohol es supervisado por un fiscal de algún ministerio (Laboratorio de Metano, 2019, pág. 23).

9.1.5 Departamento de control de calidad: Reúne los laboratorios de proceso, ambiental (que se encarga del tratamiento de los desechos de la planta, incluye el monitoreo de las piletas de vinaza), materias primas y alcoholes (cromatografía) (Laboratorio de Metano, 2019, pág. 23).

9.1.6 Administración: Incluye las áreas de Gerencia de Producción, Gerencia de Mantenimiento y Operaciones, Supervisores, Jefes de Área (Recursos Humanos, Gestión

de Calidad, Control de Calidad), Ingenieros de Producción, Asistente Administrativa (Laboratorio de Metano,2019, pág. 23).

9.1.7 Microdestilería: Incluye el área de diseño y desarrollo de productos artesanales así como la parte productiva de dichos productos (Laboratorio de Metano, 2019, pág. 23).

9.1.8 Tanques de enfriamiento y sedimentación (pileta):

Los tanques de enfriamiento y sedimentación son el lugar donde se enfría y se reposa la vinaza para eliminación de sólidos (Industrias Licoreras de Guatemala, 2010, pág. 36).

9.1.9 Utilización y quema de gas:

Cuando la alimentación de vinaza alcance aproximadamente 100 metro cúbico (m³) por día, se espera que la producción de biogás pueda ser quemada en la caldera o el quemador de biogás GI-01 instalando en la planta (Industrias Licoreras de Guatemala, 2010, pág. 36).

9.1.10 Digestor:

Industrias Licoreras de Guatemala (2010) indica que el digestor es el tanque cerrado herméticamente donde se produce biogás a través de la digestión anaerobia utilizando vinaza como materia prima (pág. 36).

9.1.11 Digestión anaerobia:

Define la digestión anaerobia como el proceso en el cual microorganismos descomponen la vinaza en ausencia de oxígeno generando biogás (Industrias Licoreras de Guatemala, 2010, pág. 36).

9.2 Resultados de análisis realizados a vinaza cruda y pre-tratada.

Tabla No. 10. Resultados de Análisis antes de la aplicación de los pre-tratamiento.

Condiciones de Pre-tratamiento		Análisis realizados				
pH	Cantidad de Ozono	DBO	DQO	Ácidos Volátiles	Sólidos Suspendedos Totales	Fenoles Totales
		(mg/L)	(mg/L)	(ppm)	(mg/L)	(mg/L)
7.47	80 mg	10,000	60,600	1,740	6,000	80
	3 g					
	80 mg					
	3 g	10,000	67,900	2,040	9,800	120
	4 g					
	8 g					
	8 g					
4.42	80 mg	12,000	51,600	2,040	6,200	120
	3 g	9,000	52,500	2,100	5,000	110
	80 mg					
	3 g					
	3 g	20,000	74,100	1,920	8,200	150
	4 g	30,000	65,000	2,220	6,400	170
	8 g					
8 g						
TOTAL:		132000	616700	18816	51,600	1180

Tabla No. 11. Cálculos de los análisis realizados antes de la aplicación de los pre-tratamiento.

Max	30000	110,600	2430	9800	170
Min	9000	51600	1740	800	80
Rango	21000	59,000	690	9000	90
Media	9428.571	44050	1344	3685.714286	84.28571

Máximo: El mayor de los datos.

Mínimo: Es el menor de los datos.

Rango: Diferencia entre el dato mayor y el dato menor.

Media: Suma de todos los datos dividido en la cantidad de datos.

Tabla No. 12. Resultados de Análisis después de la aplicación de los pre-tratamiento.

Condiciones de Pre-tratamiento			Análisis realizados				
pH	Tiempo de Aplicación	Cantidad de Ozono	DBO	DQO	Ácidos Volátiles	Sólidos Suspendedos Totales	Fenoles Totales
			(mg/L)	(mg/L)	(ppm)	(mg/L)	(mg/L)
7.47	15 minutos	80 mg	12,000	42,800	1,680	8,200	100
	15 minutos	3 g	10,500	42,800	1,620	7,000	90
	30 minutos	80 mg	12,500	40,900	1,680	4,800	100
	30 minutos	3 g	8,500	51,100	1,680	6,400	90
	1 hora	4 g	10,500	58,800	1,440	7,600	70
	2 horas	8 g	10,000	45,900	1,800	8,400	15
	3 horas	8 g	14,000	70,900	2,340	4,000	90
4.42	15 minutos	80 mg	10,500	51,600	1,920	7,800	100
	15 minutos	3 g	10,000	44,500	1,980	5,600	100
	30 minutos	80 mg	10,000	45,800	2,040	5,400	105
	30 minutos	3 g	26,000	64,300	2,472	6,400	135
	1 hora	4 g	2,700	67,900	2,160	11,800	120
	2 horas	8 g	24,000	66,600	2,280	12,800	100
	3 horas	8 g	16,500	104,800	2,520	3,200	140
			177,700	798,700	27,612	99,400	1,355

Tabla No. 13. Cálculos de los análisis realizados después de la aplicación de los pre-tratamiento.

