



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
Powered by Arizona State University

**FACULTAD DE INGENIERÍAS APLICADAS Y
DESARROLLO INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Inventario de Emisiones de CO₂ Basado en Factores de
Emisión en una Camaronera de la Provincia del Guayas**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Autor: Portilla Saltos, Allan David

Tutor: Gómez-Berrezueta, Manuel Fernando

GUAYAQUIL
2026

Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Yo Manuel Fernando Gómez Berrezueta, en calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Inventario de Emisiones de CO₂ Basado en Factores de Emisión en una Camaronera de la Provincia del Guayas realizado por Portilla Saltos ha sido orientado y revisado en todas sus partes y considero que cumple los requisitos establecidos por la institución. En virtud de ello doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Manuel Fernando Gómez Berrezueta

Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Allan David Portilla Saltos declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, Reglamento y Leyes.

Autor: Allan David Portilla Saltos

C.I.: 0957330400

Dedicatoria

Dedico el presente proyecto de titulación, en primer lugar, a Dios, por brindarme la vida, la sabiduría y la fortaleza necesarias para culminar esta etapa tan importante.

A mis padres, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y sacrificios, que han sido el pilar fundamental en mi formación personal y profesional.

A mi familia, por su comprensión, motivación constante y confianza en cada paso de este camino.

A mis docentes, quienes con su conocimiento y guía han contribuido significativamente a mi desarrollo académico.

Y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, formaron parte de este proceso y me impulsaron a no rendirme.

Agradecimiento

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios, por brindarme salud, sabiduría y perseverancia para alcanzar esta meta académica.

A mis padres, por su apoyo incondicional, sus valores y su constante motivación, siendo el pilar fundamental en cada etapa de mi formación.

A mi familia, por su comprensión, paciencia y respaldo durante todo este proceso.

A mi docente tutor Ing. Fernando Gómez-Berrezueta, por su guía, conocimientos y acompañamiento académico, los cuales fueron esenciales para el desarrollo y culminación de este proyecto.

A la institución educativa, por proporcionarme las herramientas y el entorno adecuado para mi formación profesional.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, directa o indirectamente, contribuyeron con su apoyo y confianza para la realización de este trabajo.

Índice de contenido

Carátula	I
Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular	II
Declaración de autoría y cesión de derechos	III
Dedicatoria	IV
Agradecimiento	V
Índice de contenido	VI
Índice de tablas	IX
Índice de figuras	X
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo I	5
Antecedentes	5
1.1 Tema	5
1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema	5
1.2.1 <i>Planteamiento del problema</i>	5
1.2.2 <i>Formulación del problema</i>	8
1.2.3 <i>Sistematización del problema</i>	8
1.3 Objetivos de la investigación	8
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	8
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	8
1.4 Justificación y delimitación de la investigación	9
1.4.1 <i>Justificación teórica</i>	9
1.4.2 <i>Justificación metodológica</i>	9
1.4.3 <i>Justificación práctica</i>	10
1.4.4 <i>Delimitación temporal</i>	10
1.4.5 <i>Delimitación geográfica</i>	10

1.4.6	<i>Delimitación del contenido</i>	10
Capítulo II		11
Marco referencial		11
2.1	Marco teórico	11
2.1.1	<i>Conceptos preliminares</i>	11
2.2.7	<i>Emissiones de CO₂ en motores diésel estacionarios</i>	18
2.2.8	<i>Motores Cummins</i>	18
2.2.9	<i>Sostenibilidad en el sector acuícola</i>	18
Capítulo III		20
Metodología		20
3.1	Enfoque y tipo de investigación	20
3.2	Diseño metodológico	20
3.3	Variables de estudio	20
3.4	Población y unidad de análisis	21
3.5	Fuentes de información	21
3.5.1	<i>Primarias</i>	21
3.5.2	<i>Secundarias</i>	22
3.6	Metodología de cálculo	22
3.7	Procedimiento	22
3.7.1	<i>Identificación de equipos</i>	22
3.7.2	<i>Determinación del consumo de combustible</i>	24
3.7.3	<i>Aplicación de factores de emisión</i>	27
3.7.4	<i>Cálculo de emisiones de CO₂</i>	30
3.8	Inventario de emisiones de CO ₂ por periodo productivo	30
3.8.1	<i>Definición del periodo productivo</i>	30
3.8.2	<i>Registro de resultados</i>	32
3.9	Presentación de resultados	32
3.9.1	<i>Sistematización</i>	32

Capítulo IV	33
Resultados y discusión	33
4.1 Resultados del consumo de combustible	33
4.1.1 Caudal de bombeo.....	33
4.1.2 Piscina para camarones.....	34
4.1.3 Consumo de combustible	35
4.1.4 Interpretación.....	37
4.2 Cálculo completo con los valores representativos para un motor Cummins..	37
4.3 Datos de entrada	37
4.3.1 Consumo diario de combustible.....	38
4.3.2 Consumo mensual.....	38
4.3.3 Consumo durante un ciclo productivo.....	38
4.3.4 Emisiones diarias de CO₂	38
4.3.5 Emisiones mensuales	39
4.3.6 Emisiones durante el ciclo productivo.....	39
4.3.7 Emisiones por kilogramo de camarón producido	39
4.4 Discusión de resultados	39
4.5 Interpretación técnica de resultados	40
Conclusiones	42
Recomendaciones	43
Referencias	44

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Variables de estudio</i>	21
Tabla 2 <i>Especificaciones técnicas del motor diésel Cummins 6BT 5.9 L (2010) (a)</i>	23
Tabla 3 <i>Especificaciones técnicas del motor diésel Cummins 6BT 5.9 L (2010) (b)</i>	24
Tabla 4 <i>Tipo de combustible y de las condiciones de operación</i>	27
Tabla 5 <i>Características de la piscina</i>	34
Tabla 6 <i>Registro de consumo de combustible del motor Cummins 6BT 5.9 L</i>	35
Tabla 7 <i>Especificaciones de la piscina</i>	37
Tabla 8 <i>Resumen de resultados</i>	40

Índice de figuras

Figura 1 Emisión global de CO ₂ por sectores	6
Figura 2 Relación entre el consumo medio de combustible y las emisiones de CO ₂	7
Figura 3 Inventario de emisiones	12
Figura 4 Los gases de efecto invernadero	14
Figura 5 Motor diésel.....	17
Figura 6 Motor Cummins.....	22
Figura 7 Medición del consumo	25
Figura 8 Ficha Técnica.....	26
Figura 9 Diesel de la estación de servicio.....	28
Figura 10 Especificaciones del combustible diésel tipo 2.....	28
Figura 11 Ubicación de la camaronera	29
Figura 12 Procedimiento de la prueba	30
Figura 13 Evaluación visual	31
Figura 14 Piscina para camaronera	35

Resumen

El presente estudio desarrolla un inventario de emisiones de CO₂ en una camaronera de la provincia del Guayas, utilizando un enfoque basado en factores de emisión. El objetivo principal es cuantificar las emisiones generadas por las principales fuentes energéticas involucradas en el proceso productivo, tales como el consumo de diésel en bombas de agua, generadores eléctricos y transporte interno, así como el uso de energía eléctrica proveniente de la red. La metodología se fundamenta en la recopilación de datos de consumo de combustibles y electricidad, los cuales son multiplicados por factores de emisión estandarizados, conforme a lineamientos internacionales. Los resultados permiten identificar las fuentes con mayor contribución a la huella de carbono, evidenciando que el uso de combustibles fósiles representa el mayor porcentaje de emisiones. Este inventario constituye una herramienta clave para la toma de decisiones, facilitando la implementación de estrategias de mitigación, como la optimización del uso energético, la incorporación de energías renovables y la mejora en la eficiencia operativa. Finalmente, el estudio contribuye al fortalecimiento de prácticas sostenibles en el sector camaronero del Ecuador.

Palabras clave: Emisiones de CO₂, factores de emisión, camaronera del Guayas.

Abstract

His study develops a CO₂ emissions inventory for a shrimp farm in the Guayas province, using an emission factor–based approach. The main objective is to quantify emissions generated by the primary energy sources involved in the production process, such as diesel consumption in water pumps, power generators, and internal transportation, as well as electricity use from the grid. The methodology is based on collecting fuel and electricity consumption data, which are then multiplied by standardized emission factors in accordance with international guidelines. The results identify the sources with the highest contribution to the carbon footprint, showing that fossil fuel use represents the largest share of emissions. This inventory serves as a key tool for decision-making, facilitating the implementation of mitigation strategies such as optimizing energy use, incorporating renewable energy sources, and improving operational efficiency. Finally, the study contributes to strengthening sustainable practices in Ecuador's shrimp farming sector.

Keywords: CO₂ emissions, emission factors, shrimp farm in Guayas.

Introducción

El presente trabajo de titulación se enfoca en la elaboración de un inventario de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) generado exclusivamente por los motores diésel utilizados en una camaronera de la provincia del Guayas. Esta investigación responde a la necesidad de evaluar el impacto ambiental asociado al uso intensivo de combustibles fósiles en equipos como bombas de agua, generadores eléctricos y maquinaria de apoyo, los cuales constituyen una de las principales fuentes de emisiones dentro del sistema productivo acuícola.

