



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES GASEOSAS DEL
INCINERADOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS OPERADO A
PARTIR DE MEZCLAS DE BIOCOMBUSTIBLE CON DIÉSEL**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: JEFFERSON NEHEMÍAS OSTAIZA RIASCOS

DIRECTOR: Ing. PAÚL GUSTAVO PALMAY PAREDES, PhD.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Jefferson Nehemías Ostaiza Riascos

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jefferson Nehemías Ostaiza Riascos, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 21 de julio de 2023

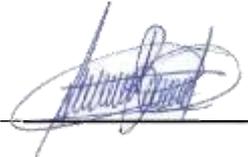


Jefferson Nehemías Ostaiza Riascos

C.I. 210055817-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Investigación, **EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES GASEOSAS DEL INCINERADOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS OPERADO A PARTIR DE MEZCLAS DE BIOCOMBUSTIBLE CON DIÉSEL**, realizado por el señor: **JEFFERSON NEHEMÍAS OSTAIZA RIASCOS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos Gonzales García, PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-08-08
Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes, PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-08-08
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos, MSc. ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-08-08

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico en primer lugar a Dios, quien es el causante de que todas las cosas sucedan como deben suceder. Y sobre todo a la persona que formó al hombre que soy hoy en día, mi madre. Nunca supo qué iba a seguir de grande, pero sí que, con los valores, esfuerzo, dedicación, consejos, mano dura que impartió en mí, se aseguró de que su hijo se convertiría en un hombre, con principios y valores capaz de salir al mundo y defenderse por sí mismo sin hacer el daño a nadie. Para usted madre hermosa es este triunfo, después de tanto golpe recibido de la vida, después de tantas injusticias por parte de la sociedad, su hijo por fin cumplió con uno de los tantos propósitos trazados en la vida. Gracias por su apoyo incondicional.

Jefferson

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por llenarme de bendiciones todos los días. A mi madre por haber luchado tanto por mis hermanos y por mí. Agradezco al Ing. Paúl Palmay y al Ing. Andrés Beltrán por la guía, orientación y predisposición brindada en el presente Trabajo de Titulación. Y finalmente agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme llenado de muchas experiencias, unas más dulces que otras y haberme abierto las puertas para el conocimiento.

Jefferson

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Problema general de investigación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.4. Justificación.....	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de investigación.....	5
2.2. Referencias teóricas.....	7
2.2.1. <i>Combustibles alternativos y su impacto ambiental</i>	7
2.2.1.1. <i>Biocombustibles</i>	7
2.2.1.2. <i>Comparación entre biocombustibles y combustibles fósiles</i>	7
2.2.1.3. <i>Emisiones gaseosas generadas por el uso de biocombustibles</i>	7
2.2.1.4. <i>Impacto ambiental del uso de biocombustibles en la industria</i>	8
2.2.1.5. <i>Obtención de biodiésel a partir de plástico</i>	8
2.2.1.6. <i>Compuesto de biodiesel</i>	9
2.2.1.7. <i>Biodiesel como aditivo</i>	11
2.2.2. <i>Procesos de combustión y sus emisiones</i>	12
2.2.2.1. <i>Procesos de combustión y su funcionamiento</i>	12

2.2.2.2.	<i>Emisiones gaseosas generadas por procesos de combustión</i>	12
2.2.3.	<i>Incineración de residuos y su impacto ambiental</i>	12
2.2.3.1.	<i>Proceso de incineración de residuos y sus etapas</i>	13
2.2.3.2.	<i>Impacto ambiental de la incineración de residuos</i>	13
2.2.4.	<i>Tecnologías de mitigación de emisiones</i>	13
2.2.4.1.	<i>Tecnologías para la reducción de emisiones gaseosas</i>	13
2.2.5.	<i>Producción de biocombustibles</i>	14
2.2.5.1.	<i>Producción de biocombustibles en Ecuador</i>	14
2.2.5.2.	<i>Impactos ambientales de la producción de biocombustibles</i>	14
2.2.5.3.	<i>Análisis de las tecnologías de combustión utilizadas en Ecuador</i>	15
2.2.6.	<i>Impacto ambiental de la incineración de residuos biológicos</i>	15
2.2.6.1.	<i>Proceso de incineración y emisiones contaminantes</i>	15
2.2.6.2.	<i>Alternativas a la incineración de residuos biológicos</i>	16
2.2.7.	<i>Alternativas sostenibles para la eliminación de residuos biológicos</i>	16
2.2.7.1.	<i>Compostaje como alternativa para la eliminación de residuos biológicos</i>	16
2.2.7.2.	<i>Producción de biocombustibles y biogás a partir de residuos biológicos</i>	17
2.3.	Bases conceptuales	19
2.4.	Base legal	21
2.4.1.	<i>Constitución de la Republica del Ecuador</i>	21

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA	22
3.1.	Tipo de investigación	22
3.2.	Diseño de la investigación	22
3.2.1.	<i>Variables</i>	23
3.3.	Localización del proyecto	23
3.4.	Población de estudio y/ muestra	24
3.5.	Hipótesis textual	24
3.5.1.	Hipótesis estadística	24
3.6.	Análisis estadístico	24
3.7.	Ingeniería de proceso	25
3.8.	Equipos y materiales	26
3.8.1.	<i>Descripción del equipo TESTO 340</i>	26
3.9.	Técnicas de recolección de datos	28
3.10.	Etapas de proyecto de investigación	28

3.10.1.	<i>Caracterización de las emisiones gaseosas generadas por el incinerador</i>	28
3.10.2.	<i>Análisis comparativos entre las emisiones gaseosas generadas por las diferentes concentraciones de diésel y biodiésel</i>	29

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	30
4.1.	Recopilación de datos	30
4.1.1.	<i>Caracterización de la zona</i>	30
4.1.2.	<i>Incinerador de residuos biológicos</i>	31
4.1.2.1.	<i>Dimensión del incinerador</i>	31
4.1.2.2.	<i>Información de incinerador</i>	33
4.1.3.	<i>Emisión de gases</i>	34
4.1.3.1.	<i>Emisiones gaseosas del incinerador</i>	34
4.1.3.2.	<i>Incineración al vacío</i>	35
4.1.3.3.	<i>Incineración con materia orgánica</i>	37
4.1.3.4.	<i>Promedio del monitoreo de las emisiones</i>	39
4.2.	Análisis comparativo	40
4.2.1.	<i>Monitoreo de las emisiones gaseosas al vacío</i>	40
4.2.2.	<i>Monitoreo de las emisiones gaseosas con materia orgánica</i>	43
4.2.2.1.	<i>Comparación de emisiones gaseosas (vacío vs materia orgánica)</i>	47
4.3.	Análisis estadístico	58
4.3.1.	<i>ANOVA al vacío</i>	58
4.3.1.1.	<i>Prueba de Tukey al vacío</i>	59
4.3.2.	<i>ANOVA con materia orgánica</i>	62
4.3.2.1.	<i>Prueba de Tukey con materia orgánica</i>	63
4.3.3.	<i>Correlación de Pearson</i>	66
4.3.3.1.	<i>Correlación de Pearson tratamientos al vacío</i>	66
4.4.	Propuesta de un plan de acción de control de emisiones gaseosas	73
4.4.1.	<i>Plan de acción</i>	73

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
5.1.	Conclusiones	80
5.2.	Recomendaciones	82

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Materias primas para la producción de biodiesel	9
Tabla 2-2:	Compuestos químicos presentes en el biodiesel proveniente de plástico.....	10
Tabla 2-3:	Tipo de composición químicas de diésel y biodiesel	11
Tabla 3-1:	Mezcla de combustible	22
Tabla 3-2:	Tipos de variables.....	23
Tabla 3-3:	Coordenadas UTM de la zona de estudio.....	23
Tabla 3-4:	Magnitud de correlaciones	25
Tabla 3-5:	Equipos y materiales para de monitoreo	26
Tabla 3-6:	Leyenda del instrumento de medición TESTO 340	27
Tabla 4-1:	Caracterización del lugar.....	30
Tabla 4-2:	Plano de equipo	31
Tabla 4-3:	Plano chimenea.....	32
Tabla 4-4:	Características del incinerador actual.....	33
Tabla 4-5:	Tiempo de operación	34
Tabla 4-6:	Emisiones gaseosa iniciales del incinerador de residuos biológicos	34
Tabla 4-7:	Emisiones al vacío (diésel al vacío)	35
Tabla 4-8:	Emisiones al 2% de biodiésel al vacío	36
Tabla 4-9:	Emisiones al 5% de biodiésel al vacío	36
Tabla 4-10:	Emisiones al 10% de biodiésel al vacío	37
Tabla 4-11:	Emisiones diésel con materia orgánica.....	37
Tabla 4-12:	Emisiones biodiésel 2% con materia orgánica	38
Tabla 4-13:	Emisiones biodiésel 5% con materia orgánica	38
Tabla 4-14:	Emisiones biodiésel 10% con materia orgánica	39
Tabla 4-15:	Emisiones de gases.....	39
Tabla 4-16:	Incineración al vacío	40
Tabla 4-17:	Incineración con materia orgánica.....	43
Tabla 4-18:	Emisiones de gases.....	47
Tabla 4-19:	ANOVA análisis al vacío	58
Tabla 4-20:	Comparación múltiples de Tukey al vacío	59
Tabla 4-21:	Subconjuntos homogéneos de CO al vacío	60
Tabla 4-22:	Subconjuntos homogéneos de NO al vacío	61
Tabla 4-23:	Subconjuntos homogéneos de NOx al vacío	61
Tabla 4-24:	ANOVA en presencia con materia orgánica	62

Tabla 4-25:	Comparación múltiples de Tukey con materia orgánica	63
Tabla 4-26:	Subconjuntos homogéneos de NO con materia orgánica	65
Tabla 4-27:	Subconjuntos homogéneos de NOx con materia orgánica	65
Tabla 4-28:	Correlaciones de Pearson al vacío	67
Tabla 4-29:	Correlaciones de Pearson con materia orgánica	70
Tabla 4-30:	Plan de acción de control de emisiones gaseosas	73
Tabla 4-31:	Medidas correctoras	74
Tabla 4-32:	Motivos de reubicación	75
Tabla 4-33:	Caracterización del sitio actual y sitio recomendado de la reubicación del incinerador.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1:	Ubicación de la facultad de ciencias	23
Ilustración 3-2:	Proceso de monitoreo	25
Ilustración 4-1:	Monitoreo sin materia orgánica.....	43
Ilustración 4-2:	Monitoreo con materia orgánica.....	46
Ilustración 4-3:	Emisiones de CO (vacío).....	49
Ilustración 4-4:	Emisiones de CO (materia orgánica).....	50
Ilustración 4-5:	Comparación de emisiones de CO (Vacío vs M.O)	50
Ilustración 4-6:	Emisiones de NO (Vacío)	51
Ilustración 4-7:	Emisiones de NO (materia orgánica)	52
Ilustración 4-8:	Comparación de emisiones de NO (vacío vs M.O).....	52
Ilustración 4-9:	Emisiones de NOx (vacío)	53
Ilustración 4-10:	Emisiones de NOx (M.O).....	54
Ilustración 4-11:	Comparación de emisiones de NOx (vacío vs M.O).....	54
Ilustración 4-12:	Emisión de gases (vacío y materia orgánica)	56
Ilustración 4-13:	Emisión de gases (vacío y materia orgánica)	57

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	INCINERADOR	13
ANEXO B:	MONITOREO	14
ANEXO C:	ZONAS ALEDAÑAS	15
ANEXO D:	EQUIPO DE MONITOREO	16
ANEXO E:	LIMITES PERMISIBLES	17

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CO₂	Monóxido de carbono
NO	Monóxido de nitrógeno
NO_x	Óxidos de nitrógeno
MO ó M.O	Materia orgánica
ppm	partes por millon
mg/Nm³	miligramo sobre metro cubico (en condiciones normales)
C	Carbono
N	Nitrógeno
O₂	Oxígeno
T amb	Temperatura ambiente
°C	grados celcius
l/min	litro sobre minuto
EFF	Eficiencia de combustible
Ex air	Exceso de aire
T stack	Temperatura del gas en la chimenea
P ump	Caudal de la bomba
NT	Norma técnica
AM	Acuerdo ministerial
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

RESUMEN

El proceso de incineración es usado en la facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para eliminar residuos biológicos generados por actividades de investigación y docencia, el cual trabaja con diésel como fuente de energía generando emisiones gaseosas que pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente y la salud pública si no se controla adecuadamente. El objetivo del presente trabajo fue evaluar las emisiones gaseosas del incinerador al utilizar combustible obtenido a partir de pirolisis de polipropileno y poliestireno en mezclas con diésel convencional. Para esto, se utilizó biocombustible con diésel en tres proporciones volumétricas diferentes: T1 (2%), T2 (5%) y T3 (10%). Se realizaron incineraciones con y sin materia orgánica utilizando estas mezclas de combustible. Las emisiones se determinaron mediante el analizador de gases Testo 340, cada monitoreo duró 15 minutos y se midieron concentraciones de monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO y NOx), procedimiento bajo la Norma Técnica 001 y el AM 097-A como marcos de referencia. Los resultados revelaron que los niveles de CO superaron los límites permisibles establecidos por la legislación, oscilando entre 163 mg/Nm³ y 171 mg/Nm³. Sin embargo, los niveles de NO y NOx se mantuvieron dentro de los límites aceptables según las regulaciones. Es importante destacar que estas concentraciones de CO y NOx se registraron tanto en la incineración con diésel como con biodiésel. En conclusión, la utilización del tratamiento T3 con materia orgánica para las emisiones de CO, con un valor de 131,00 mg/Nm³, resultó en una menor concentración que al trabajar exclusivamente con diésel, que tuvo un valor de 137,35 mg/Nm³. Esto indica que la utilización de biodiesel puede mejorar el proceso de combustión, reduciendo las emisiones de monóxido de carbono.

Palabras claves: <INCINERADOR>, <EMISIONES GASEOSAS>, <BIOCOMBUSTIBLE>, <MONITOREO>, <RESIDUOS BIOLÓGICOS>.



1657-DBRA-UPT-2023

SUMMARY

The incineration process is used in the Faculty of Sciences of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo to eliminate biological waste generated by research and teaching activities, which works with diesel as an energy source, generating gaseous emissions that can harm the environment. Environment and public health if not adequately controlled. This research aimed to evaluate the incinerator's gaseous emissions when using fuel obtained from pyrolysis of polypropylene and polystyrene in mixtures with conventional diesel. For this, biofuel with diesel was used in three different volumetric proportions: T1 (2%), T2 (5%) and T3 (10%). Burns with and without organic matter were carried out using these fuel mixtures. Emissions were determined using the Testo 340 gas analyzer; each monitoring lasted 15 minutes, and concentrations of carbon monoxide (CO) and nitrogen oxides (NO and NO_x) were measured—procedure under Technical Standard 001 and AM 097-A as reference frameworks. The results revealed that the CO levels exceeded the permissible limits established by the legislation, oscillating between 163 mg/Nm³ and 171 mg/Nm³. However, according to regulations, the NO and NO_x levels remained within acceptable limits. It is essential to highlight that these CO and NO_x concentrations were recorded in diesel and biodiesel incineration. In conclusion, using the T3 treatment with organic matter for CO emissions, with a value of 131.00 mg/Nm³, resulted in a lower concentration than when working exclusively with diesel, with a value of 137.35 mg/ Nm³. This indicates that using biodiesel can improve combustion, reducing carbon monoxide emissions.

Keywords: <INCINERATOR>, <GASEOUS EMISSIONS>, <BIOFUEL>, <MONITORING>,<BIOLOGICAL WASTE>.



Ing. Angel Paul Obregon Mayorga, Mgs.

C.I. 0601927122

INTRODUCCIÓN

El incinerador es una herramienta ampliamente utilizada para la eliminación de residuos biológicos, químicos y hospitalarios en todo el mundo. Sin embargo, la incineración de estos residuos puede generar emisiones de gases contaminantes que afectan negativamente la calidad del aire y, por lo tanto, la salud de las personas y el ambiente. En este contexto, el uso de biocombustibles se ha presentado como una alternativa más sostenible y amigable con el ambiente para reducir la dependencia de los combustibles fósiles en la incineración de residuos. El biocombustible a partir de plástico puede ser una opción interesante en términos de sostenibilidad y reducción de residuos.

En la provincia de Chimborazo, Ecuador, la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con un incinerador para la eliminación de residuos biológicos. Actualmente, el incinerador utiliza combustible diésel para su funcionamiento, lo que puede generar emisiones contaminantes. Por lo tanto, el propósito de este estudio es evaluar las emisiones gaseosas generadas por el incinerador de la Facultad de Ciencias con el uso de biocombustible a partir de plástico en mezclas con diésel. Para ello, se llevará a cabo un estudio exhaustivo de las emisiones gaseosas generadas por el incinerador con el uso de biocombustibles en comparación con el uso de combustibles fósiles. Además, se analizará la influencia de la composición de la mezcla de biocombustibles en las emisiones, se evaluará el cumplimiento de las regulaciones y estándares ambientales en Ecuador y a nivel de provincia, y se propondrán posibles mejoras o soluciones para reducir las emisiones gaseosas generadas por el incinerador en la Facultad de Ciencias.

Esta investigación es relevante porque evalúa las emisiones gaseosas generadas por el incinerador de la facultad de ciencias al utilizar mezclas de biocombustible con diésel. Al medir y analizar estas emisiones, se contribuye al conocimiento científico sobre la emisión gaseosa en el entorno universitario. Además, se busca promover prácticas sostenibles y amigables con el medio ambiente en la eliminación de residuos biológicos, brindando una alternativa viable y potencialmente menos contaminante mediante el uso de biocombustibles provenientes de plástico. Los resultados de esta investigación pueden ser relevantes para la provincia de Chimborazo y para Ecuador en general, al proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en políticas ambientales y fomentar una gestión más eficiente de los residuos.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La eliminación de residuos biológicos generados por las actividades de investigación y docencia es un proceso necesario para el adecuado funcionamiento de la Facultad de Ciencias. Sin embargo, el uso de combustibles fósiles en el incinerador que se utiliza para este fin genera emisiones gaseosas que pueden tener un impacto negativo en el ambiente y la salud pública. En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible reducir las concentraciones de las emisiones gaseosas generadas por el incinerador de la Facultad de Ciencias en el proceso de eliminación de residuos biológicos mediante el uso de biodiésel proveniente de plástico?

Esta investigación tiene como objetivo medir las emisiones gaseosas generadas por el uso de biocombustibles en la incineración de residuos, con el fin de contribuir al conocimiento científico sobre su impacto en la atmósfera y la salud. La evaluación precisa de estas emisiones es crucial para comprender y abordar los posibles efectos adversos para el medio ambiente y la calidad del aire. Al obtener datos científicos confiables, se podrán desarrollar estrategias más efectivas para la mitigación y control de las emisiones, así como para promover prácticas más sostenibles y amigables con el ambiente en la eliminación de residuos. Además, esta investigación es relevante para la provincia de Chimborazo y Ecuador en general, ya que proporcionará información específica sobre las emisiones gaseosas en el contexto local, lo cual es fundamental para tomar decisiones informadas en políticas ambientales y promover la protección de la salud pública y el bienestar de la comunidad

1.2. Problema general de investigación

¿Las concentraciones de las emisiones gaseosas generadas por el incinerador de la facultad de ciencias en el proceso de eliminación de residuos biológicos se pueden reducir utilizando biodiésel proveniente de plástico?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar las emisiones gaseosas del incinerador de la facultad de ciencias operado a partir de mezclas de biocombustible con diésel.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las emisiones gaseosas generadas por el incinerador durante su operación normal.
- Realizar un análisis comparativo entre las emisiones gaseosas generadas por el incinerador con el uso de biocombustible a partir de plástico en mezclas con diésel y con el uso exclusivo de diésel.
- Proponer un plan de acción de control de emisiones gaseosas del incinerador-ESPOCH.

1.4. Justificación

La incineración de residuos biológicos es una práctica común en diversas instituciones, incluyendo la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Sin embargo, este proceso puede generar emisiones gaseosas que afectan la calidad del aire y el ambiente (Guerrero y Tene, 2020, p.3). En la sociedad actual, es fundamental explorar opciones sostenibles y respetuosas con el ambiente para mitigar los impactos adversos de la contaminación (Toasa, 2021, p.5). En este contexto, el uso de biocombustibles, como el biodiésel obtenido a partir de plásticos, surge como una solución prometedora para reducir las emisiones gaseosas generadas por los incineradores (Gonzalez, 2021, p.5).

El objetivo principal de este estudio es analizar las emisiones de gases producidas por el incinerador de la Facultad de Ciencias al utilizar una mezcla de biocombustible a base de plástico y diésel en lugar de diésel convencional. Mediante este análisis, se busca determinar si el uso de biocombustibles es una alternativa viable para reducir las emisiones gaseosas generadas por los incineradores, particularmente en la eliminación de residuos biológicos. Este estudio reviste una gran importancia, ya que contribuye a la adopción de prácticas más sostenibles y amigables con el ambiente en la eliminación de residuos biológicos. Asimismo, los resultados obtenidos pueden ser extrapolables a otras instituciones que también utilizan incineradores para eliminar residuos biológicos, lo cual promueve la implementación de mejores prácticas ambientales en general.

Al proporcionar evidencia científica sobre los beneficios potenciales del uso de biocombustibles en la incineración de residuos biológicos, este estudio influye en la toma de decisiones y en la formulación de políticas ambientales más sólidas. Además, fomenta el desarrollo y la adopción de tecnologías más limpias y sostenibles en el manejo de residuos, promoviendo así un cambio positivo hacia la protección del ambiente y la salud de la comunidad (Toasa, 2021, p.5). Este estudio tiene como objetivo abordar la problemática de las emisiones gaseosas generadas por el incinerador de residuos biológicos, proporcionando evidencia sobre los beneficios ambientales del uso de biocombustibles a base de plástico. De esta forma, se contribuye a la implementación de prácticas más sostenibles y a la preservación del ambiente en el ámbito de la eliminación de residuos biológicos (Gonzalez, 2021, p.5).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

La crisis ambiental constituye uno de los mayores desafíos actuales para la humanidad. El crecimiento demográfico, la creciente generación de desechos y la dependencia de combustibles fósiles han ocasionado una serie de efectos perjudiciales en el entorno natural, entre ellos el cambio climático y la contaminación atmosférica (Álvarez, 2021, p.5). En este contexto, el monitoreo y control de las emisiones de gases generadas por los procesos de incineración de residuos se ha convertido en un tema de gran importancia en el ámbito de la gestión ambiental (Carvajal, 2022, p.8). En los últimos años, la cuestión de la gestión de residuos y su impacto ambiental ha sido una preocupación en Ecuador. El país ha adoptado políticas y estrategias encaminadas a disminuir la generación de desechos y promover prácticas más sostenibles en su manejo. A pesar de ello, aún hay desafíos en la supervisión y control de las emisiones de gases resultantes de la incineración de residuos biológicos (Moreno, 2022, p.3).

Dentro de este marco, el propósito de esta investigación es analizar las emisiones de gases originadas por el incinerador de la FACULTAD DE CIENCIAS al emplear una combinación de biocombustible proveniente de plástico y diésel. Para ello, se llevará a cabo un análisis comparativo entre las emisiones gaseosas generadas por el incinerador con el uso de biocombustible a partir de plástico en mezclas con diésel y con el uso exclusivo de diésel, con el fin de proponer posibles soluciones para disminuir el impacto ambiental de las emisiones gaseosas generadas por el incinerador (Habib, 2022, p.3). A continuación, se presentan los antecedentes que respaldan esta investigación y que permiten contextualizar el problema en el ámbito nacional.

En el año 2016, se llevó a cabo un estudio sobre el monitoreo de emisiones atmosféricas en la ciudad de Quito, el cual incluyó mediciones de emisiones de PM10, PM2.5, NOx y SOx en distintas fuentes de contaminación, incluyendo incineradores de residuos. Los resultados indicaron que las emisiones de PM2.5 y PM10 superaban los límites permisibles establecidos por la normativa ecuatoriana en algunos puntos de medición (Ávila et al., 2016). Por otro lado, en el año 2018, se realizó una investigación sobre la calidad del aire en la ciudad de Loja, en la que se analizó la presencia de diversos contaminantes, incluyendo partículas finas, metales pesados y gases tóxicos. El estudio incluyó mediciones en una planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos, en la que se encontraron niveles elevados de dióxido de azufre y monóxido de carbono (Valdivieso-Machado et al., 2018).

En 2019, se evaluaron las emisiones de gases de escape de un motor de encendido por compresión. Se empleó una amalgama de diésel, biodiésel supercrítico y óxido de cerio como combustible en este análisis. Se observó que la temperatura de los gases de escape disminuyó debido a una reducción en la formación de NOx durante la combustión (Trujillo, 2019, p.1). Todo esto se resume en que, en los últimos años, ha habido un creciente interés en buscar alternativas más sostenibles y menos contaminantes para reducir las emisiones gaseosas generadas por la incineración de residuos biológicos. Una de estas alternativas es el uso de mezclas de diésel y combustible de pirólisis obtenido a partir de plásticos. Varios estudios han investigado las propiedades y el rendimiento de estas mezclas, así como su impacto en las emisiones gaseosas. Por ejemplo, en un estudio realizado por Xie et al. (2019, p.1), se evaluaron las emisiones de gases contaminantes generadas por la combustión de mezclas de diésel y combustible de pirólisis obtenido de diferentes tipos de plásticos. Los resultados mostraron que las mezclas de combustible de pirólisis redujeron las emisiones de gases como el dióxido de azufre (SO₂) y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), en comparación con el diésel convencional

Otro estudio relevante fue realizado por Liu et al. (2020, p.31), quienes investigaron las emisiones de gases contaminantes y partículas suspendidas generadas por la combustión de mezclas de diésel y combustible de pirólisis de plástico. Los resultados indicaron que las mezclas de combustible de pirólisis mostraron una reducción significativa en las emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas suspendidas, en comparación con el diésel puro (Mancheno, 2021, p.2). Otro estudio sobre la emisión de gases contaminantes en la ciudad de Quito, Ecuador, se publicó en el año 2021. Las emisiones de dióxido de nitrógeno y óxido de azufre como unas de las principales causas de contaminación del aire en la ciudad, según el estudio. (González et al., 2021). Estos hallazgos son cruciales para la investigación actual porque resaltan la necesidad de buscar alternativas menos dañinas a la quema de desechos en incineradores.

En el año 2021 se evaluó el potencial de los biocombustibles en Ecuador y encontró que el país cuenta con un gran potencial para la producción de biocombustibles a partir de materias primas como la palma aceitera, la caña de azúcar y el coco (Castañeda et al., 2021). Los resultados del estudio en mención son fundamentales para el desarrollo de este trabajo de titulación, dado que demuestran que el uso de biocombustibles en incineradores es una alternativa viable y sostenible para la reducción de emisiones de gases contaminantes. Además, en el año 2022 se llevó a cabo otro estudio que se centró en evaluar el desempeño y las emisiones de diferentes mezclas de combustible en motores diésel, incluyendo biodiésel, diésel, etanol y agua. Este estudio se basó en la literatura existente y arrojó conclusiones significativas, los resultados obtenidos indicaron

que las mezclas de combustible que incluían biodiésel presentaban beneficios destacados. En primer lugar, se observó una disminución en las emisiones problemáticas de NOx y CO. Además, se registraron reducciones sustanciales en la formación de material particulado y hollín, alcanzando un 21% y un 39% respectivamente. Estos resultados indican que el uso de biodiésel como parte de la mezcla de combustible condujo a una notable reducción en la cantidad de partículas emitidas debido a una combustión más avanzada (Calderón, 2022, p.6).

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Combustibles alternativos y su impacto ambiental

2.2.1.1. Biocombustibles

De acuerdo con Rodríguez et al. (2021, p.2), se entiende por biocombustibles aquellos combustibles derivados de fuentes renovables de materia orgánica, como cultivos energéticos y desechos orgánicos, que se utilizan como una alternativa a los combustibles fósiles. Existen dos categorías principales de biocombustibles: los de primera generación y los de segunda generación. Los biocombustibles de primera generación se producen utilizando cultivos destinados principalmente al consumo humano, como el maíz y la soja. Por otro lado, los biocombustibles de segunda generación se obtienen a partir de residuos orgánicos, como desechos forestales y biomasa residual.