Max	26,000	104,800	2,520	12,800	140
Min	2,700	40,900	1,440	3,200	15
Rango	23,300	63,900	1,080	9,600	125
Media	12693	57050	1972.285714	7100	96.78571

Máximo: El mayor de los datos.

Mínimo: Es el menor de los datos.

Rango: Diferencia entre el dato mayor y el dato menor.

Media: Suma de todos los datos dividido en la cantidad de datos.

9.3 Impacto Económico de la investigación.

Tabla No. 14. Costos de Inversión.

Costos de Inversión				
Descripción	Cantidad	Costo por unidad	Costo total por mes	Costo total por año
Libreta de campo	2	Q 25.00	Q 50.00	Q 50.00
Generador de Ozono	1	Q 19,475.00	Q 19,475.00	Q 19,475.00
Vinaza	---	---	---	
Análisis de DQO	36	Q 100.00	Q 3,600.00	Q 43,200.00
Análisis de DBO	36	Q 100.00	Q 3,600.00	Q 43,200.00
Análisis de pH	36	Q 25.00	Q 900.00	Q 10,800.00
Análisis de sólidos suspendidos totales	36	Q 125.00	Q 4,500.00	Q 54,000.00
Análisis de ácidos volátiles	18	Q 50.00	Q 900.00	Q 10,800.00
Fenoles totales	36	Q 125.00	Q 4,500.00	Q 54,000.00
Operador de Laboratorio	1	Q 3,500.00	Q 3,500.00	Q 42,000.00
Energía eléctrica	---	---	Q 367.54	Q 4,410.48
TOTAL:			Q 41,392.54	Q 281,935.48

Tabla No. 15. Amortizaciones.

Amortizaciones	
Descripción	Costo total por año
Análisis de DQO	Q 43,200.00
Análisis de DBO	Q 43,200.00
Análisis de pH	Q 10,800.00

Análisis de sólidos suspendidos totales	Q 54,000.00
Análisis de ácidos volátiles	Q 10,800.00
Fenoles totales	Q 54,000.00
Operador de Laboratorio	Q 42,000.00
TOTAL:	Q 258,000.00

Tabla No. 16. Depreciaciones.

Depreciaciones	
Descripción	Costo total por año
Generador de Ozono	Q19,475.00
TOTAL:	Q19,475.00

Tabla No. 17. Flujo de Fondos al 20%

Flujo de Fondos con tasa del 20%					
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Ingresos		Q 450,413.76	Q450,413.76	Q 450,413.76	Q 450,413.76
Egresos		Q 281,935.48	Q262,460.48	Q 262,460.48	Q 262,460.48
Utilidad Antes					
Impuesto		Q 168,478.28	Q187,953.28	Q 187,953.28	Q 187,953.28
Impuesto		Q 25,271.74	Q 28,192.99	Q 28,192.99	Q 28,192.99
Utilidad neta		Q 143,206.54	Q159,760.29	Q 159,760.29	Q 159,760.29
Depreciaciones		Q 3,895.00	Q 3,895.00	Q 3,895.00	Q 3,895.00
Amortizaciones		Q 51,600.00	Q 51,600.00	Q 51,600.00	Q 51,600.00
Inversión Inicial	-(Q 281,935.48)				
Capital de Trabajo	-(Q 258,000.00)				
Flujo de Fondos	-Q 539,935.48	Q198,701.54	Q215,255.29	Q 215,255.29	Q 215,255.29

$$\text{VAN} = -\text{Q } 539,935.48 + (\text{Q } 198,701.54 / (1+0.20)^1) + (\text{Q } 215,255.29 / (1+0.20)^2) + (\text{Q } 215,255.29 / (1+0.20)^3) + (\text{Q } 215,255.29 / (1+0.20)^4)$$

VAN= Q 3,508.52

Nota: se presenta el análisis de flujo de fondos de vida útil de generador de ozono para 4 años.
Siendo el proyecto rentable ya que el valor actual neto representa ganancias en la empresa.