Para dar respuesta al problema planteado, se realizó la recopilación y análisis de datos de consumo de diésel en los distintos motores empleados en las operaciones de la camaronera. Mediante la aplicación de factores de emisión estandarizados, se logró cuantificar las emisiones de CO_2 generadas, permitiendo identificar cuáles equipos o procesos presentan mayor contribución a la huella de carbono. Este enfoque facilitó una evaluación precisa del impacto ambiental derivado del uso de motores de combustión interna.

En relación con los objetivos planteados, se consiguió satisfactoriamente la meta principal de estimar las emisiones de CO_2 provenientes de los motores diésel, así como los objetivos específicos orientados a identificar las fuentes emisoras, determinar el consumo de combustible y analizar la distribución de las emisiones en función de las actividades operativas. Esto permitió generar información técnica confiable para la toma de decisiones.

Durante el desarrollo del estudio, se presentaron facilidades como el acceso a registros de consumo de combustible y la disponibilidad de metodologías reconocidas internacionalmente. No obstante, también se evidenciaron limitantes, tales como la variabilidad en los datos operativos, la ausencia de sistemas automatizados de medición y la dependencia de factores de emisión genéricos, lo cual puede influir en la precisión de los resultados.

La metodología aplicada corresponde a un enfoque cuantitativo basado en el uso de factores de emisión, mediante el cual se procesaron los datos de consumo de diésel para

estimar las emisiones de CO₂. Este procedimiento permitió obtener resultados claros sobre la magnitud del impacto ambiental generado por los motores diésel en la camaronera.

El documento se estructura en cinco capítulos: el primero aborda el planteamiento del problema, objetivos y justificación; el segundo desarrolla el marco teórico relacionado con emisiones y motores diésel; el tercero describe la metodología empleada; el cuarto presenta los resultados y su análisis; y el quinto expone las conclusiones y recomendaciones.

La importancia de esta investigación radica en que proporciona una base técnica para la gestión ambiental en el sector camaronero, permitiendo a la empresa identificar oportunidades de mejora en el uso de combustibles y eficiencia de los motores. A nivel institucional y social, contribuye al fortalecimiento de prácticas sostenibles y a la reducción de emisiones contaminantes, alineándose con los esfuerzos globales de mitigación del cambio climático.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema

Inventario de emisiones de CO₂ basado en factores de emisión en una camaronera de la provincia del Guayas.

1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema

Las camaroneras utilizan motores diésel de uso estacionario para bombeo de agua, aireación y generación eléctrica. Estos motores, comúnmente Cummins serie 6BT / QSB, operan durante extensas jornadas con alto consumo de diésel, constituyendo una fuente significativa de emisiones de CO₂ no cuantificadas.

A diferencia de sectores industriales regulados, en el sector acuícola no existe una metodología aplicada en campo que permita determinar con precisión las emisiones generadas por estos motores, lo que limita:

- La gestión ambiental.
- La trazabilidad de la huella de carbono.
- La implementación de mantenimiento predictivo con enfoque ambiental.
- El cumplimiento de lineamientos del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), ISO 14064 y GHG Protocol.

1.2.1 Planteamiento del problema

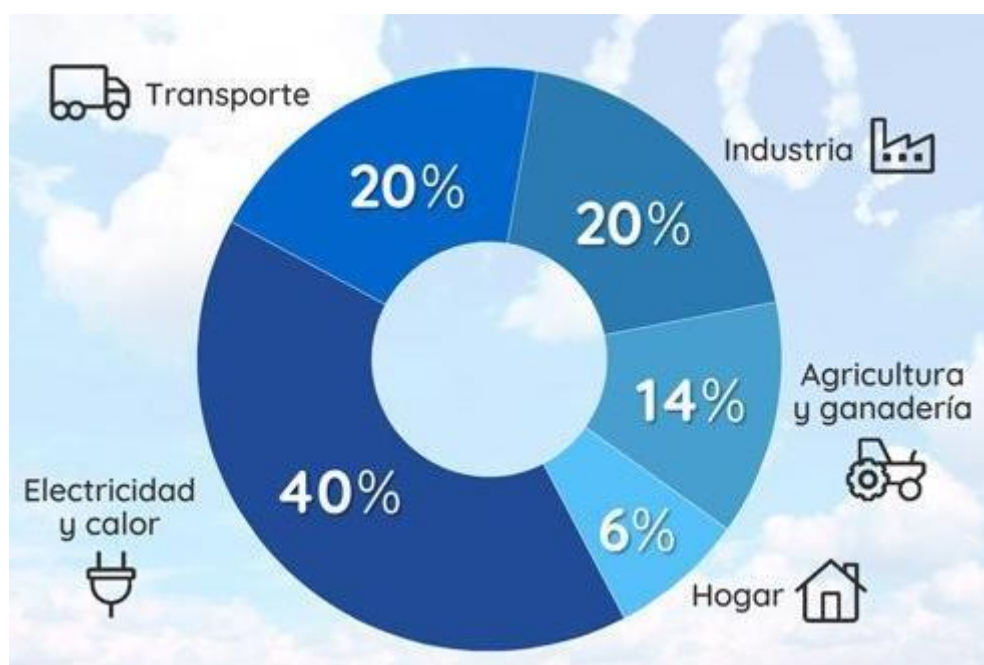
La cuantificación de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en actividades productivas es crucial para comprender, gestionar y reducir el impacto ambiental de fuentes fijas y móviles de combustión interna. Los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero constituyen la base metodológica para caracterizar y reportar las emisiones de CO₂, metano (CH₄) y óxidos nitrosos (N₂O) asociadas a diferentes sectores económicos, incluyendo el sector energético y productivo industrial. Los inventarios, tradicionalmente aplicados a escalas nacionales o sectoriales, utilizan factores de emisión basados en datos agregados de consumo energético y actividades de combustión para estimar las emisiones de GEI (Méndez-Vallejo et al., 2025).

En aplicaciones específicas de producción como en una camaronera, que emplea motores diésel para bombeo y servicios auxiliares, no se dispone de un inventario localizado y caracterizado que utilice factores de emisión adaptados a las condiciones operativas reales. Esto implica que las estimaciones de CO₂ se basan en factores genéricos que no reflejan con precisión el uso de combustible y los patrones de operación del motor, lo que genera incertidumbre en la contabilización y gestión ambiental de sus emisiones.

Cierta literatura muestra que los métodos basados en inventarios de emisiones proporcionan el diseño de medidas de mitigación del cambio climático al establecer las categorías de fuente y los impulsores de las emisiones (IPCC 2006). Sin embargo, existe un vacío metodológico en la aplicación de estos inventarios a fuentes industriales puntuales como motores estacionarios en camaroneras, que requieren un enfoque micro con datos de consumo reales y esto con el fin de disminuir las emisiones globales de CO₂ (Figura 1).

Figura 1

Emisión global de CO₂ por sectores



Fuente: (controla-plus.com, 2025).

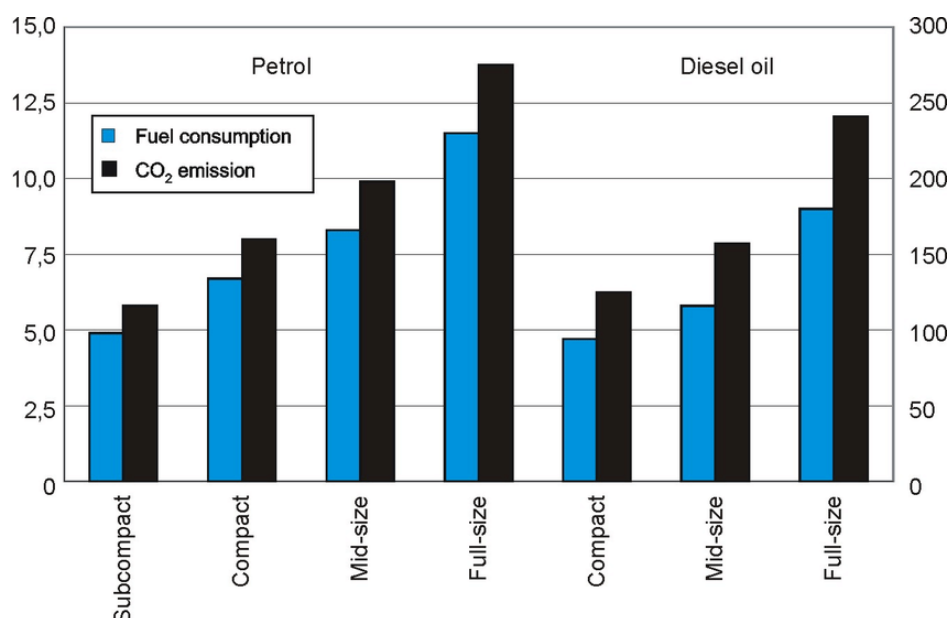
El sector camaronero, particularmente en regiones como la provincia del Guayas, presenta una alta dependencia del uso de motores diésel para actividades críticas como el

bombeo de agua, generación eléctrica y operación de equipos auxiliares. Esta dependencia implica un consumo significativo de combustibles fósiles, lo que conlleva a la emisión directa de dióxido de carbono (CO_2), uno de los principales gases de efecto invernadero responsables del cambio climático. Según la United States Environmental Protection Agency (EPA), la combustión de diésel es una fuente relevante de emisiones de CO_2 debido a su alto contenido de carbono por unidad de energía, estimándose aproximadamente 2,68 kg de CO_2 por litro de diésel consumido (EPA, 2023). De igual manera, el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) establece que las actividades energéticas basadas en combustibles fósiles constituyen más del 70% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2021), lo que evidencia la necesidad de evaluar y cuantificar estas emisiones en sectores productivos específicos.

