



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA
LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO
DE PRODUCTOS CÁRNICOS**

Katherine Aleyda Lara Hernández

Asesorada por el M.A. Ing. Carlos Vinicio Godínez Miranda

Guatemala, enero de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA
LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO
DE PRODUCTOS CÁRNICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KATHERINE ALYEDA LARA HERNÁNDEZ

ASESORADA POR EL M.A. ING. CARLOS VINICIO GODÍNEZ MIRANDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

GUATEMALA, ENERO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Dr. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.24.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS CÁRNICOS**, presentado por: **Katherine Aleyda Lara Hernandez** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 28/01/2024 11:17:42
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, enero de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 24 CUI: 1938436410101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad



EEPFI-PP-1850-2023

Guatemala, 21 de octubre de 2023

Director
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Escuela De Ingeniería Química
Presente.

Estimado Mtro. Álvarez

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS CÁRNICOS**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y manejo ambiental - Estimación de huellas ecológicas y medidas de mitigación**, presentado por la estudiante **Katherine Aleyda Lara Hernández** carné número **201025412**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Energía Y Ambiente.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

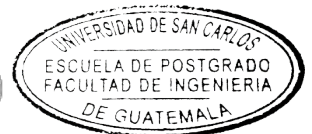
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Carlos Vinicio Codinez Miranda
Asesor(a)

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría

Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Oficina Virtual





EEP-EIQ-1640-2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Quimica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS CÁRNICOS**, presentado por el estudiante universitario **Katherine Aleyda Lara Hernández**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Mtro. Williams Guillermo Álvarez Mejía; Mg.I.Q., M.U.I.E.
Director
Escuela De Ingenieria Quimica

Guatemala, octubre de 2023

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS CÁRNICOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Química,
con fecha 28 de octubre de 2023.



Katherine Aleyda Lara Hernández

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Mi Padre.

Mis padres

Hugo Lara y Aleyda Hernández.

Mis hermanas

Madelin y Valeri Lara.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por ser mi casa de estudios y ayudarme a ser un buen profesional.

Mis padres Por brindarme lo necesario para seguir adelante.

Mis hermanas Por apoyarme y estar a mi lado.

Mi asesor Por asesorarme y guiarme.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES	IV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3.1. Contexto general	11
3.2. Descripción del problema	11
3.3. Formulación del problema	13
3.3.1. Pregunta central	13
3.3.2. Preguntas auxiliares	13
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	17
5.1. General.....	17
5.2. Específicos	17
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	19
7. MARCO TEÓRICO.....	21
7.1. Atmósfera	21
7.1.1. Composición de la atmósfera	21
7.2. Contaminación atmosférica	22
7.2.1. Clasificación de los contaminantes atmosféricos....	22
7.2.1.1. Según su origen.....	22
7.2.1.2. Según su naturaleza.....	23
7.2.1.3. Según su procedencia y reactividad química	23
7.2.2. Contaminantes primarios.....	23
7.2.3. Contaminantes secundarios	23

7.2.4.	Fuentes de contaminación atmosférica	24
7.2.4.1.	Fuentes puntuales	24
7.2.4.2.	Fuentes móviles	24
7.2.4.3.	Fuentes de área	24
7.2.4.4.	Fuentes naturales o biogénicas.....	25
7.3.	Consecuencias de la contaminación atmosférica	25
7.4.	Vulnerabilidad al cambio climático en Guatemala.....	25
7.4.1.	Efectos del cambio climático en la industria de Guatemala.....	26
7.5.	Huella de carbono	27
7.5.1.	Gases de efecto invernadero (GEI).....	27
7.5.1.1.	Dióxido de carbono (CO ₂)	27
7.5.1.2.	Metano (CH ₄)	28
7.5.1.3.	Óxidos nitrosos (N ₂ O).....	28
7.5.1.4.	Gases fluorados	28
7.6.	Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC)	28
7.7.	Potencial de calentamiento global.....	29
7.8.	Dióxido de carbono equivalente	29
7.9.	Metodologías para cuantificar la huella de carbono	29
7.9.1.	Norma ISO 14064	30
7.9.1.1.	Metodología ISO 14064	31
7.9.1.1.1.	Definición de límites	31
7.9.1.1.2.	Selección del año base	33
7.9.1.1.3.	Identificación de emisiones	33
7.9.1.1.4.	Cuantificación de las emisiones	33
7.9.2.	GHG Protocol	34

7.9.2.1.	Determinación de los límites operacionales	35
7.9.2.2.	Determinación de los límites organizacionales.....	35
7.9.2.3.	Establecimiento del año base	35
7.9.2.4.	Cuantificación de emisiones	36
7.9.3.	PAS 2050.....	37
7.9.3.1.	Creación de un mapa de procesos (diagrama de flujo).....	37
7.9.3.2.	Definición de límites y priorización.....	38
7.9.3.3.	Recopilación de datos	38
7.9.3.4.	Cálculo de la huella	38
7.9.3.5.	Disminución de la incertidumbre	39
7.10.	Compensación de la huella de carbono	39
7.11.	Neutralidad cero	39
7.12.	Plan de gestión de emisiones atmosféricas.....	40
8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	43
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	45
10.	METODOLOGÍA.....	49
10.1.	Características del estudio	49
10.2.	Variables.....	49
10.3.	Fases de estudio	51
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	65
12.	CRONOGRAMA.....	67
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	69
	REFERENCIAS	71
	APÉNDICES	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Relación entre las partes de la Norma ISO 14064	31
Figura 2.	Clasificación de emisiones	32
Figura 3.	Principios básicos de GHG Protocol.....	34
Figura 4.	Alcances de GHG Protocol.....	36

TABLAS

Tabla 1.	Variables en estudio	50
Tabla 2.	Definición de alcances a incluirse en la investigación	52
Tabla 3.	Comparativa de estándares y/o guías para la medición de huella de carbono	55
Tabla 4.	Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero	56
Tabla 5.	Registro de consumo de recursos	58
Tabla 6.	Factor de emisión y potencial de calentamiento global	59
Tabla 7.	Cronograma de actividades.....	67
Tabla 8.	Recursos necesarios para la investigación	70

1. INTRODUCCIÓN

Ante la innegable degradación del medio ambiente, se ha impulsado un pensamiento renovado sobre la interacción de las actividades humanas y los medios en los que se desarrollan, fundado sobre la base del conocimiento y los análisis interdisciplinarios de esta problemática ambiental y social. Esta preocupación se ha traducido en el surgimiento de tratados internacionales, políticas y difusión de los conocimientos respecto a este fenómeno, así como en la implementación de diversas acciones estructurales, como construcción de infraestructura urbana y de servicios básicos, y no estructurales como la socialización de las políticas y acciones culturales y educativas. Sin embargo, para poder implementar estas acciones es necesario conocer los grados de afectación del ambiente causados por la actividad humana y la situación ambiental en general, evaluar la magnitud de los cambios sucedidos y proponer medidas adecuadas de respuesta al respecto.

Para medir este cambio se han desarrollado diferentes indicadores, uno de los más importantes es la huella de carbono, que proporciona información acerca de los grados de afectación del ambiente a partir de diversas fuentes, como la información de la generación de gases de efecto invernadero por parte de las industrias. Gran parte de los estudios sobre el impacto de la actividad humana en el ambiente se centran en el papel de las industrias en dicho fenómeno, sin embargo; también es necesario analizar cómo las acciones individuales y prácticas cotidianas de consumo contribuyen al deterioro del ambiente, para tomar mayor conciencia de la responsabilidad individual y dejar de ver esta problemática como un factor externo, ajeno al sujeto.

Por medio de esta investigación se propone la estimación de huella de carbono en la industria de procesamiento de productos cárnicos, tomando como base de medición la metodología que más se adecue a las necesidades de la organización, lo cual permitirá desarrollar propuestas que contribuyan a la reducción de las emisiones, según las fuentes que contribuyen en mayor medida al cambio climático.

El índice propuesto de la investigación se compone de cuatro capítulos. En el primero se presentan los diversos estudios que se han realizado sobre las emisiones de gases de efecto invernadero. En el segundo capítulo se fundamenta la teoría que sustenta la investigación. En el tercer capítulo se describe el proceso investigativo del trabajo, desde la recopilación de los datos hasta su análisis. En el cuarto y último capítulo se muestran los resultados, es decir, las propuestas definidas y la viabilidad económica de cada una.

2. ANTECEDENTES

Erazo (2018) en su trabajo de graduación *Determinación de la huella de carbono y la huella hídrica en el Instituto Tecnológico Superior SUCRE, Quito, Ecuador: Propuesta de un sistema de mitigación*. Busca identificar estrategias para la reducir los GEI aplicando mejora continua en las instalaciones del ITS-Sucre, la huella para carbono en la investigación se midió utilizando como base la metodología descrita en la norma ISO 14064:2016 e ISO 14044:2016.