2.2.1.2. Comparación entre biocombustibles y combustibles fósiles

De acuerdo con Velásquez et al. (2018, p.7), la evaluación comparativa entre biocombustibles y combustibles fósiles se basa en varios factores, tales como el costo, la disponibilidad, el impacto ambiental y la eficiencia energética. En términos de impacto ambiental, se ha observado que los biocombustibles generan menores emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes en comparación con los combustibles fósiles. No obstante, es importante considerar que la producción de biocombustibles puede entrar en competencia con la producción de alimentos y puede requerir un uso significativo de recursos hídricos y terrestres.

2.2.1.3. Emisiones gaseosas generadas por el uso de biocombustibles

Según Montaña et al. (2019, p.34), el uso de biocombustibles puede generar emisiones gaseosas, como dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. Estas emisiones pueden variar según el tipo de biocombustible utilizado y la tecnología de combustión utilizada. Sin

embargo, las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes del empleo de biocombustibles son inferiores a aquellas generadas por los combustibles fósiles.

2.2.1.4. Impacto ambiental del uso de biocombustibles en la industria

La adopción de biocombustibles como una opción sustitutiva de los combustibles fósiles ha sido objeto de amplios debates en cuanto a su repercusión medioambiental en el sector industrial. Diversos estudios han concluido que, aunque los biocombustibles tienen la capacidad de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles convencionales, su producción y uso pueden tener efectos negativos en otros aspectos medioambientales (Abdelouahed, 2020, p.4).

Un estudio realizado por Guo et al. (2020, p.8) revelan que la producción de biocombustibles puede requerir grandes cantidades de agua y energía, y puede generar emisiones de gases de efecto invernadero, así como contaminación del aire y del suelo, y pérdida de biodiversidad. Adicionalmente, algunos biocombustibles, como el etanol derivado del maíz, pueden generar problemas de contaminación del agua y erosión del suelo debido al uso intensivo de pesticidas y fertilizantes (Benavides, 2019, p.3). Por otro lado, de acuerdo con el estudio realizado por Jahan et al. (2020, p.21), la producción de biocombustibles a partir de residuos y desechos puede reducir significativamente los impactos ambientales negativos asociados con los biocombustibles convencionales. Los autores también enfatizan la importancia de establecer políticas y tecnologías que promuevan la producción de biocombustibles sostenibles y mitiguen los efectos perjudiciales para el ambiente.

2.2.1.5. Obtención de biodiésel a partir de plástico

La obtención de biodiésel a partir de plástico es un proceso químico que convierte los residuos plásticos en un combustible renovable. Utiliza la tecnología de pirólisis o craqueo térmico, en la cual los plásticos se calientan a altas temperaturas sin oxígeno, descomponiéndolos en aceite. Este aceite se refina para obtener biodiésel, un combustible líquido similar al diésel convencional que puede ser utilizado en motores diésel sin modificaciones importantes (Pinargote y Sánchez, 2023, p.6). Esto ofrece varias ventajas, como la valorización de los residuos plásticos al evitar su acumulación y liberación al ambiente, contribuyendo así a la reducción de la contaminación y los problemas asociados con los plásticos.

Además, el biodiésel producido tiene un menor contenido de azufre y emite menos contaminantes atmosféricos en comparación con el diésel convencional, lo que puede mejorar la calidad del aire

(Rejas, 2018, p.2). Sin embargo, existen desafíos técnicos y económicos en este proceso. La selección adecuada de los tipos de plástico, el control de las condiciones de pirólisis y la implementación de tecnologías de refinamiento eficientes son aspectos críticos por considerar. Además, es fundamental garantizar la sostenibilidad del proceso, evitando la competencia con la producción de alimentos y minimizando los impactos ambientales negativos (Montes et al., 2019, p.5).

2.2.1.6. Compuesto de biodiesel

El biodiésel es un combustible renovable compuesto por ésteres metílicos de ácidos grasos que se obtiene a partir de aceites vegetales, grasas animales y otras fuentes. Este combustible se utiliza en motores diésel mezclado con diésel convencional en proporciones inferiores al 20%. Después de pasar por un proceso de purificación, el biodiésel puede ser utilizado de manera segura y efectiva en vehículos diésel, proporcionando una alternativa más sostenible y amigable con el medio ambiente (Desobre, 2021, p.1).

Tabla 2-1: Materias primas para la producción de biodiesel

Grupo	Materia Prima
Aceite vegetal comestible	Soya, canola, cártamo, cebada, maní, avena, arroz, sorgo, trigo, amaranto, coco, olivo, albaricoque, semilla de limón
Aceite vegetal no comestible	Andiroba, camelina, jatropha, Anubias nana, jojoba, laurel, palma, salvado de arroz, semilla del tabaco, ajonjolí, ricino, aceite de algodón de seda
Grasas animales	Manteca de cerdo, sebo vacuno, grasa de ave, aceite de pescado
Otras fuentes	Bacteria, alga, hongo y plástico (derivados)

Fuente: Flores, 2019.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

El biodiesel obtenido a partir de plástico por pirólisis puede contener una variedad de compuestos, dependiendo del tipo de plástico utilizado y las condiciones específicas del proceso de pirólisis. A continuación, se mencionan algunos compuestos típicos que pueden encontrarse en el biodiesel proveniente de plástico:

Hydrocarburos de cadena corta: Durante el proceso de pirólisis, el plástico se descompone en hidrocarburos más pequeños. Estos hidrocarburos de cadena corta, como el metano, etano, propano y butano, pueden estar presentes en el biodiesel resultante.

Ácidos grasos: Dependiendo de la composición del plástico utilizado, es posible que se encuentren ácidos grasos en el biodiesel obtenido por pirólisis. Estos ácidos grasos pueden variar en su longitud de cadena y en su grado de saturación o insaturación.

- Los ácidos grasos saturados están compuestos por cadenas de carbono que están completamente saturadas con átomos de hidrógeno, lo que significa que no tienen enlaces dobles en su estructura. Algunos ejemplos comunes de ácidos grasos saturados son el ácido palmítico (C16:0) que se encuentra en la carne y la manteca de cerdo, y el ácido esteárico (C18:0) que se encuentra en la manteca de cacao y la carne de vacuno (Benavides, 2019, p.4).
- Por otro lado, los ácidos grasos insaturados contienen enlaces dobles en su estructura, lo que los hace insaturados en términos de hidrógeno. Estos pueden dividirse en ácidos grasos monoinsaturados, que tienen un enlace doble, y ácidos grasos poliinsaturados, que tienen múltiples enlaces dobles. Un ejemplo común de un ácido graso monoinsaturado es el ácido oleico (C18:1), que se encuentra en el aceite de oliva y el aguacate. Algunos ejemplos de ácidos grasos poliinsaturados son el ácido linoleico (C18:2) que se encuentra en aceites vegetales como el aceite de girasol y el aceite de soja, y el ácido linolénico (C18:3) que se encuentra en fuentes como las semillas de lino y el aceite de pescado (Manual de Nutrición, 2019, p.1).

Compuestos aromáticos: Algunos plásticos contienen compuestos aromáticos, como el benceno, tolueno y xilenos. Durante el proceso de pirólisis, estos compuestos aromáticos pueden ser liberados y estar presentes en el biodiesel resultante (Sanahuja, 2022, p.5).

El biodiesel obtenido a partir de plástico puede contener una variedad de ácidos grasos, dependiendo del tipo de plástico utilizado y las condiciones específicas del proceso de producción. Algunos ácidos grasos que pueden estar presentes en el biodiesel proveniente de plástico incluyen (Dufour, 2022, p.2) :

Tabla 2-2: Compuestos químicos presentes en el biodiesel proveniente de plástico

Ácido graso	Detalle	Fuente
Ácido palmítico (C16:0):	un ácido graso saturado que se encuentra comúnmente en diferentes fuentes de biodiesel.	Aceite de palma Manteca de cerdo.
Ácido esteárico (C18:0):	otro ácido graso saturado que puede estar presente en el biodiesel obtenido de plástico.	Manteca de cacao Sebo animal Aceites vegetales.

Ácido oleico (C18:1):	un ácido graso monoinsaturado que también se encuentra en muchas fuentes de biodiesel, incluido el biodiesel proveniente de plástico.	Aceites vegetales, como: Aceite de oliva Aceite de girasol.
Ácido linoleico (C18:2):	un ácido graso poliinsaturado que puede estar presente en el biodiesel obtenido de ciertos tipos de plásticos.	abundancia en aceites vegetales como Aceite de soja y Aceite de maíz.
Ácido linolénico (C18:3):	Es un ácido graso poliinsaturado omega-3	Semillas de lino Nueces Algunos aceites vegetales.

Fuente: Flores, 2019.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Es importante tener en cuenta que la composición exacta de ácidos grasos en el biodiesel proveniente de plástico puede variar según las características específicas del plástico utilizado y el proceso de producción (Vargas, 2019, p.1).

Tabla 2-3: Tipo de composición químicas de diésel y biodiesel

Propiedad	Biodiesel	Diesel
Composición química:	El biodiesel está compuesto por ácidos grasos	El diésel convencional se compone principalmente de hidrocarburos alifáticos.

Fuente: Flores, 2019.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

2.2.1.7. Biodiesel como aditivo

Cuando se mezcla biodiesel con diésel convencional, el biodiesel actúa como un aditivo que puede tener varios efectos en la composición y características del diésel industrial. Uno de los componentes clave del biodiesel son los ácidos grasos, que pueden tener cierta influencia en la mezcla (Sanaguano, 2019, p.34). Los ácidos grasos presentes en el biodiesel pueden actuar como solventes y detergentes. Estas propiedades pueden ayudar a mantener limpios los sistemas de combustión y reducir la acumulación de depósitos y sedimentos en los componentes del motor y el sistema de combustible. Esto puede tener un efecto positivo en el rendimiento y la eficiencia

del diésel industrial (Soria, 2019, p.4). Además, los ácidos grasos también pueden contribuir a mejorar la lubricidad del diésel. El biodiésel tiende a tener una mayor lubricidad en comparación con el diésel convencional, lo que puede ayudar a reducir el desgaste de los componentes del motor y mejorar la durabilidad (Ospino, 2020, p.4).

2.2.2. Procesos de combustión y sus emisiones

2.2.2.1. Procesos de combustión y su funcionamiento

En el funcionamiento de los motores de combustión interna, se lleva a cabo un proceso de mezcla y combustión en la cámara de combustión. En este contexto, se destacan dos métodos de inyección utilizados: la inyección indirecta y la inyección directa. Con la inyección directa se logran mezclas estratificadas, donde la inyección de combustible se realiza en una zona limitada del flujo de aire. Se describen dos procesos de combustión: uno guiado por el chorro de inyección cerca de la bujía y otro guiado por la forma de las paredes de la cámara. Se explica la importancia de una mezcla homogénea y se mencionan factores que afectan la vaporización del combustible, como la temperatura de la cámara, el tamaño de las gotas de combustible y el tiempo disponible para la vaporización. Además, se menciona que la inyección de combustible en motores de carga estratificada se realiza durante la carrera de compresión. La presión de inyección afecta el tamaño de las gotas y su profundidad de penetración en la cámara de combustión (Ractual, 2019, p.1).

2.2.2.2. Emisiones gaseosas generadas por procesos de combustión

La contaminación del aire ocurre cuando se altera la composición natural de la atmósfera, lo cual representa un riesgo significativo para la salud pública. De acuerdo con las pautas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), los contaminantes de interés global incluyen las partículas PM, el ozono (O_3), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el dióxido de azufre (SO_2). Entre ellos, las partículas $PM_{2.5}$, que son partículas en suspensión con un tamaño menor a 2,5 micras, son especialmente preocupantes como indicador de la contaminación urbana. Estos contaminantes afectan tanto al ambiente como a las condiciones de vida de los organismos. Además de los contaminantes mencionados por la OMS, otros autores también consideran el monóxido y dióxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO_2) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) como contaminantes adicionales (Cabrera, 2021, p.1).

2.2.3. Incineración de residuos y su impacto ambiental

2.2.3.1. Proceso de incineración de residuos y sus etapas

La incineración de residuos es una forma efectiva de gestionar los residuos peligrosos en empresas e industrias. Mediante una combustión controlada, se transforman los residuos en gases y cenizas. Este proceso ayuda a eliminar las características peligrosas de los desechos y puede incluir la recuperación de energía. La incineración ofrece beneficios como la generación de electricidad o climatización a partir del calor producido. Es importante clasificar los residuos antes de la incineración y contar con equipos de control ambiental para purificar los gases emitidos. El proceso de incineración implica el transporte de los residuos, su clasificación, la incineración en un horno de dos cámaras, la refrigeración de gases, la depuración de gases y la emisión de gases no contaminantes a la atmósfera. La incineración es útil para tratar diversos tipos de residuos y reduce los residuos sólidos (INCINEROX, 2018, p.2).

2.2.3.2. Impacto ambiental de la incineración de residuos

La naturaleza de los contaminantes generados por la incineración está fuertemente influenciada por la composición del combustible utilizado. Resulta más factible predecir estos contaminantes cuando el combustible es homogéneo, como suele ocurrir en centrales térmicas convencionales que emplean gas, carbón o fuel, así como en incineradoras que queman residuos agrícolas, forestales o provenientes de una industria específica (Saiz et al., 2019, p.2).

2.2.4. Tecnologías de mitigación de emisiones

2.2.4.1. Tecnologías para la reducción de emisiones gaseosas

La contaminación del aire amenaza la salud humana y la conservación del ambiente. Los óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, compuestos inorgánicos, aerosoles y olores son contaminantes dañinos. Conderchem Envitech emplea un conjunto de técnicas eficaces y competitivas para abordar de manera adecuada estas emisiones. Estas incluyen métodos convencionales como la adsorción con carbón activado y la absorción con reacción química, así como enfoques más avanzados como la foto-oxidación, la oxidación térmica regenerativa, la oxidación térmica recuperativa, la oxidación catalítica, los roto concentradores con zeolitas, la recuperación de NOx, la reducción catalítica selectiva (SCR) y los lavadores de gases (Cáceres y Prado, 2021, p.8). Para eliminar los gases que generan olores desagradables, la biofiltración se destaca como una técnica competitiva, económica y eficaz, que ofrece una alternativa a las soluciones tradicionales basadas en reactivos químicos (Conderchem, 2020, p.1).

2.2.5. Producción de biocombustibles

2.2.5.1. Producción de biocombustibles en Ecuador

El tema de los biocombustibles ha surgido con fuerza en el ámbito económico y académico, pero a menudo pierde relevancia una vez que se han agotado sus posibilidades prácticas o reflexiones teóricas. Esto se debe en parte a que desafían costumbres arraigadas en la sociedad y se enfrentan a estereotipos y barreras impuestas por la realidad sobre el uso de combustibles no fósiles hay una controversia en este contexto. Algunos se enfocan en el impacto ambiental, mientras que otros consideran los costos económicos de la materia prima. La viabilidad a gran escala de los biocombustibles, al igual que los combustibles fósiles, depende de factores como los costos de producción, el acceso a la materia prima, la capacidad de procesamiento, la rentabilidad, la tecnología disponible y la demanda del mercado, sin considerar los aspectos simbólicos (Martínez, 2020, pp.1-16).

En América Latina, la producción y utilización de biocombustibles se encuentra regida por un marco legal y constitucional. Países como Brasil, Argentina y Colombia cuentan con definiciones precisas en cuanto al uso de biocombustibles, especialmente en el sector del transporte, donde la demanda es significativa (Aramedis et al., 2021, p.8). En Ecuador, se han promulgado leyes y políticas públicas desde el año 2000 para fomentar el uso de biocombustibles puros o mezclados con combustibles fósiles. Un caso actual es la presencia de la gasolina Ecopaís, la cual se encuentra disponible en algunas ciudades de Ecuador gracias a la distribución realizada por Petroecuador. Sin embargo, es importante sistematizar los procedimientos para proteger los derechos de la naturaleza en este contexto (Cruel y Vernaza, 2022, p.1).

2.2.5.2. Impactos ambientales de la producción de biocombustibles

Biocombustibles de aceites usados y aceite de palma son posibles fuentes alternativas de energía para reducir el uso de combustibles fósiles. Los biocombustibles reducen emisiones de CO₂ y otros contaminantes, mejoran el ambiente, son renovables, fomentan el desarrollo agrícola, crean empleos bien remunerados, se biodegradan y proveen energía en áreas no interconectadas (Jáuregui, 2022, p.4). El biodiésel, obtenido a partir de aceites vegetales o grasas animales, es un tipo de biocombustible que beneficia al ambiente al no contener partículas de azufre, a diferencia de los combustibles fósiles. Además, se ha considerado como una estrategia para mitigar el cambio climático y lograr independencia energética en muchos países (Díaz, 2018, p.6).

2.2.5.3. Análisis de las tecnologías de combustión utilizadas en Ecuador

El análisis de las tecnologías de combustión utilizadas en Ecuador es esencial para comprender la generación de energía y las emisiones asociadas en el país. Se destacan tres tecnologías comunes: la combustión en calderas, los motores de combustión interna y los quemadores industriales (Pillajo, 2022, p.6). En el caso de las calderas, se evalúa la eficiencia de la combustión, las emisiones de gases contaminantes y los sistemas de control de emisiones. En los motores de combustión interna, se analizan las emisiones de gases contaminantes, como los óxidos de nitrógeno (NOx) y las partículas de material particulado, junto con las estrategias de control de emisiones (Morales y Bedoya, 2020, p.1). Los quemadores industriales también son objeto de evaluación en términos de eficiencia de la combustión, emisiones de gases contaminantes y sistemas de control de emisiones. Este análisis exhaustivo proporciona información valiosa para implementar medidas de control de emisiones y avanzar hacia tecnologías más limpias y sostenibles, en línea con las regulaciones ambientales vigentes (Roja, 2019, p.4).

2.2.6. Impacto ambiental de la incineración de residuos biológicos

2.2.6.1. Proceso de incineración y emisiones contaminantes

La incineración es una técnica empleada en el manejo de residuos con el propósito de disminuir su volumen, peso y modificar su composición. Este proceso implica someter los residuos a altas temperaturas para lograr una oxidación (García, 2020, p.9). En el proceso de incineración, los elementos orgánicos de los residuos reaccionan con el oxígeno contenido en el aire, transformándose en dióxido de carbono y agua. Esta reacción puede generar energía térmica y/o eléctrica (Medina, 2022, p.6).

No obstante, es importante destacar que la incineración también conlleva la emisión de sustancias altamente tóxicas al aire, así como la liberación de nanopartículas perjudiciales. Entre las emisiones contaminantes generadas por los incineradores se encuentran los metales pesados tóxicos, las dioxinas y los furanos (Martínez y Casallas, 2019, p.5). Estas sustancias tienen efectos perjudiciales en la calidad del aire y pueden suponer riesgos para la salud humana y el entorno natural. Es esencial considerar estos aspectos al evaluar la incineración como una opción para el tratamiento de residuos (Mohamed, 2021, p.2). La adopción de tecnologías de control de emisiones y el cumplimiento de regulaciones ambientales apropiadas son medidas fundamentales para mitigar los efectos negativos asociados con la incineración de desechos (Soto, 2020, p.1).

2.2.6.2. Alternativas a la incineración de residuos biológicos

Existen varias alternativas más sostenibles y respetuosas con el ambiente a la incineración de residuos biológicos en Ecuador.

1. **Compostaje:** El compostaje es un procedimiento natural en el cual los materiales orgánicos, como residuos de alimentos y desechos de jardín, experimentan descomposición y se transforman en compost. Este compost puede utilizarse como fertilizante en la agricultura y la jardinería, ayudando a mejorar la calidad del suelo y reduciendo la cantidad de residuos enviados a los vertederos (Roman et al, 2020, p.3).
2. **Digestión anaeróbica:** Es un procedimiento en el cual los desechos orgánicos se descomponen en ausencia de oxígeno, generando biogás y un subproducto líquido conocido como digestato. El biogás puede utilizarse como fuente de energía renovable para generar electricidad y calor, mientras que el digestato puede utilizarse como fertilizante en la agricultura (Roman et al, 2020, p.4).
3. **Valorización energética:** Esta opción implica la transformación de los residuos biológicos en biocombustibles, como el biodiésel o el biogás, que pueden utilizarse como fuentes de energía renovable. La valorización energética permite aprovechar los residuos biológicos y reducir la dependencia de los combustibles fósiles, al mismo tiempo que se disminuyen las emisiones de gases contaminantes (Roman et al, 2020, p.4).

Es esencial promover y fomentar estas alternativas a la incineración de residuos biológicos en Ecuador. Esto implica la implementación de políticas y regulaciones que fomenten la separación adecuada de los residuos, la construcción de infraestructuras para el compostaje y la digestión anaeróbica, y la inversión en investigación y desarrollo de tecnologías sostenibles para el manejo de residuos biológicos (Roman et al, 2020, p.3).

2.2.7. Alternativas sostenibles para la eliminación de residuos biológicos

2.2.7.1. Compostaje como alternativa para la eliminación de residuos biológicos

El compostaje se presenta como una opción efectiva y sostenible para el tratamiento de residuos biológicos, ofreciendo enfoques más favorables para el ambiente. Consiste en un proceso natural de descomposición controlada de materiales orgánicos, como restos de alimentos, desechos de jardín y otros desechos biológicos (Chitiva y Gomez, 2019, p.1). Durante el compostaje, los

microorganismos descomponen los residuos biológicos, transformándolos en compost, un producto final rico en nutrientes y materia orgánica. Este compost se puede utilizar como fertilizante en la agricultura, jardinería y restauración de suelos degradados (Barrena, 2019, p.4).

El compostaje presenta varias ventajas como alternativa a los métodos tradicionales de eliminación de residuos biológicos (Vázquez, 2023, p.1). Estas ventajas incluyen:

1. Minimización de desechos: El compostaje disminuye la cantidad de residuos enviados a los vertederos, reduciendo así la necesidad de espacio de disposición y los costos asociados con la gestión de residuos.
2. Mejora del suelo: El compost añade materia orgánica al suelo, mejorando su estructura, capacidad de retención de agua y fertilidad. Esto beneficia la salud de las plantas, la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.
3. Control de la erosión y protección del agua: El compost ayuda a prevenir la erosión del suelo al mejorar su capacidad para retener agua y reducir la escorrentía superficial. Esto contribuye a la protección de los recursos hídricos al reducir la contaminación causada por la escorrentía de nutrientes y productos químicos agrícolas.
4. Disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero: Al desviar los residuos biológicos de los vertederos, el compostaje ayuda a reducir la emisión de gases de efecto invernadero, como el metano, que se generan durante la descomposición anaeróbica de los residuos (Ramírez, 2018, p.65).

2.2.7.2. Producción de biocombustibles y biogás a partir de residuos biológicos

La producción de biocombustibles y biogás a partir de residuos biológicos es una opción prometedora y sostenible que aprovecha los recursos orgánicos para obtener energía renovable. Esta práctica implica la conversión de residuos biológicos en biocombustibles líquidos, como el biodiésel y el bioetanol, así como la digestión anaeróbica para generar biogás (García, 2019, p .6). Esta producción de biocombustibles implica la transformación de aceites vegetales usados o cultivos energéticos en combustibles líquidos utilizables en motores diésel o como aditivos en combustibles. Por otro lado, la digestión anaeróbica descompone los residuos biológicos en un entorno sin oxígeno, generando biogás compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono. Este biogás puede aprovecharse para generar electricidad y calor, mientras que el residuo líquido resultante, llamado digestato, puede utilizarse como fertilizante (Palermo, 2020, p.2).

La producción de biocombustibles y biogás utilizando residuos biológicos conlleva ventajas ambientales y energéticas significativas. Ayuda a disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y permite una gestión más eficaz de los residuos. Además, evita la acumulación de residuos en los vertederos y promueve la valorización energética de los recursos orgánicos (Venero, 2019, p.3). Es fundamental destacar que esta práctica requiere tecnologías adecuadas, una gestión eficiente de los procesos y una selección cuidadosa de los residuos utilizados. Además, es importante garantizar que la producción de biocombustibles y biogás no compita con la producción de alimentos ni cause un uso excesivo de tierras agrícolas (Coviello, 2019, p.4).

2.3. Bases conceptuales

Biocombustible: Se refiere a un tipo de combustible obtenido a partir de materia orgánica, como biomasa y residuos orgánicos. Estos combustibles son considerados una alternativa más sostenible y renovable en comparación con los combustibles fósiles. Su producción y uso contribuyen a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y a la disminución de la dependencia de los combustibles no renovables (RAE, 2019, p.4).

Biodiésel: Es un tipo de biocombustible que se caracteriza por ser renovable, natural y limpio. Se produce a partir de fuentes vegetales o animales, como aceites vegetales o grasas animales, mediante un proceso de transesterificación. El biodiésel se utiliza como sustituto o mezcla con el diésel convencional en motores diésel, con el objetivo de reducir las emisiones contaminantes y contribuir a una menor dependencia de los combustibles fósiles (Rincon educativo, 2020, p.1).

Calidad del aire: Hace referencia a la composición y características de los gases presentes en la atmósfera, y su adecuación para diversos usos y la salud humana. La calidad del aire puede verse afectada por emisiones contaminantes provenientes de diversas fuentes, como industrias, vehículos y actividades humanas. Es fundamental mantener una buena calidad del aire para preservar la salud y el medio ambiente (Agro-Uba, 2020, p.1).

Diésel: Es un hidrocarburo líquido que se obtiene por destilación del petróleo a temperaturas entre 200°C y 380°C. También conocido como gasóleo o gasoil, el diésel es ampliamente utilizado como combustible en motores diésel, tanto en vehículos de transporte como en maquinaria industrial. Es un combustible de alta densidad energética y se utiliza principalmente por su eficiencia y capacidad de generación de energía (Bardahl, 2021, p.2).

Incinerador: Es una instalación diseñada para la oxidación de residuos a altas temperaturas. A través de este proceso de incineración, los residuos se queman y se convierten en gases y cenizas. Los incineradores son utilizados para el tratamiento de residuos sólidos, tanto urbanos como industriales, y su objetivo principal es reducir el volumen de residuos, destruir sustancias peligrosas y generar energía a partir del calor liberado durante la combustión (Tecnología-Ambiente, 2019, p.4).

Legislación: Hace referencia al conjunto de leyes y normas que regulan las relaciones entre las personas en un país o en un sector específico. La legislación establece derechos, obligaciones y responsabilidades, y tiene como objetivo garantizar el orden, la justicia y el bienestar de la sociedad. En el contexto ambiental, la legislación juega un papel importante en la protección y

conservación del medio ambiente, estableciendo normas para la gestión de recursos naturales, la prevención de la contaminación y la promoción de prácticas sostenibles (Cepal, 2020, p.4).

Monitoreo: Se refiere a la evaluación sistemática y continua de un proyecto, proceso o sistema para identificar logros y debilidades y tomar medidas correctivas o de mejora. En el contexto ambiental, el monitoreo se realiza para recopilar datos y analizar la calidad del aire, el agua, el suelo y otros parámetros ambientales. El monitoreo también se utiliza para evaluar el cumplimiento de normas y regulaciones, así como para evaluar el impacto ambiental de las actividades humanas (OIT, 2019, p.1).

2.4. Base legal

La preservación del ambiente es un asunto de gran importancia en la actualidad. En Ecuador, se han implementado múltiples leyes y regulaciones con el objetivo de salvaguardar el entorno natural y la salud de la población. Estas normativas buscan regular las emisiones de gases producidas por los incineradores, con el propósito de reducir al mínimo su impacto tanto en el ambiente como en la salud pública. El marco legal en Ecuador establece una serie de obligaciones y responsabilidades para las empresas y organizaciones que operan incineradores, incluyendo la medición y monitoreo de las emisiones gaseosas, la implementación de medidas de control y la realización de informes periódicos sobre su desempeño ambiental. En este sentido, existen diversas leyes, normativas y reglamentaciones que establecen el marco jurídico para la protección del ambiente y la regulación de las emisiones gaseosas en incineradores, entre las principales leyes y normativas destacan la Constitución de la República del Ecuador, la Ley Orgánica del Ambiente, el Reglamento para el Control de Emisiones Atmosféricas y la Norma Técnica Ecuatoriana para la Calidad del Aire. En la sección de anexos, se presentarán las principales leyes y normativas relacionadas con la emisión de gases en incineradores en Ecuador, con el fin de establecer el marco legal en el que se desarrolla la presente investigación y analizar su relevancia en el contexto de la protección del ambiente y la salud pública.