La relación entre el consumo medio de combustible y las emisiones de CO_2 se observa en la Figura 2.

Figura 2

Relación entre el consumo medio de combustible y las emisiones de CO_2



Fuente: (Mickūnaitis, 2007)

En este contexto, la falta de inventarios detallados de emisiones en camaroneras limita la capacidad de las empresas para identificar sus principales fuentes contaminantes y

establecer estrategias efectivas de mitigación. Estudios internacionales han demostrado que la elaboración de inventarios basados en factores de emisión es una herramienta confiable para la gestión ambiental y la toma de decisiones (EPA, 2022; IPCC, 2006). Sin embargo, en el ámbito local, existe una escasez de información sistematizada sobre las emisiones generadas específicamente por motores diésel en el sector acuícola. Esta situación dificulta la implementación de prácticas sostenibles y el cumplimiento de estándares ambientales internacionales, generando una brecha entre la producción y la responsabilidad ambiental.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo determinar de manera técnica, confiable y aplicable en campo las emisiones de CO₂ generadas por un motor Cummins utilizado en una camaronera, mediante el uso de factores de emisión internacionalmente aceptados?

1.2.3 Sistematización del problema

- ¿Qué factores de emisión son aplicables a motores diésel utilizados en aplicaciones industriales?
- ¿Qué datos de actividad (por ejemplo, consumo de combustible) se requieren para desarrollar un inventario de emisiones para una camaronera?
- ¿Cómo se pueden adaptar los lineamientos metodológicos de inventario de emisiones a una fuente puntual fija?
- ¿Cuál es la cantidad total de CO₂ emitida por periodo productivo?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Establecer un inventario de emisiones de CO₂ para una camaronera de la provincia del Guayas basado en factores de emisión de sus motores diésel.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar el consumo real de combustible de los motores diésel Cummins utilizados en una camaronera.
- Aplicar los factores de emisión de CO₂ correspondientes al consumo energético del combustible.

- Calcular el inventario de emisiones de CO₂ por periodo productivo.

1.4 Justificación y delimitación de la investigación

La presente investigación se justifica en la necesidad de cuantificar de manera técnica y confiable las emisiones de CO₂ generadas por fuentes fijas de combustión interna, como los motores diésel utilizados en la camaronera, debido a que estas emisiones constituyen una contribución directa al efecto invernadero y, por tanto, al cambio climático global.

Diversos estudios científicos y lineamientos internacionales establecen que la elaboración de inventarios de emisiones basados en factores de emisión permite estimar con precisión el impacto ambiental de actividades productivas cuando no es posible realizar mediciones directas in situ (Eggleston et al., 2006).

El proyecto se delimita al análisis del consumo de combustible diésel y la aplicación de factores de emisión para estimar exclusivamente las emisiones de CO₂ generadas por los motores estacionarios en operación dentro de la camaronera, sin considerar otros gases ni otras fuentes de emisión, lo que permite un enfoque específico, medible y técnicamente aplicable a la realidad operativa del sistema evaluado (Ntziachristos & Samaras, 2016; European Environment Agency, 2019).

1.4.1 Justificación teórica

El IPCC (2021) establece que la estimación de emisiones mediante factores de emisión es un método científicamente validado para inventarios de gases de efecto invernadero. El GHG Protocol (2015) respalda su aplicación en organizaciones productivas.

1.4.2 Justificación metodológica

Se emplea una metodología cuantitativa basada en datos reales de consumo energético y ecuaciones estandarizadas:

$$CO_2 = \text{Consumo} \times \text{Factor de Emisión}$$

Se propone un método replicable en campo.

1.4.3 Justificación práctica

Permite a la camaronera conocer su huella de carbono y plantear estrategias de reducción de emisiones, alineándose con certificaciones ambientales y exigencias de mercados internacionales (FAO, 2020).

- Permite a la camaronera conocer su huella de carbono.
- Vincula mantenimiento automotriz con impacto ambiental.
- Base para certificaciones ambientales.

1.4.4 Delimitación temporal

El proyecto se desarrolla durante 4 meses, empezando en mayo de 2026 y finalizando en agosto de 2026.

1.4.5 Delimitación geográfica

El proyecto se desarrolla en la provincia del Guayas, en la camaronera CALIPSO S.A.

1.4.6 Delimitación del contenido

La investigación se delimita al análisis y estimación de las emisiones de dióxido de carbono generadas exclusivamente por los motores diésel estacionarios utilizados en las operaciones de la camaronera, tomando como base el consumo real de combustible y la aplicación de factores de emisión reconocidos internacionalmente. El estudio considera únicamente el CO₂ como gas de efecto invernadero, excluyendo otros contaminantes atmosféricos como NO_x, CO, material particulado o hidrocarburos no quemados.

Capítulo II

Marco referencial

2.1 Marco teórico

El marco teórico del proyecto para el inventario de emisiones de CO₂ basado en factores de emisión en una camaronera de Guayas, aborda varios conceptos clave relacionados con la estimación de emisiones en fuentes fijas.

2.1.1 *Conceptos preliminares*

Para comprender el alcance del inventario de emisiones de CO₂ en una camaronera, es necesario considerar conceptos preliminares asociados al marco teórico, tales como combustión diésel, consumo de combustible, factor de emisión e inventario de emisiones.

La combustión en motores diésel corresponde a un proceso de oxidación del combustible bajo altas presiones y temperaturas, que transforma la energía química en energía mecánica y térmica, liberando como subproducto dióxido de carbono, principal gas de efecto invernadero asociado a estas fuentes (IPCC, 2006).

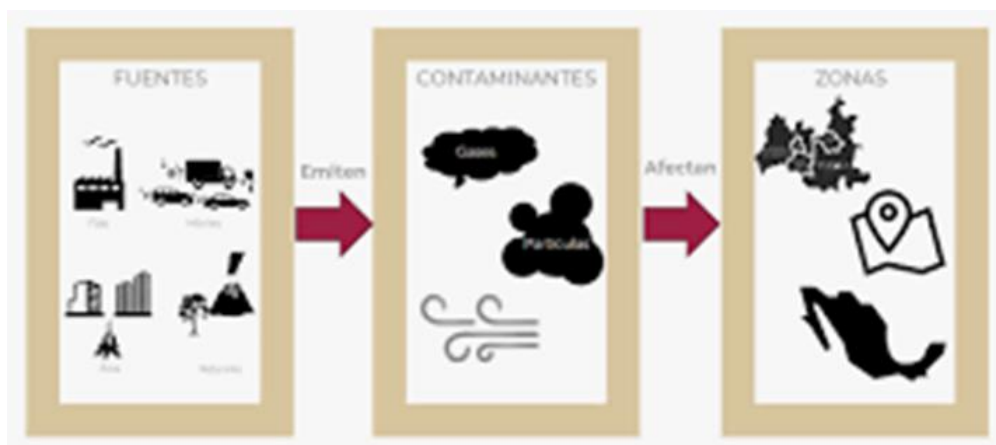
El consumo de combustible constituye el dato de actividad fundamental para estimar emisiones cuando no se dispone de mediciones directas, mientras que el factor de emisión permite relacionar cuantitativamente dicho consumo con la cantidad de CO₂ liberado por unidad de combustible utilizado. A partir de estos elementos, se estructura el inventario de emisiones (ver Figura 3), herramienta metodológica ampliamente utilizada para cuantificar y gestionar las emisiones de fuentes fijas y móviles, facilitando la evaluación del impacto ambiental de actividades productivas bajo lineamientos internacionales estandarizados (Estrella, 2024).

Estudios recientes destacan que los motores diésel utilizados en generación eléctrica y aplicaciones estacionarias presentan emisiones significativas de CO₂, NO_x y material particulado, siendo el CO₂ proporcional al consumo energético del sistema (kg CO₂ por unidad de energía o combustible).

Es así como investigaciones recientes señalan que los generadores diésel continúan siendo una fuente relevante de emisiones en sectores industriales, debido a su uso intensivo y eficiencia variable, lo que hace indispensable el uso de factores de emisión estandarizados para su cuantificación y control (Babamohammadi, 2025).

Figura 3

Inventario de emisiones



Fuente: (Semarnat, 2025).

2.1.2 Motores diésel y emisiones de CO₂

Los motores diésel operan bajo el principio de combustión por compresión, en el que el aire se comprime a altas presiones y temperaturas antes de inyectarse el combustible, lo que resulta en una combustión más completa y eficiente en comparación con motores de gasolina.

Sin embargo, esta combustión produce emisiones significativas de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y partículas. El dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero más prevalente entre los producidos por la combustión de combustibles fósiles, y su cuantificación precisa es fundamental para evaluar impactos ambientales (Babamohammadi, 2025).