Los resultados obtenidos indicaron que, a partir de los cálculos realizados para determinar la huella de carbono en el 2012, las emisiones indirectas que provienen del alcance 2 son las responsables de la mayor generación de CO₂, lo que indica que el consumo de energía eléctrica es el alcance que produce el 95 % de los GEI. (Erazo, 2018, p. 23)

En el trabajo de graduación *Determinación de la huella de carbono de la empresa JRC Ingeniería y Construcción SAC en la unidad minera el Brocal de Jurado* (2018), para optar al grado de Máster en Seguridad y Medio Ambiente en Minería, presenta el cálculo de HC emitida durante agosto 2017 al mes de julio 2018, utilizando como base los lineamientos del Protocolo Global utilizado para inventarios para las emisiones de GEI. Por medio del análisis Jurado (2018) concluye que “la huella para la empresa es de 814.71 tCO₂e, teniendo como mayor contribuyente de la huella es el consumo de energía eléctrica, con un 51% de emisiones determinadas, siendo estas emisiones indirectas” (p.6). “Al computar, determinar y dar a saber su huella de carbono (HC), favorece a originar

una sociedad baja en carbono (HC), y una educación de cuidado y preservación ambiental, sensibilizando a la población de la calidad de adoptar conductas más sostenibles, a todos los horizontes” (Jurado, 2018, p. 73).

Para el Programa de Educación Para el Desarrollo y la Conservación, se presentó el proyecto de tesis *Construcción de la huella de carbono y logro de carbono neutralidad para el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)*, como requisito para optar al grado de Magister Scientiae en Socioeconomía Ambiental de Guerra (2007). En su investigación Guerra (2007) presenta un análisis para conocer la huella del Centro CATIE y su capacidad de eliminación por medio de los recursos naturales que la empresa ha implementado, la investigación se realizó para el periodo de 2003 al año 2006, utilizando como metodología las presentadas por el IPCC.

Guerra (2007) concluye que el promedio de “emisiones de GEI entre 2003 al 2006 fue de 4392 tCO₂e, las actividades que representaron la mayor intensidad de emisiones fueron las relacionadas con las actividades de la finca y las emisiones por viajes aéreos y consumo de combustible” (p. 4).

La construcción de la senda de carbono neutralidad involucra la comprensión de una visión holística de las acciones y factores involucrados (...) las estrategias se inician desde un compromiso de política institucional, que abarca el objetivo como tal y las funcionalidades dentro de un marco sistémico de análisis. (Guerra, 2007, p. 76).

En España, para la obtención del Máster Universitario en Ingeniería Agronómica en la Universitat Politècnica de Valencia, se presentó el trabajo de

fin de máster *Desarrollo de un modelo de cálculo de huella de carbono para la producción porcina en España* de Arias (2016). Arias (2016) expone que no se ha determinado un modelo eficaz para determinar la HC para la producción y alimentación del sector ganadero a nivel de España, por lo que se desarrolla un modelo que considere los parámetros productivos esenciales de las explotaciones en España que permita la estimación de la HC.

El modelo se va a centrar tanto en las emisiones asociadas al pienso como a las derivadas de la gestión del estiércol dentro de la explotación, pero no va a considerar (..) el transporte del pienso (...), el transporte de los animales al matadero, el consumo de energía en la granja, entre otros. (Arias, 2016, p. 7)

La herramienta desarrollada tiene como propósito estimar la HC en el sector Porcícola y emisiones de amoníaco, siendo un GEI que ha incrementado en los años, el modelo de cálculo se diseñó por medio del *software* Microsoft Excel, lo que permitió determinar que el pienso es una variable que al ser modificada por piensos con menor proporción de harina de soja, permite la disminución de las emisiones considerablemente (Arias, 2016).

En el artículo presentado por Quezada Hsieh y Valderrama (2013) *Determinación de la Huella del Carbono mediante el Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) para una Empresa Vitivinícola en Chile*, presenta aspectos relacionados con la implementación y conciencia en el concepto de HC, siendo un parámetro fundamental en la definición del impacto ambiental que la empresa ha tenido en sus procesos productivos; para la estimación de huella de carbono, se utilizó el método MC3, teniendo como huella de carbono de 0.2 kg

de CO_{2e} por botella de vino. “Actualmente existen cuatro métodos principales para el cálculo del HdC en empresas, organizaciones, servicios, procesos y productos. Estos métodos utilizan un acercamiento muy similar para la obtención de datos, como es el análisis del ciclo de vida del producto” (Quezada Hsieh y Valderrama, 2013, p. 4). El método utilizado en la investigación es el método MC3, el cual cuenta con una planilla de cálculo con veinte hojas, incluyendo la compra de bienes y servicios, el espacio ocupado por la organización y la generación de desechos sólidos, permitiendo ser utilizada por cualquier organización.

Por medio del análisis Quezada Hsieh y Valderrama (2013) presenta que:

La categoría que más aporta a la HdC en Viña Modelo corresponde a los recursos forestales (260.3 ton. CO_{2e}). Centrándose en materiales de empaque y etiquetado utilizados; el segundo mayor aporte procede de las emisiones directas por uso del petróleo (...) con 132.2 ton. CO_{2e}. (p. 10)

Arango y Camargo (2012) en su artículo *Determinación de la huella de carbono de una empresa forestal productora de guadua, caso de la empresa Yarima Guadua, Eje Cafetero de Colombia*, presentan el análisis de la generación de emisiones al medioambiente por medio de los procesos relacionados a la cosecha y producción de café en la empresa, determinando su impacto en el medioambiente. Para la estimación de la HC se obtuvo información acerca de las prácticas productivas desarrolladas, el uso de productos químicos como fertilizantes, el uso de hidrocarburos para el uso de maquinarias, los desechos sólidos generados y el consumo de agua del proceso, el método utilizado para la estimación de HC es el descrito por la IPCC publicada en el 2016 y la FAO publicada en 2014.

La huella de carbono se obtuvo de la suma de los valores encontrados y divididos por la producción en culmos de guadua rolliza. El valor obtenido fue de 123.947 toneladas CO_{2e} por hectárea (...) esto significa que un metro cúbico de guadua preservada puesta en la puerta de la finca habría emitido -1.22 kg de CO_{2e}. (Arango y Camaro, 2012, p. 60)

En el trabajo de graduación *Huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falán, Tolima*, para la Pontificia Universidad Javeriana de Umaná (2012), para optar al título de Máster en Gestión Ambiental, Umaná (2012) presenta la estimación del almacenamiento de emisiones de CO₂ de seis cultivos en diversas fincas, así como las emisiones de emitidas principalmente por los sistemas de producción agrícola, por medio del análisis se determinó cuál de los cultivos emitía menos GEI al ambiente.

Para esto se realizaron parcelas temporales de muestreo (PTM), se recolectaron datos de diámetro (d30), altura total (h) y diámetro a la altura del pecho (dap), se implementaron modelos alométricos para determinar tC/ha de cada tratamiento, empleando la fracción de carbono según IPCC 2003. (Umaná, 2012, p. 3)

Por medio de la investigación se determinó que el tratamiento que más capturó carbono fue el cultivo de cacao con 21.6 tC/ha/año, además se determinó que los cultivos con un impacto positivo fue el cultivo de cacao, aguacate con plátano con cacao con aguacate (Umaná, 2012).

Arellano (2018) en su investigación *Determinación de la Huella de Carbono a partir de la metodología análisis de ciclo de vida en la producción de biodiesel en la empresa Energías Biodegradables de Costa Rica*, para la Universidad de Costa Rica, realizó el análisis comparativo de la huella de carbono generada por la empresa en 3 periodos de tiempo distintos, la metodología utilizada es la metodología de ciclo de vida. “El análisis permitió determinar las principales emisiones de GEI en la producción de biodiesel de la empresa Energías Biodegradables de Costa Rica, están directamente relacionadas con el consumo de materias primas y el uso de la energía” (Arellano, 2018, p. 58).

En la investigación *Análisis de la huella de carbono y contenido de nutrientes de la masa de nixtamal producida en molinos ubicados en la ZMVM bajo el modelo GTG*, para el Instituto Politécnico Nacional, se presenta el análisis de emisiones de GEI para el proceso de nixtamalización en diez molinos de nixtamal ubicados en la ZMVM, utilizando el modelo Gate to Gate y teniendo como base la norma ISO: 14067:2013 (Sánchez, 2016).

Se obtuvo como resultado “43.38 kg de CO₂ equivalente por tonelada de masa de nixtamal procesada, se correlacionó con la calidad nutricional de dicho producto mediante el contenido de Ca, Fe y Zn, se probó estadísticamente que no existe relación entre dichas variables” (Sánchez, 2016, p. 6).

Mateus (2020) en su investigación de postgrado titulada *Estudio y selección de la metodología a utilizar para la medición de la huella de carbono en el uso de las TIC en Colombia*, realiza un análisis de las diversas metodologías existentes para la medición de huella de carbono, aplicadas al uso de las tecnologías de información y comunicaciones. Estableciendo las herramientas más relevantes para su uso como herramientas de medición de GEI por medio de evaluación bibliográfica y la participación de expertos (Mateus, 2020).