2.4.1. Constitución de la República del Ecuador

El artículo 414 de la Constitución de la República del Ecuador establece que el Estado tomará acciones apropiadas y transversales para mitigar el cambio climático. Estas medidas incluyen la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la prevención de la deforestación y la disminución de la contaminación atmosférica.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue descriptivo porque a través de la recopilación de datos y mediciones periódicas, se buscó describir las características de las emisiones en cada escenario y compararlas para identificar posibles diferencias. No se busca establecer una relación causal entre las variables ni manipular factores de forma controlada, sino más bien obtener información descriptiva sobre las emisiones en cada situación y obtener conclusiones basadas en la comparación de los resultados.

3.2. Diseño de la investigación

El presente estudio, empleó un enfoque de investigación cuantitativa para evaluar las emisiones gaseosas generadas por el incinerador de la Facultad de Ciencias. Se realizó un diseño cuasiexperimental donde se comparó las emisiones utilizando biocombustible a partir de plástico en mezclas con diésel y el uso exclusivo de diésel como combustible de referencia. Se llevó a cabo mediciones periódicas durante un período de tiempo representativo para recopilar datos precisos sobre las emisiones gaseosas. Además, se recopiló datos a través de instrumentos como el analizador de gases y utilizó técnicas de estadística para el análisis de los datos. Se llevaron a cabo tres tratamientos utilizando distintas mezclas de diésel con biodiesel en volúmenes variables. Se realizó un análisis estadístico inferencial, ya que según Fantino (2022, p.1) la estadística inferencial, se basa en analizar los datos de una población o muestra, para poder realizar predicciones o conclusiones, que están relacionadas con el posible comportamiento de un fenómeno en particular. Cada tratamiento se sometió a cuatro mediciones para obtener datos precisos. Estos datos fueron fundamentales para el análisis y la posterior interpretación de los resultados.

Tabla 3-1: Mezcla de combustible

TRATAMIENTO (CONCENTRACIÓN DE BIODIESEL)		
Biodiésel 2% (T1)	Biodiésel 5% (T2)	Biodiésel 10% (T3)
6 litro de combustible (6000 mL): 120 mL de Biocombustible 5880 mL de Diésel	6 litro de combustible (6000 mL): 300 mL de Biocombustible 5700 mL de Diésel	6 litro de combustible (6000 mL): 600 mL de Biocombustible 5400 mL de Diésel

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

3.2.1. Variables

Tabla 3-2: Tipos de variables

Dependiente	Independiente	Intermitente
Emisiones gaseosas	Volumen de diésel y biodiésel	Residuo biológico

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

3.3. Localización del proyecto

El proyecto se llevó a cabo en Riobamba, Ecuador, específicamente en la Facultad de Ciencias de la institución donde se encuentra el incinerador objeto de estudio. Todas las mediciones y evaluaciones de las emisiones gaseosas se realizaron en las instalaciones de dicho incinerador, siguiendo los protocolos y regulaciones ambientales correspondientes.

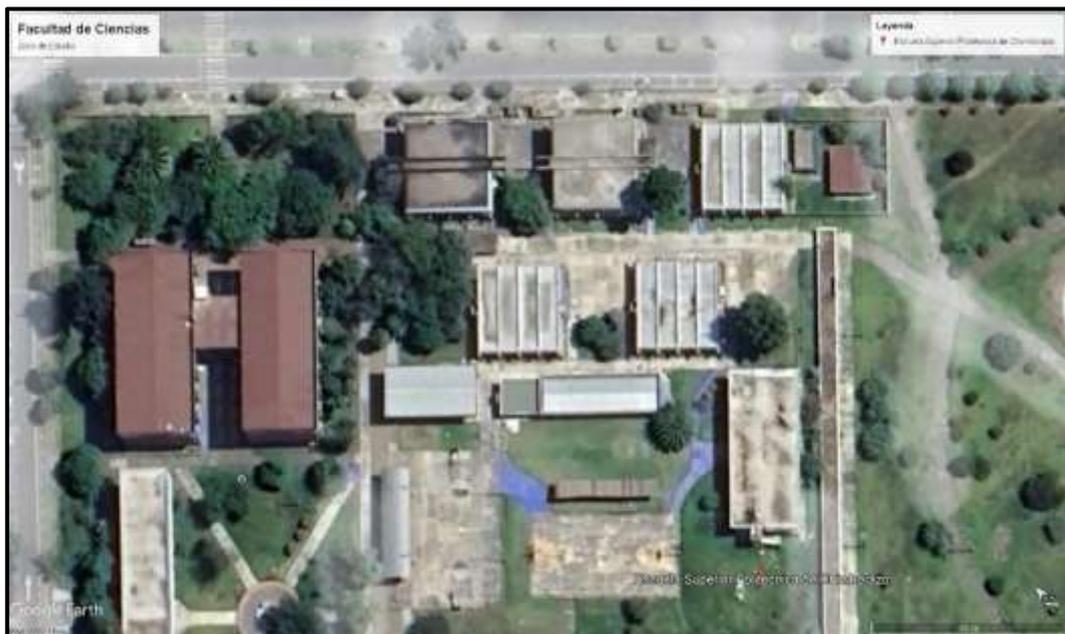


Ilustración 3-1: Ubicación de la facultad de ciencias

Fuente: Google Earth, 2023.

Tabla 3-3: Coordenadas UTM de la zona de estudio

X	Y
9816743	758331

Fuente: Google Earth, 2023.

3.4. Población de estudio y/ muestra

En este caso, la población de estudio se centra en las pruebas realizadas con el biocombustible en el incinerador de la Facultad de Ciencias para analizar las emisiones de gases generadas durante su funcionamiento.

3.5. Hipótesis textual

El uso de biocombustible a partir de plástico disminuye las emisiones gaseosas generadas por el incinerador de la Facultad de Ciencias-ESPOCH.

3.5.1. Hipótesis estadística

Hipótesis nula (H0): No existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos

Hipótesis alternativa (H1): Existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos

- Al vacío

Hipótesis nula (H0): Diésel= T1 = T2 = T3

Hipótesis alternativa (H1): Diésel \neq T1 \neq T2 \neq T3

- Materia orgánica

Hipótesis nula (H0): Diésel con MO = T1 con MO = T2 con MO = T3 con MO

Hipótesis alternativa (H1): Diésel con MO \neq T1 con MO \neq T2 con MO \neq T3 con MO

Donde:

T1: Tratamiento 1 al 2%

T2: Tratamiento 2 al 5%

T3: Tratamiento 3 al 10%

MO: Materia orgánica

3.6. Análisis estadístico

Después del monitoreo, los conjuntos de datos se recopilaron y se sometieron a pruebas (ANOVA), Tukey y Pearson. Estas pruebas se utilizaron para encontrar variaciones significativas entre los conjuntos de datos. Estos análisis se realizaron con el paquete estadístico SPSS.

La correlación de Pearson es una medida estadística utilizada para analizar la relación entre dos variables. Sus valores oscilan entre -1 y 1, y su magnitud se muestra en la tabla 3-4.

Tabla 3-4: Magnitud de correlaciones

$r=1$	Correlación perfecta
$0,8 < r < 1$	Correlación muy alta
$0,6 < r < 0,8$	Correlación alta
$0,4 < r < 0,6$	Correlación moderna
$0,2 < r < 0,4$	Correlación baja
$0 < r < 0,2$	Correlación muy baja
$r=0$	Correlación nula

Fuente: Sarabia, 2015.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

3.7. Ingeniería de proceso

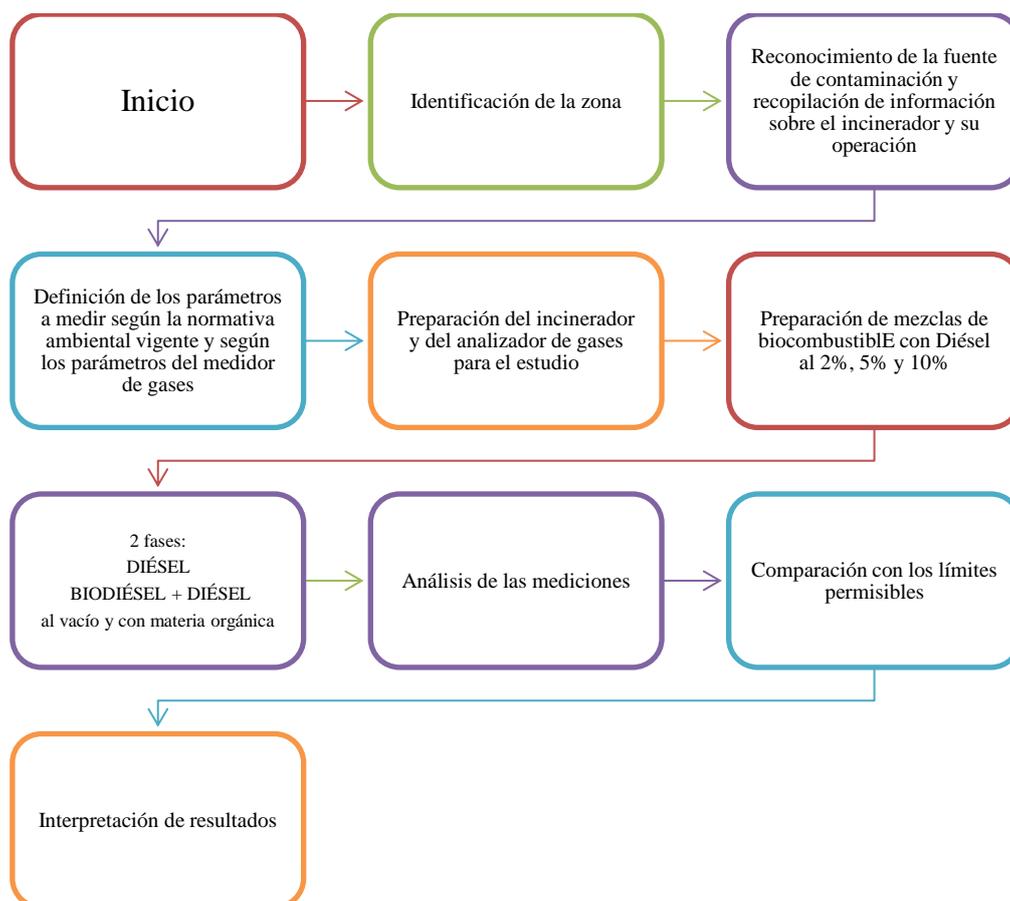


Ilustración 3-2: Proceso de monitoreo

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

3.8. Equipos y materiales

Tabla 3-5: Equipos y materiales para de monitoreo

Acción	Descripción	
Monitoreo	Equipo de Protección	Mascarilla Guantes industriales Casco Mandil Mascarilla con filtro Lentes de protección
	Instrumento	Equipo de medición de gases TESTO 340
	Material	Residuo biológico Diesel Biodiesel (Bio-fuel) Mezclas de Diesel con biodiesel

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

3.8.1. Descripción del equipo TESTO 340

TESTO 340 es un analizador de gases de combustión portátil fabricado por Testo AG, una empresa especializada en instrumentos de medición y equipos de prueba. El TESTO 340 se utiliza para medir y analizar los componentes de los gases de combustión generados por sistemas de combustión, como calderas, motores y hornos. Este dispositivo ofrece mediciones precisas de parámetros clave como el contenido de oxígeno (O₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y la temperatura de los gases de combustión. Además, permite la medición de otros parámetros relacionados, como la eficiencia de combustión, el exceso de aire y el cálculo de la pérdida de calor. El TESTO 340 es portátil y fácil de usar, lo que lo convierte en una herramienta popular para realizar mediciones en campo. También puede almacenar y registrar datos para su posterior análisis y generación de informes. Su diseño robusto y duradero lo hace adecuado para su uso en diversas aplicaciones industriales y de control ambiental (Cleanair, 2023, p 1).

Tabla 3-6: Leyenda del instrumento de medición TESTO 340

Parámetro	Unidad	Detalle
O ₂	%	Hace referencia a la concentración de oxígeno en el gas de escape. Esta medida es importante ya que una concentración demasiado baja de oxígeno puede llevar a una combustión incompleta, lo que resultaría en emisiones más altas de CO, hidrocarburos no quemados y otros contaminantes.
CO	ppm	El monóxido de carbono es un gas tóxico e inodoro que se produce como resultado de una combustión incompleta. Altas concentraciones de CO en el aire pueden ser perjudiciales para la salud humana.
NO	ppm	El óxido nítrico es un gas incoloro e inodoro que se produce durante la combustión a alta temperatura. El NO es un precursor del NO ₂ y del ozono troposférico, dos contaminantes importantes que pueden tener efectos negativos sobre la salud y el ambiente.
NO _x	ppm	El término NO _x se refiere a la combinación de óxidos de nitrógeno, incluyendo el NO y el NO ₂ . Los NO _x son emitidos por vehículos y otras fuentes de combustión y pueden tener un impacto negativo sobre la calidad del aire y la salud.
T amb.	°C	Hace referencia a la temperatura ambiente en el momento de la medición.
CO ₂	%	El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero que se produce como resultado de la combustión de combustibles fósiles y otros procesos industriales. Las emisiones de CO ₂ son un contribuyente importante al cambio climático.
EFF	%	Hace referencia a la eficiencia de la combustión, es decir, la cantidad de combustible que se quema de manera efectiva para generar energía.
ExAir	%	Hace referencia al exceso de aire, es decir, un exceso de aire requerido para lograr una combustión completa, o visto desde otra perspectiva, la cantidad de aire que no participa en la combustión.
T stack	°C	Hace referencia a la temperatura del gas en la chimenea de escape.
NO ₂	ppm	El dióxido de nitrógeno es un gas tóxico y un componente importante de los NO _x . El NO ₂ puede causar problemas respiratorios y contribuir a la formación de lluvia ácida.

Pump	l/min	Hace referencia al caudal de la bomba utilizada para extraer muestras de gases de escape para su análisis.
------	-------	--

Fuente: Cleanair, 2023.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

3.9. Técnicas de recolección de datos

En este estudio, se emplearon varias técnicas para recolectar los datos necesarios. En primer lugar, se realizó una observación directa de las operaciones del incinerador de la Facultad de Ciencias, con el fin de registrar y documentar las emisiones gaseosas generadas durante su funcionamiento. Además, se llevó a cabo una experimentación controlada para medir las emisiones gaseosas en diferentes condiciones. Para ello, se realizaron pruebas utilizando diferentes concentraciones de mezcla de diésel y biodiésel, siguiendo las pautas y regulaciones establecidas por las normas y acuerdos ministeriales pertinentes.

Las mediciones de las emisiones gaseosas se realizaron utilizando el analizador de gases de combustión TESTO 340. Este instrumento permitió la captura precisa de los parámetros clave, como el contenido de oxígeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno presentes en los gases de combustión. Es importante destacar que se siguieron los protocolos de seguridad y los estándares establecidos para garantizar la exactitud y confiabilidad de los datos recolectados durante el estudio. Con estas técnicas de recolección de datos, se pudo obtener información precisa y relevante sobre las emisiones gaseosas generadas por el incinerador de la Facultad de Ciencias, permitiendo así realizar comparaciones y análisis en relación con la legislación ambiental vigente en Ecuador.

3.10. Etapas de proyecto de investigación

3.10.1. Caracterización de las emisiones gaseosas generadas por el incinerador

Los parámetros de medición se establecieron de acuerdo con la legislación vigente, siendo los más relevantes los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el monóxido de carbono (CO). Los resultados obtenidos fueron minuciosamente analizados y comparados con los límites establecidos en las normativas ambientales vigentes. Esta comparación permitió evaluar el cumplimiento del incinerador con las regulaciones y determinar si era necesario implementar acciones correctivas para reducir las emisiones y minimizar el impacto de los gases emitidos.

3.10.2. Análisis comparativos entre las emisiones gaseosas generadas por las diferentes concentraciones de diésel y biodiésel

Se realizaron mediciones de las emisiones gaseosas utilizando pruebas de incineración al vacío y con materia orgánica (MO), al utilizar biocombustible a partir de plástico en mezclas con diésel en porcentajes del 2%, 5% y 10%. Una vez obtenidos los datos tanto de las emisiones al utilizar únicamente diésel como al utilizar la mezcla de biocombustible, se llevó a cabo un análisis estadístico para determinar posibles diferencias significativas. Para ello, se aplicaron pruebas estadísticas apropiadas, como el análisis de varianza (ANOVA), seguido de pruebas de Tukey para comparar las medias de las diferentes condiciones. Además, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para evaluar las posibles relaciones entre los diferentes contaminantes presentes en las emisiones gaseosas.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Recopilación de datos

4.1.1. Caracterización de la zona

La información proporcionada en la tabla 4-1, 2, 3 y 4 muestra las dimensiones del incinerador usado y las condiciones en las que se llevó a cabo las mediciones y evaluaciones de emisiones gaseosas del incinerador.

Tabla 4-1: Caracterización del lugar

Temperatura ambiente.	23°C
Uso de suelo	Actividades mixtas
Actividades	Antropogénicas
Infraestructura	Concreto y hormigón
Aireación	Si
Zonas aledañas	Norte: Laboratorios Bar-Restaurante Sur: Biblioteca institucional Oeste: Cancha de deporte Este: Asosicacion de estudinates
Seguridad del incinerador	Rejas de metal
Salida de chimenea	Improvisada
Vías	Asfaltado

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

El entorno donde localiza el incinerador se caracterizó por tener un uso mixto del suelo, con actividades antropogénicas presentes. La infraestructura predominante es de concreto y hormigón. Se registró una temperatura ambiente de 21-23°C durante las mediciones. La aireación en el entorno y las características de las zonas aledañas, como laboratorios, biblioteca institucional, cancha deportiva y asociación de estudiantes pueden influir en la dispersión de las emisiones gaseosas.

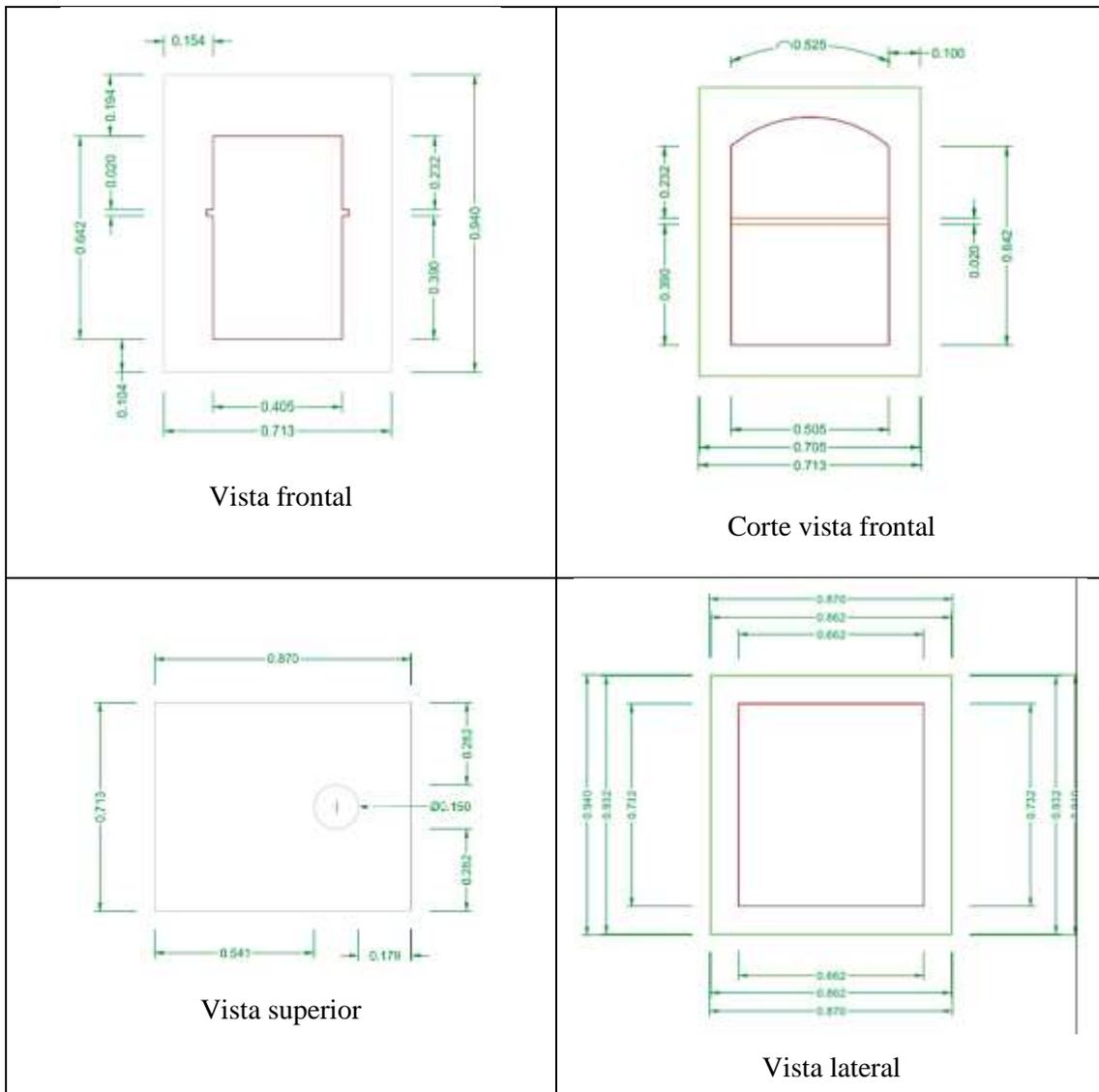
La seguridad del incinerador se garantiza mediante la presencia de rejas de metal. Sin embargo, se observa que la salida de la chimenea fue improvisada, lo que puede afectar la eficiencia y

dirección del flujo de gases emitidos. Además, destacó que las vías en el área están asfaltadas, lo que tiene implicaciones en el acceso al incinerador y en el movimiento de vehículos relacionados con su operación. Esta información contextual fue importante para comprender el entorno en el que se evaluó las emisiones gaseosas del incinerador.

4.1.2. Incinerador de residuos biológicos

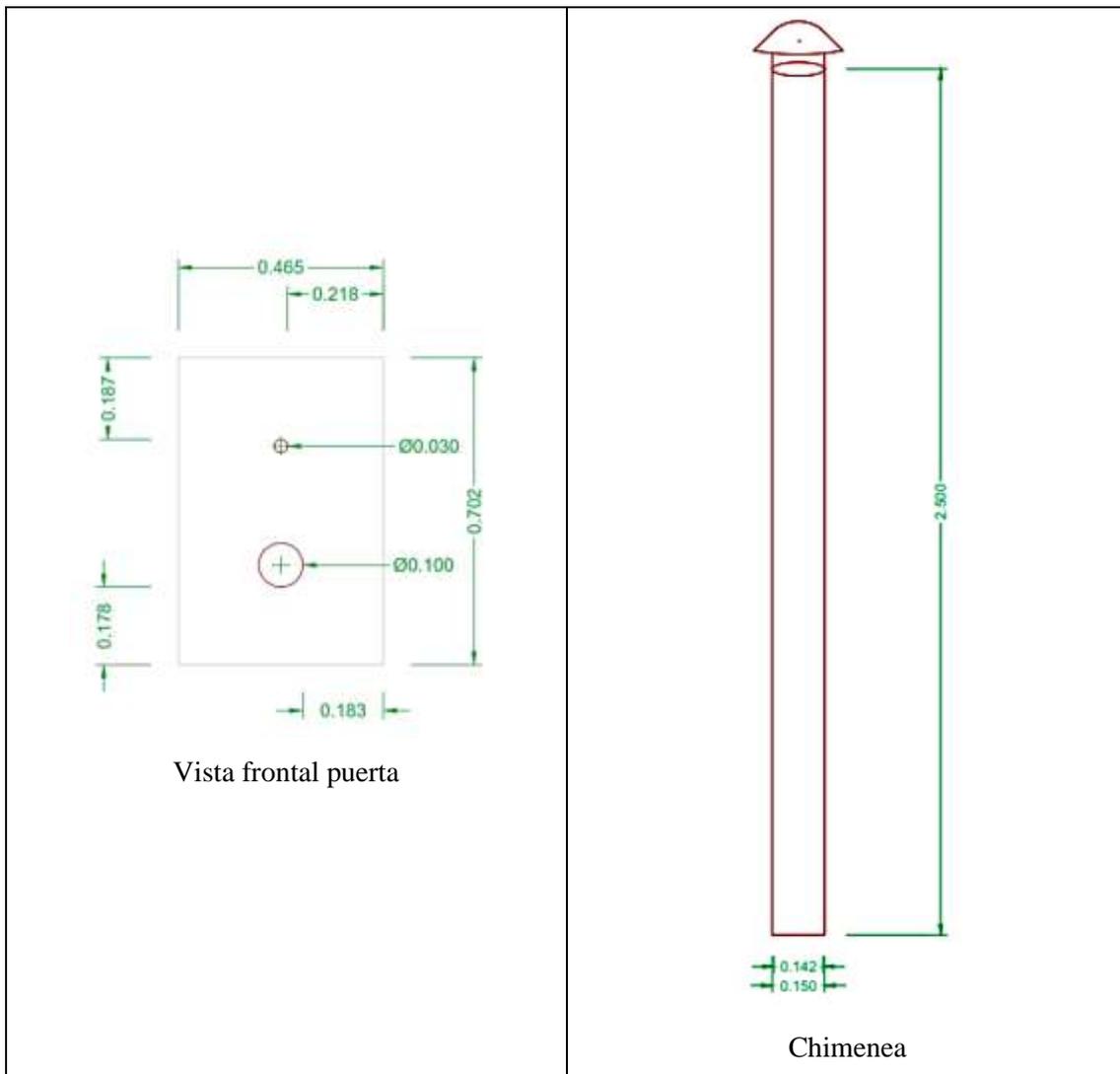
4.1.2.1. Dimensión del incinerador

Tabla 4-2: Plano de equipo



Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Tabla 4-3: Plano chimenea



Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

El plano inicial de la elaboración incinerador está compuesto por varias vistas que permiten una comprensión detallada de su estructura y componentes. La vista frontal muestra la fachada del incinerador, revelando su diseño y disposición general. La corte vista frontal proporciona una visión interna del incinerador, revelando las diferentes secciones y compartimentos que lo conformaban. La vista superior enfoca una perspectiva desde arriba, permitiendo identificar la distribución espacial de los elementos. La vista lateral brindaba una representación de perfil, mostrando la altura y las proporciones del incinerador. Además, se incluyó una vista frontal específica de la puerta, la cual detalla su diseño y características. Por último, la chimenea se representa en una vista separada, destacando su posición y dimensiones relativas en dónde destaca la diferencia de 50 cm menos que tiene actualmente. Estas diferentes vistas proporcionaron una representación completa y clara del incinerador, permitiendo un análisis detallado de su estructura y configuración.

4.1.2.2. Información de incinerador

Tabla 4-4: Características del incinerador actual

Parámetro	Valor
Temperatura de llama (°C)	1936,40
Diesel consumido (l/h)	2,88
Material	Cemento refractario Acero inoxidable
Motor	Riello Gulliver RG2F N° 0130QE10130
Control	Automático
Temperatura de auto apagado	650°C
Altura del incinerador	0,94 m
Ancho del incinerador	0,713 m
Profundidad del incinerador	0,87 m
Altura de puerta del incinerador	0,642 m
Ancho de la puerta del incinerador	0,505 m
Altura de chimenea	2,00 m
Diámetro de chimenea	0,15 m

Fuente: Riello, 2022.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

El incinerador se caracteriza por una temperatura de flama adiabática de 1936,40 °C, que indica el nivel de calor generado durante el proceso de incineración, el consumo de diésel es de 2,88 litros por hora, lo cual representa la cantidad de combustible utilizada en el incinerador para mantener la operación (Guerrero y Tene 2020, p.45). En cuanto al material de construcción, se utilizó cemento refractario y acero inoxidable, que ofrecen resistencia a altas temperaturas y garantizan la durabilidad del incinerador. El control del incinerador es automático, lo que significa que se emplea un sistema de control automatizado para regular el proceso de incineración y mantener las condiciones óptimas de operación. Además, se estableció una temperatura de auto apagado de 650 °C, lo que implica que, si la temperatura supera este umbral, el incinerador se apaga automáticamente por motivos de seguridad (Riello, 2022, p.3).