2.1.3 Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero

Un inventario de emisiones es una compilación detallada de las emisiones liberadas a la atmósfera por una fuente o conjunto de fuentes en un periodo de tiempo y área geográfica

definidos y estas emisiones se estiman multiplicando datos de actividad por los respectivos factores de emisión para cada contaminante (Semarnat, 2025).

Los inventarios son la base para diseñar políticas de mitigación, planificación ambiental y cumplimiento de compromisos nacionales e internacionales, como el Acuerdo de París. En el caso de inventarios sectoriales, como transporte o energía, se utilizan metodologías estandarizadas para permitir comparabilidad y trazabilidad de datos (Méndez-Vallejo et al., 2025).

2.1.4 Inventarios sectoriales locales

En el contexto de los inventarios de emisiones, un factor de emisión es un valor característico que relaciona la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con una unidad de actividad asociada, lo cual permite estimar emisiones sin necesidad de mediciones directas de gases en chimenea (Anji Reddy Mareddy, 2017).

Los inventarios de emisiones constituyen una herramienta fundamental para cuantificar y gestionar las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero procedentes de fuentes fijas de combustión, como motores diésel industriales, al multiplicar la tasa de actividad por los factores de emisión correspondientes (US EPA, 2015).

La literatura técnica indica que esta metodología es ampliamente utilizada en investigaciones sobre emisiones atmosféricas industriales, ya que proporciona una estimación sistemática y replicable de las emisiones de contaminantes cuando no se dispone de datos de monitoreo continuo en sitio (Moscoso Vanegas et al., 2018).

Para el caso de motores diésel estacionarios, los factores de emisión permiten convertir el consumo de combustible en emisiones de CO₂, facilitando la elaboración de inventarios que pueden integrarse en sistemas de gestión ambiental o en reportes corporativos de sostenibilidad (Lu, 2024).

Estudios de inventarios sectoriales han demostrado que la aplicación de factores de emisión permite estimar emisiones totales y distribuidas por categorías de actividad. Por ejemplo, los inventarios en sectores de transporte han calculado las emisiones de CO₂ a partir del kilometraje recorrido y factores de emisión estandarizados, observando que los vehículos

a gasolina y diésel contribuyen en proporciones distintas según continente y tipo de combustible (Repositorioslatinoamericanos.uchile.cl, 2025).

2.1.5 Aplicación a fuentes industriales fijas

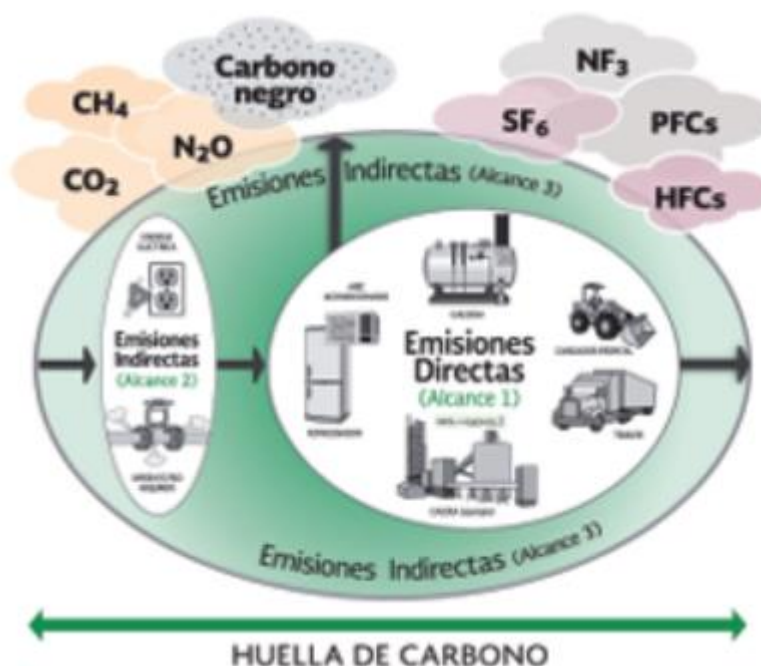
La estimación de emisiones de fuentes fijas como: generadores eléctricos y motores estacionarios se basa igualmente en multiplicar los datos de consumo por los factores de emisión.

La precisión del inventario depende de la representatividad de los factores de emisión respecto a la tecnología específica evaluada. Si bien estudios comparativos han explorado variaciones en emisiones asociadas a tipos de combustible como el diésel vs biodiésel, también indican que la relación estos factores está condicionada por el comportamiento y diseño del motor.

En la Figura 4 se pueden apreciar los siete gases de efecto invernadero, estos se originan en algunas fuentes fijas y es importante su control y monitoreo.

Figura 4

Los gases de efecto invernadero



Fuente: (Terotecnic.com, 2025)

Estudios publicados en revistas como Atmospheric Environment y Journal of Cleaner Production destacan que este enfoque permite caracterizar con mayor precisión las emisiones en instalaciones industriales puntuales, reduciendo la incertidumbre asociada al uso de datos agregados sectoriales y facilitando la implementación de estrategias de gestión ambiental y mitigación del cambio climático en sistemas productivos específicos (Ntziachristos & Samaras, 2016; Wang et al., 2019).

2.2 Marco conceptual

2.2.1 *Inventario de emisiones*

Recuento sistemático de las emisiones liberadas a la atmósfera por una fuente o conjunto de fuentes en un período y área determinados.

Es un registro sistemático y cuantificado de todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por una organización, territorio, proyecto o producto durante un periodo determinado. Constituye la base para la contabilidad climática, la fijación de objetivos de reducción y el reporte de sostenibilidad (Manglai.io, 2025).

Un inventario de emisiones es una herramienta metodológica que permite cuantificar los gases de efecto invernadero generados por una actividad o sistema.

Según el Greenhouse Gas Protocol y el IPCC, los inventarios basados en factores de emisión son ampliamente utilizados debido a su aplicabilidad y confiabilidad en contextos donde no se dispone de mediciones directas.

Estos inventarios son esenciales para la gestión ambiental, la formulación de políticas y la implementación de estrategias de mitigación (IPCC, 2006; GHG Protocol, 2015).

2.2.2 *Eficiencia energética y consumo de combustible*

La eficiencia energética en motores diésel está directamente relacionada con la cantidad de combustible necesario para generar una unidad de trabajo o energía. Investigaciones recientes indican que mejoras en la eficiencia operativa pueden reducir significativamente las emisiones de CO₂, ya que disminuyen el consumo específico de combustible (Heywood, 2018; Singh et al., 2022). En motores estacionarios, factores como la

carga, el mantenimiento y la calidad del combustible influyen directamente en su rendimiento energético.

2.2.3 Factor de emisión

Constante que relaciona la actividad, por ejemplo, consumo de combustible, con las emisiones de un contaminante específico como CO₂.

Un factor de emisión (FE) es un coeficiente que describe la tasa a la que una actividad determinada libera gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera.

También se les conoce como factores de conversión, intensidad de emisión e intensidad de carbono (www.climatiq.io, 2025).

En el caso de los motores diésel estacionarios, el factor de emisión depende principalmente del contenido de carbono del combustible y de la eficiencia del proceso de combustión. De acuerdo con lineamientos del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) y la United States Environmental Protection Agency (EPA, 2023), el factor de emisión para el diésel se considera relativamente constante en condiciones normales de operación, con un valor aproximado de 2,68 kg de CO₂ por litro de diésel.

Según algunos estudios científicos se ha demostrado que estos valores pueden variar ligeramente en función de la carga del motor, el mantenimiento, la tecnología utilizada y las condiciones operativas (Liu et al., 2019; Zhang et al., 2020)

2.2.4 Motor diésel

Los motores diésel, conocidos por su alta eficiencia y bajo costo operativo, se utilizan ampliamente en vehículos pesados. Sin embargo, sus emisiones contribuyen significativamente a la contaminación ambiental y representan riesgos para la salud.

En los últimos años, los esfuerzos globales se han centrado en mitigar los efectos negativos de las emisiones de los motores diésel en la salud humana y el medio ambiente.

Los generadores diésel emiten cantidades considerables de CO₂ y otros gases nocivos como óxido de nitrógeno, óxido de azufre, monóxido de carbono, hidrocarburos y material particulado (Jakhrani et al., 2012).

Figura 5*Motor diésel*

Fuente: (www.volgenpower.com, 2025).

2.2.5 Factores de emisión en motores diésel

Los factores de emisión son coeficientes que relacionan la cantidad de contaminante emitido con una actividad específica, como el consumo de combustible. En el caso de motores diésel estacionarios, estos factores se expresan comúnmente en kg de CO₂ por litro de diésel o por unidad de energía generada. Según la United States Environmental Protection Agency (EPA) y estudios indexados en Scopus, estos factores pueden variar en función de la tecnología del motor, su estado de mantenimiento y las condiciones de operación (EPA, 2023; Liu et al., 2019). Su aplicación es fundamental para la elaboración de inventarios de emisiones confiables.

2.2.6 Emisiones de CO₂

Las emisiones de dióxido de carbono o CO₂ son emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles y la fabricación de cemento; incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, así como la quema de gas.