La metodología desarrollada, contempla el uso de herramientas matemáticas de toma de decisiones (...), a través de las cuales es posible caracterizar de una forma muy puntual y funcional cada una de las metodologías evaluadas (...) mediante comparaciones directas, encontrar aquella que satisface de una mejor forma las necesidades puntuales en términos de cuantificación de emisiones en el sector TIC en Colombia. (Mateus, 2020, p. 8)

Mediante el análisis realizado por Mateus (2020) se pudo evidenciar que la metodología que resaltaba en los diversos análisis realizados fue la de GHG PROTOCOL, teniendo diversas ventajas con las demás metodologías.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

Las actividades humanas tanto individuales como las actividades productivas o de servicios, han permitido el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que se han creado iniciativas para la protección del sistema climático. Buscando un desarrollo económico y social sostenible, por lo que el desconocimiento de las emisiones al ambiente que se generan por medio de las actividades de la empresa procesadora de productos cárnicos tales como: la quema de combustibles fósiles en calderas para la generación de vapor, el uso de amoníaco como refrigerante en el área de cuartos fríos, el consumo de energía eléctrica para actividades de oficina, motores, equipos, luminarias, entre otros y la generación de aguas residuales con alto contenido de contaminantes contribuye al cambio climático, evitando el establecimiento de planes de acción para la mitigación de emisiones.

3.2. Descripción del problema

La falta de identificación de las fuentes primarias y secundarias de emisiones de gases de efecto invernadero generadas por las actividades de la empresa, no permite la visualización del impacto que la empresa genera al medio ambiente. Una de las métricas para determinar el impacto de la empresa es por medio de la huella de carbono, para la cual es necesario la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero representadas en CO₂ equivalente, correspondiente a las emisiones directas e indirectas generadas.

El desconocimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero que se genera por medio de la empresa no permite identificar oportunidades de reducción, por lo tanto, no se pueden plantear planes de acción para el manejo adecuado de recursos, la reducción y mitigación de emisiones atmosféricas.

Debido a que las emisiones atmosféricas están ampliamente ligado al consumo de energía eléctrica y combustibles fósiles, el desconocimiento de los consumos actuales por las actividades de la empresa contribuye al aumento de consumo innecesario de los recursos, por lo tanto, al aumento de gases de efecto invernadero, teniendo como consecuencia el agotamiento de los recursos naturales no renovables y los altos costos de energía eléctrica.

Dentro de las consecuencias que se tienen por el desconocimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente que una empresa u organización genera, se encuentra la contaminación atmosférica, la cual puede afectar tanto la salud y calidad de vida de los seres humanos, así como, el hábitat de la flora y fauna.

Las emisiones de gases de efecto invernadero están fuertemente ligadas al cambio climático, ocasionando una variación acelerada de las temperaturas y de fenómenos meteorológicos en el planeta. Estos cambios acelerados tienen un efecto negativo en la economía productiva y social, debido a que afecta las actividades económicas del planeta, generando cambios en la producción, daños a la infraestructura o efectos en la salud del personal.

3.3. Formulación del problema

La huella de carbono es una medida que expresa el impacto ambiental de una actividad productiva en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que en el presente diseño de investigación se abordaran las siguientes preguntas para el planteamiento del problema.

3.3.1. Pregunta central

¿Qué medidas de reducción de la huella de carbono a estimar para la empresa procesadora de productos cárnicos se pueden implementar dentro del plan de acción, que pueda tener beneficios ambientales, económicos y sociales?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Qué fuentes primarias y secundarias de emisiones de gases de efecto invernadero se pueden identificar en las actividades de la empresa?
- ¿Qué metodología se puede utilizar para estimar la huella de carbono de la empresa procesadora de productos cárnicos?
- ¿Qué medidas se pueden adoptar para reducir el consumo de recursos y las emisiones de gases de efecto invernadero en la empresa?
- ¿Qué beneficios ambientales, económicos y sociales se pueden obtener al implementar planes de acción para la mitigación de emisiones?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de gestión y manejo ambiental, en la sub-línea estimación de huellas ecológicas y medidas de mitigación en la Maestría de Energía y Ambiente, que se refiere a la medición y evaluación de los impactos que las actividades humanas generan sobre el cambio climático.

Esta investigación aporta conocimiento sobre la huella de carbono y sus implicaciones para el sector cárnico, por medio del análisis de una planta procesadora de productos cárnicos, asimismo, contribuye a la generación de soluciones factibles para mitigar los efectos negativos que esta actividad tiene sobre el medio ambiente y la salud humana, contribuyendo al cumplimiento de los compromisos nacionales e internacionales en materia de cambio climático. Además, ofrece una herramienta metodológica para estimar la huella de carbono y evaluar las medidas de reducción propuestas. A nivel social contribuye a mejorar la calidad de vida y la salud pública por medio de la propuesta de acciones para la reducción de la contaminación atmosférica.

Los productos que se obtendrán como resultado de esta investigación son: un diagnóstico de la situación actual de la planta de procesamiento de productos cárnicos en cuanto a su huella de carbono y sus fuentes emisoras, un plan de acción con medidas concretas y viables para reducir la huella de carbono en las actividades del proceso productivo, un análisis costo-beneficio de las medidas propuestas, considerando los aspectos ambientales, económicos y sociales y un informe final con las conclusiones y recomendaciones del estudio.

Esta investigación beneficia principalmente a la empresa procesadora de productos cárnicos, ya que le permite mejorar su desempeño ambiental, reducir sus costos operativos, aumentar su competitividad y cumplir con la normativa vigente en materia de cambio climático. También beneficia al sector cárnico en general, al proporcionarle un referente para implementar buenas prácticas ambientales y sociales. Finalmente, beneficia a la sociedad y al planeta, al contribuir a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y a la preservación de los recursos naturales.

Esta investigación es pertinente y relevante en el ámbito profesional, ya que responde a una problemática actual y urgente que afecta al sector cárnico y al medio ambiente. Además, se basa en un enfoque integral que considera los aspectos técnicos, económicos y sociales del problema. Por otro lado, esta investigación es coherente con los objetivos del desarrollo sostenible y con los compromisos internacionales asumidos por Guatemala en materia de cambio climático, utilizando metodologías ya establecidas para su cálculo y propuesta de plan de mejora. Por lo tanto, esta investigación representa una oportunidad para generar conocimiento aplicado y valor agregado para el sector cárnico y para el país.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer medidas de reducción de huella de carbono por medio de un plan de acción que sea ambiental, económica y socialmente sostenible para una planta de procesamiento de productos cárnicos.

5.2. Específicos

- Identificar las fuentes primarias y secundarias de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a las actividades de la empresa.
- Definir una metodología adecuada para calcular la huella de carbono de la empresa procesadora de productos cárnicos.
- Evaluar medidas de reducción del consumo de recursos y las emisiones de gases de efecto invernadero en la empresa.
- Analizar los beneficios ambientales, económicos y sociales que se pueden obtener al implementar planes de acción para la mitigación de emisiones.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El presente estudio tiene como objetivo diseñar un plan de acción para la reducción de la huella de carbono de una planta de procesamiento de productos cárnicos, basado en un análisis riguroso y sistemático de las fuentes y los inventarios de emisiones. Con este plan se pretende mejorar el desempeño ambiental de la planta, así como su competitividad por medio de planes de acción para el manejo adecuado de recursos, la reducción y mitigación de emisiones atmosféricas.

Entre las causas del problema que se aborda en esta investigación se encuentran: el desconocimiento de las fuentes primarias y secundarias de emisión de gases de efecto invernadero, debido a las actividades de la empresa; la falta de una metodología definida para calcular la huella de carbono en la empresa y la dificultad de plantear medidas de reducción del consumo de recursos y emisiones de gases de efecto invernadero, las cuales permitirían obtener beneficios ambientales, económicos y sociales. Para solucionar estas causas, la investigación propone: aplicar una guía metodológica para gestionar la huella de carbono en la industria cárnica; recopilar y analizar datos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero en las actividades de la empresa; identificar y evaluar opciones viables para mitigar las emisiones; y establecer metas, indicadores y mecanismos de seguimiento y evaluación del plan de acción.

Debido a que las emisiones atmosféricas están ampliamente ligado al consumo de energía eléctrica y combustibles fósiles, el desconocimiento de los consumos actuales por las actividades de la empresa contribuye al aumento de consumo innecesario de los recursos, por lo tanto, al aumento de gases de efecto invernadero, teniendo como consecuencia el agotamiento de los recursos naturales no renovables y los altos costos de energía eléctrica. El desconocimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero que se genera por medio de la empresa no permite identificar oportunidades de reducción, por lo tanto, no se pueden plantear planes de acción para el manejo adecuado de recursos, la reducción y mitigación de emisiones atmosféricas.