9.4 Generador de Ozono cotizado.



Figura No. 12. Generador de ozono.

Fuente: Alibaba, 2019

9.5 Instrumentos y equipos utilizados



Figura No. 14. Instrumentos utilizados para el pre-tratamiento.



Figura No. 13. Soporte Universal.
Fuente: Fonseca, 2019.

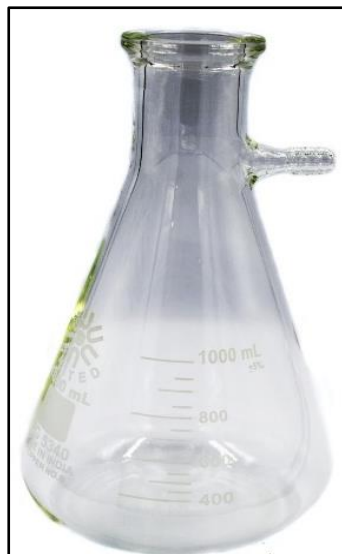


Figura No. 15. Matraz Kitasato de 1000 ml.
Fuente: Fonseca, 2019.



Figura No. 16. Tubo destilador
Fuente: Fonseca, 2019.

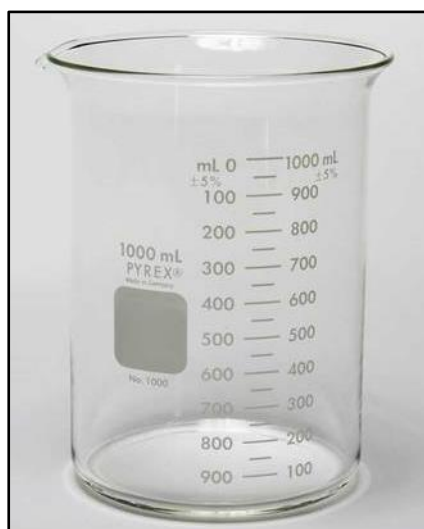


Figura No. 17. Beacker de 1000ml
Fuente: Fonseca, 2019.



Figura No. 18. Aparato Generador de Ozono

9.6 Análisis realizados



Figura No. 20. Dilución para análisis fenoles



Figura No. 19. Dilución para análisis de DBO y DQO.



Figura No. 22. Ajuste de pH a muestra de vinaza.



Figura No. 21. Muestra para de DBO.



Figura No. 24. Resultados en análisis de fenoles.



Figura No. 23. Análisis de ácidos volátiles.



Figura No. 26. Análisis de DQO



Figura No. 25. Destilación de la muestra para ácidos volátiles.

9.7 Pre-tratamiento con ozono.



Figura No. 27. Aplicación de ozono a vinaza.



Figura No. 28. Aplicación de ozono en vinaza.

9.8 Vinaza cruda



Figura No. 27. Pilas de enfriamiento.



Figura No. 28. Pileta de vinaza cruda.

9.9 Fechas de lectura de los resultados del análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Tabla No. 18. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno.

No.	Vinaza Cruda	Vinaza con ozono	Inicio del análisis	Finalización del análisis
1	X		Martes 18 de junio de 2019	Lunes 24 de junio de 2019
2		X	Miércoles 19 de junio de 2019	Lunes 24 de junio de 2019
3	X		Jueves 20 de junio de 2019	Martes 25 de junio de 2019
4		X	Viernes 21 de junio de 2019	Miércoles 26 de junio de 2019
5	X		Lunes 24 de junio de 2019	Lunes 01 de julio de 2019
6		X	Martes 25 de junio de 2019	Lunes 01 de julio de 2019 ya
7	X		Miércoles 26 de junio de 2019	Martes 02 de julio de 2019
8		X	Jueves 27 de junio de 2019	Miércoles 03 de julio de 2019
9	X		Jueves 04 de julio de 2019	Miércoles 10 de julio de 2019
10		X	Viernes 05 de julio de 2019	Jueves 11 de julio de 2019
11	X		Martes 09 de julio de 2019	Lunes 15 de julio de 2019
12		X	Miércoles 10 de julio de 2019	Martes 16 de julio de 2019
13	X		Martes 23 de julio de 2019	Lunes 29 de julio de 2019
14		X	Miércoles 24 de julio de 2019	Martes 29 de julio de 2019
15	X		Lunes 29 de julio de 2019	Lunes 05 de agosto de 2019
16		X	Martes 30 de julio de 2019	Lunes 05 de agosto de 2019