Las emisiones se refieren a la liberación de gases de efecto invernadero y/o sus precursores a la atmósfera en un área y período de tiempo específicos.

2.2.7 Emisiones de CO₂ en motores diésel estacionarios

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en motores diésel estacionarios son el resultado directo de la combustión completa del carbono contenido en el combustible. En motores como los utilizados en sistemas de bombeo y generación eléctrica, el CO₂ es el principal gas de efecto invernadero emitido. De acuerdo con el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), las emisiones de CO₂ son proporcionales al consumo de combustible y al contenido de carbono del diésel, lo que permite su estimación mediante factores de emisión estandarizados (IPCC, 2006; IPCC, 2021). Estudios recientes en revistas como Energy y Journal of Cleaner Production destacan que los motores estacionarios representan una fuente significativa de emisiones en sectores industriales y agroproductivos.

2.2.8 Motores Cummins

Los motores Cummins son diseñados y fabricados por Cummins Corporation. Tienen una cilindrada de 1,4 a 91 litros y un rango de potencia de 31 a 3500 caballos de fuerza. Se utilizan ampliamente en vehículos de carretera como camiones pesados, camiones medianos, autobuses, vehículos recreativos, vehículos comerciales ligeros y camionetas pickup, así como en maquinaria de construcción y minería, maquinaria agrícola, barcos y equipos todoterreno como ferrocarriles.

Un motor Cummins se caracteriza por su máximo rendimiento, bajo consumo de combustible y poco ruido o vibraciones en su funcionamiento, razones por las que es uno de los motores más solicitados en la actualidad (Fotontunland.com, 2025).

Estos motores, especialmente en condiciones de carga parcial o mantenimiento deficiente, pueden presentar mayores niveles de emisiones contaminantes (NO_x, CO₂ y material particulado) (Zhang et al., 2020; Rahman et al., 2021).

2.2.9 Sostenibilidad en el sector acuícola

El sector acuícola, y en particular la industria camaronera, enfrenta crecientes desafíos en términos de sostenibilidad ambiental. Estudios publicados en Aquaculture y Journal of Environmental Management señalan que el consumo energético y las emisiones

asociadas a motores diésel representan una parte importante de la huella ambiental del sector (Bohnes et al., 2019; Cao et al., 2021). En este sentido, la cuantificación de emisiones mediante inventarios permite identificar oportunidades de mejora y promover prácticas más sostenibles.

Capítulo III

Metodología

El presente capítulo describe de manera detallada la metodología empleada para el desarrollo del inventario de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) generado por los motores diésel utilizados en una camaronera de la provincia del Guayas.

Se establece el enfoque de investigación, el tipo y diseño metodológico, así como las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección y análisis de datos.

La metodología se fundamenta en un enfoque cuantitativo basado en el uso de factores de emisión, conforme a lineamientos internacionales, lo que permite estimar de manera confiable las emisiones asociadas al consumo de combustible.

También se detalla el procedimiento paso a paso seguido para identificar el consumo real de diésel en los motores Cummins, aplicar los factores de emisión correspondientes y calcular el inventario de emisiones por periodo productivo.

3.1 Enfoque y tipo de investigación

El estudio se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, debido a que se basa en la medición y cálculo de variables numéricas (consumo de combustible y emisiones de CO_2).

El tipo de investigación es aplicada y descriptiva, ya que busca cuantificar emisiones reales y caracterizar su comportamiento en función de la operación de los motores diésel.

3.2 Diseño metodológico

Se emplea un diseño no experimental y transversal, dado que no se manipulan variables y los datos se recolectan en condiciones reales de operación durante un periodo productivo específico.

3.3 Variables de estudio

Las variables de estudio (Tabla 1) definidas en el presente proyecto permiten establecer la relación cuantitativa entre el consumo de combustible y las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) generadas por los motores diésel de la camaronera.

Como variable independiente se considera el consumo de diésel, expresado en litros (L), el cual representa la actividad principal que origina las emisiones. Como variable

dependiente se establece la cantidad de emisiones de CO₂, medida en kilogramos (kg), resultado directo del proceso de combustión.

Adicionalmente, se incorpora el factor de emisión como una variable constante, con un valor referencial de 2,68 kg CO₂/L, basado en lineamientos internacionales, el cual permite transformar el consumo de combustible en emisiones equivalentes.

La interacción entre estas variables posibilita la aplicación de un modelo matemático sencillo pero robusto, facilitando la cuantificación del impacto ambiental asociado a la operación de los motores diésel en condiciones reales de funcionamiento.

Tabla 1

Variables de estudio

Variable	Tipo	Unidad
Consumo de diésel	Independiente	Litros (L)
Factor de emisión	Constante	kg CO ₂ /L
Emisiones de CO ₂	Dependiente	kg CO ₂

Nota. Esta tabla se observa cuáles son las variables controladas y cuál es la variable independiente.

3.4 Población y unidad de análisis

- Población: Equipos diésel de la camaronera
- Unidad de análisis: Motores diésel estacionarios (marca Cummins) utilizados en:
Bombeo de agua
Generación eléctrica
Sistemas auxiliares

3.5 Fuentes de información

3.5.1 Primarias

- Registros de consumo de combustible
- Horas de operación de motores
- Fichas técnicas de motores Cummins.

3.5.2 Secundarias

- Factores de emisión (IPCC, EPA)
- Literatura científica indexada.

3.6 Metodología de cálculo

Se utiliza el método de factores de emisión, recomendado por IPCC y EPA:

$$\text{Emisiones de } CO_2 = \text{Consumo de diésel} \times \text{Factor de emisión}$$

Donde:

- Factor de emisión diésel $\approx 2,68 \text{ kg } CO_2/L$

3.7 Procedimiento

3.7.1 Identificación de equipos

- Realizar un inventario físico de los motores diésel Cummins:

Modelo

Potencia (kW o HP)

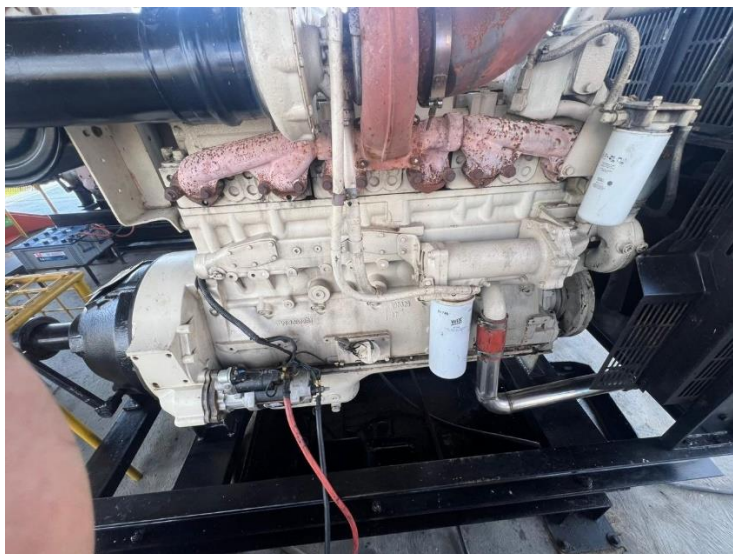
Año de fabricación

Tipo de uso (bomba, generador, etc.)

- Clasificar los motores según su función operativa.
- Registrar las horas de operación por día/semana.

Figura 6

Motor Cummins



En las Tablas 2 y 3 se muestran las especificaciones del motor. Los valores pueden presentar ligeras variaciones dependiendo de la calibración y aplicación específica del fabricante.

Tabla 2

Especificaciones técnicas del motor diésel Cummins 6BT 5.9 L (2010) (a)

Parámetro	Especificación Técnica
Fabricante	Cummins Inc.
Modelo	6BT 5.9
Año de fabricación	2010
Tipo de motor	Diésel de cuatro tiempos, encendido por compresión
Aplicación	Motor estacionario para bombeo, generación eléctrica y aplicaciones industriales
Configuración	6 cilindros en línea
Cilindrada	5.9 L (5 883 cm ³)
Diámetro × Carrera	102 mm × 120 mm
Relación de compresión	17.3:1
Sistema de aspiración	Turboalimentado
Sistema de inyección	Inyección mecánica directa (Bosch P7100 o equivalente, según configuración)
Orden de encendido	1-5-3-6-2-4
Potencia nominal	160–210 hp (119–157 kW), según calibración
Velocidad nominal	2 500 rpm
Torque máximo	610–745 N·m
Régimen de torque máximo	1 500–1 700 rpm

Nota. Esta tabla se observa las especificaciones técnicas del motor

Tabla 3

Especificaciones técnicas del motor diésel Cummins 6BT 5.9 L (2010) (b)

Parámetro	Especificación Técnica
Sistema de inyección	Inyección mecánica directa (Bosch P7100 o equivalente, según configuración)
Orden de encendido	1-5-3-6-2-4
Potencia nominal	160–210 hp (119–157 kW), según calibración
Velocidad nominal	2 500 rpm
Torque máximo	610–745 N·m
Régimen de torque máximo	1 500–1 700 rpm
Combustible	Diésel N.º 2
Consumo específico de combustible	205–225 g/kWh
Sistema de refrigeración	Refrigeración por agua
Capacidad del sistema de lubricación	16.4 L
Capacidad del sistema de refrigeración	22–26 L
Peso aproximado (seco)	500–540 kg
Norma de emisiones	EPA Tier 2 / equivalente (según configuración)
Sentido de giro	Horario (visto desde el volante)
Método de arranque	Motor de arranque eléctrico de 24 V
Aplicación en la camaronera	Accionamiento de bombas hidráulicas, sistemas de aireación y grupos electrógenos

Nota. Esta tabla se observa las especificaciones técnicas del motor

3.7.2 Determinación del consumo de combustible

Para garantizar la confiabilidad de los resultados, las mediciones fueron realizadas bajo condiciones controladas de temperatura, régimen de funcionamiento, calidad del

combustible y procedimientos estandarizados de ensayo, permitiendo comparar objetivamente el comportamiento del motor durante la prueba.