Con la implementación del plan de acción se espera disminuir o solucionar estas consecuencias, al reducir las emisiones de GEI, mejorar la eficiencia energética y el uso racional de los recursos, aumentar el bienestar social y ambiental, fortalecer la imagen corporativa y contribuir a los objetivos globales de desarrollo sostenible.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Atmósfera

La atmósfera es la capa de gas que rodea la Tierra y que está compuesta por diferentes gases, partículas sólidas y líquidas en suspensión y vapor de agua. La atmósfera tiene varias funciones importantes, como proteger la vida de la radiación solar, regular la temperatura, distribuir el calor y el agua, y permitir la comunicación por ondas de radio (Universidad de Murcia, s.f.).

7.1.1. Composición de la atmósfera

Los factores que determinan la composición de los gases que forman la atmósfera son la altura, la temperatura, la humedad y los contaminantes. Se pueden diferenciar dos zonas principales: la homosfera y la heterosfera. La homosfera abarca desde la superficie terrestre hasta unos 80 a 100 km de altitud y tiene una proporción de gases casi fija, siendo los más abundantes el nitrógeno (78.08 %), oxígeno (20.9 4%) y argón (0.93), la heterosfera se encuentra por encima de la homosfera y tiene una proporción de gases variable, predominando el hidrógeno y el helio en las capas más elevadas. (Instituto Meteorológico Nacional, s.f.).

Según la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (2019) “la atmósfera contiene otros componentes como vapor de agua, ozono, dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, partículas sólidas y líquidas en suspensión y otros gases que tienen un papel importante en el clima y el efecto invernadero” (p. 2).

7.2. Contaminación atmosférica

La Organización Mundial de la Salud (2019) define la contaminación a la atmósfera como “la presencia en el aire de sustancias y formas de energía que alteran su composición natural y que pueden representar un riesgo para la salud de las personas, los demás seres vivos, el equilibrio ecológico y el clima” (párr. 1).

La contaminación atmosférica puede tener origen natural o antrópico (causado por el ser humano) y puede afectar a diferentes escalas espaciales y temporales.

7.2.1. Clasificación de los contaminantes atmosféricos

La clasificación de los contaminantes atmosféricos es una forma de agrupar las sustancias que alteran la calidad en el aire y que pueden causar daños a la salud, el ambiente o los materiales. Existen diferentes criterios para clasificar los contaminantes atmosféricos, como su origen, su naturaleza o su reactividad química (IMF Business School, 2019).

Algunos ejemplos de clasificación son:

7.2.1.1. Según su origen

Los contaminantes se pueden dividir en naturales (causados por fenómenos naturales como incendios forestales, erupciones volcánicas o tormentas) y antrópicos (provocados por la actividad humana, como las industrias, el transporte o la agricultura).

7.2.1.2. Según su naturaleza

Los contaminantes se pueden distinguir entre químicos (sustancias orgánicas o inorgánicas que tienen una composición definida) y biológicos (microorganismos o partículas de origen biológico que pueden transmitir enfermedades o alergias).

7.2.1.3. Según su procedencia y reactividad química

Los contaminantes se pueden clasificar en primarios (aquellos que se emiten directamente a la atmósfera y que mantienen su forma original) y secundarios (aquellos que se forman en la atmósfera por la reacción de otros contaminantes primarios o con componentes naturales del aire).

7.2.2. Contaminantes primarios

Los contaminantes primarios son los que se generan en la fuente de emisión y que no sufren cambios significativos en su estructura química al entrar en contacto con el aire. Algunos ejemplos de contaminantes primarios son el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los óxidos de azufre (SO_x), los hidrocarburos (HC), el plomo (Pb) o el material particulado.

7.2.3. Contaminantes secundarios

Mientras que para los contaminantes secundarios son los que se originan en la atmósfera por la transformación química o física de otros contaminantes primarios o con sustancias naturales presentes en el aire. Algunos ejemplos de

contaminantes secundarios son el ozono (O_3), el ácido sulfúrico (H_2SO_4), el ácido nítrico (HNO_3), el peroxiacetilnitrato (PAN) o el smog fotoquímico.

7.2.4. Fuentes de contaminación atmosférica

Las fuentes de contaminación atmosférica son todas aquellas actividades, procesos u operaciones capaces de producir contaminantes del aire. Se pueden clasificar en cuatro tipos principales según su ubicación y características. Siendo estas:

7.2.4.1. Fuentes puntuales

“Son aquellas que se encuentran en un punto fijo y que emiten grandes cantidades de contaminantes, como las plantas de energía, las industrias químicas, las refinerías de petróleo y las fábricas” (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016, párr. 1).

7.2.4.2. Fuentes móviles

“Son aquellas que se desplazan y que emiten contaminantes durante su funcionamiento, como los vehículos automotores, los aviones, los barcos y los trenes” (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016, párr. 2).

7.2.4.3. Fuentes de área

“Son aquellas que abarcan una extensión determinada y que emiten contaminantes de forma difusa, como el uso de madera, las imprentas, las tintorerías o las actividades agrícolas” (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016, párr. 3).

7.2.4.4. Fuentes naturales o biogénicas

“Son aquellas que resultan de fenómenos naturales o biológicos, como las erupciones volcánicas, los océanos, la erosión del suelo, la vegetación o los incendios forestales” (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016, párr. 4).

7.3. Consecuencias de la contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es un problema de salud pública que afecta a millones de personas en el mundo, especialmente en las zonas urbanas e industriales. La exposición a los contaminantes atmosféricos puede provocar enfermedades respiratorias, cardiovasculares, neurológicas y cáncer, entre otras.

El medio ambiente se ve afectado negativamente por la contaminación atmosférica, que causa problemas como el cambio climático, la precipitación ácida, la reducción de la biodiversidad y el daño al patrimonio cultural.

7.4. Vulnerabilidad al cambio climático en Guatemala

Guatemala es uno de los diez países ambientalmente más vulnerables al cambio climático a nivel mundial, con más del ochenta por ciento del PIB producido en zonas de riesgo a desastres y un alto porcentaje de su población en riesgo climático directo.

El cambio climático se manifiesta en Guatemala a través de fenómenos como el aumento de la temperatura, la variabilidad de las precipitaciones, la

frecuencia e intensidad de eventos extremos como sequías, inundaciones, deslizamientos y tormentas tropicales.

7.4.1. Efectos del cambio climático en la industria de Guatemala

El cambio climático tiene diversos efectos sobre la industria en Guatemala, tanto directos como indirectos. Algunos de estos efectos son:

- “El aumento de la temperatura y la variabilidad de las precipitaciones afectan la disponibilidad y calidad del agua, siendo un recurso esencial para muchas actividades industriales, como la generación de energía, la producción de alimentos y bebidas, entre otros” (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2018, p. 8).
- Los eventos climáticos, como sequías, inundaciones, deslizamientos y tormentas tropicales, causan daños y pérdidas en la infraestructura industrial, interrumpen las cadenas de suministro y distribución, aumentan los costos de operación y mantenimiento, reducen la productividad y competitividad de las empresas.

El cambio climático afecta de diversas maneras a la industria, lo que implica un reto para el progreso económico y social de Guatemala, pero también una ocasión para fomentar la transformación hacia una economía que emite menos carbono y que sea capaz de afrontar el clima. Para lograr esto, se necesitan políticas públicas que estimulen la innovación tecnológica, el aprovechamiento eficiente de los recursos naturales, la disminución de las emisiones de GEI y la adaptación a las consecuencias del cambio climático en la industria (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2018).

7.5. Huella de carbono

La huella de carbono se define como "la cantidad total de emisiones de gases causantes del efecto invernadero que realiza una organización, evento, un individuo o un ser vivo" (Kanankab, 2016, párr. 1). Esta medida permite evaluar el impacto ambiental de las diferentes actividades que generan emisiones de GEI, como el uso de combustibles procedentes de fósiles, consumo de energía para electricidad, generación de aguas residuales, la deforestación, la agricultura o transporte, entre otras.

7.5.1. Gases de efecto invernadero (GEI)

Los GEI son los que atrapan el calor del sol, y han mantenido el clima de la Tierra habitable para los seres humanos y millones de otras especies.

Cuando estos gases se acumulan en exceso en la atmósfera, provocan un aumento de la temperatura global y alteran los patrones climáticos. Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono, metano, el óxido nitroso y los fluorocarbonos.

7.5.1.1. Dióxido de carbono (CO₂)

“Es el gas de efecto invernadero más abundante y peligroso, produce principalmente por la quema de combustibles fósiles y la deforestación. El CO₂ absorbe la radiación infrarroja proveniente del sol y la reemite hacia la superficie terrestre, aumentando la temperatura” (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA], 2018, párr. 2).

7.5.1.2. Metano (CH₄)

“Es un gas de efecto invernadero que se origina por la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas, las prácticas ganaderas y agrícolas, la producción y transporte de gas natural o petróleo” (EPA, 2018, párr. 3).

7.5.1.3. Óxidos nitrosos (N₂O)

“Son actividades agrícolas e industriales, la combustión de combustibles fósiles y residuos sólidos, y el tratamiento de aguas residuales. El óxido nitroso tiene un potencial de calentamiento global 265 veces mayor que el CO₂ en un período de 100 años” (EPA, 2018, párr. 4).