Mazatenango, Suchitepéquez, 25 de octubre de 2019

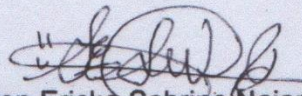
Coordinadora de carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
CUNSUROC-USAC
Presente

Respetable licenciada:

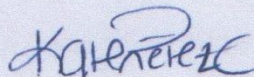
De manera muy atenta me dirijo a usted para presentarle el informe final de la investigación inferencial titulada "EVALUACIÓN DEL PRE-TRATAMIENTO DE LA VINAZA A TRAVÉS DE LA OZONIZACIÓN EN EL LABORATORIO DE METANO DE LA DESTILADORA DE ALCOHOLES Y RONES S.A.", desarrollada en el Ejercicio Profesional Supervisado de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, durante el período de mayo 2,019 al mes de agosto 2,019.

El motivo de la presente es para solicitar que a través de su persona se considere la asignación de un revisor final al mismo y sea llevado a cabo el proceso correspondiente para poder ser considerado como trabajo de graduación.

Se suscribe de usted, atentamente,



Sharon Ericka Sabrina Najarro Sánchez
Carné: 201540933



Vo. Bo. MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Supervisor EPSIGAL





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



Mazatenango, 12 de noviembre 2019.

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora de Carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
CUNSUROC

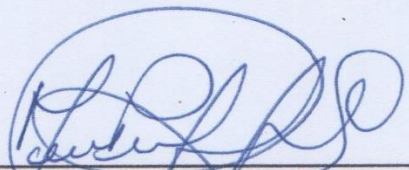
Respetable Maestra Pérez:

Muy respetuosamente me dirijo a usted, para informarle que de acuerdo al artículo 9, del Normativo de Trabajo de Graduación de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, he realizado la revisión y observaciones de la Investigación titulada: **"Evaluación del pre-tratamiento de la vinaza a través de la ozonización en el Laboratorio de metano de la Destiladora de Alcoholes y Ronés S.A."**, presentada por la estudiante: **Sharon Ericka Sabrina Najarro Sánchez**, quién se identifica con número de carné: 201540933, y con Código Único de Identificación: 3390 00457 1001 .

Por lo tanto, en mi calidad de revisora le informo que después de realizar el proceso que me fue asignado y verificar la incorporación de las observaciones por parte del estudiante a la investigación, procedo a dar visto bueno al documento para que se continúe con el proceso de mérito.

Respetuosamente, se despide de usted.

Atentamente,


Kharla Leticia Marysol Vides Rodas
Ingeniera en Gestión Ambiental Local
Revisora de Trabajo de Graduación IGAL
CUNSUROC

Kharla Vides Rodas
INGA. GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL
COL. No. 5773



Mazatenango 26 de noviembre 2019

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano
Director
Centro Universitario del Suroccidente

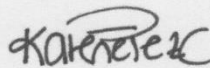
Respetable Señor Director:

De la manera más atenta, me dirijo a usted para referirle el Informe Final de Trabajo de Graduación titulado "**Evaluación del pre-tratamiento de la vinaza a través de la ozonización en el Laboratorio de Metano de la Destiladora de Alcoholes y Ronés S.A.**", de la estudiante **Sharon Ericka Sabrina Najarro Sánchez** con carné número **201540933**, de la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

Con base en el dictamen favorable emitido y suscrito por el revisor del informe, el cual fue corregido de acuerdo a las recomendaciones indicadas.

Por lo tanto, en mi calidad de Coordinadora de la Carrera, me permito solicitarle el **IMPRÍMASE** respectivo para que el estudiante continúe con el proceso de mérito y pueda presentarlo en el Acto Público de Graduación.

Sin otro particular



MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora de Carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
CUNSUROC





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-02-2020

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, el veintisiete de enero dos mil veinte_____

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del Asesor y Revisor, se autoriza la impresión del Trabajo de Graduación Titulado: "EVALUACIÓN DEL PRE-TRATAMIENTO DE LA VINAZA A TRAVÉS DE LA OZONIZACIÓN EN EL LABORATORIO DE METANO DE LA DESTILADORA DE ALCOHOLES Y RONES S.A.", de la estudiante: Sharon Ericka Sabrina Najarro Sánchez. Carné 201540933 CUI: 3390 00457 1001 de la Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dr. Guillermo Vinicio Fello
Director



/gris