- **Actividad de operación**

Tabla 4-5: Tiempo de operación

Parámetro	Valor
Fecha de funcionamiento	15 mayo 2020
Uso	Residuos Biológicos
Ubicación geográfica (UTM)	Este: 758317 Norte: 9816736
Hora de uso	Lunes-viernes 07H00 – 21H00

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Se registró que el incinerador comenzó a operar el 15 de mayo de 2020, marcando el inicio de su funcionamiento. Se especificó que se destinó para la eliminación de residuos biológicos, indicando claramente el propósito para el cual se utilizaba el incinerador. La ubicación geográfica se presentó en coordenadas UTM, revelando que el incinerador se encontraba en la zona Este con un valor de 758317 y en la zona Norte con un valor de 9816736. Estas coordenadas permitieron identificar con precisión la ubicación del incinerador. Por último, se detalló el horario de uso del incinerador, indicando que operaba de lunes a viernes en un horario que abarcaba entre las 07:00 hasta las 21:00. Esto implicaba que el incinerador estaba en funcionamiento durante esos días y horas específicas.

4.1.3. Emisión de gases

4.1.3.1. Emisiones gaseosas del incinerador

Tabla 4-6: Emisiones gaseosa iniciales del incinerador de residuos biológicos

Parámetro	Medición
Oxígeno (%)	8,70
Concentración de NO ₂ (ppm)	0,60
Concentración de CO (ppm)	71,92
Concentración de NO _x (ppm)	26,20
Dióxido de Carbono (%)	10,21
Eficiencia de la Combustión (%)	65,00
Exceso de Aire (%)	57,00
Temperatura (°C)	462,00
Flujo de Gases (L/min)	0,82

Fuente: Guerrero y Tene, 2020.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Estos datos fueron recopilados por Guerrero y Tene, (2020, p.45). como parte de su proyecto de diseño y construcción de un equipo de cremación para la incineración de residuos biológicos generados en el bioterio de la FACULTAD de CIENCIAS de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en el año 2020.

4.1.3.2. Incineración al vacío

La incineración al vacío se refiere a la medición de emisiones gaseosas tanto para diésel como para tratamientos con mezclas de biodiésel, excluyendo la presencia de cualquier residuo biológico. Se llevaron a cabo cuatro repeticiones con el propósito de obtener resultados más precisos. García (2017, p.1) señala que repetir la medición varias veces es una forma de reducir el margen de error, ya que el promedio de las mediciones será más confiable que cualquiera de ellas por separado.

- **Monitoreo diésel al vacío**

Tabla 4-7: Emisiones al vacío (diésel al vacío)

Diésel al vacío							
	Parámetro	Unidad	Repetición				Promedio
			1	2	3	4	
1	O ₂	%	10,59	10,72	11,62	11,87	11,33
2	CO	ppm	13,24	12,45	9,08	9,05	10,57
3	NO	ppm	48,00	46,00	45,00	43,50	45,20
4	NO _x	ppm	48,40	43,30	45,20	43,80	44,90
5	Tamb.	°C	21,80	23,30	23,30	25,35	23,82
6	CO ₂	%	15,07	14,98	14,33	13,61	14,32
7	EFF	%	74,10	74,60	71,80	75,48	74,29
8	ExAir	%	2,40	3,00	7,60	13,15	7,86
9	Tstack	°C	535,40	521,30	576,50	465,35	512,78
10	NO ₂	ppm	0,40	0,30	0,20	0,28	0,29
11	Pump	l/min	0,45	0,34	0,21	0,20	0,28

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

- **Monitoreo biodiésel 2% al vacío**

Tabla 4-8: Emisiones al 2% de biodiésel al vacío

Biodiésel 2% al vacío							
	Parámetro	Unidad	Repetición				Promedio
			1	2	3	4	
1	O ₂	%	8,78	9,58	9,57	8,92	9,09
2	CO	ppm	6,87	7,84	7,98	7,61	7,59
3	NO	ppm	14,00	12,00	14,00	12,75	13,00
4	NO _x	ppm	14,17	12,54	14,3	13,24	13,42
5	Tamb.	°C	23,30	22,70	22,40	24,80	23,94
6	CO ₂	%	10,85	11,72	10,96	8,95	9,90
7	EFF	%	74,10	73,90	71,40	63,38	67,56
8	ExAir	%	4,10	3,10	3,96	7,50	5,88
9	Tstack	°C	415,90	445,60	472,70	524,00	490,03
10	NO ₂	ppm	0,10	0,50	0,40	0,45	0,40
11	Pump	l/min	0,34	0,30	0,27	0,23	0,26

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

- **Monitoreo biodiésel 5% al vacío**

Tabla 4-9: Emisiones al 5% de biodiésel al vacío

Biodiésel 5% al vacío							
	Parámetro	Unidad	Repetición				Promedio
			1	2	3	4	
1	O ₂	%	12,54	13,52	10,85	11,35	12,07
2	CO	ppm	9,37	12,30	12,40	12,10	11,54
3	NO	ppm	11,00	13,00	13,00	12,00	12,25
4	NO _x	ppm	11,30	13,30	13,10	12,10	12,45
5	Tamb.	°C	23,00	22,70	24,80	24,10	23,65
6	CO ₂	%	3,54	5,34	7,24	8,24	6,09
7	EFF	%	57,00	63,57	65,27	66,10	62,99
8	ExAir	%	4,20	3,10	3,96	4,20	3,87
9	Tstack	°C	201,50	321,52	575,24	601,20	424,87
10	NO ₂	ppm	0,30	0,30	0,10	0,10	0,20
11	Pump	l/min	0,13	0,10	0,07	0,06	0,09

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

- **Monitoreo biodiésel 10% al vacío**

Tabla 4-10: Emisiones al 10% de biodiésel al vacío

Biodiésel 10% al vacío							
	Parámetro	Unidad	Repetición				Promedio
			1	2	3	4	
1	O ₂	%	15,40	12,54	11,50	11,69	12,78
2	CO	ppm	9,48	12,87	12,60	11,58	11,63
3	NO	ppm	11	13,00	12,00	13,00	12,25
4	NO _x	ppm	11,58	13,65	12,65	13,25	12,78
5	Tamb.	°C	23,00	22,70	24,80	22,30	23,20
6	CO ₂	%	4,15	5,64	5,41	6,25	5,36
7	EFF	%	52,54	59,87	61,80	62,57	59,20
8	ExAir	%	4,10	3,20	3,40	3,30	3,50
9	Tstack	°C	200,00	305,00	406,00	575,00	371,50
10	NO ₂	ppm	0,30	0,20	0,30	0,20	0,25
11	Pump	l/min	0,11	0,09	0,06	0,08	0,09

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

4.1.3.3. Incineración con materia orgánica

- **Monitoreo diésel con materia orgánica**

Tabla 4-11: Emisiones diésel con materia orgánica

Diésel con Materia Orgánica							
	Parámetro	Unidad	Repetición				Promedio
			1	2	3	4	
1	O ₂	%	18,99	11,59	13,66	12,786	13,52
2	CO	ppm	136,00	145,35	133,22	136,842	137,35
3	NO	ppm	9,00	10,00	12,00	19,4	16,00
4	NO _x	ppm	12,20	12,50	12,00	19,5	16,78
5	Tamb.	°C	19,30	19,30	20,30	23,18	21,85
6	CO ₂	%	1,48	6,93	5,30	5,996	5,46
7	EFF	%	18,80	67,10	54,70	50,88	49,38
8	ExAir	%	881,70	114,50	170,90	153,12	241,59
9	Tstack	°C	366,80	372,20	425,40	500,66	458,46
10	NO ₂	ppm	0,20	0,30	0,10	0,16	0,18
11	Pump	l/min	0,12	0,12	0,08	0,06	0,08

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

- **Monitoreo biodiésel 2% con materia orgánica**

Tabla 4-12: Emisiones biodiésel 2% con materia orgánica

Biodiesel 2% con Materia Orgánica							
	Parámetro	Unidad	Repetición				Promedio
			1	2	3	4	
1	O ₂	%	7,66	4,81	11,68	10,00	9,16
2	CO	ppm	132,25	134,20	131,25	138,84	136,15
3	NO	ppm	26,00	25,00	27,00	25,75	25,86
4	NO _x	ppm	26,10	25,40	27,80	26,02	26,19
5	Tamb.	°C	30,70	29,20	31,40	29,03	29,63
6	CO ₂	%	9,91	11,93	6,81	8,11	8,73
7	EFF	%	71,10	81,80	61,00	62,60	66,33
8	ExAir	%	53,70	27,30	115,70	85,60	77,01
9	Tstack	°C	448,30	279,60	458,00	504,33	457,60
10	NO ₂	ppm	0,80	0,30	0,30	0,65	0,57
11	Pump	l/min	0,19	0,15	0,18	0,12	0,14

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

- **Monitoreo biodiésel 5% con materia orgánica**

Tabla 4-13: Emisiones biodiésel 5% con materia orgánica

Biodiesel 5% con Materia Orgánica							
	Parámetro	Unidad	Repetición				Promedio
			1	2	3	4	
1	O ₂	%	12,21	13,53	10,11	10,42	11,07
2	CO	ppm	138,75	139,87	135,87	134,32	135,97
3	NO	ppm	19,00	22,00	27,00	27,25	25,29
4	NO _x	ppm	19,10	22,10	27,30	27,55	25,53
5	Tamb.	°C	24,10	24,20	24,20	24,38	24,29
6	CO ₂	%	6,40	5,42	8,01	7,79	7,28
7	EFF	%	78,20	68,40	76,60	70,85	72,37
8	ExAir	%	128,00	166,80	86,10	93,00	107,56
9	Tstack	°C	208,20	287,40	280,10	358,93	315,91
10	NO ₂	ppm	0,10	0,10	0,30	0,30	0,24
11	Pump	l/min	0,08	0,09	0,08	0,10	0,09

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

- **Monitoreo biodiésel 10% con materia orgánica**

Tabla 4-14: Emisiones biodiésel 10% con materia orgánica

Biodiesel 10% con Materia Orgánica							
	Parámetro	Unidad	Repetición				Promedio
			1	2	3	4	
1	O ₂	%	9,27	10,88	11,73	13,42	11,74
2	CO	ppm	128,74	129,87	127,89	134,25	131,00
3	NO	ppm	29,00	21,00	21,00	18,00	21,40
4	NO _x	ppm	29,40	21,30	21,30	18,40	21,76
5	Tamb.	°C	25,30	24,90	25,30	25,20	25,18
6	CO ₂	%	8,68	7,40	6,68	5,59	6,79
7	EFF	%	79,40	73,60	69,90	64,70	70,46
8	ExAir	%	73,70	99,20	115,50	169,60	125,52
9	Tstack	°C	256,80	303,80	323,30	338,30	312,10
10	NO ₂	ppm	0,40	0,30	0,30	0,40	0,36
11	Pump	l/min	0,07	0,08	0,08	0,10	0,09

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

4.1.3.4. Promedio del monitoreo de las emisiones

Tabla 4-15: Emisiones de gases

Incineración al vacío					
	Parámetro	Diesel al vacío	Biodiesel 2% al vacío	Biodiesel 5% al vacío	Biodiesel 10% al vacío
1	O ₂ (%)	11,33	9,09	12,07	12,78
2	CO (ppm)	10,57	7,59	11,54	11,63
3	NO (ppm)	45,20	13,00	12,25	12,25
4	NO _x (ppm)	44,90	13,42	12,45	12,78
5	T amb. (°C)	23,82	23,94	23,65	23,20
6	CO ₂ (%)	14,32	9,90	6,09	5,36
7	EFF (%)	74,29	67,56	62,99	59,20
8	Ex Air (%)	7,86	5,88	3,87	3,50
9	T. Stack (°C)	512,78	490,03	424,87	371,50
10	NO ₂ (ppm)	0,29	0,40	0,20	0,25

11	Pump (l/min)	0,28	0,26	0,09	0,09
Incineración con materia orgánica					
	Parámetro	Diésel+MO	Biodiesel 2%+MO	Biodiesel 5%+MO	Biodiesel 10%+MO
1	O ₂ (%)	13,52	9,16	11,07	11,74
2	CO (ppm)	137,35	136,15	135,97	131,00
3	NO (ppm)	16,00	25,86	25,29	21,40
4	NO _x (ppm)	16,78	26,19	25,53	21,76
5	T amb. (°C)	21,85	29,63	24,29	25,18
6	CO ₂ (%)	5,46	8,73	7,28	6,79
7	EFF (%)	49,38	66,33	72,37	70,46
8	Ex. Air (%)	241,59	77,01	107,56	125,52
9	T. Stack (°C)	458,46	457,60	315,91	312,10
10	NO ₂ (ppm)	0,18	0,57	0,24	0,36
11	Pump (l/min)	0,08	0,14	0,09	0,09

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

4.2. Análisis comparativo

4.2.1. Monitoreo de las emisiones gaseosas al vacío

La tabla presenta datos comparativos de diferentes parámetros relacionados con la incineración al vacío de residuos biológicos, para diferentes tipos de combustibles. Además, se incluyen los límites permisibles para incineradores de desechos peligrosos, que sirven como referencia para evaluar el cumplimiento de las emisiones.

Tabla 4-16: Incineración al vacío

Incineración al vacío						
N°	Parámetro	Diesel al vacío	Biodiesel 2% al vacío	Biodiesel 5% al vacío	Biodiesel 10% al vacío	Límite permisible para incineradores de desechos peligrosos
1	O ₂ (%)	11,33	9,09	12,07	12,78	-
2	CO (mg/Nm ³)	13,21	9,49	14,43	14,54	87
3	NO (mg/Nm ³)	60,54	17,41	16,41	16,41	450
4	NO _x (mg/Nm ³)	60,13	17,97	16,67	16,71	611
5	Tamb. (°C)	23,82	23,94	23,65	23,20	-

6	CO ₂ (%)	14,32	9,90	6,09	5,36	-
7	EFF (%)	74,29	67,56	62,99	59,20	-
8	ExAir (%)	7,86	5,88	3,87	3,50	-
9	Tstack (°C)	512,78	490,03	424,87	371,50	-
10	NO ₂ (mg/Nm ³)	0,60	0,82	0,41	0,51	-
11	Pump (l/min)	0,28	0,26	0,09	0,09	-

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

En la tabla 4-16 el porcentaje de oxígeno (O₂) varía según el tipo de combustible utilizado, siendo más bajo para el biodiésel con un 2% al vacío (9,09%) y más alto para el biodiesel al vacío con un 5% y 10% (12,07% y 12,78% respectivamente), a un mayor porcentaje de oxígeno puede deberse a una mezcla pobre de combustiones que no se producen. Ya que según el CONAIF (2015, p.8) el contenido de oxígeno en los productos de combustión (O₂ en %): su valor debe ser entre 5 y 12, lo más apropiado se considera entre 8 y 10. Estos valores indican el nivel de oxígeno presente en los gases de emisión y pueden ser importantes para evaluar la eficiencia de la combustión mediante la concentración de gases liberados al momento de la combustión del quemador (Aragón y Rivas, 2021, p.31). Todos los valores de monóxido de carbono (CO) se encontraron por debajo de los 20 mg/Nm³ del límite permisible que es de 87 mg/Nm³.

Los valores de óxidos de nitrógeno (NO) también estuvieron por debajo del límite permisible, lo cual indica que las emisiones de NO son controladas y cumplen con los estándares requeridos. Al igual que con el NO, los valores de óxidos de nitrógeno (NO_x) se mantuvieron por debajo del límite permisible (611 mg/Nm³), lo que indicó un control efectivo de las emisiones de NO_x durante la incineración. En general, se observa una reducción de las emisiones de NO y NO_x al utilizar biodiesel en comparación con el diésel convencional. Esta disminución podría atribuirse a la relación aire-combustible, que influye en la formación de óxidos de nitrógeno. El biodiesel, al tener una proporción estequiométrica diferente al diésel, puede resultar en una combustión más completa y una mejor mezcla de combustible-aire, lo que reduce la formación de NO y NO_x (Yosesh, 2022, pp. 1-12). Según Plaza, una mezcla se considera buena si los óxidos de nitrógeno disminuyen. El factor aire-combustible representa la mezcla óptima, es decir, la proporción estequiométrica adecuada para una combustión eficiente en un motor. Esta relación se mide comúnmente en peso o volumen, generalmente en gramos (Plaza, 2020, p.1).

Los valores de temperatura ambiente (23 °C) fueron relativamente constantes en los diferentes combustibles, lo que reveló que no hay diferencias significativas en la temperatura ambiente durante la incineración. Estas temperaturas representan las condiciones ambientales durante las mediciones de los gases.

Los niveles de dióxido de carbono (CO₂) varían según el tipo de combustible utilizado, siendo más alto en el diésel al vacío (14,32%) y más bajo en el biodiésel al vacío con un 10% (5,36%). Esta variación se debe a las diferencias en la composición química y las propiedades de combustión de cada combustible. Este comportamiento es similar a los resultados reportados por Ramírez et al. (2021, p. 138), quienes realizaron una comparación de las emisiones de CO₂ empleando diésel y biodiésel en un motor. Según sus hallazgos, la emisión de CO₂ utilizando diésel fue del 3,61%, mientras que al utilizar biodiésel fue del 3,12%. Estos resultados indican una reducción en las emisiones de CO₂ al utilizar biodiésel en comparación con el diésel convencional. Estos autores señalan que, el diésel al vacío tiende a generar mayores emisiones de CO₂ debido a su contenido de carbono y la eficiencia de combustión. Por otro lado, el biodiésel con menor contenido de materia orgánica produce menos emisiones de CO₂ podría deberse al origen renovable y a la capacidad de absorber y almacenar carbono durante el proceso de crecimiento de las materias primas utilizadas para su producción.

El porcentaje de exceso de aire en el parámetro ExAir disminuye a medida que aumenta el porcentaje de biodiésel utilizado. Esto sugiere que se suministra menos aire en exceso durante la combustión cuando se utiliza un mayor porcentaje de biodiésel. Esta disminución en el exceso de aire puede indicar una combustión más eficiente, ya que se está proporcionando la cantidad adecuada de aire para una quema completa de los materiales. De acuerdo con CleanAir (2023, p.1), un valor alto de TesExAir (>100%) indica que se está suministrando más aire del necesario, lo que puede resultar en una ineficiencia energética y un desperdicio de recursos. Por otro lado, un valor bajo de TesExAir (<35%) podría indicar una combustión incompleta, lo que aumentaría las emisiones de contaminantes y subproductos no deseados. Y como último parámetro, el caudal de la bomba mostró pequeñas variaciones entre los diferentes combustibles, pero en general se mantiene trabajando en un óptimo estado según el valor registrado.

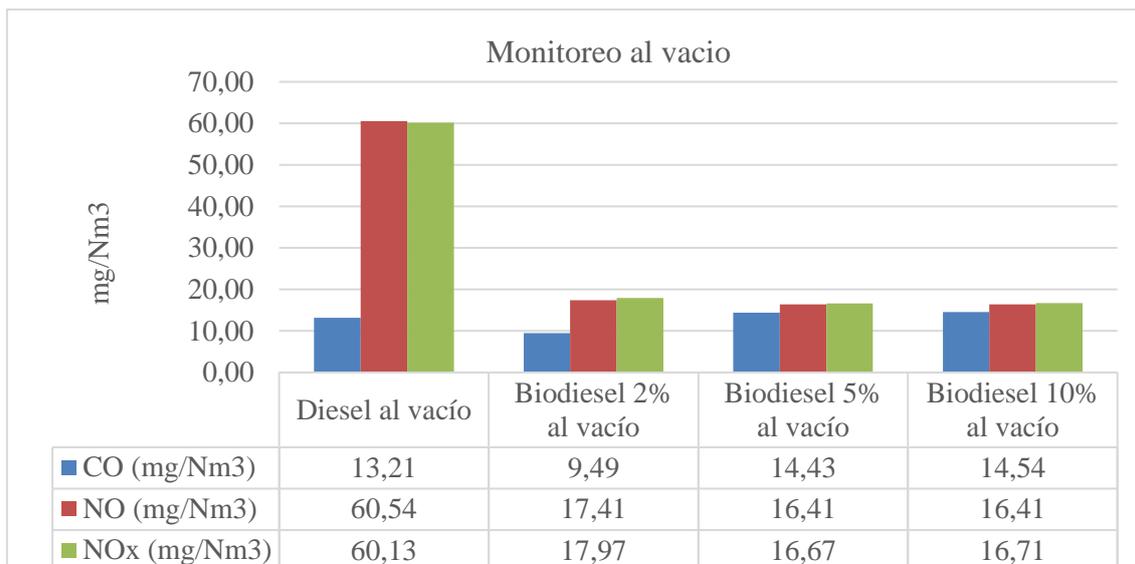


Ilustración 4-1: Monitoreo sin materia orgánica

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

En la ilustración 4-1 se muestra, que todos los valores de CO, NO y NOx no sobre pasan los 20 mg/Nm³ encontrados por debajo de los límites permisibles establecidos para incineradores de desechos peligrosos como lo estipula el acuerdo ministerial 097-A anexo 3, lo que indica que las emisiones emitidas por el incinerador cumplen con los estándares requeridos. Estos resultados son coherentes con el estudio realizado por Segovia, en donde manifiesta que el uso de biodiésel reduce las emisiones gaseosas teniendo que el CO (250 mg/Nm³. a 200 mg/Nm³.), NO y NOx (160 mg/Nm³ a 134 mg/Nm³.) (Segovia, 2019, pp.90-91).

4.2.2. Monitoreo de las emisiones gaseosas con materia orgánica

La siguiente tabla presenta una comparación de diferentes parámetros de emisiones gaseosas generadas por un incinerador en diferentes mezclas de combustibles. También se incluyó los límites permisibles establecidos para los incineradores de desechos peligrosos.

Tabla 4-17: Incineración con materia orgánica

Incineración con materia orgánica						
Nº	Parámetro	Diésel+MO	Biodiesel 2%+MO	Biodiesel 5%+MO	Biodiesel 10%+MO	Límite permisible para incineradores de desechos peligrosos
1	O ₂ (%)	13,52	9,16	11,07	11,74	-
2	CO (mg/Nm ³)	171,69	170,19	169,96	163,75	87
3	NO (mg/Nm ³)	21,43	34,63	33,87	28,66	450
4	NOx (mg/Nm ³)	22,47	35,08	34,19	29,14	611

5	Tamb. (°C)	21,85	29,63	24,29	25,18	-
6	CO ₂ (%)	5,46	8,73	7,28	6,79	-
7	EFF (%)	49,38	66,33	72,37	70,46	-
8	ExAir (%)	241,59	77,01	107,56	125,52	-
9	Tstack (°C)	458,46	457,60	315,91	312,10	-
10	NO ₂ (mg/Nm ³)	0,37	1,17	0,49	0,74	-
11	Pump (l/min)	0,08	0,14	0,09	0,09	-

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

En la tabla 4-17 los porcentajes de oxígeno (O₂) varían según el tipo de combustible utilizado, siendo más alto en el Diésel de materia orgánica (13,52%). Estos valores indican el nivel de oxígeno presente en los gases de emisión. La variación en las concentraciones de O₂ puede deberse a las propiedades químicas y la composición de los diferentes combustibles utilizados en la incineración. El Diésel de materia orgánica puede tener una mayor proporción de oxígeno en su composición, lo que se refleja en un mayor porcentaje de O₂ en las emisiones. Además, factores como la eficiencia de la combustión y las condiciones de operación del incinerador también podrían influir en las concentraciones de O₂.

Las concentraciones de monóxido de carbono (CO) son altas en todos los casos, superando el límite permisible de 87 mg/Nm³. Esto indica una combustión menos eficiente con una mayor producción de CO, lo cual puede tener impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente. Los impactos negativos se relacionan principalmente con la presencia de altas concentraciones de monóxido de carbono (CO) en todas las muestras analizadas. Estos niveles elevados de CO indican una combustión menos eficiente y pueden tener consecuencias perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente, ya que el CO es un gas tóxico y contribuye a la contaminación del aire. Es importante tomar medidas para reducir las emisiones de CO y mejorar la eficiencia de la combustión en el proceso de incineración.

Los valores de óxidos de nitrógeno (NO y NO_x) varían según el tipo de combustible utilizado. En general, se observa que el biodiesel con mayor porcentaje de materia orgánica tiende a tener mayores emisiones de NO y NO_x. El aumento en las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO y NO_x) en el biodiesel con mayor porcentaje de materia orgánica puede deberse a una mayor presencia de compuestos nitrogenados en la composición del combustible. Estos compuestos, al ser sometidos a altas temperaturas durante la combustión, pueden reaccionar y generar óxidos de nitrógeno. Además, factores como la temperatura de combustión, el diseño del incinerador y las condiciones de operación también pueden influir en las emisiones de NO y NO_x. Estos gases son contaminantes atmosféricos y su control es importante para mantener una buena calidad del aire.

Los niveles de dióxido de carbono (CO₂) varían según el tipo de combustible utilizado, siendo

más alto en el biodiesel con un 2% con materia orgánica (8,73%). La variación en los niveles de dióxido de carbono (CO₂) puede atribuirse a la composición química de los diferentes combustibles utilizados en la incineración. El biodiesel con un mayor porcentaje de materia orgánica puede contener más carbono en su estructura, lo que resulta en una mayor producción de CO₂ durante la combustión. Además, factores como la eficiencia de la combustión y las condiciones de operación del incinerador también pueden influir en los niveles de CO₂. El CO₂ es un gas de efecto invernadero, y aunque no se proporciona un límite permisible, es importante controlar sus emisiones para mitigar el cambio climático.

Los valores de eficiencia de combustión varían según el tipo de combustible utilizado, siendo más alto en el biodiesel con un 5% con materia orgánica (72,37%). Estos valores indican la eficiencia con la que se está quemando el combustible durante la incineración. Las concentraciones de aire excedente varían según el tipo de combustible utilizado, siendo más alto en el biodiesel con un 10% con materia orgánica (125,52%). El Ex. Air representa la cantidad de aire en exceso que no participa en la combustión.

Las temperaturas en la chimenea varían según el tipo de combustible utilizado, siendo más alta en el diésel con materia orgánica (458,46°C) y más baja en el biodiesel con un 10% de materia orgánica (312,10°C). Estas temperaturas indican la salida de los gases de combustión registrada (chimenea). La variación en las temperaturas de la chimenea está directamente relacionada con las propiedades de combustión de los diferentes tipos de combustibles utilizados. El diésel con materia orgánica podría tener una mayor cantidad de compuestos con un mayor poder calorífico, lo que resulta en una combustión más intensa y temperaturas más altas en la chimenea. Por otro lado, el biodiesel con un 10% de materia orgánica puede tener propiedades de combustión diferentes que conducen a una menor generación de calor y temperaturas más bajas en la chimenea.