7.5.1.4. Gases fluorados

“Son gases de efecto invernadero sintéticos que se utilizan en diversos procesos industriales, como refrigerantes, aerosoles, solventes y espumas. Los gases fluorados incluyen los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC), el hexafluoruro de azufre (SF₆) y el trifluoruro de nitrógeno (NF₃)” (EPA, 2018, párr. 5).

7.6. Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC)

Según la definición en su página web el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2018) se describe como “órgano internacional encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático” (párr. 1). El IPCC fue establecido para facilitar a las instancias

normativas evaluaciones periódicas sobre la base científica del cambio climático, sus repercusiones y futuros riesgos, así como las opciones que existen para adaptarse al mismo y atenuar sus efectos.

7.7. Potencial de calentamiento global

Es una medida de la capacidad que tienen diferentes GEI en la retención del calor en la atmósfera, no todos los gases absorben la radiación infrarroja de la misma manera ni todos tienen igual vida media en la atmósfera.

El gas utilizado como referencia para medir otros gases es el CO₂, por lo que su potencial de calentamiento global es 1. Cuanto más alto sea el PCG de un gas, mayor será su capacidad de retención del calor en la atmósfera.

7.8. Dióxido de carbono equivalente

El dióxido de carbono equivalente es una unidad de medida que permite expresar el efecto que produce un gas de efecto invernadero en términos del efecto que produciría la misma cantidad de dióxido de carbono. Se calcula multiplicando la cantidad de emisiones del GEI por su potencial de calentamiento global.

7.9. Metodologías para cuantificar la huella de carbono

El cálculo de la huella de carbono es un indicador de impacto ambiental que permite conocer la totalidad de emisiones de GEI implicadas en los flujos de actividad de una entidad sobre un periodo de un año. Para cuantificar la huella de carbono, existen diversas metodologías que se pueden utilizar, algunas de las más comunes son:

7.9.1. Norma ISO 14064

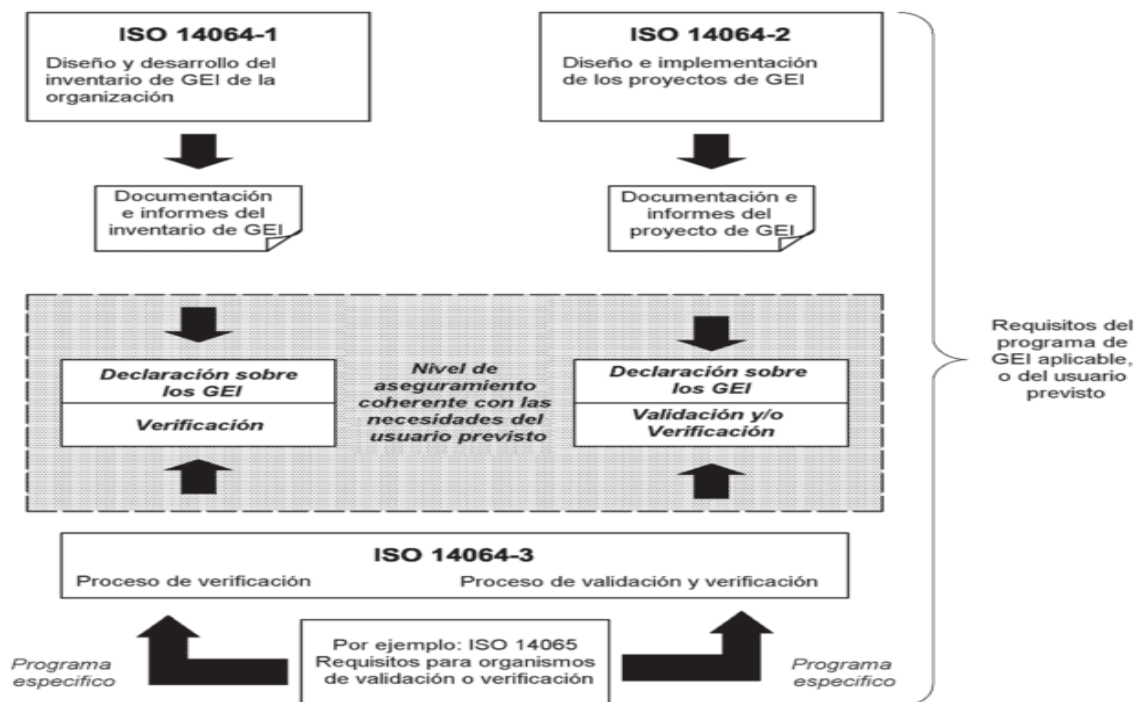
La Norma ISO 14064 es una norma internacional que establece los principios y requisitos para cuantificar y reportar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y las remociones por sumideros. La Norma ISO 14064 establece los principios y requisitos para cuantificar y reportar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y las remociones por sumideros.

La Norma ISO 14064 consta de tres partes:

- Parte 1: establece los requisitos para la especificación y verificación del inventario de GEI.
- Parte 2: establece los requisitos para la implementación del proyecto para reducir las emisiones o aumentar las remociones.
- Parte 3: proporciona los requisitos y directrices para la validación y verificación de los informes públicos sobre GEI.

Figura 1.

Relación entre las partes de la Norma ISO 14064



Nota. El gráfico muestra los componentes de la Norma ISO 14064. Obtenido de Guía para el uso de ISO 14064 (2016). Gases de efecto invernadero parte 3. (<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14064:-3:ed-1:v1:es:fn:2>), consultado el 16 de septiembre de 2023. De dominio público.

7.9.1.1. Metodología ISO 14064

La implementación de la norma ISO 14064 contiene en los siguientes pasos:

7.9.1.1.1. Definición de límites

Los límites de deberán definir tomando en cuenta los siguientes límites:

- Límites organizacionales: los límites organizacionales, dado que las organizaciones pueden estar compuestas de una o más instalaciones se pueden establecer los enfoques de control y cuota de participación.
- Límites operativos: de acuerdo con la norma ISO 14064 las emisiones se pueden clasificar según tres categorías o alcances. Según la versión Existe obligatoriedad del cálculo de las emisiones de efecto invernadero de los alcances 1 y 2, siendo voluntario las emisiones del alcance 3.

Figura 2.

Clasificación de emisiones

EMISIONES DIRECTAS	EMISIONES INDIRECTAS
Por combustión estacionaria: cogeneraciones, calderas de gas y gasoil, etc.	Por energía importada: por ejemplo, la electricidad.
Por combustión móvil: flota de vehículos y transporte; etc.	Por transporte de personas y bienes, para todos los tipos de transporte (carretera, ferrocarril, vía aérea y vía marítima)
Emisiones y remociones directas de procesos industriales: producción de cemento, etc.	Por productos utilizados por la organización: por ejemplo, las emisiones de GEI necesarias para producir las materias primas que emplea la compañía.
Emisiones fugitivas directas por liberación de GEI en sistemas antropogénicos: gases refrigerantes, etc.	Asociadas con el uso de los productos de la organización: por ejemplo, las emisiones de GEI debidas a la electricidad o los combustibles que consumen los productos que vendemos (un electrodoméstico, un vehículo, etc.), durante la fase de uso por los clientes.
Emisiones y remociones directas causadas por el uso del suelo, los cambios de uso del suelo y la silvicultura.	Por otras fuentes.

Nota. El gráfico muestra la clasificación de emisiones según la Norma ISO 14064. Obtenido de Guía para el uso de ISO 14064 (2016). *Gases de efecto invernadero parte 3.* (<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-3:ed-1:v1:es:fn:2>), consultado el 16 de septiembre de 2023. De dominio público.

7.9.1.1.2. Selección del año base

Para evaluar cómo cambian las emisiones en un tiempo definido, la norma UNE-ISO 14064 -1 requiere definir el primer año de la serie temporal como año de referencia. El año base puede ser, un año físico, o un promedio de un periodo más dilatado en el tiempo.

7.9.1.1.3. Identificación de emisiones

La identificación de emisiones consiste en determinar las fuentes y sumideros de GEI que son relevantes para el alcance y los límites del inventario, así como los gases que se van a incluir.

7.9.1.1.4. Cuantificación de las emisiones

El cálculo de emisiones consiste en aplicar un método adecuado para estimar las cantidades de GEI emitidas o removidas por cada fuente o sumidero, utilizando factores de emisión y datos de actividad. Para ello es necesario aplicar la siguiente fórmula.

$$\text{Huella de carbono} = DA * FE * PC \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

DA= dato de actividad

FE= factor de emisión

PC= potencial de calentamiento global

7.9.2. GHG Protocol

Es un conjunto de estándares y herramientas para medir y reportar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de empresas, organizaciones, países y ciudades. El GHG Protocol se basa en los principios de relevancia, integridad, consistencia, transparencia y exactitud.

Figura 3.