- Recopilar registros históricos de consumo de diésel:

Facturas

Bitácoras

Tanques de almacenamiento

- Calcular el consumo real por motor:

Consumo diario (L/día)

Consumo mensual (L/mes)

Consumo por ciclo productivo

- Validar datos mediante:

Consumo específico (L/h)

Comparación con ficha técnica Cummins.

Figura 7

Medición del consumo



Figura 8*Ficha Técnica*

El control del tipo de combustible y de las condiciones de operación permite reducir la influencia de variables externas sobre el consumo de diésel (Tabla 4). De esta forma, las diferencias observadas entre motores o entre diferentes jornadas de trabajo reflejan

principalmente las características operativas del equipo (carga, régimen de giro, tiempo de operación y eficiencia), aumentando la validez y confiabilidad de los resultados.

Tabla 4

Tipo de combustible y de las condiciones de operación

Variable de control	Indicador	Unidad	Método de control
Tipo de combustible	Diésel comercial	Cualitativa	Mismo proveedor y mismo tipo de diésel durante todas las pruebas
Condición del motor	Estado mecánico	Cualitativa	Mantenimiento preventivo vigente según fabricante
Temperatura del motor	Temperatura refrigerante	del °C	Motor estabilizado antes de iniciar la medición
Lubricante	Tipo y viscosidad	SAE	Igual especificación en todos los motores
Instrumentación	Calibración	Certificado	Verificación previa de los equipos de medición
Condiciones ambientales	Temperatura, humedad y presión atmosférica	°C, %, kPa	Registro durante cada ensayo
Ciclo de operación	Perfil de trabajo	Descriptivo	Misma actividad representativa durante las mediciones

Nota. Esta tabla se observa las especificaciones técnicas del combustible

3.7.3 Aplicación de factores de emisión

- Seleccionar el factor de emisión:

IPCC / EPA → 2,68 kg CO₂/L

El IPCC y la EPA utilizan 2,68 kg CO₂/L porque representa un factor promedio internacional para diésel automotriz.

- Verificar consistencia:

Mismo tipo de combustible (diésel 2- Petroecuador)

Condiciones estándar. Contenido de Azufre, índice de cetano (Ver Figura 10).

Figura 9*Diesel de la estación de servicio***Figura 10***Especificaciones del combustible diésel tipo 2*

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
Φ Contenido de agua y sedimento	%	-	0,05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
W contenido de cenizas	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	2,0	5,0	NTE INEN 810
W contenido de azufre	%	-	0,7	ASTM D4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiésel, $\Phi_{\text{Biodiésel}}$	%	--- Nota	5	EN 14078

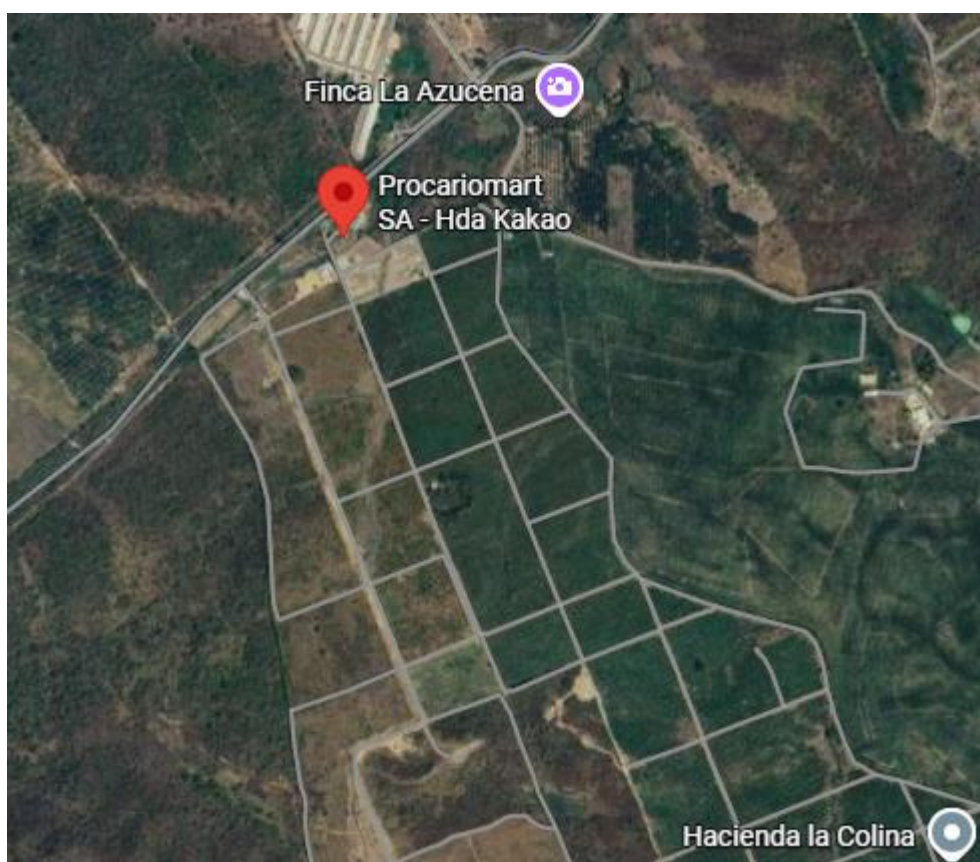
NOTA: De no contener biodiesel, no es necesario la realización de este ensayo.

Condiciones ambientales de ensayo: Las mediciones del caudal y del consumo de combustible se realizan bajo condiciones ambientales representativas de la zona de estudio, correspondiente a una camaronera ubicada en el cantón Guayaquil, provincia del Guayas (Figura 11).

Durante las pruebas se considera una temperatura ambiente promedio de 29 ± 2 °C, una humedad relativa de 78 ± 7 %, una presión atmosférica de 1012 ± 3 hPa y una altitud aproximada de 5 m sobre el nivel del mar. Estas variables se registran durante cada ensayo con el fin de verificar que las condiciones de operación permanecieran dentro de rangos similares y minimizar su influencia sobre el consumo específico de combustible.

Figura 11

Ubicación de la camaronera



Durante el ensayo, el motor se mantiene operando bajo condiciones de carga definidas y el caudalímetro registra de forma continua el combustible suministrado, permitiendo obtener valores instantáneos y promedios de consumo.

El caudal de combustible del motor se determina mediante un medidor de caudal instalado en el circuito de alimentación del sistema de inyección (Figura 12). El equipo registra continuamente el volumen de diésel que circuló hacia el motor durante el período de ensayo.

Figura 12*Procedimiento de la prueba***3.7.4 Cálculo de emisiones de CO₂**

Calcular emisiones por motor.

$$E_i = C_i \times FE$$

Donde:

- E_i : emisiones del motor i
- C_i : consumo de diésel
- FE : factor de emisión

Calcular emisiones totales:

$$E_{total} = \sum E_i$$

3.8 Inventario de emisiones de CO₂ por periodo productivo**3.8.1 Definición del periodo productivo**

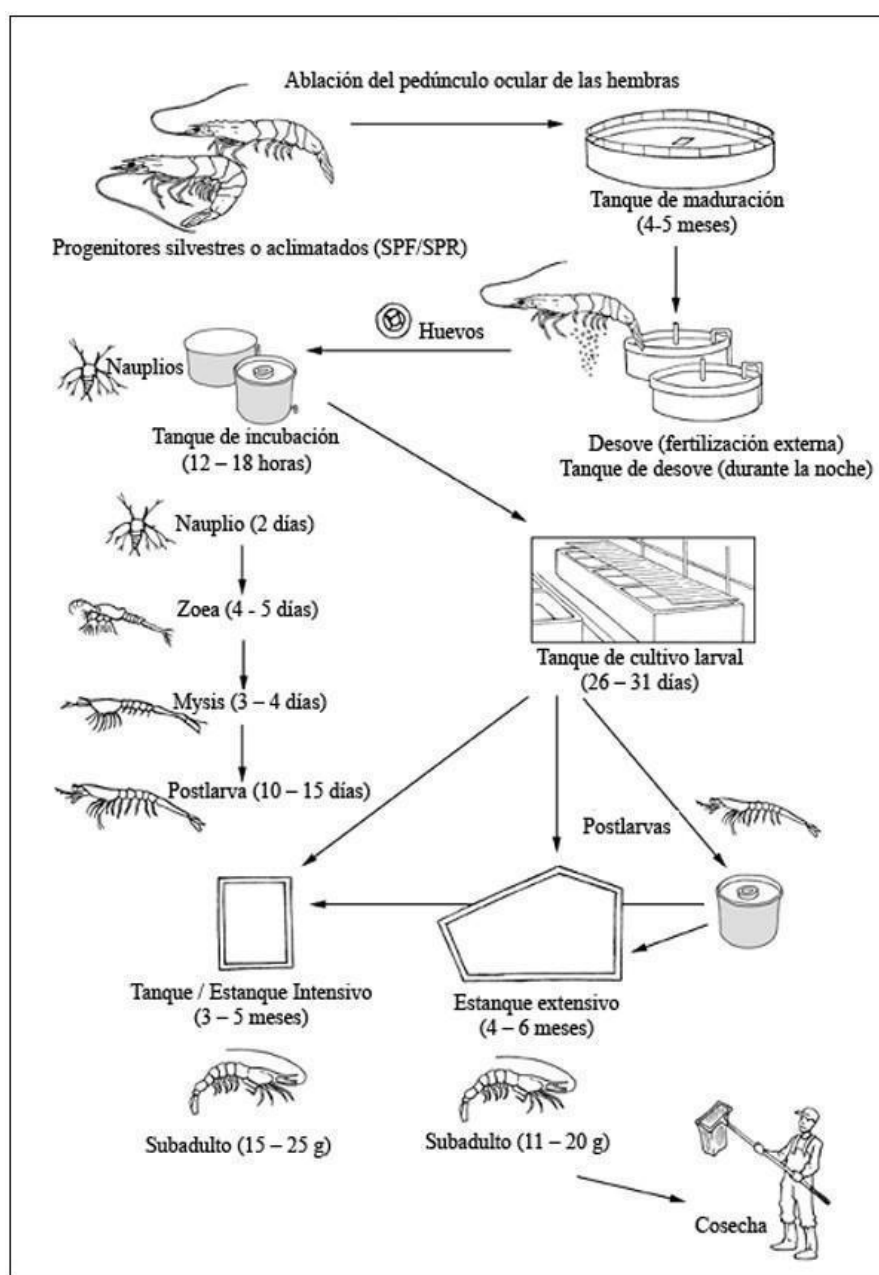
El periodo productivo en una camaronera corresponde al ciclo completo de cultivo del camarón, el cual generalmente oscila entre 90 y 120 días. Este periodo constituye la base

temporal para la cuantificación de emisiones, ya que integra todas las actividades operativas donde intervienen los motores diésel.

El periodo productivo en una camaronera (Figura 13) abarca desde la preparación de las piscinas hasta la cosecha. En zonas de alta producción como Guayaquil, Ecuador, el ciclo completo de engorde dura entre 95 y 120 días (3 a 4 meses) para alcanzar una talla comercial de 12 a 30 gramos.

Figura 13

Periodo productivo en una camaronera



Fuente: (www.fao.org, 2026).

3.8.2 Registro de resultados

- Identificar:

Motor con mayor consumo.

Fuente principal de emisiones.

- Determinar indicadores:

kg CO₂/ha.

kg CO₂/ton de producción.

- Comparar con literatura científica.

3.9 Presentación de resultados

3.9.1 Sistematización

- Tablas comparativas.
- Revisar coherencia de datos: Consumo vs horas de operación.
- Interpretación técnica de resultados.

Capítulo IV

Resultados y discusión

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología basada en factores de emisión para cuantificar las emisiones de CO₂ generadas por los motores diésel en la camaronera. Los datos analizados corresponden al consumo de combustible durante un periodo productivo completo, permitiendo establecer un inventario detallado de emisiones y evaluar el impacto ambiental asociado a la operación de los equipos.

4.1 Resultados del consumo de combustible

El análisis del consumo de diésel evidenció diferencias significativas entre los motores evaluados, principalmente en función de su uso operativo. Los motores destinados al bombeo de agua presentaron los mayores niveles de consumo debido a su funcionamiento continuo durante el ciclo productivo, mientras que los generadores eléctricos registraron un uso intermitente.

El consumo energético está directamente condicionado por la demanda operativa del sistema acuícola, siendo el bombeo el proceso más intensivo.

4.1.1 Caudal de bombeo

La bomba suministra:

$$Q = 3\,200 \text{ m}^3/h$$

Renovación diaria del agua.

Se considera una renovación del 10 % del volumen.

Volumen diario requerido:

$$150\,000 \times 0.10$$

$$15\,000 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tiempo diario de bombeo:

$$T = \frac{\text{Volumen}}{\text{Caudal}}$$

$$T = \frac{15\,000}{3\,200}$$

$$T = 4.68 \text{ h/día}$$

Es decir, 4 h 41 min diarios.

Consumo diario de combustible:

$$Comb = L/h \times h$$

$$38 \times 4.41$$

$$167.5 \text{ L/día}$$

Consumo durante el ciclo productivo.

Para un ciclo de 100 días:

$$167.5 \times 100$$

$$16750 \text{ L}$$

4.1.2 *Piscina para camarones*

Generalmente rectangulares o cuadradas, con extensiones que van de 1 a 10 hectáreas. La profundidad varía entre 1.0 y 1.5 metros para facilitar la oxigenación y mantener una temperatura homogénea (Tabla 5).

Tabla 5

Características de la piscina

Parámetro	Valor
Área de la piscina	10 ha
Dimensiones aproximadas	500 m × 200 m
Profundidad promedio	1,50 m
Volumen de agua	150 000 m ³
Sistema de cultivo	Semi-intensivo
Duración del ciclo	100 días
Producción esperada	14 400 kg de camarón
Rendimiento	1 800 kg/ha/ciclo

Nota. Esta tabla se observa las especificaciones de la piscina

Figura 14*Piscina para camaronera***4.1.3 Consumo de combustible**

Para el caso de la camaronera, el consumo de combustible se obtiene mediante registros operativos del motor.

A continuación, se presenta los datos obtenidos del motor diésel Cummins 6BT 5.9 L (180 HP) utilizado para accionar una bomba de agua en una camaronera, con los datos de operación industrial.

Tabla 6*Registro de consumo de combustible del motor Cummins 6BT 5.9 L*

Fecha	Horas de operación (h)	Carga promedio (%)	Combustible consumido (L)	Consumo horario (L/h)
Día 1	10	70	78	7,8
Día 2	12	75	96	8,0
Día 3	9	65	69	7,7
Día 4	11	80	92	8,4
Día 5	10	72	81	8,1
Día 6	12	78	101	8,4
Día 7	8	68	62	7,8
Total	72	—	579	8,04

Cálculo del consumo promedio

El consumo horario promedio se determina mediante:

$$c_h = \frac{\sum C}{\sum H}$$

Donde:

Ch= consumo horario promedio (L/h)

$\sum C$ = consumo de combustible (L)

$\sum H$ = horas de operación (h)

Sustituyendo:

$$c_h = \frac{579}{72} = 8.04 \text{ L/h}$$

Si el motor trabaja 10 horas diario durante 30 días, el consumo mensual es:

$$C_m = 8.04 \times 10 \times 30$$

$$C_m = 2412 \text{ L/mes}$$

Consumo anual estimado:

$$C_a = 2412 \times 12$$

$$C_a = 28\,944 \text{ L/año}$$

Posteriormente, este valor puede emplearse para calcular las emisiones mediante:

$$\text{Emisiones de } CO_2 = \text{Consumo diésel} \times \text{Factor de emisión}$$

Utilizando el factor recomendado por el IPCC:

$$2.68 \text{ kg } CO_2 / \text{L}$$

Por lo tanto, las emisiones anuales son:

$$28\,944 \times 2.68 = 77\,570 \text{ kg } CO_2 / \text{año}$$

$$77.57 \text{ toneladas de } CO_2 / \text{año}$$

4.1.4 Interpretación

El análisis evidencia que el motor Cummins 6BT 5.9 L presenta un consumo promedio de 8,04 L/h bajo una carga aproximada del 70–80 %, valor que se encuentra dentro del rango reportado por Cummins para aplicaciones estacionarias de bombeo. Este consumo constituye el dato de actividad requerido para la estimación del factor de emisión de CO₂ y la elaboración del inventario de emisiones de la camaronera.

4.2 Cálculo completo con los valores representativos para un motor Cummins

El motor diésel Cummins opera 6 horas durante el día y 4 horas durante la noche, el tiempo total de funcionamiento es:

$$T = 6 + 4 = 10 \text{ h/día}$$

A continuación, se desarrolla el cálculo completo utilizando valores representativos para un motor Cummins de aproximadamente 250 HP con un consumo promedio de 38 L/h.

4.3 Datos de entrada

Esta concordancia valida el uso de las tarjetas como un método preliminar de diagnóstico.

Tabla 7

Especificaciones de la piscina

Parámetro	Valor
Área de la piscina	10 ha
Producción estimada	14 400 kg/ciclo
Duración del ciclo	100 días
Potencia del motor	250 HP
Consumo específico medido	38 L/h
Horas de operación diurna	6 h
Horas de operación nocturna	4 h
Total de funcionamiento	10 h/día
Factor de emisión del diésel	2, 68 kg CO ₂ /L

Nota. Esta tabla se observa las especificaciones de la piscina.