Los valores de caudal de la bomba varían según el tipo de combustible utilizado, pero se mantienen en un rango estrecho alrededor de 0,09 l/min. Este parámetro representa el flujo de la bomba utilizada en el sistema. En general, se observó que el uso de biodiesel en la incineración, tanto al vacío como con materia orgánica, muestra ciertos beneficios en términos de reducción de emisiones de algunos contaminantes en comparación con el diésel convencional. El uso de biodiesel en la incineración ofrece beneficios potenciales, como la reducción de emisiones de contaminantes como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de carbono (CO₂), en comparación con el diésel convencional. Estos beneficios pueden contribuir a la mejora de la calidad del aire y la reducción del impacto ambiental asociado con la incineración de residuos

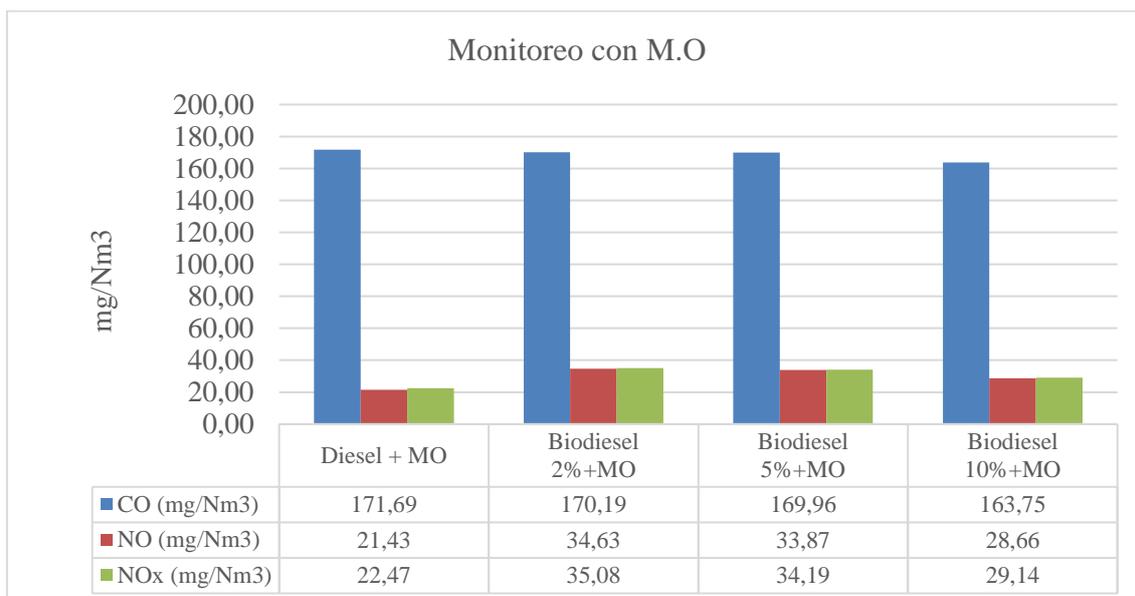


Ilustración 4-2: Monitoreo con materia orgánica

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

En la ilustración 4-2, se observa que, tras el monitoreo de emisiones gaseosas, el monóxido de carbono (CO: 170 mg/Nm³) excede el límite permisible establecido por el acuerdo ministerial 097-A para todas las mezclas evaluadas. Sin embargo, es importante destacar que este incumplimiento podría estar relacionado con la presencia de materia orgánica en el biocombustible utilizado. Como posible solución, se consideraría la implementación de un sistema de lavado de gases, el cual puede ayudar a reducir las concentraciones de monóxido de carbono a niveles aceptables. Según Condorchem (2021, p.2) el lavado de gases es la tecnología mediante la cual se limpia una emisión gaseosa de los contaminantes que contiene.

Habitualmente, las moléculas de contaminante del aire son separadas del flujo gaseoso al entrar en contacto con un líquido, que puede ser agua, un reactivo químico o una combinación de éstos. Generalmente, el lavado de gases se utiliza para eliminar contaminantes del aire como olores, vapores, gases tóxicos, etc. Por otro lado, los óxidos de nitrógeno (NO y NO_x: 35 mg/Nm³) cumplen con el límite permisible en todas las mezclas analizadas. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Muñoz en su estudio, donde también se investigaron las emisiones gaseosas de diferentes biocombustibles. En su investigación, se encontró que el uso de biodiesel de piñón al 20% resultó en concentraciones de CO de 190 mg/Nm³ y de NO y NO_x de 150 mg/Nm³ Muñoz, 2017, p.50).

El monóxido de carbono (CO) es un gas tóxico que se produce como resultado incompleto de la combustión de combustibles, incluyendo diésel y biocombustibles. La cantidad de CO liberado

durante la combustión depende de varios factores, como la eficiencia de la combustión y la composición de los combustibles utilizados (Sanz y Sánchez, 2019, p.3). En el caso de las mezclas evaluadas, los resultados muestran niveles de CO que superan el límite permisible establecido de 87 mg/Nm³ (tabla4-17). Un posible motivo para este incumplimiento puede ser por la mezcla de biocombustible a partir de plástico con diésel, los mismos que pueden tener una composición que no permite una combustión completa, lo que resulta en mayores emisiones de CO. Mientras que para la eficiencia de la combustión puede verse afectada por varios factores, como la temperatura de combustión, el tiempo de residencia y la mezcla de aire y combustible. Si la combustión no es óptima, es decir, si no se proporciona suficiente oxígeno o no se alcanzan temperaturas adecuadas, es probable que se produzcan mayores niveles de CO.

La calidad del equipo de combustión y el incumplimiento del límite de CO también puede estar relacionado con el equipo de combustión utilizado en el incinerador. Si el equipo no está diseñado o mantenido adecuadamente, puede afectar negativamente la eficiencia de la combustión y, por lo tanto, aumentar las emisiones de CO.

4.2.2.1. Comparación de emisiones gaseosas (vacío vs materia orgánica)

Tabla 4-18: Emisiones de gases

Nº	Parámetro	Diesel al vacío	Diesel + MO	Biodiesel 2% al vacío	Biodiesel 2%+MO	Biodiesel 5% al vacío	Biodiesel 5%+MO	Biodiesel 10% al vacío	Biodiesel 10%+MO
1	O ₂ (%)	11,33	13,52	9,09	9,16	12,07	11,07	12,78	11,74
2	CO (mg/Nm ³)	13,21	171,69	9,49	170,19	14,43	169,96	14,54	163,75
3	NO (mg/Nm ³)	60,54	21,43	17,41	34,63	16,41	33,87	16,41	28,66
4	NO _x (mg/Nm ³)	60,13	22,47	17,97	35,08	16,67	34,19	16,71	29,14
5	Tamb. (°C)	23,82	21,85	23,94	29,63	23,65	24,29	23,20	25,18
6	CO ₂ (%)	14,32	5,46	9,90	8,73	6,09	7,28	5,36	6,79
7	EFF (%)	74,29	49,38	67,56	66,33	62,99	72,37	59,20	70,46
8	ExAir (%)	7,86	241,59	5,88	77,01	3,87	107,56	3,50	125,52
9	Tstack (°C)	512,78	458,46	490,03	457,60	424,87	315,91	371,50	312,10
10	NO ₂ (mg/Nm ³)	0,60	0,37	0,82	1,17	0,41	0,49	0,51	0,74
11	Pump (l/min)	0,28	0,08	0,26	0,14	0,09	0,09	0,09	0,09

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

En la tabla 4-18 el porcentaje de oxígeno en los gases de combustión varía significativamente entre las diferentes combinaciones de combustibles y aditivos. Las mezclas con biodiesel muestran valores más bajos de oxígeno en comparación con el diésel, lo cual podría indicar una

menor eficiencia de combustión en las mezclas con biodiesel. Los niveles de monóxido de carbono (CO) fueron más altos en la mayoría (160 a 171 mg/Nm³) de las mezclas de biodiésel con materia orgánica (MO). Estos valores superaron el límite permisible de 87 mg/Nm³, lo que sugiere una combustión incompleta y la necesidad de mejorar la eficiencia de la combustión para reducir las emisiones de CO. Para los niveles de óxido de nitrógeno (NO) y óxidos de nitrógeno (NO_x) se obtuvieron variaciones en función de las diferentes mezclas, se pudo observar que al usar biodiesel las emisiones fueron menores de 30 mg/Nm³ en comparación al diésel que las emisiones fueron 60 mg/Nm³(NO y NO_x). En general, los valores se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos, lo cual indica un cumplimiento adecuado en términos de emisiones de NO (450 mg/Nm³) y NO_x (611 mg/Nm³).

Las temperaturas ambientes registradas durante las mediciones varían entre 23 y 25 °C por las diferentes combinaciones de combustibles y aditivos. Estas variaciones podrían estar relacionadas con las condiciones de combustión y el control de la temperatura durante el proceso de incineración. El porcentaje de dióxido de carbono (CO₂) también varió en función de las composiciones de los combustibles utilizados. Se observa porcentajes que va de 7 a 9%, estos valores podrían estar relacionados con las diferentes características de combustión de los combustibles y las mezclas. La eficiencia de combustión mostró diferencias entre las combinaciones de combustibles y aditivos.

En general, las mezclas con biodiesel en presencia de materia orgánica mostraron una mayor eficiencia (63 a 73%) de combustión en comparación con el diésel puro más materia orgánica (49%), lo que indica una mejor utilización de la energía durante el proceso de incineración. Los niveles de exceso de aire variaron considerablemente entre las diferentes combinaciones de combustible y aditivo, se observa una reducción en el porcentaje de exceso de aire a medida que aumenta el porcentaje de biodiesel en las mezclas, esto sugiere una menor cantidad de aire suministrado en exceso durante la combustión, lo cual puede indicar una combustión más eficiente.

Los registros de temperatura de la chimenea varían entre las mezclas, lo que puede indicar diferencias en las condiciones de combustión y en la generación de calor. Sin embargo, no se puede hacer una comparación directa entre las combinaciones de combustible y aditivo basándose únicamente en estos valores. Para realizar una comparación más precisa y significativa entre las diferentes combinaciones de combustibles y aditivos, es necesario contar con un análisis exhaustivo que incluya una variedad de parámetros adicionales. Estos parámetros pueden incluir emisiones de gases contaminantes, eficiencia de combustión (diésel y biodiésel), composición de los gases de escape, análisis de residuos y otros factores relevantes. La temperatura de la chimenea

es solo un indicador parcial de la combustión y no proporciona una visión completa de los efectos ambientales y de rendimiento de las diferentes combinaciones de combustibles y aditivos.

El caudal de la bomba utilizado en el sistema de incineración mostró algunas variaciones entre las diferentes combinaciones de combustibles y aditivos, se pudo observar que el caudal disminuyó tal vez debido a las impurezas del biodiésel o por el diseño del motor que funciona exclusivamente con diésel. Estos valores pueden ser relevantes para el control y la eficiencia del suministro de combustible durante el proceso de incineración.

- Emisiones gaseosas (CO, NO y NOx)

La ilustración siguiente indican los diferentes parámetros medidos para cada tipo de combustible y mezcla utilizadas. Cada columna representa una combinación específica de combustible y aditivo, y cada fila corresponde a un parámetro de medición diferente.

- Emisión de Monóxido de Carbono (CO)

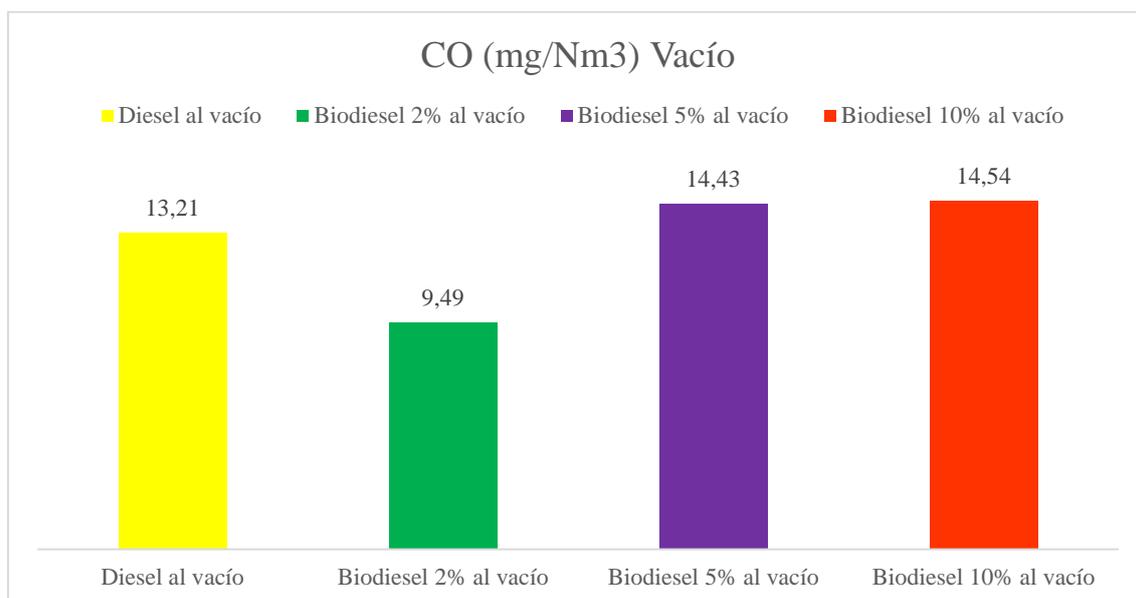


Ilustración 4-3: Emisiones de CO (vacío)

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

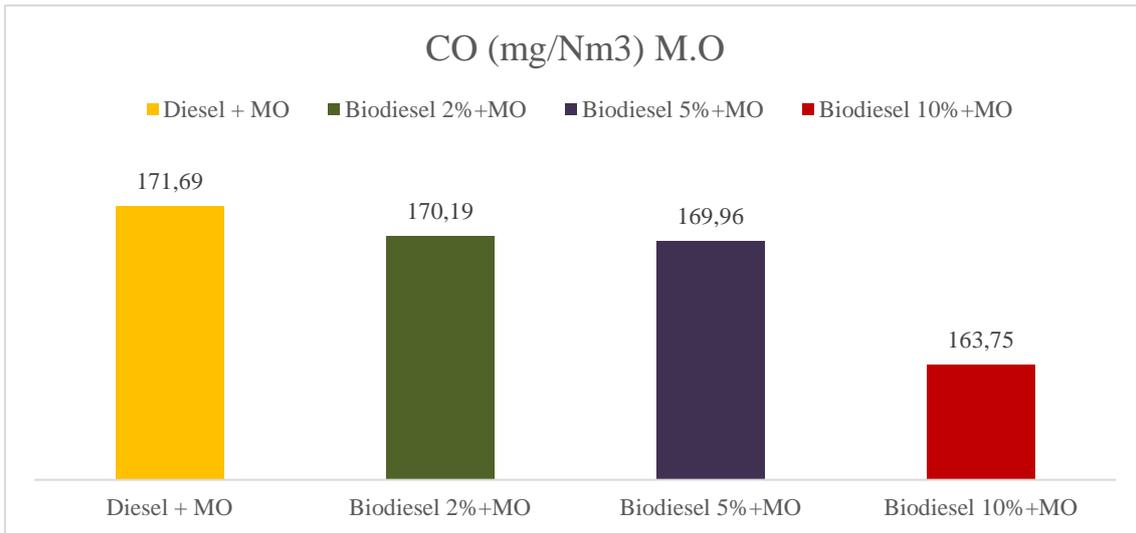


Ilustración 4-4: Emisiones de CO (materia orgánica)

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

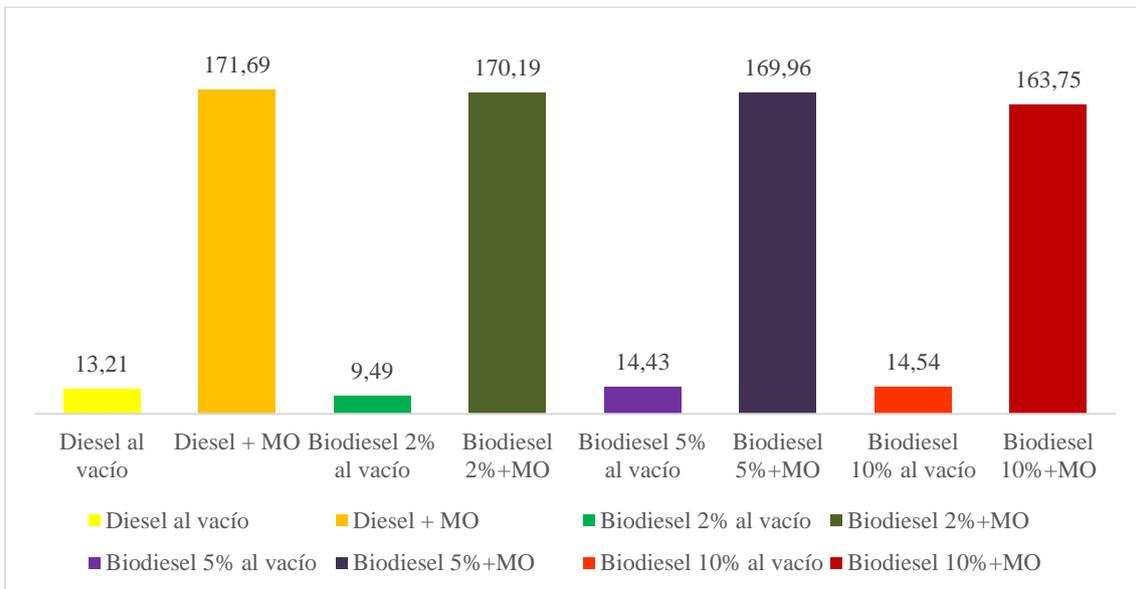


Ilustración 4-5: Comparación de emisiones de CO (Vacío vs M.O)

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

En la ilustración 4-5 se muestra, que, los niveles más altos de CO se encontraron en el tratamiento de diésel con MO (171,69 mg/Nm³) y en el tratamiento de biodiesel al 10% al vacío (14,54 mg/Nm³). Se encontró que los niveles de monóxido de carbono (CO) fueron más altos en las incineraciones con MO en comparación con las que se realizaron bajo condiciones al vacío (sin MO). Mientras que los niveles más bajos de CO se registraron en las mezclas de biodiesel al 10% con MO (163,75 mg/Nm³) y en el biodiesel al 2% al vacío (9,49 mg/Nm³). Esta diferencia sugiere que la presencia de materia orgánica en la mezcla contribuye a una mayor generación de monóxido de carbono durante el proceso de incineración.

En esta investigación, se observaron emisiones de monóxido de carbono (CO) en diferentes mezclas de biodiesel, como al 2% (170,19 mg/Nm³), 5% (169,96 mg/Nm³) y 10% (163,75 mg/Nm³), en comparación con el diésel convencional (171,69 mg/Nm³). Estos resultados son consistentes con un estudio previo realizado por Mehmood y Saqib (2020, p.19), quienes encontraron concentraciones de CO más bajas con el uso de biodiesel de Neem al 5% (128 mg/Nm³), biodiesel de Jatropha al 5% (134 mg/Nm³) y biodiesel combinado (NJ) al 10% (155 mg/Nm³) en comparación con el diésel convencional (169 mg/Nm³). Por otro lado, se observó que al incinerar la materia orgánica a medida que aumentaba las concentraciones de biodiesel las emisiones de CO disminuían. Estos hallazgos respaldan la evidencia de que el uso de biodiesel puede contribuir a la disminución de las emisiones de CO en comparación con el uso exclusivo de diésel convencional, ya que el biodiesel contiene menos carbono y más partículas de oxígeno (Abed et al., 2018).

- Emisión de óxido de nitrógeno (NO)

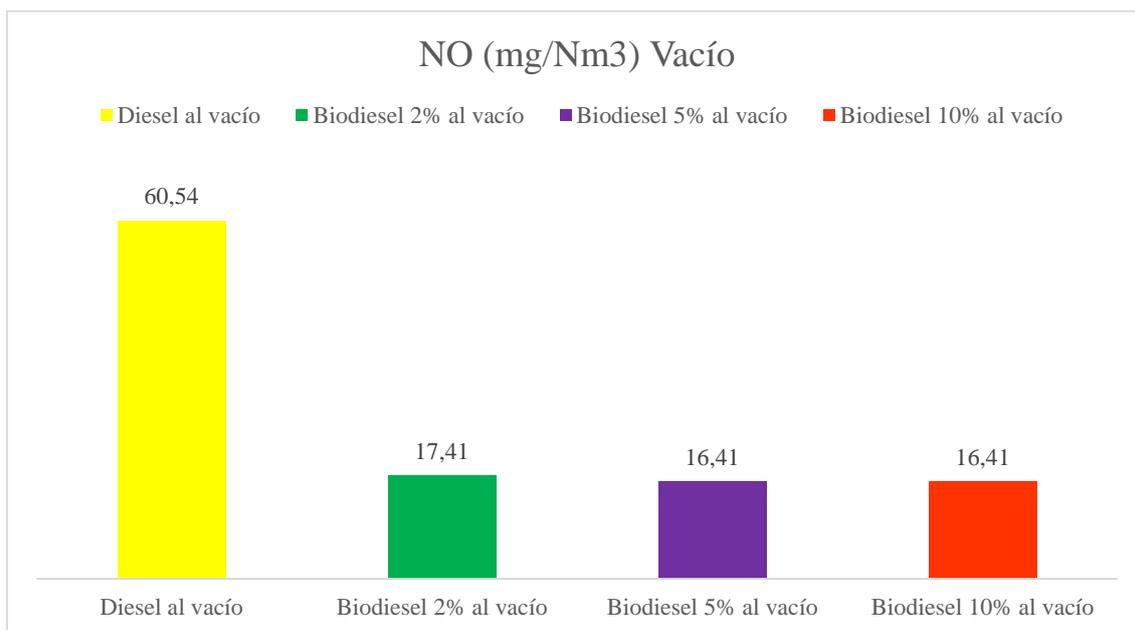


Ilustración 4-6: Emisiones de NO (Vacío)

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

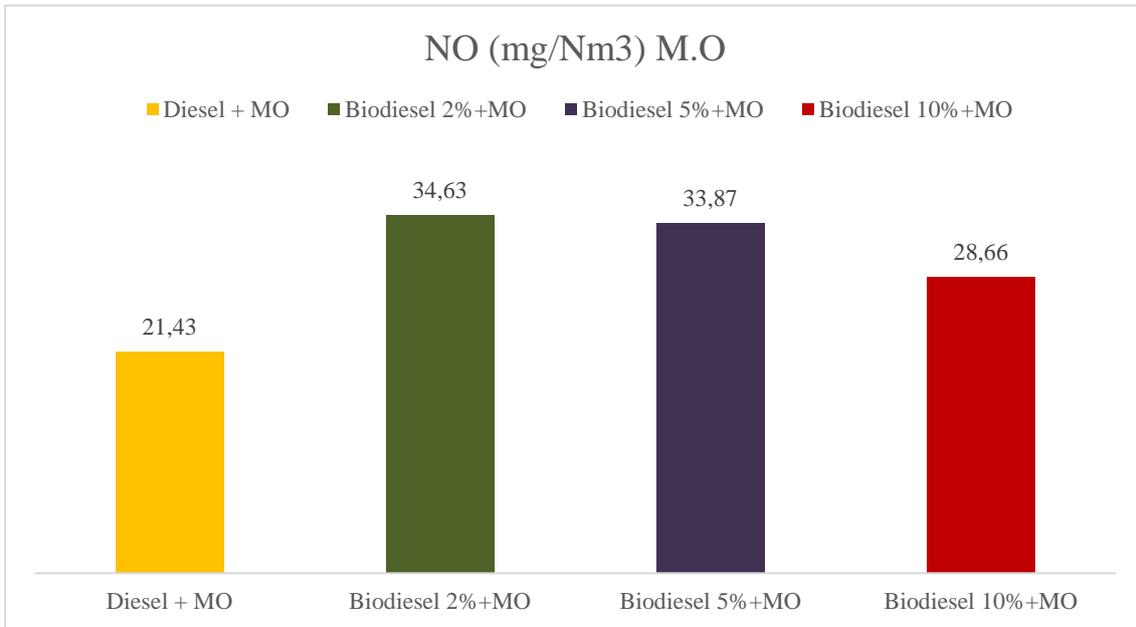


Ilustración 4-7: Emisiones de NO (materia orgánica)

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

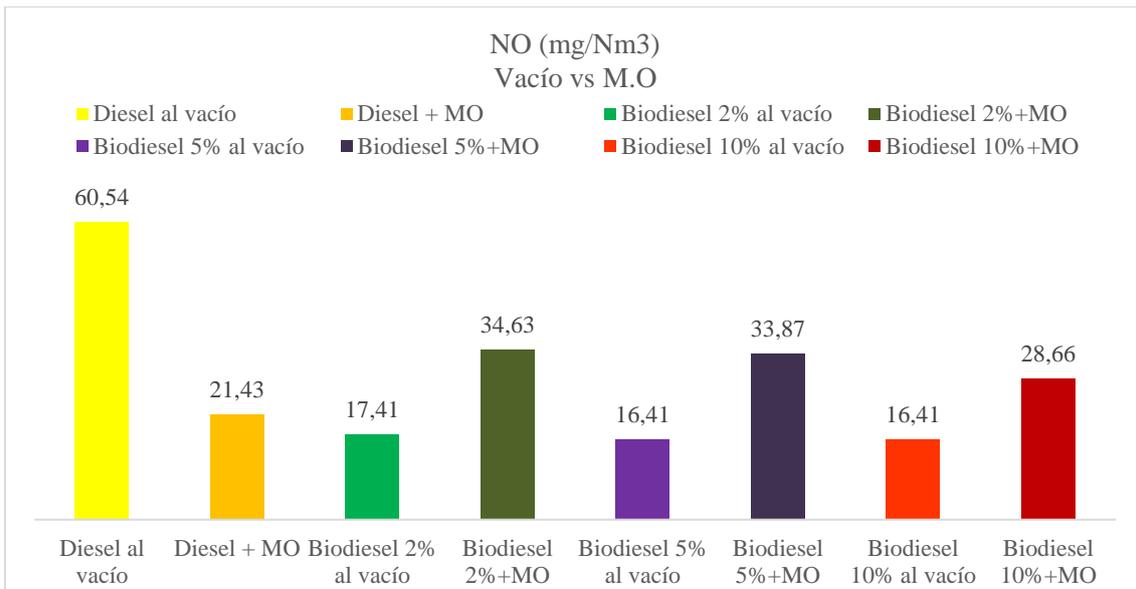


Ilustración 4-8: Comparación de emisiones de NO (vacío vs M.O)

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

En la ilustración 4-8 se muestra, que, los niveles de óxido de nitrógeno (NO) variaron según la combinación de combustible y aditivo, pero en general se mantuvieron dentro de los límites permisibles. En la incineración al vacío, se registró el nivel más alto de NO, con 60,54 mg/Nm³ en el caso del diésel al vacío, y el menor nivel de emisión de NO, con 16,41 mg/Nm³ en el caso del biodiesel al 5% y 10% al vacío. Por otro lado, en las incineraciones con material orgánico, se registró el nivel más alto de NO, con 21,43 mg/Nm³ en el caso del diésel con MO, y el nivel más bajo de emisiones de NO, con 28,66 mg/Nm³ en el caso del biodiesel al 10% con MO. En general,

estas variaciones pueden estar influenciadas por varios factores como la composición química del combustible (diésel y biodiésel), el tipo de residuo biológico, las condiciones del equipo, y la interacción con otros componentes presentes en el proceso de incineración.

En esta investigación, se observaron emisiones de monóxido de nitrógeno (NO) en diferentes mezclas de biodiésel, como el 2% (34,63 mg/Nm³), 5% (33,87 mg/Nm³) y 10% (28,66 mg/Nm³), en comparación con el diésel convencional (21,43 mg/Nm³). Estos resultados son consistentes con un estudio previo realizado por Mehmood y Saqib (2020, p.26), quienes encontraron concentraciones de NO con el uso de biodiésel de Neem al 5% (14 mg/Nm³), biodiésel de Jatropha al 5% (13 mg/Nm³) y biodiésel combinado (NJ) al 10% (12 mg/Nm³) en comparación con el diésel convencional (10 mg/Nm³). Cabe recalcar que el mismo comportamiento de las emisiones de NO se observa en otro estudio realizado por Barriga (2020, p.57) sobre la caracterización fisicoquímica del biodiésel a base de aceite de higuera, donde se obtuvieron emisiones de NO con diésel (62 mg/Nm³) y biodiésel al 5% (39 mg/Nm³).

- Emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x)

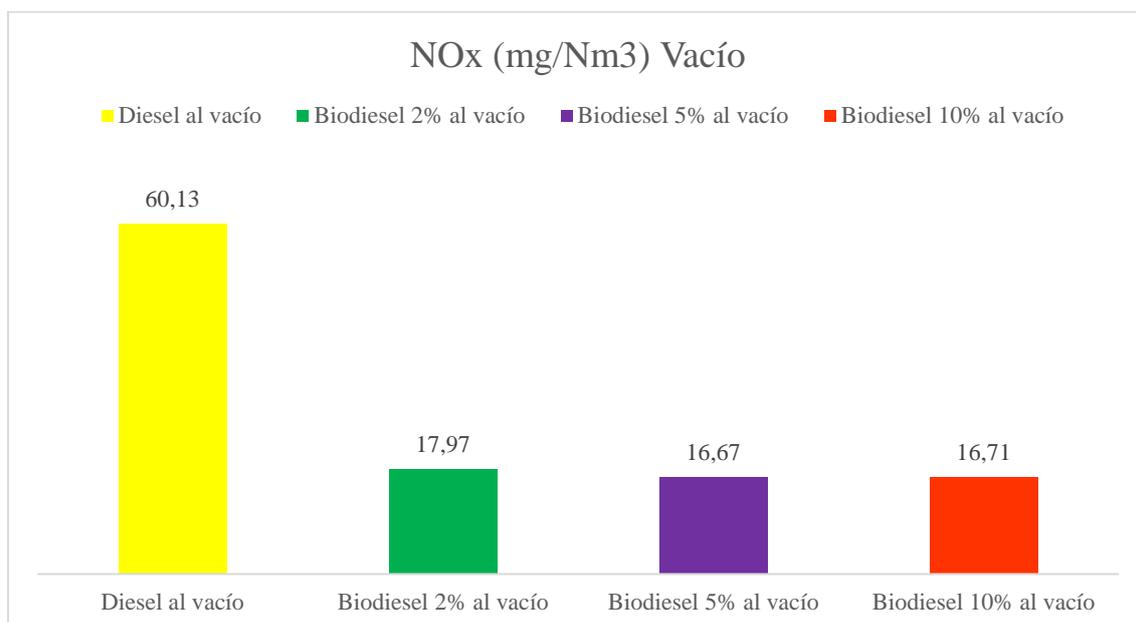


Ilustración 4-9: Emisiones de NO_x (vacío)

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

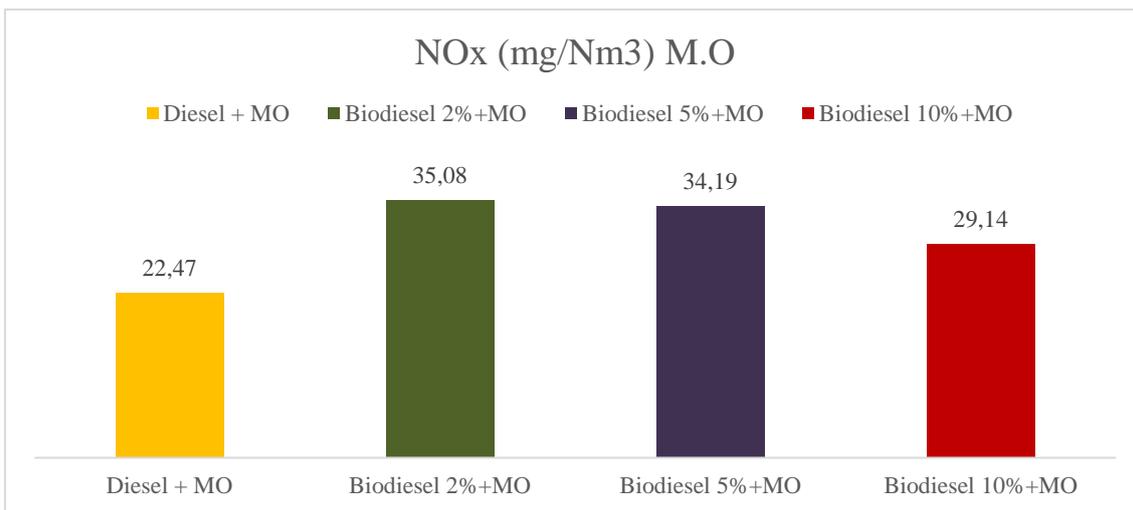


Ilustración 4-10: Emisiones de NOx (M.O)

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

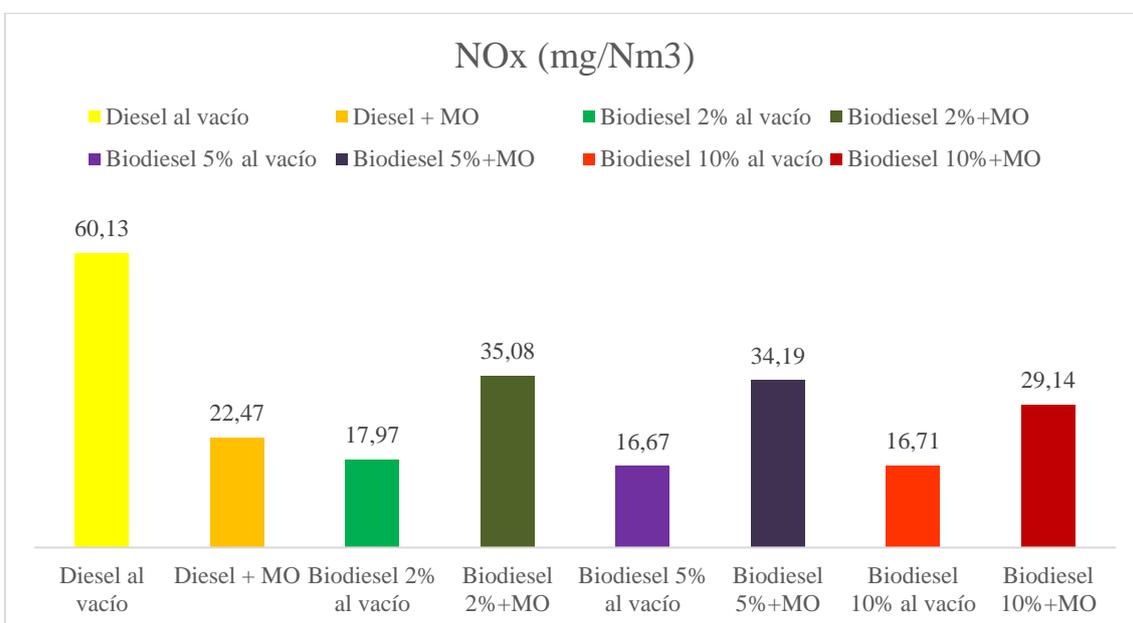


Ilustración 4-11: Comparación de emisiones de NOx (vacío vs M.O)

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

En la ilustración 4-11 se muestra que, en la incineración al vacío, la emisión más alta de NOx se registró en el diésel al vacío con 60,13 mg/Nm³, mientras que la emisión más baja de NOx fue en el biodiesel al 5% al vacío con 16,67 mg/Nm³; un hallazgo similar se observa en el estudio de Barriga (2020, p.57), donde se compararon las emisiones de NOx del diésel convencional (69 mg/Nm³) y el biodiesel (39 mg/Nm³), lo cual coincide con los resultados del presente estudio. Por otro lado, en la incineración con materia orgánica, la emisión más alta de NOx fue en el biodiesel al 2% con MO con 35,08 mg/Nm³, y la emisión más baja de NOx fue en el diésel con MO con 22,47 mg/Nm³. Se observa una reducción de las emisiones de NOx al incrementar las

concentraciones de biodiesel, lo cual puede deberse al tipo de biocombustible utilizado.

Se observa en las incineraciones con materia orgánica que a medida que se incrementa la concentración de biodiesel en la mezcla con diésel convencional, las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) tienden a disminuir. Esta reducción puede atribuirse a varias razones, como la composición del biodiesel, que difiere del diésel convencional. El biodiesel tiende a tener una mayor proporción de ácidos grasos insaturados, lo que implica una menor cantidad de enlaces carbono-nitrógeno en comparación con el diésel convencional (Holden, 2020, p.5). Además, se puede añadir que esta disminución es similar a la encontrada en el estudio de Castillo y Valle (2019, p.25), donde se encontraron emisiones de NOx con biodiesel al 5% (9,2 mg/Nm³) y al 25% (6,3 mg/Nm³), así como en el estudio de Mehmood y Saqib (2020, p.26) mencionado anteriormente. Ambos estudios tenían en común la determinación de los contaminantes atmosféricos producidos por motores utilizando diferentes concentraciones de biodiesel. Estos hallazgos respaldan la evidencia de que el uso de biodiesel puede contribuir a la disminución de las emisiones gaseosas. 2020, p.5).

- Emisión de gases

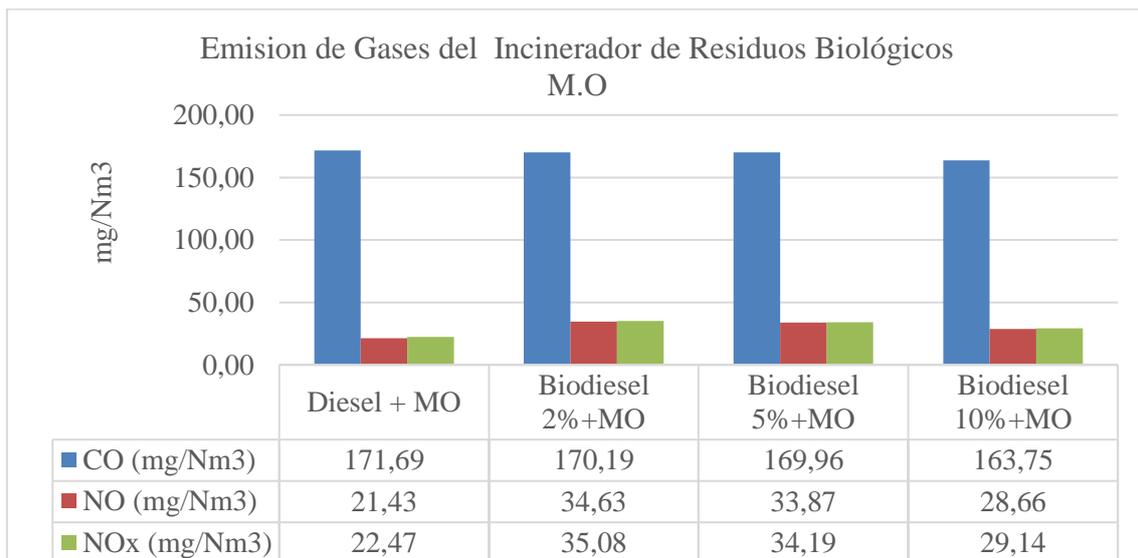
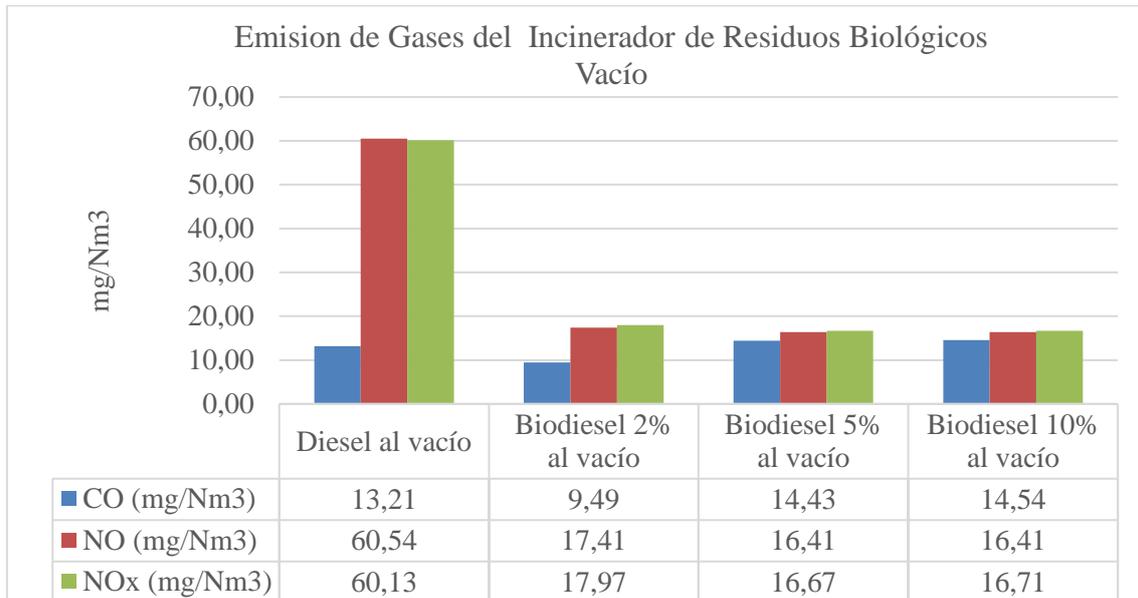


Ilustración 4-12: Emisión de gases (vacío y materia orgánica)

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

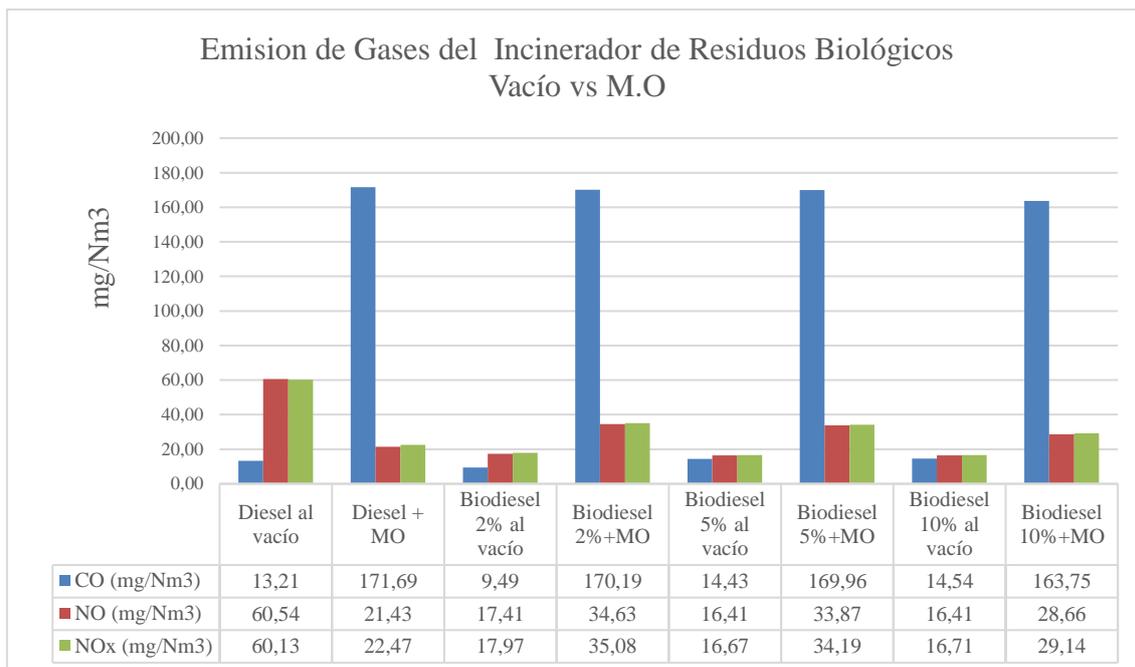


Ilustración 4-13: Emisión de gases (vacío y materia orgánica)

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

En la ilustración 4-13 se muestra el registro de las emisiones gaseosas generadas por el incinerador de la Facultad de Ciencias. En las incineraciones al vacío, las emisiones de CO, NO y NOx se mantuvieron en niveles bajos, sin superar los límites establecidos. Sin embargo, en las incineraciones con materia orgánica, se observó que las emisiones de monóxido de carbono (CO) excedieron los niveles permitidos (legislación: 87 mg/Nm³), con valores de 163 a 171 mg/Nm³. Por otro lado, las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO y NOx) se mantuvieron por debajo de los límites permitidos (legislación CO: 611 mg/Nm³), con valores de 16 a 60 mg/Nm³, estando significativamente por debajo de lo establecido. Estos resultados indican que la introducción de biodiesel en las mezclas de combustible puede tener efectos positivos en las emisiones gaseosas durante la incineración. Un estudio realizado por Narun et al (2022, p.10) encontró que las mezclas de diésel y biodiesel de pirolisis mostraron que los niveles de CO y NOx bajaron los niveles de emisiones gaseosas al combinar el diésel con el biodiesel. Otro caso es con el estudio de Trujillo (2019, p.67) con su estudio en el que evaluó de las emisiones de gases de escape de un motor de encendido por compresión utilizando mezclas de diésel y biodiésel, teniendo reducciones de CO (46 a 42 mg/Nm³), NO y NOx (446 a 216 mg/Nm³).

4.3. Análisis estadístico

4.3.1. ANOVA al vacío

Para comenzar, se realizó un análisis de la normalidad de los datos de cada tratamiento al vacío. Los resultados revelaron que todos los parámetros siguen una distribución normal. Esto implica que los datos se comportan de manera predecible y ordenada, lo cual es fundamental para llevar a cabo un análisis estadístico adecuado. Posteriormente, se aplicó una prueba paramétrica en el ANOVA para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Hipótesis nula (H0): Diésel= T1 = T2 = T3

Hipótesis alternativa (H1): Diésel \neq T1 \neq T2 \neq T3

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de esta prueba.

Tabla 4-19: ANOVA análisis al vacío

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CO	Inter-grupos	62,337	3	20,779	9,043	,001
	Intra-grupos	36,766	16	2,298		
	Total	99,103	19			
NO	Inter-grupos	3987,450	3	1329,150	585,851	,000
	Intra-grupos	36,300	16	2,269		
	Total	4023,750	19			
NOx	Inter-grupos	3820,291	3	1273,430	527,764	,000
	Intra-grupos	38,606	16	2,413		
	Total	3858,897	19			
O2	Inter-grupos	43,367	3	14,456	11,534	,000
	Intra-grupos	20,053	16	1,253		
	Total	63,419	19			
CO2	Inter-grupos	231,663	3	77,221	35,230	,000
	Intra-grupos	35,071	16	2,192		
	Total	266,734	19			
NO2	Inter-grupos	,120	3	,040	3,344	,046
	Intra-grupos	,192	16	,012		
	Total	,312	19			
Tamb	Inter-grupos	1,494	3	,498	,316	,813
	Intra-grupos	25,195	16	1,575		
	Total	26,690	19			
Tstack	Inter-grupos	56486,631	3	18828,877	1,397	,280
	Intra-grupos	215575,767	16	13473,485		
	Total	272062,398	19			
EFF	Inter-grupos	573,645	3	191,215	8,032	,002
	Intra-grupos	380,887	16	23,805		
	Total	954,532	19			
ExAir	Inter-grupos	55,551	3	18,517	1,579	,234

	Intra-grupos	187,675	16	11,730		
	Total	243,226	19			
	Inter-grupos	,158	3	,053	12,402	,000
Pump	Intra-grupos	,068	16	,004		
	Total	,226	19			

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Al analizar los resultados del ANOVA, se puede concluir que los parámetros NO₂, Tamb, ExAir y Tstack al tener una sig. >0,05 no presentan diferencias significativas entre los tratamientos. Esto significa que las medias de estos parámetros son similares en todos los tratamientos. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en los demás parámetros. Esto indica que al menos uno de los tratamientos difiere de los demás en términos de media para esos parámetros.

4.3.1.1. Prueba de Tukey al vacío

En la aplicación de la prueba de Tukey, se tuvo en cuenta únicamente las emisiones que fueron analizadas y comparadas de acuerdo con la normativa ambiental vigente. Estas emisiones incluyen los compuestos CO, NO y NOx. La selección de estos compuestos se realizó debido a su relevancia en términos de impacto ambiental y su regulación en las normas ambientales actuales. Al enfocarse en estos parámetros específicos, se pudo evaluar de manera precisa y exhaustiva el nivel de emisiones de los diferentes tratamientos, y determinar si existían diferencias significativas entre ellos.

Tabla 4-20: Comparación múltiples de Tukey al vacío

Comparaciones múltiples

HSD de Tukey

Variable dependiente	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
CO	Vacío	Biodiésel 2% al vacío	2,98057*	,88760	,019	,4411	5,5200
		Biodiésel 5% al vacío	-,97050	1,01688	,776	-3,8798	1,9388
		Biodiésel 10% al vacío	-1,06050	1,01688	,727	-3,9698	1,8488
	Biodiésel 2% al vacío	Vacío	-2,98057*	,88760	,019	-5,5200	-,4411
		Biodiésel 5% al vacío	-3,95107*	,95012	,004	-6,6694	-1,2327
		Biodiésel 10% al vacío	-4,04107*	,95012	,003	-6,7594	-1,3227
	Biodiésel 5% al vacío	Vacío	,97050	1,01688	,776	-1,9388	3,8798
		Biodiésel 2% al vacío	3,95107*	,95012	,004	1,2327	6,6694
		Biodiésel 10% al vacío	-,09000	1,07188	1,000	-3,1567	2,9767
	Biodiésel 10% al vacío	Vacío	1,06050	1,01688	,727	-1,8488	3,9698
		Biodiésel 2% al vacío	4,04107*	,95012	,003	1,3227	6,7594

		Biodiésel 5% al vacío	,09000	1,07188	1,000	-2,9767	3,1567
NO	Vacío	Biodiésel 2% al vacío	32,20000*	,88196	,000	29,6767	34,7233
		Biodiésel 5% al vacío	32,95000*	1,01041	,000	30,0592	35,8408
		Biodiésel 10% al vacío	32,95000*	1,01041	,000	30,0592	35,8408
	Biodiésel 2% al vacío	Vacío	-32,20000*	,88196	,000	-34,7233	-29,6767
		Biodiésel 5% al vacío	,75000	,94408	,856	-1,9510	3,4510
		Biodiésel 10% al vacío	,75000	,94408	,856	-1,9510	3,4510
	Biodiésel 5% al vacío	Vacío	-32,95000*	1,01041	,000	-35,8408	-30,0592
		Biodiésel 2% al vacío	-,75000	,94408	,856	-3,4510	1,9510
		Biodiésel 10% al vacío	,00000	1,06507	1,000	-3,0472	3,0472
	Biodiésel 10% al vacío	Vacío	-32,95000*	1,01041	,000	-35,8408	-30,0592
		Biodiésel 2% al vacío	-,75000	,94408	,856	-3,4510	1,9510
		Biodiésel 5% al vacío	,00000	1,06507	1,000	-3,0472	3,0472
NOx	Vacío	Biodiésel 2% al vacío	31,47571*	,90955	,000	28,8735	34,0779
		Biodiésel 5% al vacío	32,45000*	1,04201	,000	29,4688	35,4312
		Biodiésel 10% al vacío	32,11750*	1,04201	,000	29,1363	35,0987
	Biodiésel 2% al vacío	Vacío	-31,47571*	,90955	,000	-34,0779	-28,8735
		Biodiésel 5% al vacío	,97429	,97361	,751	-1,8112	3,7598
		Biodiésel 10% al vacío	,64179	,97361	,911	-2,1437	3,4273
	Biodiésel 5% al vacío	Vacío	-32,45000*	1,04201	,000	-35,4312	-29,4688
		Biodiésel 2% al vacío	-,97429	,97361	,751	-3,7598	1,8112
		Biodiésel 10% al vacío	-,33250	1,09838	,990	-3,4750	2,8100
	Biodiésel 10% al vacío	Vacío	-32,11750*	1,04201	,000	-35,0987	-29,1363
		Biodiésel 2% al vacío	-,64179	,97361	,911	-3,4273	2,1437
		Biodiésel 5% al vacío	,33250	1,09838	,990	-2,8100	3,4750

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Subconjuntos Homogéneos

Tabla 4-21: Subconjuntos homogéneos de CO al vacío

CO

HSD de Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Biodiésel 2% al vacío	4	7,5914	
Vacío	4		10,5720
Biodiésel 5% al vacío	4		11,5425
Biodiésel 10% al vacío	4		11,6325
Sig.		1,000	,708

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,746.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

A partir de los resultados de la tabla 4-20, se puede concluir que el tratamiento con Biodiesel 2% al vacío muestra una diferencia estadísticamente significativa en términos de las emisiones de CO en comparación con los demás tratamientos. Esto se evidencia por el hecho de que presenta un nivel de significancia menor al 0,05. Estos hallazgos están respaldados por la información presentada en la tabla 4-21, donde se observa que la media correspondiente al tratamiento con Biodiesel 2% al vacío se encuentra únicamente en la columna del subconjunto 1, mientras que los demás tratamientos se encuentran en el subconjunto 2, lo cual indica similitud en las medias de estos últimos. Además, se destaca que la media de las emisiones de CO para el tratamiento con Biodiesel 2% al vacío es más baja en comparación con los demás tratamientos.

Tabla 4-22: Subconjuntos homogéneos de NO al vacío

NO

HSD de Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Biodiésel 5% al vacío	4	12,2500	
Biodiésel 10% al vacío	4	12,2500	
Biodiésel 2% al vacío	4	13,0000	
Vacío	4		45,2000
Sig.		,868	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,746.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Tabla 4-23: Subconjuntos homogéneos de NOx al vacío

NOx

HSD de Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Biodiésel 5% al vacío	4	12,4500	
Biodiésel 10% al vacío	4	12,7825	
Biodiésel 2% al vacío	4	13,4243	
Vacío	4		44,9000
Sig.		,770	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,746.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Según los resultados de la tabla 4-20, se puede concluir que el tratamiento al Vacío, utilizando exclusivamente diésel, muestra una diferencia estadísticamente significativa en cuanto a las emisiones de los gases NO y NOx en comparación con los otros tratamientos. Esto se evidencia por el hecho de que presenta un nivel de significancia menor al 0,05 al realizar la comparación. La evidencia adicional provista por las tablas 3 y 4 respalda esta conclusión. En ambas tablas, se observa que la media de los demás tratamientos se encuentra en el subconjunto 1 debido a su similitud, mientras que la media del tratamiento al Vacío se sitúa únicamente en la columna del subconjunto 2. Además, se destaca que la media de las emisiones de NO y NOx para el tratamiento al Vacío es la más alta en comparación con los demás tratamientos.

4.3.2. ANOVA con materia orgánica

Al analizar los datos de los tratamientos que incluyeron el uso de materia orgánica en el incinerador, se confirmó que todos los parámetros presentaban una distribución normal, lo cual indica un comportamiento predecible y ordenado de los datos.

Hipótesis nula (H0): Diésel con MO = T1 con MO = T2 con MO = T3 con MO

Hipótesis alternativa (H1): Diésel con MO \neq T1 con MO \neq T2 con MO \neq T3 con MO

Posteriormente, se llevó a cabo la prueba ANOVA para evaluar si existían diferencias significativas entre los tratamientos al emplear materia orgánica.

Tabla 4-24: ANOVA en presencia con materia orgánica

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
O ₂	Inter-grupos	72,346	3	24,115	4,902	,009
	Intra-grupos	113,146	23	4,919		
	Total	185,492	26			
CO	Inter-grupos	133,031	3	44,344	,616	,612
	Intra-grupos	1656,890	23	72,039		
	Total	1789,921	26			
NO	Inter-grupos	469,477	3	156,492	7,667	,001
	Intra-grupos	469,486	23	20,412		
	Total	938,963	26			
NOx	Inter-grupos	424,462	3	141,487	7,923	,001
	Intra-grupos	410,728	23	17,858		
	Total	835,190	26			
Tamb	Inter-grupos	232,723	3	77,574	42,189	,000
	Intra-grupos	42,291	23	1,839		

	Total	275,014	26			
	Inter-grupos	40,619	3	13,540	5,003	,008
CO ₂	Intra-grupos	62,247	23	2,706		
	Total	102,865	26			
	Inter-grupos	2444,747	3	814,916	7,703	,001
EFF	Intra-grupos	2433,136	23	105,789		
	Total	4877,883	26			
	Inter-grupos	118553,084	3	39517,695	1,808	,174
ExAir	Intra-grupos	502660,482	23	21854,804		
	Total	621213,567	26			
	Inter-grupos	137776,879	3	45925,626	9,882	,000
Tstack	Intra-grupos	106888,087	23	4647,308		
	Total	244664,967	26			
	Inter-grupos	,658	3	,219	12,659	,000
NO ₂	Intra-grupos	,398	23	,017		
	Total	1,056	26			
	Inter-grupos	,017	3	,006	8,953	,000
Pump	Intra-grupos	,015	23	,001		
	Total	,032	26			

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Al analizar los resultados del análisis de varianza (ANOVA), se puede concluir que los parámetros CO y ExAir no presentan diferencias significativas entre los tratamientos, ya que la significancia (sig.) es mayor a 0,05. Esto indica que las medias de estos parámetros son similares en todos los tratamientos. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en los demás parámetros, lo que sugiere que al menos uno de los tratamientos difiere de los demás en términos de media para esos parámetros.

4.3.2.1. Prueba de Tukey con Materia Orgánica

En este análisis, se empleó la prueba de Tukey para determinar qué tratamientos presentaban diferencias significativas en cuanto a las emisiones de NO y NO_x, al igual que se hizo en los tratamientos bajo condiciones de vacío. Se focalizó exclusivamente en estas emisiones debido a que previamente se habían identificado con diferencias significativas mediante el análisis de varianza (ANOVA) mencionado anteriormente.