Principios básicos de GHG Protocol

Relevancia	Asegura que el inventario refleje de forma apropiada las emisiones de la organización y que, el cálculo, sea un elemento para la toma de decisiones.
Integridad	Implica realizar la contabilidad de tal forma que se abarquen todas las fuentes de emisión de GEI y las actividades incluidas en los límites del cálculo.
Consistencia	Mediante el uso de metodologías que permitan comparaciones significativas de las emisiones a lo largo del tiempo, siendo necesario documentar cualquier cambio en los datos, límites del inventario, métodos de cálculo o cualquier otro factor relevante.
Transparencia	En todo el proceso en sí, pero con especial enfoque en las cuestiones especialmente significativas o relevantes mediante un seguimiento de auditoría transparente.
Precisión	Asegura que la cuantificación no implique errores sistemáticos o desviaciones respecto a las emisiones reales, hasta donde pueda ser evaluado, reduciendo también la incertidumbre en la medida de lo posible.

Nota. La figura muestra los principios aplicables en el Protocolo GHG. Obtenido de Eurofins (2023). *Definición de los principios básicos comprendidos en el GHG Protocol.* (<https://www.eurofins-environment.es/es/ghgprotocol/#:~:text=%C2%BFQU%C3%89%20ES%20EL%20GHG%20PROTOCOL,y%20reporte%20de%20las%20emisiones>.), consultado el 18 de septiembre de 2023. De dominio público.

El GHG Protocol permite contabilizar los seis tipos de gases GEI (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆) enfocándose únicamente en la contabilidad y reporte de las emisiones. La metodología del GHG Protocol se divide en tres pasos principales.

7.9.2.1. Determinación de los límites operacionales

Esto implica identificar las fuentes de emisión directas e indirectas que están bajo el control o la influencia de la entidad que reporta. Dentro de las emisiones para una organización hay emisiones directas, aquellas procedentes de fuentes propiedad de o controladas por la organización, y emisiones indirectas las cuales se generan como consecuencia de la actividad de la organización, pero se producen en fuentes propiedad de o controladas por otra organización.

7.9.2.2. Determinación de los límites organizacionales

El segundo paso a seguir dentro del GHG Protocol es el establecimiento de los límites organizacionales que permiten a la organización seleccionar el enfoque que desean seguir para consolidar sus emisiones de GEI.

7.9.2.3. Establecimiento del año base

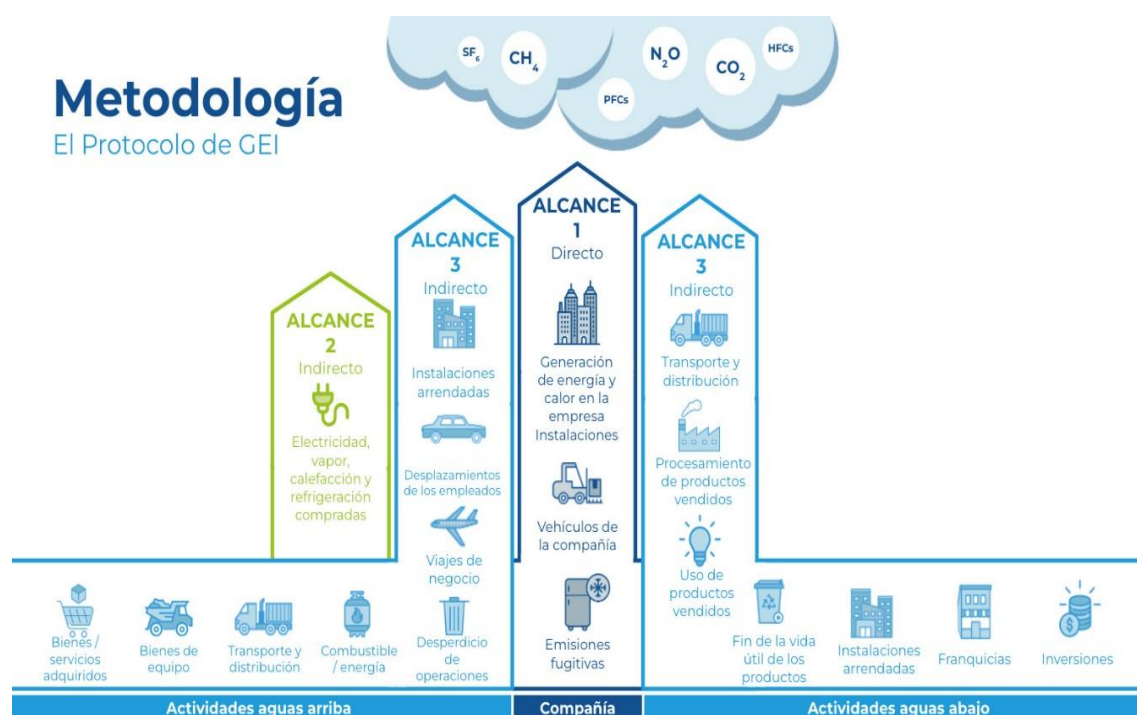
Se debe realizarse considerando que para este periodo de tiempo existe información fiable de emisiones, debiendo detallarse las razones de elección de dicho año en el informe de reporte de emisiones de GEI.

7.9.2.4. Cuantificación de emisiones

Cuantificar las emisiones de GEI usando los factores de emisión y las metodologías apropiadas para cada categoría de fuente. Esto implica recolectar y analizar los datos necesarios para estimar las emisiones.

Figura 4.

Alcances de GHG Protocol



Nota. La figura muestra los alcances definidos dentro del GHG Protocol. Obtenido de Gustafsson (2022). *Alcances comprendidos en el GHG Protocol.* (<https://www.southpole.com/es/blog/three-key-steps-for-successful-carbon-footprinting>), consultado el 18 de septiembre de 2023. De dominio público.

7.9.3. PAS 2050

Estándar elaborado por el British Standard Institution, está dirigido al cálculo de emisiones en el plano institucional; se centra en brindar herramientas para alcanzar el objetivo de carbono neutro, mediante la cuantificación, reducción y compensación de las emisiones de GEI. La implementación del estándar busca el compromiso de la organización, ya sea logrando su declaración de alcanzar la neutralidad.

La metodología PAS 2050 define dos tipos de ciclo de vida, siendo estos según el tipo de producto, cuando el producto se entrega a otra organización para su reproceso; y cuando se considera por completo el CV del producto, incluyendo las actividades posteriores a su consumo.

La metodología PAS 2050 establece cinco pasos básicos para la estimación de la HC para cualquier bien o servicio:

7.9.3.1. Creación de un mapa de procesos (diagrama de flujo)

“Se busca identificar todas las etapas del ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta el fin de la vida útil, teniendo una visión de los flujos de materiales y energía, detectando las fuentes de emisión de GEI” (Asociación Española de Normalización y Certificación [AEC], s.f., párr 4).

7.9.3.2. Definición de límites y priorización

“Este paso consiste en establecer el alcance del análisis, es decir, qué actividades se incluyen y qué se excluyen del cálculo. Para ello, se pueden aplicar criterios como la relevancia, la disponibilidad de datos, la representatividad o la consistencia” (AEC, s.f., párr 5). Esta etapa permite priorizar las fuentes de emisión por su significancia o posibilidad de reducción.

7.9.3.3. Recopilación de datos

La AEC (s.f.) describe este paso como “la obtención de datos necesarios para el cálculo, los datos pueden ser primarios (propios o proporcionados por la cadena de suministro) o secundarios (basados en estimaciones medias normalizadas). Se debe asegurar la calidad, precisión y la veracidad de los datos” (párr. 6).

7.9.3.4. Cálculo de la huella

“Este paso consiste en aplicar los factores de emisión correspondientes a cada fuente de GEI, y sumar los resultados para obtener la huella de carbono total del producto o servicio” (AEC, s.f., párr. 7). Los factores de emisión son valores que indican el contenido de carbono en los distintos tipos de combustibles o procesos. Se pueden utilizar los publicados por el IPCC o por otras entidades reconocidas.

7.9.3.5. Disminución de la incertidumbre

“Este paso consiste en evaluar el grado de confianza que se tiene en los resultados obtenidos, y aplicar métodos estadísticos para reducir la variabilidad o el error asociado a los datos o a los factores de emisión” (AEC, s.f., párr. 8).

7.10. Compensación de la huella de carbono

La compensación de huella de carbono es un mecanismo voluntario que consiste en financiar proyectos que reducen o evitan las emisiones de gases de efecto invernadero en un lugar, para compensar las emisiones que se generan en otro. Utilizando créditos de carbono, que son unidades equivalentes a una tonelada de CO₂ que se ha dejado de emitir o se ha capturado gracias a un proyecto, como la reforestación, energías renovables, eficiencia energética, entre otros.

7.11. Neutralidad cero

“La compensación de neutralidad cero es un mecanismo que busca lograr que las emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI) de una actividad, organización o país sean iguales a cero” (Iberdrola, s.f., párr. 1).

“Esto implica que se debe medir la huella de carbono, (...), y reducirla al máximo posible mediante acciones de mitigación, como el uso de energías renovables, la eficiencia energética, el cambio de hábitos de consumo, entre otras” (Iberdrola, s.f., párr. 2).

“La parte de las emisiones que no se pueda reducir se debe compensar mediante proyectos que generen beneficios ambientales equivalentes a las

emisiones que se quieren neutralizar, como la reforestación, la conservación de ecosistemas, la captura y almacenamiento de carbono” (BBVA OpenMind, 2020, párr. 3).