4.3.1 **Consumo diario de combustible**

Se aplica:

$$C_d = C_h \times T$$

donde:

- C_d = consumo diario (L/día)
- C_h = consumo horario (L/h)
- T = horas de funcionamiento (h)

Sustituyendo:

$$C_d = 38 \times 10$$

$$C_d = 380 \text{ L/día}$$

El consumo diario = 380 L de diésel

4.3.2 **Consumo mensual**

Suponiendo un mes de 30 días:

$$C_m = 380 \times 30$$

$$C_m = 11\,400 \text{ L}$$

4.3.3 **Consumo durante un ciclo productivo**

Para un ciclo de producción de 100 días:

$$C_c = 380 \times 100$$

$$C_c = 38\,000 \text{ L}$$

4.3.4 **Emisiones diarias de CO₂**

La ecuación es:

$$CO_2 = C \times FE$$

donde:

- $FE = 2.68 \text{ kgCO}_2/\text{L}$

Entonces:

$$380 \times 2.68$$

$$1\,018,4\text{ kgCO}_2/\text{día}$$

o

$$1,018\text{ tonCO}_2/\text{día}$$

4.3.5 **Emisiones mensuales**

$$11\,400 \times 2.68$$

$$30\,552\text{ kgCO}_2$$

$$30,55\text{ tonCO}_2$$

4.3.6 **Emisiones durante el ciclo productivo**

$$38\,000 \times 2.68$$

$$101\,840\text{ kg de CO}_2$$

$$101,84\text{ ton de CO}_2$$

4.3.7 **Emisiones por kilogramo de camarón producido**

Producción del ciclo:

$$14\,400\text{ kg}$$

$$\frac{101\,840}{14\,400}$$

$$7,07\text{ kgCO}_2/\text{kg de camarón}$$

4.4 **Discusión de resultados**

Los resultados obtenidos son consistentes con estudios internacionales que indican que los motores diésel estacionarios representan una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas productivos. Investigaciones publicadas en revistas indexadas (como Energy y Journal of Cleaner Production) señalan que el consumo de combustible es el principal determinante de las emisiones de CO₂, lo cual coincide con los hallazgos de este estudio.

Asimismo, se confirma que los motores operando en condiciones prolongadas, como los sistemas de bombeo en camaroneras, presentan mayores impactos ambientales debido a su alta demanda energética. Este comportamiento ha sido reportado en estudios del sector

acuícola, donde el consumo energético representa uno de los principales contribuyentes a la huella de carbono.

Por otro lado, la utilización de factores de emisión estandarizados demuestra ser una metodología confiable para la estimación de emisiones, especialmente en contextos donde no se dispone de equipos de medición directa. Sin embargo, es importante considerar que la precisión de los resultados puede verse afectada por variaciones en las condiciones operativas de los motores.

Tabla 8

Resumen de resultados

Concepto	Valor
Horas de funcionamiento diurno	6 h
Horas de funcionamiento nocturno	4 h
Total de funcionamiento	10 h/día
Consumo horario	38 L/h
Consumo diario	456 L/día
Consumo mensual	11 140 L
Consumo por ciclo (100 días)	38 000 L
Emisiones diarias	1,018 t CO ₂
Emisiones mensuales	30,54 t CO ₂
Emisiones por ciclo	101,84 t CO ₂
Producción de camarón	14,4 t
Intensidad de emisiones	7,07 kg CO ₂ /kg de camarón

4.5 Interpretación técnica de resultados

Con un régimen de operación de 10 horas diarias, el motor consume aproximadamente 380 L de diésel por día, lo que equivale a 38 000 L durante un ciclo de

producción de 100 días. Aplicando el factor de emisión de 2,68 kg CO₂/L, se obtiene un inventario de 101,84 t de CO₂ para el ciclo. Este resultado representa únicamente las emisiones asociadas al consumo de combustible del motor de bombeo.

No obstante, una producción de 14,4 t de camarón genera una intensidad de emisiones de 7,07 kg CO₂/kg, un valor superior al reportado en muchas explotaciones semi-intensivas. Esto sugiere que existe un desbalance entre el tiempo de operación del motor y la producción obtenida. En una camaronera donde el bombeo opera 10 horas diarias, es más habitual que el sistema abastezca varias piscinas o que la producción total del ciclo sea considerablemente mayor (por ejemplo, 40–80 t de camarón), reduciendo así la intensidad de emisiones por kilogramo producido.

Por eso conviene que el inventario se base en la producción total atendida por el sistema de bombeo y no únicamente en una piscina individual, ya que así se representa de forma más fiel la operación real de una estación de bombeo en una camaronera.

Conclusiones

En cumplimiento del objetivo general, se logró establecer un inventario de emisiones de CO₂ para la camaronera de la provincia del Guayas mediante la aplicación de factores de emisión, permitiendo cuantificar de manera sistemática el impacto ambiental generado por los motores diésel durante un periodo productivo.

En relación con el primer objetivo específico, se identificó el consumo real de combustible de los motores diésel Cummins, evidenciando que los equipos destinados al bombeo de agua presentan los mayores niveles de consumo debido a su operación continua, constituyéndose como la principal fuente de emisiones dentro del sistema productivo.

Respecto al segundo objetivo específico, se aplicaron correctamente los factores de emisión de CO₂ basados en lineamientos internacionales, lo que permitió transformar los datos de consumo de diésel en emisiones equivalentes, confirmando una relación directa y proporcional entre ambas variables.

En cumplimiento del tercer objetivo específico, se calculó el inventario de emisiones de CO₂ por periodo productivo, determinando la contribución individual de cada motor y el total de emisiones generadas, lo cual proporciona una base técnica sólida para la gestión ambiental.

De manera general, se concluye que la dependencia del uso de motores diésel en la camaronera representa un factor crítico en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero, evidenciando la necesidad de implementar medidas orientadas a la reducción del consumo de combustible.

Recomendaciones

En función del objetivo general, se recomienda implementar el inventario de emisiones como una herramienta permanente de gestión ambiental, permitiendo monitorear y controlar las emisiones de CO₂ en futuros periodos productivos.

En relación con el consumo de combustible, se sugiere optimizar la operación de los motores diésel, especialmente en los sistemas de bombeo, mediante la programación eficiente de horarios de funcionamiento y la reducción de tiempos innecesarios de operación.

Se recomienda establecer un programa de mantenimiento preventivo para los motores diésel Cummins, con el fin de mejorar su eficiencia energética y reducir el consumo de combustible, lo cual impactará directamente en la disminución de emisiones.

Considerando la aplicación de factores de emisión, se sugiere en futuras investigaciones incorporar mediciones directas de emisiones, lo que permitiría mejorar la precisión del inventario y reducir la incertidumbre asociada a factores genéricos.

Referencias

- Chávez Guillén, F. J., & Yong Vásconez, J. G. (2022). Influencia de la Implementación de un Catalizador en las Emisiones Generadas por un Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli M1200 (Doctoral dissertation, QUITO/UIDE/2022).
- Estrella-Guayasamín, M., Vivar Quiroz, V., Delgado Quinto, A., & Gomez Berrezueta, F. (2024, July). Effect of Oxyhydrogen Gas (HHO) Addition on Fuel Consumption of M2 Category Vehicle by Road Tests. In International Conference on Science, Technology and Innovation for Society (pp. 227-237). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC.
- IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2 Energy. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Lu, M., Luo, Z., Cang, Y., Zhang, N., & Yang, L. (2024). Methods for calculating building-embodied carbon emissions for the whole design process. *Fundamental Research*.
- Méndez-Vallejo, C., Moreno, M., Ramírez, R., Borges, P., Blanca, J., Delgado, F., Cabeza, M., & Masea, T. (2025). Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero e impulsores de la emisión del sector de energía en Venezuela. *SciELO*.
- Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2016). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. European Environment Agency.
- Ramírez-Velasco, C., Pérez, D., Pereira, R., & Bolaños-Alomía, F. (2021). Análisis comparativo de emisiones de CO₂ de un motor empleando diésel y biodiésel. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*.
- Wang, H., Zhang, Y., Zhao, H., Lu, X., Zhang, Y., & Wang, S. (2019). Quantitative assessment of emission inventory uncertainty in stationary combustion sources. *Journal of Cleaner Production*, 213, 1394–1406. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.202>.
- Wakiru, J. M., & Pintelon, L. (2020). A review on lubricant condition monitoring information analysis for maintenance decision support. *Journal of Manufacture and Maintenance*

Studies. (Revisiones recientes muestran tendencias en monitoreo de condición aplicado a análisis de lubricantes).

Wei, L., Duan, H., Jin, Y., et al. (2021). Motor oil degradation during urban cycle road tests.

Friction, 9, 1002

–1011. <https://doi.org/10.1007/s40544-020-0386-z>

Wolak, A., Krasodonski, W., & Zając, G. (2020). Assessment of used engine oils using FTIR spectroscopy and viscosity measurements. Friction, 8(5), 923–934.

<https://doi.org/10.1007/s40544-019-0344-9>.