Tabla 4-25: Comparación múltiple de Tukey con materia orgánica

		Comparaciones múltiples					
HSD de Tukey							
Variable dependiente	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
NO	Vacío + MO	Biodiésel 2% + MO	-9,85714*	2,33829	,002	-16,3279	-3,3864

		Biodiésel 5% + MO	-9,28571*	2,33829	,003	-15,7565	-2,8149
		Biodiésel 10% + MO	-5,40000	2,57566	,184	-12,5276	1,7276
		Vacío + MO	9,85714*	2,33829	,002	3,3864	16,3279
	Biodiésel 2% + MO	Biodiésel 5% + MO	,57143	2,41498	,995	-6,1116	7,2544
		Biodiésel 10% + MO	4,45714	2,64548	,354	-2,8637	11,7780
		Vacío + MO	9,28571*	2,33829	,003	2,8149	15,7565
	Biodiésel 5% + MO	Biodiésel 2% + MO	-,57143	2,41498	,995	-7,2544	6,1116
		Biodiésel 10% + MO	3,88571	2,64548	,472	-3,4351	11,2066
		Vacío + MO	5,40000	2,57566	,184	-1,7276	12,5276
	Biodiésel 10% + MO	Biodiésel 2% + MO	-4,45714	2,64548	,354	-11,7780	2,8637
		Biodiésel 5% + MO	-3,88571	2,64548	,472	-11,2066	3,4351
		Biodiésel 2% + MO	-9,41929*	2,18708	,001	-15,4716	-3,3670
	Vacío + MO	Biodiésel 5% + MO	-8,75357*	2,18708	,003	-14,8059	-2,7013
		Biodiésel 10% + MO	-4,98500	2,40910	,193	-11,6517	1,6817
		Vacío + MO	9,41929*	2,18708	,001	3,3670	15,4716
	Biodiésel 2% + MO	Biodiésel 5% + MO	,66571	2,25881	,991	-5,5851	6,9165
		Biodiésel 10% + MO	4,43429	2,47440	,302	-2,4131	11,2817
		Vacío + MO	8,75357*	2,18708	,003	2,7013	14,8059
	Biodiésel 5% + MO	Biodiésel 2% + MO	-,66571	2,25881	,991	-6,9165	5,5851
		Biodiésel 10% + MO	3,76857	2,47440	,441	-3,0788	10,6160
		Vacío + MO	4,98500	2,40910	,193	-1,6817	11,6517
	Biodiésel 10% + MO	Biodiésel 2% + MO	-4,43429	2,47440	,302	-11,2817	2,4131
		Biodiésel 5% + MO	-3,76857	2,47440	,441	-10,6160	3,0788

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Subconjuntos Homogéneos

Tabla 4-26: Subconjuntos homogéneos de NO con materia orgánica

NO

HSD de Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Vacío + MO	4	16,0000	
Biodiésel 10% + MO	4	21,4000	21,4000
Biodiésel 5% + MO	4		25,2857
Biodiésel 2% + MO	4		25,8571
Sig.		,164	,306

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,550.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Tabla 4-27: Subconjuntos homogéneos de NO_x con materia orgánica

NO_x

HSD de Tukey^{a,b}

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Vacío + MO	4	16,7750	
Biodiésel 10% + MO	4	21,7600	21,7600
Biodiésel 5% + MO	4		25,5286
Biodiésel 2% + MO	4		26,1943
Sig.		,172	,256

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,550.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Al examinar los resultados de la tabla 4-25, se aprecia una diferencia estadísticamente significativa en las emisiones de NO y NO_x entre el tratamiento al Vacío + MO (combustible diésel con materia orgánica) y los tratamientos de Biodiésel 2% + MO y Biodiésel 5% + MO, con un nivel de significancia inferior al 0,05. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en las medias entre el tratamiento al Vacío + MO y el tratamiento Biodiésel 10% + MO, debido a que el valor de significancia supera el nivel establecido. Estos resultados se respaldan con la

información presentada en las tablas 6 y 7, donde se observa que la media del tratamiento al Vacío + MO y el tratamiento Biodiésel 10% + MO se encuentran en la misma columna del subconjunto 1, mientras que las medias de los otros tratamientos se sitúan en el subconjunto 2. Es importante resaltar que la media correspondiente al tratamiento al Vacío + MO muestra el valor más bajo en términos de emisiones de NO y NOx.

4.3.3. Correlación de Pearson

A continuación, se presentan las correlaciones entre variables reportadas por el equipo TESTO para las dos condiciones de trabajo: al vacío y con MO. Sin embargo, para el análisis e interpretación, se tomarán en cuenta únicamente las correlaciones significativas para los gases CO, NO y NOx, ya que son los gases principales de estudio.

4.3.3.1. Correlación de Pearson tratamientos al vacío

Tabla 4-28: Correlaciones de Pearson al vacío

		Correlaciones										
		CO	NO	NOx	O2	CO2	NO2	Tamb	EFF	ExAir	Tstack	Pump
CO	Correlación de Pearson	1	0,191	0,182	,454*	-0,149	-0,433	-0,319	-0,108	-,462*	0,013	-0,324
	Sig. (bilateral)		0,419	0,442	0,045	0,531	0,056	0,171	0,649	0,04	0,957	0,163
NO	Correlación de Pearson	0,191	1	,999**	0,067	,810**	-0,055	0,01	,658**	0,338	0,301	,488*
	Sig. (bilateral)	0,419		0	0,779	0	0,819	0,968	0,002	0,145	0,198	0,029
NOx	Correlación de Pearson	0,182	,999**	1	0,071	,808**	-0,049	0,015	,656**	0,351	0,297	,484*
	Sig. (bilateral)	0,442	0		0,765	0	0,838	0,951	0,002	0,13	0,204	0,031
O2	Correlación de Pearson	,454*	0,067	0,071	1	-0,382	-0,367	-0,2	-0,349	-0,097	-,602**	-,546*
	Sig. (bilateral)	0,045	0,779	0,765		0,097	0,112	0,398	0,132	0,684	0,005	0,013
CO2	Correlación de Pearson	-0,149	,810**	,808**	-0,382	1	0,157	0,032	,908**	0,245	,556*	,744**
	Sig. (bilateral)	0,531	0	0	0,097		0,509	0,892	0	0,297	0,011	0
NO2	Correlación de Pearson	-0,433	-0,055	-0,049	-0,367	0,157	1	0,014	0,021	0,078	-0,026	,445*
	Sig. (bilateral)	0,056	0,819	0,838	0,112	0,509		0,954	0,931	0,743	0,912	0,049
Tamb	Correlación de Pearson	-0,319	0,01	0,015	-0,2	0,032	0,014	1	-0,002	,701**	0,249	-0,218
	Sig. (bilateral)	0,171	0,968	0,951	0,398	0,892	0,954		0,992	0,001	0,289	0,355
EFF	Correlación de Pearson	-0,108	,658**	,656**	-0,349	,908**	0,021	-0,002	1	0,127	,485*	,617**
	Sig. (bilateral)	0,649	0,002	0,002	0,132	0	0,931	0,992		0,595	0,03	0,004
ExAir	Correlación de Pearson	-,462*	0,338	0,351	-0,097	0,245	0,078	,701**	0,127	1	0,14	0,02
	Sig. (bilateral)	0,04	0,145	0,13	0,684	0,297	0,743	0,001	0,595		0,556	0,934
Tstack	Correlación de Pearson	0,013	0,301	0,297	-,602**	,556*	-0,026	0,249	,485*	0,14	1	0,247
	Sig. (bilateral)	0,957	0,198	0,204	0,005	0,011	0,912	0,289	0,03	0,556		0,294
Pump	Correlación de Pearson	-0,324	,488*	,484*	-,546*	,744**	,445*	-0,218	,617**	0,02	0,247	1
	Sig. (bilateral)	0,163	0,029	0,031	0,013	0	0,049	0,355	0,004	0,934	0,294	

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

**.. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

En primer lugar, se observa una correlación moderada y positiva de 0,454 entre las emisiones de CO y el contenido de O₂ en el gas de escape. Esto implica que a medida que aumenta el nivel de oxígeno, es probable que las emisiones de CO también se incrementen. Esta asociación podría explicarse por la presencia de una combustión incompleta, indicada por un alto contenido de O₂ en el gas de escape. Esto significa que no todo el oxígeno disponible se ha utilizado en la reacción de combustión, lo que resulta en una menor eficiencia energética y la generación de subproductos indeseados como el monóxido de carbono (CO) o hidrocarburos no quemados (Global Techla, 2023, p. 6).

Por otro lado, se encuentra una correlación negativa de -0,462 entre el monóxido de carbono (CO) y el exceso de aire (ExAir), lo que indica que a medida que aumenta la cantidad de exceso de aire proporcionado durante la combustión, la emisión de monóxido de carbono tiende a disminuir. Esto es coherente con las afirmaciones de Clarke (2021, pp. 2-3), quien menciona que al incrementar el exceso de aire se aumenta la disponibilidad de los radicales oxigenados responsables de la oxidación del CO, lo que reduce su presencia en los gases de combustión. Es importante señalar que estas correlaciones solo indican una relación estadística entre las variables y no implican una relación causal directa. La formación de CO y las emisiones en la combustión son fenómenos complejos que están influenciados por varios factores, como la composición del combustible, la temperatura de combustión, la distribución del aire y la eficiencia del sistema de combustión.

En relación con las correlaciones significativas para el NO, se observa una fuerte correlación entre las variables NO y NO_x, con un coeficiente de correlación de 0,999. Esto indica una relación positiva muy sólida entre las emisiones de NO y NO_x, lo que indica que ambos gases están altamente vinculados. Es lógico que exista una estrecha relación entre las emisiones de NO y NO_x, ya que ambos gases están intrínsecamente relacionados en el contexto de la combustión. El óxido de nitrógeno (NO) se forma principalmente durante la combustión a altas temperaturas cuando el nitrógeno atmosférico se combina con el oxígeno. Por otro lado, los óxidos de nitrógeno (NO_x) son una combinación de NO y otros compuestos de óxido de nitrógeno, como el dióxido de nitrógeno (NO₂) (European Chemicals Agency, 2023, p.1).

Además, se encuentra una correlación significativa tanto para NO como para NO_x con CO₂, con un coeficiente de correlación de 0,810 y 0,080 respectivamente, esto indica una fuerte relación positiva entre las emisiones. Existen varios factores que pueden influir en la correlación entre las emisiones de NO, NO_x y CO₂, como la eficiencia del sistema de combustión, la composición del combustible y las condiciones de operación (Aminzadegan et al., 2022, pp. 2508-2529).

La correlación entre las emisiones de NO, NOx y la variable EFF es significativa, lo que indica una relación positiva moderada entre ellas. Los valores de correlación son de 0,658 y 0,65 respectivamente. Esto significa que a medida que aumenta la eficiencia de combustión, también aumentan las emisiones de NO y NOx. Adicionalmente, se observa una correlación positiva moderada entre las emisiones de NO y NOx y la variable Pump, con valores de correlación de 0,488 y 0,484 respectivamente. Esto sugiere que existe una relación entre el caudal de la bomba utilizada para extraer muestras de gases de escape (Pump) y las emisiones de NO y NOx. Un aumento en el caudal de la bomba puede implicar una mayor captación de los gases emitidos, lo que resulta en una mayor concentración de NO y NOx en las muestras analizadas. Por lo tanto, es probable que haya una correlación positiva entre el caudal de la bomba (Pump) y las emisiones de NO y NOx.

Es importante tener en cuenta que estas relaciones pueden variar dependiendo de las condiciones específicas de la combustión, como el tipo de combustible utilizado, el diseño del sistema de combustión y los controles de emisiones implementados, entre otros factores (Aminzadegan et al., 2022, pp. 2508-2529). Asimismo, es necesario mencionar que las correlaciones identificadas no implican una relación causal directa, sino simplemente una asociación estadística entre las variables.

4.3.3.2. Correlación de Pearson tratamientos con MO

Tabla 4-29: Correlaciones de Pearson con materia orgánica

		Correlaciones										
		CO	NO	NOx	O2	CO2	NO2	Tamb	Tstack	EFF	ExAir	Pump
CO	Correlación de Pearson	1	-0,166	-0,158	0,104	-0,107	0,117	-0,182	0,036	-0,07	0,041	-0,043
	Sig. (bilateral)		0,408	0,431	0,605	0,595	0,561	0,363	0,858	0,727	0,84	0,833
NO	Correlación de Pearson	-0,166	1	,994**	-,612**	,612**	0,341	,675**	0,025	,484*	-,543**	0,202
	Sig. (bilateral)	0,408		0	0,001	0,001	0,082	0	0,901	0,011	0,003	0,314
NOx	Correlación de Pearson	-0,158	,994**	1	-,600**	,601**	0,355	,664**	0,01	,461*	-,487*	0,248
	Sig. (bilateral)	0,431	0		0,001	0,001	0,069	0	0,961	0,015	0,01	0,212
O2	Correlación de Pearson	0,104	-,612**	-,600**	1	-1,000**	-,498**	-,613**	0,096	-,781**	,774**	-,384*
	Sig. (bilateral)	0,605	0,001	0,001		0	0,008	0,001	0,635	0	0	0,048
CO2	Correlación de Pearson	-0,107	,612**	,601**	-1,000**	1	,510**	,614**	-0,094	,778**	-,768**	,391*
	Sig. (bilateral)	0,595	0,001	0,001	0		0,007	0,001	0,641	0	0	0,043
NO2	Correlación de Pearson	0,117	0,341	0,355	-,498**	,510**	1	,660**	0,245	0,255	-0,284	,548**
	Sig. (bilateral)	0,561	0,082	0,069	0,008	0,007		0	0,218	0,199	0,15	0,003
Tamb	Correlación de Pearson	-0,182	,675**	,664**	-,613**	,614**	,660**	1	0,226	0,356	-,476*	,599**
	Sig. (bilateral)	0,363	0	0	0,001	0,001	0		0,258	0,069	0,012	0,001
Tstack	Correlación de Pearson	0,036	0,025	0,01	0,096	-0,094	0,245	0,226	1	-,563**	-0,005	0,015
	Sig. (bilateral)	0,858	0,901	0,961	0,635	0,641	0,218	0,258		0,002	0,979	0,94
EFF	Correlación de Pearson	-0,07	,484*	,461*	-,781**	,778**	0,255	0,356	-,563**	1	-,783**	0,181
	Sig. (bilateral)	0,727	0,011	0,015	0	0	0,199	0,069	0,002		0	0,367
ExAir	Correlación de Pearson	0,041	-,543**	-,487*	,774**	-,768**	-0,284	-,476*	-0,005	-,783**	1	-0,039
	Sig. (bilateral)	0,84	0,003	0,01	0	0	0,15	0,012	0,979	0		0,848
Pump	Correlación de Pearson	-0,043	0,202	0,248	-,384*	,391*	,548**	,599**	0,015	0,181	-0,039	1
	Sig. (bilateral)	0,833	0,314	0,212	0,048	0,043	0,003	0,001	0,94	0,367	0,848	

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Existe una fuerte correlación positiva entre el NO y el NO_x, con un valor de 0,994, debido a su estrecha relación en el contexto de la combustión. Además, ambos gases muestran una correlación negativa moderada con el O₂ en el gas de escape, con valores de -0,612 y -0,600 respectivamente. Esto sugiere que a medida que la concentración de oxígeno disminuye en el gas de escape, aumenta la concentración de NO y NO_x. Por otro lado, se observa una relación positiva entre el NO, el NO_x y el CO₂, con valores de correlación de 0,612 y 0,600 respectivamente. Esto indica que a medida que la concentración de NO y NO_x en el gas de escape aumenta, también aumenta la concentración de CO₂. Sin embargo, es importante tener en cuenta que según Ghasemzadeh et al. (2020, pp.93-123), no existe una relación directa entre el aumento de los óxidos de nitrógeno (NO, NO_x) y el aumento del dióxido de carbono (CO₂) en el contexto de la combustión. Estos son compuestos diferentes y sus emisiones están influenciadas por diversos factores durante el proceso de combustión.

Se puede observar una correlación positiva moderada entre los óxidos de nitrógeno (NO y NO_x) y la temperatura ambiente (T_{amb}) con coeficientes de correlación de 0.675 y 0.664, respectivamente. Estos resultados sugieren que a medida que aumenta la temperatura ambiente, también aumenta la concentración de NO y NO_x en el gas de escape. Esto puede explicarse por el hecho de que la temperatura es un factor clave en las reacciones de formación de NO y NO_x durante la combustión. A temperaturas más altas, se favorecen las reacciones entre el nitrógeno y el oxígeno presentes en la atmósfera, lo que lleva a una mayor producción de NO y NO_x. Además, temperaturas más altas pueden promover una combustión más eficiente, lo que también puede aumentar la formación de NO y NO_x (Czechlowski, 2020, pp. 164-170).

La correlación positiva moderada entre la eficiencia de combustión (EEF) y las concentraciones de NO y NO_x, con valores de correlación de 0,484 y 0,461 respectivamente, indica que a medida que la eficiencia de combustión aumenta, también tiende a aumentar la concentración de NO y NO_x. Esta relación puede explicarse por el hecho de que, en condiciones de alta eficiencia de combustión, las temperaturas de combustión suelen ser más elevadas, lo que favorece la formación de NO y NO_x. Además, una combustión más eficiente puede facilitar la reacción entre el nitrógeno y el oxígeno, lo que también contribuye a un aumento en la producción de NO y NO_x (Carbonell, 2021, p.1).

Finalmente, la correlación negativa moderada observada entre las concentraciones de NO y NO_x, con valores de -0,543 y -0,478 respectivamente, con el exceso de aire (ExAir), subraya que a medida que aumenta el exceso de aire en el proceso de combustión, se producen disminuciones significativas en las concentraciones de NO y NO_x. Esta conclusión refuerza la idea de que un

mayor exceso de aire proporciona una mayor disponibilidad de oxígeno durante la combustión, lo cual tiene un impacto directo en la reducción de la formación de NO y NOx. Según lo planteado por Combustion Technology (2020, pp. 1-3), cuando se alcanza un alto nivel de exceso de aire en los gases de combustión, la concentración de óxidos de nitrógeno (NOx) se diluye, lo que significa que su porcentaje en los gases de combustión disminuye. Es de suma importancia tener en cuenta y destacar que las correlaciones identificadas no implican una relación causal directa, sino que simplemente reflejan una asociación estadística entre las variables.

4.4. Propuesta de un plan de acción de control de emisiones gaseosas

4.4.1. Plan de acción

Tabla 4-30: Plan de acción de control de emisiones gaseosas

Hallazgos Identificados	Acción correctiva	Indicador de cumplimiento	Medio de verificación	Responsable de la ejecución	Costo (\$)	Plazo Ejecución (días)
Emisiones de gases fuera de norma (CO)	Implementar medidas de control de emisiones, como ajuste del sistema de combustión y monitoreo continuo de emisiones.	Concentración de las emisiones de gases dentro de los límites establecidos por las normativas ambientales.	Análisis de emisiones en tiempo real y comparación con los límites normativos.	Equipo de operación y mantenimiento de la institución o jefe de mantenimiento (ESPOCH)	500	30
Ubicación incorrecta del incinerador	Realizar una reubicación del incinerador en un sitio adecuado que cumpla con los requisitos de seguridad (ESPOCH)	Cumplimiento de las condiciones adecuadas sobre la ubicación del incinerador	Documentación que demuestre la ubicación actual y que cumpla con los requisitos de seguridad	Responsable de infraestructura o departamento de planificación de la institución	40	1
Deterioro de las pinturas y complementos de las rejas de seguridad del incinerador	Realizar un mantenimiento preventivo y correctivo de las rejas de seguridad, incluyendo la reparación y repintado de las superficies dañadas	Rejas de seguridad en buen estado y con pintura adecuada.	Inspección visual de las rejas de seguridad y registro de acciones de mantenimiento realizadas.	Equipo de mantenimiento de maquinarias de la institución	200	7
Chimenea con altura no adecuada (Anexos)	Elevar la chimenea a altura reglamentaria	Longitud de la chimenea elevada	Medición de la altura de la chimenea.	Equipo de construcción o contratista responsable encargado de adecuación de la chimenea	200	3
Presupuesto total					940	

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

- Descripción de las acciones a implementar

Con el fin de reducir las emisiones de CO del incinerador de residuos biológicos que fueron altas, entre 160 a 170 mg/Nm³, y que la legislación en Ecuador establece un límite máximo de 87 mg/Nm³, se pueden considerar las siguientes medidas:

Tabla 4-31: Medidas correctoras

Acción	Ejecución
Optimización de la combustión	<ul style="list-style-type: none"> -Realizar un análisis de la combustión en el incinerador para identificar posibles mejoras. -Verificar si el equipo esté correctamente ajustado y calibrado. -Asegurar un suministro adecuado de aire y combustible con el objetivo de alcanzar una combustión eficiente.
Eficiencia energética	<ul style="list-style-type: none"> -Implementar medidas para mejorar la eficiencia energética del incinerador, lo que puede reducir la cantidad total de combustible utilizado y, por lo tanto, las emisiones generadas. -Considerar la recuperación de calor residual del incinerador para su reutilización en procesos internos o para generar energía.
Uso de biocombustible de calidad	<ul style="list-style-type: none"> -Aumentar la proporción de biodiésel en la mezcla con el diésel. -Asegurarse de que el biodiésel utilizado cumpla con los estándares de calidad establecidos. -Realizar pruebas y ajustes para determinar la proporción óptima de biodiésel que permita cumplir con los límites de emisiones.
Mantenimiento regular y limpieza del equipo	<ul style="list-style-type: none"> -Realizar un mantenimiento periódico y adecuado del incinerador para garantizar su correcto funcionamiento. -Limpiar y reemplazar los filtros y equipos de control de emisiones según sea necesario.
Monitoreo continuo de emisiones	<ul style="list-style-type: none"> -Implementar sistemas de monitoreo continuo de emisiones para detectar y corregir cualquier

	desviación en tiempo real. -Utilizar los datos obtenidos del monitoreo para realizar ajustes y mejoras adicionales.
Investigación y desarrollo de tecnologías de control de emisiones	-Investigar y considerar la adopción de tecnologías más avanzadas de control de emisiones, como filtros de partículas y sistemas de reducción selectiva de catalizador (SCR), si es necesario.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

- Reubicación

La FACULTAD de CIENCIAS de la ESPOCH cuenta con un centro especializado para la gestión de residuos de poda y residuos compostables generados en toda la universidad. Este centro, construido con una estructura metálica y un entretecho de zinc, ofrece condiciones óptimas para su funcionamiento. Las instalaciones del centro incluyen una bodega espaciosa para el almacenamiento temporal de los residuos, así como una fuente eléctrica que suministra tanto 110 como 220 voltios. Además, se garantiza el suministro de agua potable y una adecuada iluminación en todo el lugar. Se destaca su capacidad, el centro cuenta con un amplio galpón destinado exclusivamente al proceso de compostaje, donde se realiza la descomposición controlada de los residuos orgánicos para obtener compost de alta calidad. Es importante resaltar que la actividad antropogénica en la zona donde se encuentra ubicado el centro de gestión de residuos es baja, lo que contribuye a mantener un entorno adecuado y propicio para llevar a cabo las actividades de manera eficiente y sin generar impactos negativos. Además, debido a las condiciones idóneas del centro, se cumplen todos los requisitos necesarios para el funcionamiento seguro y eficiente de un incinerador de residuos biológicos.

Tabla 4-32: Motivos de reubicación

Acción	Solución
Cumplimiento normativo	El incinerador actual no cumple con los estándares ambientales y las regulaciones vigentes en cuanto a emisiones fijas para el CO. Con el fin de garantizar el cumplimiento de las normativas y preservar la salud humana y el ambiente, es necesario reubicarlo.
Mejora de la eficiencia	La reubicación del incinerador puede permitir una operación mejorada y una mayor

	eficiencia en el manejo de desechos biológicos.
Reducción de impacto en áreas sensibles	El incinerador actual está situado en un área sensible desde la perspectiva del ambiente y la comunidad local (áreas residenciales, parques o reservas naturales); la reubicación puede ser necesaria para disminuir los efectos negativos en dichas áreas y preservar su integridad.
Mejor integración con otras instalaciones	La reubicación del incinerador permitirá una mejor integración con otras instalaciones relacionadas, como centros de acopio, plantas de compostaje o instalaciones de reciclaje, se puede lograr una sinergia en la gestión de los residuos biológicos, maximizando su valorización y reduciendo la necesidad de transporte entre diferentes ubicaciones.
Imagen institucional	La reubicación del incinerador podría ser un componente de un plan más amplio para mejorar la reputación de la institución mostrando la dedicación de la empresa a la sustentabilidad ambiental y el bienestar de la comunidad.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

- Descripción de la localización del incinerador

Tabla 4-33: Caracterización del sitio actual y sitio recomendado de la reubicación del incinerador

Localización Actual	
Características	Descripción
Ubicación actual	 <p>Incinerador bajo las gradas de la escuela de bioquímica y farmacia.</p> <p>Coordenadas UTM: Este: 758317 Norte: 9816736</p>
Infraestructura existente	

	 <p style="text-align: center;">Situación actual del incinerador</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cubierta de metal. • Mala ubicación del contenedor de combustible • Salida de chimenea improvisada
<p>Incinerador de residuos biológicos</p>	 <p style="text-align: center;">Equipo de incineración</p>
<p>Adecuaciones necesarias para el equipo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Correcta aireación. • Corrección de altura de chimenea (3 metros).
Localización de reubicación recomendada	
<p>Nueva ubicación propuesta</p>	

	 <p>Galpón de compostaje de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.</p> <p>Coordenadas UTM</p> <p>Este: 757471</p> <p>Norte: 9817385</p>
<p>Motivos de reubicación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones gaseosas fuera de la normativa. • Mal ubicación de incinerador.
<p>Normativas y regulaciones</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Acuerdo ministerial 097-A Anexo 3 • 001-Norma Técnica.
<p>Accesibilidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vías asfaltadas • Señalética

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El estudio realizado proporcionó una caracterización detallada de las emisiones gaseosas generadas por el incinerador durante su funcionamiento normal. Se recopiló información valiosa sobre los contaminantes presentes, su concentración y composición, lo que permitió obtener una visión clara de la situación actual de las emisiones. Se observó que el monóxido de carbono (CO) mostró concentraciones promedio más altas en las mezclas de combustible Diesel + MO (171,69 mg/Nm³) y Biodiesel 2%+MO (170,19 mg/Nm³), superando el límite permisible de 87 mg/Nm³. Estos valores indican una combustión incompleta que requiere ajustes para mejorar su eficiencia y reducir las emisiones de CO. Por otro lado, los óxidos de nitrógeno (NO_x y NO) se mantuvieron en niveles aceptables en todas las combinaciones de combustible y aditivo, con concentraciones promedio de 36 mg/Nm³ inferiores al límite permisible. Sin embargo, se observó un aumento en los niveles de NO_x en las mezclas con biodiesel y materia orgánica, siendo más altos en Biodiesel 2%+MO (35,08 mg/Nm³). Mientras que al vacío el más alto fue con Diesel puro (60,13 mg/Nm³).

Se llevó a cabo un análisis comparativo de las emisiones gaseosas generadas por el incinerador utilizando biocombustible a partir de plástico en mezclas con diésel, en contraste con el uso exclusivo de diésel. Los resultados revelaron que el nivel de monóxido de carbono (CO) superó los límites permisibles establecidos por la legislación, con concentraciones que oscilaron entre 163 mg/Nm³ y 171 mg/Nm³. Es importante señalar que estas concentraciones elevadas se registraron tanto en la incineración de residuos con diésel como con biodiésel. Por otro lado, se observó que los óxidos de nitrógeno (NO y NO_x) se mantuvieron en niveles aceptables y en consonancia con las regulaciones vigentes (NO: 450 mg/Nm³ y NO_x: 611 mg/Nm³) en todos los monitoreos realizados tanto con diésel como con biodiésel. Esto indica que el uso de biocombustible no tuvo un impacto significativo en los niveles de óxidos de nitrógeno generados durante el proceso de incineración. Si bien se evidenció una superación en los niveles de monóxido de carbono, es importante destacar que los resultados respaldan la viabilidad del uso de biocombustible a partir de plástico en mezclas con diésel como una alternativa más sostenible en comparación con el uso exclusivo de diésel.