7.12. Plan de gestión de emisiones atmosféricas

Un plan de gestión de emisiones atmosféricas es un documento que contiene acciones y medidas que se deben implementar para prevenir, controlar y mitigar los impactos ambientales generados por las fuentes de emisión de contaminantes a la atmósfera.

El Plan de gestión de emisiones atmosféricas debe estar basado en un diagnóstico previo que identifique las fuentes, los tipos y las cantidades de emisiones, así como los efectos potenciales sobre la calidad del aire y la salud humana. El Plan de gestión de emisiones atmosféricas debe incluir los siguientes aspectos:

- Los objetivos, metas e indicadores del Plan, así como los responsables de su ejecución y seguimiento.
- La normatividad legal vigente aplicable al control de las emisiones atmosféricas, tanto a nivel nacional como local.
- Las medidas de prevención y control de las emisiones atmosféricas, estas medidas deben estar enfocadas a reducir o eliminar las fuentes de emisión, mejorar la eficiencia energética, optimizar los procesos productivos, utilizar combustibles más limpios, entre otras.

- Las medidas de mitigación de las emisiones atmosféricas, que pueden ser de tipo compensatorio o restaurativo. Estas medidas deben estar orientadas a compensar los impactos ambientales residuales que no se puedan prevenir o controlar, mediante la realización de proyectos ambientales que generen beneficios equivalentes a las emisiones que se quieren neutralizar.
- El plan de seguimiento y evaluación del plan de gestión de emisiones atmosféricas, que debe establecer los métodos, instrumentos y frecuencias para medir y verificar el cumplimiento de los objetivos, metas e indicadores del plan.

8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Debido al tipo de investigación, siendo del tipo mixta, no aplica hipótesis de investigación.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Atmósfera

1.1.1. Composición de la atmósfera

1.2. Contaminación atmosférica

1.2.1. Clasificación de los contaminantes atmosféricos

1.2.1.1. Según su origen

1.2.1.2. Según su naturaleza

1.2.1.3. Según su procedencia y reactividad química

1.2.2. Contaminantes primarios

1.2.3. Contaminantes secundarios

1.2.4. Fuentes de contaminación atmosférica

1.2.4.1. Fuentes puntuales

1.2.4.2. Fuentes móviles

- 1.2.4.3. Fuentes de área
 - 1.2.4.4. Fuentes naturales o biogénicas
 - 1.3. Consecuencias de la contaminación atmosférica
 - 1.4. Vulnerabilidad al cambio climático en Guatemala
 - 1.4.1. Efectos del cambio climático en la industria de Guatemala
 - 1.5. Huella de carbono
 - 1.5.1. Gases de efecto invernadero
 - 1.5.1.1. Dióxido de carbono (CO₂)
 - 1.5.1.2. Metano (CH₄)
 - 1.5.1.3. Óxido nitroso (N₂O)
 - 1.5.1.4. Gases fluorados
 - 1.6. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)
 - 1.7. Potencial de calentamiento Global
 - 1.8. Dióxido de carbono equivalente
 - 1.9. Metodologías para cuantificar la huella de carbono
 - 1.9.1. Normas ISO 14.064
 - 1.9.2. Protocolo GHG
 - 1.9.3. PAS 2050
 - 1.10. Compensación de huella de carbono
 - 1.10.1. Carbono neutro
 - 1.10.2. Neutralidad cero
 - 1.11. Plan de Gestión de emisiones atmosféricas
 - 1.11.1. Acciones para la reducción de huella de carbono
- 2. RECOLECCIÓN DE DATOS
 - 2.1. Recopilación de información bibliográfica
 - 2.2. Obtención de datos y procedimientos de la investigación

- 2.2.1. Verificación de información disponible y definición de alcances
- 2.2.2. Identificación de metodología a utilizar
- 2.2.3. Identificación de fuentes de emisión
- 2.2.4. Recopilación de datos para estimación de huella de carbono
- 2.2.5. Cálculo de huella de carbono

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 3.1. Huella de carbono por tipo de alcance
- 3.2. Huella de carbono general
- 3.3. Formulación de propuesta de plan de acción
- 3.4. Análisis costo-beneficio de las alternativas propuestas
- 3.5. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

10.1. Características del estudio

Esta es una investigación que tiene una metodología con enfoque mixto, teniendo como base para el análisis cuantitativo la estimación de huella de carbono por medio de la información documental de consumos de recursos que la empresa ha generado y que aportan a la emisión de gases de efecto invernadero, así mismo, se complementará con un análisis cualitativo determinando los tipos de emisiones que se genera dentro de las instalaciones de la planta de procesamiento de productos cárnicos.

La investigación contará con técnicas de investigación documental, teniendo un alcance explicativo debido a que busca definir las causas de emisión de gases de efecto invernadero y sus efectos para la empresa, lo que permitirá definir un plan de acción para la reducción de la huella de carbono definida, su alcance no abarca la comprobación de hipótesis ni la predicción de resultados.

El diseño de investigación es de tipo no experimental, debido a que se obtendrán datos de parámetros tales como, consumo de combustibles fósiles, consumo de energía eléctrica, tipos de refrigerantes, entre otros, los que permitirán la estimación de huella de carbono, pero sin llegar a su manipulación.

10.2. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación.

Tabla 1.*Variables en estudio*

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Huella de carbono	Es una medida de la cantidad de gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera por las actividades humanas, como la producción, el transporte, el consumo y el tratamiento de residuos.	Se calculará con base a la sumatoria de emisiones resultantes de cada alcance definido. (CO _{2equivalente})
Emisiones alcance 1	Incluye las emisiones directas que provienen de fuentes que son propiedad o están contraladas por la entidad de estudio, como el uso de combustibles fósiles, los procesos industriales o la generación de electricidad.	Se calculará con base al consumo de combustibles fósiles utilizados en la operación de la empresa y las emisiones fugitivas generadas y el agua residual tratada multiplicado por el factor de emisión correspondiente (CO _{2equivalente})
Emisiones alcance 2	Incluye las emisiones indirectas asociadas al consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos a terceros.	Se calculará con base al consumo de energía eléctrica en la operación de la empresa multiplicado por el factor de emisión correspondiente (CO _{2equivalente})
Emisiones alcance 3	Incluye las emisiones indirectas que no están cubiertas por el alcance 2 y que son consecuencia de las actividades de la entidad, pero que ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por ella, como el transporte de materias primas, los viajes de los empleados, los residuos generados o los productos y servicios adquiridos.	Se calculará con base a la generación de desechos sólidos generados por la empresa multiplicado por el factor de emisión correspondiente (CO _{2equivalente})

Nota. Variables del estudio de la investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

10.3. Fases de estudio

- Fase 1: exploración bibliográfica

En esta primera fase se revisará toda la bibliografía pertinente para la explicación del tema de estudio y todos sus componentes relevantes, como las metodologías existentes para la estimación de huella de carbono, los alcances definidos, factores de emisión y posibles alternativas para la reducción de huella de carbono.

Con esta información se establecerá la base para la estimación de huella de carbono en la planta procesadora de productos cárnicos a analizar, utilizando la metodología que mejor se adecue a los objetivos establecidos y plantear la propuesta de plan de acción para la reducción de huella de carbono.

- Fase 2: recopilación de datos y metodologías propuestas

Para la obtención de datos del caso de estudio se derivarán distintas etapas, siendo estas:

- Etapa 1: verificación de información disponible y definición de alcances

Para identificar las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero dentro de la empresa procesadora de productos cárnicos, se determinará un límite operacional, estableciendo el alcance de la medición, es decir, qué actividades y procesos se van a incluir en el cálculo. También se determinará la inclusión de las emisiones directas e indirectas de la empresa o

también las emisiones asociadas a su cadena de valor, esto se realizará estableciendo tres posibles alcances.

- Alcance 1: emisiones directas, emisiones generadas por fuentes propias de la Universidad y que están controladas por la misma.
- Alcance 2: emisiones indirectas, emisiones generadas por consumo de electricidad.
- Alcance 3: emisiones generadas por actividades que se llevan a cabo dentro de la empresa, sin embargo, estas ocurren en fuentes que no son propias de la institución y tampoco están controladas por esta.

Al conocer estos tres posibles alcances se realiza una fase de recopilación de datos de consumo de recursos y generación de residuos, para definir qué alcances se abarcarán se tomará como parámetro decisivo la disponibilidad de información, para ello se utilizará la siguiente tabla.

Tabla 2.

Definición de alcances a incluirse en la investigación

Alcance	Tipo de emisión	¿Se cuenta con información?	¿Se incluirá en el alcance?
Alcance 1	Quema de combustibles fósiles		
Alcance 1	Emisiones fugitivas por uso de refrigerantes		

Continuación de la tabla 2.