Se propuso un plan de acción de control de emisiones gaseosas, del incinerador de residuos biológicos de la facultad de ciencias, donde se combinó acciones que involucra la optimización del combustible, mantenimiento del equipo y sus complementos y una reubicación del incinerador. Mediante el cual se trazan nuevas metas y objetivos en base al bienestar y desempeño académico e institucional de la comunidad politécnica.

5.2. Recomendaciones

- Aplicar soluciones tecnológicas para controlar las emisiones gaseosas del incinerador, tales como la instalación de filtros de partículas y sistemas de reducción catalítica selectiva, con el fin de reducir y mitigar las emisiones contaminantes.
- Promover el uso de biocombustibles en mezclas con diésel, asegurando que cumplan con estándares de calidad y realizando pruebas para determinar la proporción óptima que permita cumplir con los límites de emisiones.
- Realizar un mantenimiento regular y adecuado del incinerador, incluyendo la limpieza y reemplazo de filtros y equipos de control de emisiones, y realizar ajustes y calibraciones para garantizar una combustión eficiente y reducir las emisiones.
- Elaborar un motor que trabaje exclusivamente con biodiesel con el fin de no tener inconvenientes en el momento de la incineración.

BIBLIOGRAFÍA

ABDELOUAHED, Joseph. 2020. Combustibles marinos alternativos para reducir la huella de CO2 [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Politécnica de Cataluña, España. 2020. p.4. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/353424/163196_TFG_Youssef_Abdelouahed_Vidal_fin.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ABED, J. et al. “Performance and emission characteristics of diesel engine fueled with rice bran biodiesel and n-butanol”. *El sevier* [en línea], 2019, (Ecuador) 5(21), pp. 19. [Consulta: 20 junio 2023]. ISSN 1948-8516. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484718303202>

AGRO-UBA. *Contaminación atmosférica* [en línea]. Ecuador: Ediciones A/T, 2020. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Atmosfera/contatmosf.pdf>

ÁLVAREZ, Karla. Estrategia para impulsar el empleo de eco materiales en el diseño con un enfoque sustentable [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 2021. p.6. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/23745/1/1080328472.pdf>

AMINZADEGAN, S.; et al. “Factors affecting the emission of pollutants in different types of transportation: A literature review. *Energy Reports* [En línea], 2022, 8(1), pp. 2508-2529. [Consulta: 09 julio 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722001627>

ANEXO 3 097A. *Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas.*

ARAMEDIS, H. et al. *Contribuciones a un gran impulso Ambiental en América latina y el caribe* [en línea]. Ecuador: Ediciones Amarillo, 2021. [Consulta: 20 Julio 2023]. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43825/S1800540_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ÁVILA, P.; et al. “Monitoreo de emisiones atmosféricas en Quito-Ecuador”. *Revista Geonorte*, Vol. 6, n°1(2016), (Ecuador), pp. 14-25.

BARDAHL, K. *Diferencias entre diésel, gasolina y turbosina* [en línea]. Ecuador: Edu-andes. 2020. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://www.bardahlindustria.com/diferencia-entre-diesel-gasolina-y-turbosina/#:~:text=El%20diésel%2C%20también%20conocido%20como,entre%20los%20200%20y%20380%20c>

BARRENA, R. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Barcelona. España. 2019. pp. 2-315.

BARRIGA, Diana. Caracterización fisicoquímica del biodiésel b5 a base de aceite de higuerilla [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Técnica del Norte, Ecuador. 2020. pp. 57-59. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10424/2/04%20MAUT%2011%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

BARROS, J.; et al. “Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Guayaquil, Ecuador”. *Revista EIA*, Vol.16, n°31 (2019), (Ecuador), pp. 17-25.

BENAVIDES, María. Análisis beneficio/costo de los aspectos relevantes de la producción de agrocombustibles en cultivos de caña de azúcar del valle geográfico del río Cauca [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Colombia. 2020. p.4. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13172/BenavidesAcevedoMaríaEugenia2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CABRERA, M.; et al. “Análisis de la Correlación entre las Emisiones Gaseosas y el Desempeño Energético de Fuentes Fijas de Combustión en Ecuador”. *Revista Politécnica* [En línea], 2021, 48(1), pp. 43-50. [Consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rpolit/v48n1/2477-8990-rpolit-48-01-43.pdf>

CABRERA, M.; et al. “Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca, Ecuador”. *Revista Internacional*, Vol.1, n°1(2020). pp. 13-20.

CÁCERES M. Y PRADO, F. Análisis bibliométrico sobre las tecnologías de tratamiento de

contaminantes atmosféricos en el período 2010 – 2021 [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Cesar Vallejo, Perú. 2021. p.8. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/81452>

CARBONELL, L. *¿Es más eficiente la combustión de un motor si es hecha a bajas o altas temperaturas?* [Blog]. S.l.: Quora, 2021. [Consulta: 09 julio 2023]. Disponible en: <https://es.quora.com/Es-más-eficiente-la-combustión-de-un-motor-si-es-hecha-a-bajas-o-altas-temperaturas>

CARVAJAL, H. “Análisis de la gestión de los residuos sólidos urbanos en Europa”. *Scielo* [en línea], 2020, (Ecuador) 2(7), p. 5. [Consulta: 20 junio 2023]. ISSN 2218-3620. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202022000100402&script=sci_arttext

CASTAÑEDA, J.; et al. “Potencial de los biocombustibles en Ecuador”. *Revista EIA*, Vol.18, n°36 (2021), pp. 83-95.

CASTILLO, Christian. & VALLE, Tatiana. Determinación de contaminantes atmosféricos producidos por motores diésel utilizando biodiesel obtenido de aceite de cocina reciclado generado por las pollerías de Moyobamba [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Nacional de San Martín, Perú. 2019. pp. 5-25. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/1068/1/ITEM%4011458-333.pdf>

CHITIVA, V. & GOMEZ, L. Diseño de una estrategia de valorización de residuos sólidos como elemento del modelo de sostenibilidad en la localidad de chapinero en Bogotá [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia. 2019. pp. 1-2. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/531f32e5-3f27-4275-92be-6ca74e197495/content>

CLARKE, J. Excess Air: Its Role in Combustion and Heat Transfer. *Heat Treat Today* [En línea]. 2021. [Consulta: 09 julio 2023]. Disponible en: <https://www.heatreattoday.com/media-category/commentary/op-ed/excess-air-its-role-in-combustion-and-heat-transfer/>

CLEANAIR. *Testo 340 Engine Kit O2, CO, NO* [blog]. 2021. [Consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: https://www.cleanair.com/product-category/testo/testo-instruments/testo-340/?utm_source=googleads&vt_keyword=testo%20340&utm_term=testo%20340&utm_campaign=

aign=Testo&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=4788310720&hsa_cam=1870
8222855&hsa_grp=148528597331&hsa_ad=630790784827&hsa_src=g&hsa_tgt=aud-
1996867409004:kwd-
337990772097&hsa_kw=testo%20340&hsa_mt=e&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=Cjw
KCAjw5MOIBhBTEiwAAJ8e1vD9L7g2-
JmsZjMXfQYoy6VCEAm9JGF4LOXK_gHymr8wQBSTpNL-RBoCy14QAvD_BwE

COMBUSTION TECHNOLOGY. Oxides of Nitrogen (NOx) [en línea]. 2020. [Consulta: 09 julio 2023]. Disponible en: https://www.combustiontechnology.co.za/training/oxides_of_nitrogen.htm

CONDORCHEM. *Tecnologías para el tratamiento de aire* [blog]. 2020, [Consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <https://condorchem.com/es/tecnologias-tratamiento-aire/>.

CONDORCHEM. *Scrubbers y lavadores de gases* [blog]. 2020. [Consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <https://condorchem.com/es/lavadores-de-gases-scrubbers/#:~:text=El%20lavado%20de%20gases%20es,o%20una%20combinaci%C3%B3n%20de%20> éstos.

COVIELLO, M. *Biocombustibles líquidos para transporte en América Latina y el Caribe* [En línea]. S.l.: CEPAL. 2019. [Consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/3638/S2008449_es.pdf

CRUEL PRECIADO, M.; & VERNAZA ARROYO, G. D. “Uso de biocombustibles en Ecuador: Una mirada desde la protección de los derechos de la naturaleza”. *Revista Venezolana de Gerencia*, 2022, 27(Especial 7), pp. 477-491. [Consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.7.31>

CZECHLOWSKI, M.; et al. “Effect of Diesel Fuel Temperature on the Nitrogen Oxides Emission from a Compression-Ignition Engine”. *Journal of Ecological Engineering* [En línea], 2020, 21(3), pp. 164-170. [Consulta: 09 julio 2023]. Disponible en: <http://www.jeeng.net/pdf-118283-48109?filename=Effect%20of%20Diesel%20Fuel.pdf>

DESOBRE. *De que está compuesto el biodiésel* [blog]. [Consulta: 14 septiembre 2010]. Disponible en: <https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/preguntas-y-respuestas/energias-renovables/de-que-esta-compuesto-el-biodiesel/>

DÍAZ, Y. Impacto ambiental generado a partir de biodiesel de aceite de palma (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). [En línea] Universidad Libre, Facultad de Ingeniería. Bogotá-Colombia. 2018, pp. 1-61. [Consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7141/DiazGonzalezYeniCarolina2012.pdf?sequence=1>

EUROPEAN CHEMICALS AGENCY. Oxides of Nitrogen [En línea]. 2023. [Consulta: 09 julio 2023]. Disponible en: <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.030.234>

FANTINO, Juliana. *Estadística descriptiva e inferencial: ¡Decide con estos métodos como aliados!* . [blog]. [Consulta: 20 julio 2023]. Disponible en: <https://www.crehana.com/blog/transformacion-digital/estadistica-descriptiva-e-inferencial/>

FLORES ARIAS, Jessica. Análisis beneficio/costo de los aspectos relevantes de la producción de agrocombustibles en cultivos de caña de azúcar del valle geográfico del río Cauca [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad autónoma de México, México. 2019. p.13. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <http://132.248.9.195/ptd2013/abril/0692118/0692118.pdf>.

GARCÍA ORTIZ, Josué Anselmo. Estado del arte de la Sucoquímica En América Latina [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Distrital Francisco de Caldas, Colombia, 2019. pp. 1-6. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14464/CárdenasMuñozDianaCarolina2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GARCÍA, J. *Operaciones para la gestión de residuos industriales.* [en línea] Ecuador: Imprentas Ecuador, 2020, p.9 [Consulta: 20 julio 2023]. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Hi6VDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA6&dq=La+in+cineración+es+una+técnica+empleada+en+el+manejo+de+residuos+con+el+propósito+de+dis+minuir+su+volumen,+peso+y+modificar+su+composición.+Este+proceso+implica+someter+lo+s+residuos+a+altas+temperaturas+para+lograr+una+oxidación&ots=vTNhvN_ugC&sig=N7Qj3D-KdXRR7K6IERtC7lkbnQM#v=onepage&q&f=false

GLOBAL TECHLA. *Interpretación del análisis de gases* [En línea] S.l.: Global Techla. 2023.

[Consulta: 09 julio 2023]. Disponible en:
<https://www.globaltechla.com/eBusiness/entrenamiento/analisis-de-gases-en-vehiculos.pdf>

GONZALEZ, D. “Estudio de las Tecnologías limpias para la gestión sostenible de residuos domésticos”. *ReserchGat* [en línea], 2022, (Ecuador) 1(4), p. 5. [Consulta: 20 junio 2023]. ISSN 1542-9854. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Silvia-Coello-Pisco/publication/357934099_Estudio_de_las_Tecnologias_limpias_para_la_gestion_sostenible_de_residuos_domesticos/links/61e83b64c5e3103375a6f759/Estudio-de-las-Tecnologias-limpias-para-la-gestion-sostenible-de-residuos-domesticos.pdf

GONZÁLEZ, D.; et al. “Evaluación de emisiones de gases contaminantes en la ciudad de Quito, Ecuador”. *Revista de Investigación Académica*, Vol. 23, n°1 (2021), pp. 1-12.

GUERRERO, Mariela & TENE, Isaac. Diseño y construcción de un equipo de cremación para la incineración de residuos biológicos generados en el bioterio de la facultad de ciencias de la escuela superior politécnica de Chimborazo [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. p.5. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en:<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14879/1/96T00594.pdf>

GUO, M.; et al. “Environmental impact assessment of first-generation biofuels: a review”. *Journal of Cleaner Production*, n°262 (2020), pp.121163.

HABIB, Claudio. Diseño de una red de cadena de suministro de hidrogeno para el norte de Chile [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, México. 2022. p.3. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/194376/Diseno-de-una-red-de-cadena-de-suministro-de-hidrogeno-para-el-Norte-de-Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

HOLDEN, M. “Biodiesel de aceites y grasas”. *Rev. LibreTexts* [en línea], 20120, (EE.UU) 1(3), pp. 1-5. [Consulta: 20 junio 2023]. ISSN 2525-8541. Disponible en: [https://batch.libretexts.org/print/url=https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingeniería_Biológica/Introducción_a_la_Ingeniería_de_Biosystems_\(Holden_et_al.\)/01%3A_Sistemas_de_Energía/1.03%3A_Biodiesel_de_Aceites_y_Grasas.pdf](https://batch.libretexts.org/print/url=https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingeniería_Biológica/Introducción_a_la_Ingeniería_de_Biosystems_(Holden_et_al.)/01%3A_Sistemas_de_Energía/1.03%3A_Biodiesel_de_Aceites_y_Grasas.pdf)
<https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1298/GUIA%20-%20Calderas%20de%20Alta%20Eficiencia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

INCINEROX. *Proceso para la incineración de residuos* [blog]. 2018. [Consulta:7 mayo 2023]. Disponible en: <https://incinerox.com.ec/proceso-para-la-incineracion-de-residuos/>

JAHAN, M. S.; et al. “Environmental impact assessment of biofuel production: An overview”. *Renewable Energy*, n°148 (2020), pp. 1294-1309.

JÁUREGUI, J. Análisis de viabilidad y factibilidad técnica y económica para la construcción, puesta en marcha y operación de una planta de biodiesel con tecnología ALS Bioenergy [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad de San Andrés, Argentina. 2022. p.4. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <https://repositorio.udesa.edu.ar/jspui/bitstream/10908/23159/1/%5bP%5d%5bW%5d%20%20M.%20Ges.%20Jáuregui,%20Ignacio.pdf>

MANUAL DE NUTRICIÓN. *Grasa y Lípidos* [en línea]. Ecuador: Ediciones Publicas, 2019. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-cap-6-grasas.pdf>.

MARTÍNEZ J. & CASALLAS, M. Contaminación y remediación de suelos en Colombia: aplicación a la minería de oro [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad EAN, Colombia. 2019. pp. 1-5. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/9123>

MARTÍNEZ, D. “Estrategias de bajo coste para la producción de bio-aceites derivados del pirólisis de biomasa lignocelulósica”. *Scielo* [en línea], 2020, (Ecuador) 1(1), pp.1-16. [Consulta: 20 junio 2023]. ISSN 1214-8541. Disponible en: <https://www.elementospolipub.org/ojs/index.php/epp/article/view/28/26>

MEDINA, F. Estudio para generar electricidad mediante los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Pomalca - Chiclayo - Lambayeque” [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Nacional “Pedro Ruiz Galla”, Perú. 2022. pp. 2-6. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/10833/Medina_Monje_Bryan_Brando.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MEHMOOD, A. & SAQIB, J. “Rendimiento del motor y análisis de emisiones utilizando biodiésel de neem y jatropha”. *Revista La Granja* [en línea], 2020, (Ecuador) 15(2), pp. 19. [Consulta: 20 junio 2023]. ISSN 1390-8596. Disponible en:

<http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/lgr/v32n2/1390-3799-Lgr-32-02-00019.pdf>

MOHAMED, Bashir. Evaluación económica y ambiental de un sistema de tratamiento y eliminación de los RSU en misurata (Libia) utilizando la metodología coste/beneficio. Proyecto de vertedero controlado [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Jaume, Libia. 2021. pp. 1-2. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/194563/TFM_2021_HgaigBMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MONTAÑO, L. M.; et al. “Emisiones gaseosas generadas por el uso de biocombustibles”. *Revista de Ciencias Ambientales*, Vol.53, n°1 (2019), pp.67-74.

MONTES, A. *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad* [En línea]. Madrid: : Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. 2019. [Consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%20%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>

MORALES ROJAS, Andrés D. & BEDOYA, Iván. “Estudio numérico del efecto de las variables de control en la autoignición del gas de síntesis en un motor HCCI estacionario para microgeneración”. *Scielo* [en línea], 2020, (Ecuador) 1(11), pp.11-12. [Consulta: 20 junio 2023]. ISSN 2020-8141 Disponible en: https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/3921

MORENO, Mónica. Propuesta para el Manejo de Residuos Sólidos en el Relleno Sanitario del Distrito Especial de Barrancabermeja – Santander sustentable [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, México. 2022. p.3. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/30933/Tesis%20Monica%20Alejandra%20Moreno%20Machado.docx.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

NARUN, Nabi. Et al. “Investigation of engine performance, combustion, and emissions using waste tire Oil-Diesel-Glycine max biodiesel blends in a diesel engine” *Elsevier* [En línea], 2022, 4(3). p.2. [Consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/5/2137>

NT EMISIONES FUENTES FIJAS. *Norma Técnica para emisiones a la atmosfera de fuentes fijas (NT001).*

OSPINO, María. Obtención de biodiésel a partir de aceites de frituras usados mediante transesterificación básica. [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito, Perú. 2020. p.4. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5393/1/Ospino_2020_TG.pdf

PALERMO. *Biodiesel* [En línea]. S.l.: Palermo. 2020. [Consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: https://www.palermo.edu/economicas/pdf_economicas/Presentacion_biocom_Steinberg.pdf

PILLAJO FIALLOS, Cristian Andrés. Estudio de tecnologías de recuperación de la energía contenida en los residuos sólidos urbanos (w2e). Caso de estudio: Ecuador [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Técnica del Norte, Ecuador. 2022. pp. 6. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/13477/2/04%20MEL%20179%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

PINARGOTE, L.; & SANCHEZ, A. Obtención de combustible a partir de residuos plásticos mediante el proceso de pirólisis (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). [En línea] Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ingeniería Ambiental, Ecuador. 2023. pp 125. [Consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/2085/1/TIC_IA39D.pdf

Proceso de producción de diésel renovable a partir de ácidos grasos de origen animal por el método de hidrotratamiento [en línea]. España: Coalition Books, 2019. [Consulta: 20 septiembre 2009]. Disponible en: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/5008>.

PLAZA, David. *Factor lambda* [blog]. 2020. [Consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.motor.es/que-es/factor-lambda>

RACTUAL. *El proceso de combustión* [blog]. 2019. [Consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://talleractual.com/tecnica/partes-de-motor/2250-el-proceso-de-combustion>

RAMÍREZ, A. *La agricultura regenerativa: Regeneración del suelo* [blog]. 2023. [Consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <https://sostenibleosustentable.com/es/medio-ambiente/la-agricultura-regenerativa-regeneracion-del-suelo/>

REJAS, L. “Generación de combustibles líquidos a partir de residuos plásticos” *Rev. Cien. Tec.* In [En línea], 2018, 10(11). p.2. [Consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-87872015000100005

RINCÓN EDUCATIVO. *Biodiésel y sus ventajas* [blog]. [Consulta: 14 junio 2023]. Disponible en: <https://rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/que-es-el-biodiesel/>

RIELLO. *Gulliver RGF Series.* [blog]. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: https://mercadoindustrialec.com/wp-content/uploads/2022/07/mercadoindustrialec-GULLIVER-RGF_rev1.pdf

ROJA, C. *Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética* [En línea]. S.l.: MGM International. 2019. [Consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en:

ROMAN, P. *Manual de compostaje del agricultor* [En línea]. Chile: FAO. 2020. [Consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>

SAIZ J, Et al. “Impacto ambiental de las incineradoras”. *Revista Impactos*, vol. 2, n°2 (2019), (Ecuador), p.3.

SANAGUANO, H. Conversión de los aceites residuales de la industria de alimentos en biodiesel [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Nacional de San Marcos, Lima, Perú. 2019. p.34. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/7315>

SANAHUJA, Olga. “Estrategias de bajo coste para la producción de bio-aceites derivados del pirólisis de biomasa lignocelulósica”. *Scielo* [en línea], 2022, (Ecuador) 2(3), p. 5. [Consulta: 20 junio 2023]. ISSN 9547-8963. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/284904>

SANZ E & SANCHEZ M. “Biomasa, biocombustible y sostenibilidad”. *Revista Palencia*, 2019, vol1 n°27, pp. 477-491. [Consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>

SORIA, Erika. Nanotecnología en la producción de biodiesel [En línea] (Trabajo de titulación).

(Titulación) Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito, Perú. 2019. p.34. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/30461/1/ESPEL-IPE-0123-P.pdf>

SOTO, J. ¿Sabes qué es la incineración de residuos y por qué no debe aprobarse en México? [blog]. 2020. [Consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/4106/sabes-que-es-la-incineracion-de-residuos-y-por-que-no-debe-aprobarse-en-mexico/#:~:text=Consiste%20en%20someter%20los%20residuos,energía%20térmica%20y%2Fo%20eléctrica.>

SUSARABIA. *Pero qué linda relación tienen La correlación de Pearson.* [blog]. [Consulta: 20 julio 2023]. Disponible en: <https://statsos.online/2015/03/10/pero-que-linda-relacion-tienen-la-correlacion-de-pearson/>

TECNOLOGÍA-AMBIENTE. Incineración de residuos [blog]. [Consulta: 14 junio 2023]. Disponible en: <https://cieambiental.com/newsroom/huella-de-carbono-uno/>

TIANHAO, Shen. Et al. “Investigation of Pyrolysis Kinetic Triplet, Thermodynamics, Product Characteristics and Reaction Mechanism of Waste Cooking Oil Biodiesel under the Influence of Copper Slag” *Rev. MDPI* [En línea], 2023, 16(5). p.2. [Consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/5/2137>

TOASA, Roberto. Impacto de los costos ambientales en el diseño y desarrollo de productos sostenibles en el sector textil de la Zona 9 del Ecuador. [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2021. p.5. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/25184/1/UCE-FING-CDI-TOASA%20ROBERTO.pdf>

TRUJILLO, Enrique. Evaluación de las emisiones de gases de escape de un motor de encendido por compresión utilizando mezclas de diésel, biodiésel supercrítico y óxido de cerio [En línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2019. p.6-7. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20174/1/CD%209635.pdf>

VALDIVIESO-MACHADO, A.; et al. “Caracterización de la calidad del aire en la ciudad de

Loja-Ecuador”. *Tecnológico Espíritu Santo*, Vol. 31, n°2 (2018), pp. 51-62.

VARGAS, A.

VELÁSQUEZ, L. A.; et al. “Comparación entre biocombustibles y combustibles fósiles”. *Revista de Energías Renovables*, Vol.2, n°1 (2018), pp. 45-52.

VERNERO, A. *Manual de biogas* [En línea]. Chile: FAO. 2019. [Consulta: 18 mayo 2023].
Disponibile en: <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

YOGESH, P. “Performance and emission characteristics of biodiesel-blend in diesel engine: A review”. *Revista Environ* [en línea], 2022, (Ecuador) 1(2), pp. 1-12. [Consulta: 20 junio 2023].
ISSN 1226-1025. Disponible en: <https://www.eeer.org/upload/eeer-2020-338.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: INCINERADOR



ANEXO B: MONITOREO



ANEXO C: ZONAS ALEDAÑAS



ANEXO D: EQUIPO DE MONITOREO



ANEXO E: LIMITES PERMISIBLES

NT-001 Emisiones al aire para fuentes fijas de combustión abierta

Valores máximos NT-001

TABLA No.1					
VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES AL AIRE PARA FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN ABIERTA					
CONTAMINANTE EMITIDO	COMBUSTIBLE UTILIZADO	UNIDADES	Fuente fija con fecha de inicio de operaciones antes del 2003	Fuente fija con fecha de inicio de operaciones después del 2003	Fuente fija con fecha de inicio de operaciones a partir de la fecha de publicación de la norma
Material Particulado	Sólido	mg/Nm ³	200	150	100
	Fuel Oil	mg/Nm ³	175	150	100
	Diésel	mg/Nm ³	150	100	80
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable	No Aplicable	No Aplicable
Óxidos de Nitrógeno	Sólido	mg/Nm ³	800	850	650
	Fuel Oil	mg/Nm ³	700	550	600
	Diésel	mg/Nm ³	500	500	450
	Gaseoso	mg/Nm ³	140	140	140
Dióxido de Azufre	Sólido	mg/Nm ³	1650	1650	1650
	Fuel Oil	mg/Nm ³	1650	1650	1650
	Diésel	mg/Nm ³	700	1200	700
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable	No Aplicable	No Aplicable
Monóxido de Carbono	Sólido	mg/Nm ³	1800	1800	1800
	Fuel Oil	mg/Nm ³	300	300	300
	Diésel	mg/Nm ³	250	200	200
	Gaseoso	mg/Nm ³	100	100	100

Fuente: NT Emisiones Fuentes Fijas, 2010.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Valores máximos NT-001

Tabla N°2: Límites máximos permisibles para emisiones gaseosas de incineradores de desecho peligrosos.		
Contaminante	Unidad	Límite de

		emisión
CO	mg/Nm ³	87
HCl	mg/Nm ³	55
NOx	mg/Nm ³	611
SO ₂	mg/Nm ³	109
Material particulado	mg/Nm ³	55
Arsénico, Selenio, Cobalto, Níquel, Telurio	mg/Nm ³	2 ⁽²⁾
Cadmio y Talio	mg/Nm ³	0,1 ⁽²⁾
Plomo, Antimonio, Cromo Total, Platino, Cobre, Vanadio, Zinc, Estaño, Manganeso, Paladio	mg/Nm ³	3 ⁽²⁾
Mercurio	mg/Nm ³	0,1
Dioxinas y Furanos EQT	ng/Nm ³	11

Fuente: NT Emisiones Fuentes Fijas, 2010.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Acuerdo Ministerial 097-A (Anexo 3)

Valores máximos permisibles de concentraciones de emisión

Valores máximos 097A

TABLA 1: Límites máximos permisibles de concentración de emisión de contaminantes al aire para fuentes fijas de combustión - abierta (mg/Nm³)			
Contaminante	Combustible	Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento antes de la fecha de publicación de la reforma de la norma	Fuente fija nueva: con autorización de entrar en funcionamiento a partir fecha publicación de la reforma de la norma
Material particulado	Sólido sin contenido de azufre	200	100
	Fueloil	200	100
	Diésel	150	80
Óxidos de nitrógeno	Sólidos incontentos de azufre	800	650
	Fueloil	700	600
	Diésel	500	450
	Gaseoso	200	180
Dióxido de azufre	Fueloil	1650	1650
	Diésel	700	700

Fuente: Anexo 3 097A, 2010.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

Límites máximos emisión de contaminantes 097A

Tabla 2: Límites máximos permisibles de concentración de emisión de contaminantes al aire para calderas (mg/Nm³)					
Contaminantes	Combustible		Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento antes de enero de 2003	Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento desde enero de 2003 hasta fecha publicación de la reforma de la norma	Fuente fija nueva: con autorización de entrar en funcionamiento a partir fecha publicación de la reforma de la norma
Material particulado	Sólido fósil	Coke	430	180	142
	Líquido	Fuel Oil			
		Crudo petróleo			
		Diésel			
Óxidos de nitrógeno	Sólido fósil	Coke	1330	1030	614
	Líquido	Fuel Oil	850	670	434
		Crudo petróleo			
		Diésel			
	Gaseoso	GLP o GNP	600	486	302
Dióxido de azufre	Sólido fósil	Coke	2004	2004	600
	Líquido	Fuel Oil	2004	2004	600
		Crudo petróleo			
		Diésel			

Fuente: Anexo 3 097A, 2010.

Realizador por: Ostaiza, J., 2023.

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 10 / 08 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Jefferson Nehemías Ostaiza Riascos
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniero Biotecnólogo Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



1657-DBRA-UPT-2023