Alcance	Tipo de emisión	¿Se cuenta con información?	¿Se incluirá en el alcance?
Alcance 1	Tratamiento de aguas residuales		
Alcance 2	Consumo de energía eléctrica		
Alcance 3	Generación de desechos sólidos		
Alcance 3	Transporte de materias primas		
Alcance 3	Transporte de colaboradores		

Nota. Alcances de la investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Etapa 2: identificar la metodología a utilizar

Debido a que existen diversas metodologías para el cálculo de huella de carbono, tales como la UNE-ISO 14064, la GHG Protocol o la PAS 2050. Se debe elegir la mejor metodología que se adapte a las características y objetivos de la empresa, teniendo en cuenta los requisitos y estándares internacionales.

El procedimiento para definir la metodología a utilizar será el siguiente:

- Definir los criterios que las metodologías deben de cumplir, según las necesidades de la empresa. Para elegir la mejor metodología para medir la huella de carbono de la empresa de estudio, se evaluarán los siguientes parámetros:
 - ✓ Relevancia de la metodología para el tipo de actividad, producto u organización que se requiere analizar.

- ✓ Integridad de la metodología para abarcar todas las fuentes y sumideros de emisiones relevantes evitando la doble contabilidad o la omisión de datos.
- ✓ Consistencia de la metodología para permitir la comparación y el seguimiento de las emisiones a lo largo del tiempo y entre diferentes entidades.
- ✓ Transparencia de la metodología para facilitar la verificación y la comunicación de los resultados.
- ✓ Precisión de la metodología para reflejar lo más fielmente posible las emisiones reales, minimizando las incertidumbres y los errores.
- ✓ Aplicabilidad de la metodología para diferentes tipos de actividades, productos, organizaciones o personas, teniendo en cuenta la disponibilidad y la calidad de los datos necesarios, así como la complejidad y el costo del cálculo.
- ✓ Compatibilidad de la metodología con otras normas, estándares o iniciativas existentes, tanto a nivel nacional como internacional, que puedan facilitar el reconocimiento, la validación o la certificación de la huella de carbono.
- ✓ Flexibilidad de la metodología para adaptarse a los cambios tecnológicos, regulatorios o de mercado que

puedan afectar a las emisiones de GEI o a las opciones de reducción o compensación.

- ✓ Credibilidad de la metodología para generar confianza y transparencia entre los diferentes actores involucrados o interesados en la huella de carbono, tales como consumidores, proveedores, inversores, reguladores, entre otros.
- Realizar un cuadro comparativo con las características definidas previamente, colocando un indicador x por criterio cumplido, se implementará el siguiente cuadro comparativo:

Tabla 3.

Comparativa de estándares y/o guías para la medición de huella de carbono

Criterio	PAS 2050	GHG Protocol	ISO 14064
Relevancia			
Integridad			
Consistencia			
Transparencia			
Precisión			
Aplicabilidad			
Compatibilidad			
Flexibilidad			
Credibilidad			

Nota. Comparativa de estándares. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Selección de metodología a utilizar, para ello se tomará en cuenta la metodología que mayor cumplimiento tenga según el cuadro comparativo, pudiendo utilizarse una única metodología y un complemento de dos metodologías.
- Etapa 3: identificación de fuentes de emisión

La etapa de identificación de fuentes de emisión consiste en determinar qué actividades o procesos generan emisiones de gases de efecto invernadero dentro del alcance y los límites definidos para el cálculo, identificando las fuentes de emisión asociadas al consumo de energía, consumo de combustibles fósiles, uso de refrigerantes, generación de residuos, entre otros.

Para ello, se realizará un recorrido en las instalaciones de la empresa, donde se evidenciará las principales fuentes de emisión, para ello, se utilizará la siguiente tabla:

Tabla 4.

Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero

Área de emisión de GEI	Actividad que emite GEI	Tipo de emisión	Alcance

Nota. Fuentes de emisión. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Etapa 4: recopilación de datos para estimación de huella de carbono

La etapa de recolección de datos consiste en obtener la información documental necesaria para cuantificar las emisiones de cada fuente identificada, los datos se clasificarán en primarios o secundarios, siendo los datos primarios los que se obtendrán directamente de la organización como el consumo de energía eléctrica, consumo de combustibles, entre otros, mientras que, los datos secundarios son los que se obtendrán por medio de fuentes externas como los factores de emisión correspondiente a cada fuente de emisión. Para la obtención de datos se llevarán a cabo los siguientes pasos:

- Identificación de persona responsable de la información a solicitar
- Selección del año base de estudio, tomando en cuenta la disponibilidad de información.
- Envío de tabla de registro de consumo de recursos, ver tabla 5.
- Obtención de datos relevantes y aseguramiento de su calidad.

Estos datos se presentarán de la siguiente manera:

Tabla 5.

Registro de consumo de recursos

Mes	Tipo de consumo o generación mensual	Cantidad

Nota. Formato de registro. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Etapa 5: cálculo de huella de carbono

El cálculo de la huella de carbono contempla la estimación de la cantidad de gases de efecto invernadero que se emite debido a las actividades de la empresa, para calcular la huella de carbono se utilizarán los consumos reportados en las etapas anteriores y el factor de emisión que corresponde a cada tipo de consumo o actividad. Para esto, se desarrollará el siguiente procedimiento:

- Identificar los gases que se emiten, su factor de emisión y el potencial de calentamiento global, el factor de emisión y el potencial de calentamiento global puede ser encontrado en literatura, pudiendo utilizarse las siguientes fuentes: IPCC, Greenhouse Gas Protocol, Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, entre otras fuentes. La información se presentará de la siguiente manera:

Tabla 6.

Factor de emisión y potencial de calentamiento global

Fuente de emisión	GEI que emite	Factor de emisión	Potencial de calentamiento global

Nota. Formato para el factor de emisión. Elaboración propia, realizado con Excel.

El factor de emisión es la cantidad de gases de efecto invernadero que se emite por unidad de consumo o actividad, y depende del tipo de gas que se emite, mientras que el potencial de calentamiento global es la medida relativa de cuánto calor puede ser atrapado por un determinado gas de efecto invernadero, en comparación con un gas de referencia, por lo general dióxido de carbono expresado en kilogramos de CO₂ equivalente.

- Calcular la huella de carbono por tipo de emisión, la ecuación general para este proceso es:

$$\text{Huella de carbono} = DA * FE * PC \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

DA= dato de actividad

FE= factor de emisión

PC= potencial de calentamiento global

- Sumatoria de huella de carbono según su alcance, esto permitirá identificar las principales fuentes y actividades que generan emisiones de gases de efecto invernadero, así como la definición y el cumplimiento de objetivos y generación de planes de reducción. Para realizar la sumatoria de emisiones agrupando según su alcance se utilizará la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones totales Alcance } n = \sum_{i=1}^n \text{Emisiones de GEI Alcance } n \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

i es el número de emisiones por alcance

n es la numero de alcance

- Cálculo de huella de carbono total, La sumatoria de las emisiones de gases de efecto invernadero total puede representarse por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones totales de GEI} = \text{Emisiones de alcance 1} + \text{Emisiones de alcance 2} + \text{Emisiones de alcance 3} \quad (\text{Ec. 4})$$

- Fase 3: análisis de resultados y propuesta de plan de acción

En esta fase se interpretará y evaluará la información obtenida mediante los cálculos realizados en las fases anteriores, y se plantearán las posibles soluciones o recomendaciones para la reducción de huella de carbono debido a las actividades de la empresa. Para esta etapa se presentan las siguientes etapas:

- Etapa 1: huella de carbono generada por las operaciones según su alcance

En esta etapa se presentarán los resultados obtenidos de medir la huella de carbono, clasificada según su alcance (1, 2 o 3). Los resultados se presentarán en tablas y de forma gráfica. Por medio de estos resultados se concluirá cual es el alcance que mayor generación de gases de efecto invernadero genera, lo que permitirá identificar las áreas donde existe mayor oportunidad de mejora y la oportunidad de implementación de acciones para la reducción de huella de carbono.

- Etapa 2: análisis e interpretación de resultados

En esta etapa se explicará el significado y la relevancia de los resultados obtenidos, concluyendo cuáles son las principales fuentes de generación de gases de efecto invernadero debido a las actividades de la empresa de estudio, en esta etapa se presentarán las conclusiones de la investigación, sintetizando los hallazgos más importantes y definiendo las fuentes o actividades a priorizar según su generación de gases de efecto invernadero para la búsqueda de alternativas de reducción.

- Etapa 3: formulación de propuesta de plan de acción

La propuesta de plan de acción tendrá como base las conclusiones y recomendaciones definidas en la etapa anterior, este incluirá las medidas que se propondrán para reducir o compensar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a las actividades de la empresa, el plan de acción contendrá los siguientes elementos:

- Los objetivos que se perseguirán con el plan, expresándose en términos cuantitativos y temporales.
 - Las estrategias que se seguirán para alcanzar los objetivos, indicando los ámbitos o áreas de actuación prioritarias.
 - Las actividades que se van a realizar para implementar las estrategias, especificando los recursos necesarios, los responsables, los planes y los indicadores de seguimiento y evaluación.
- Etapa 4: análisis costo-beneficio de las alternativas propuestas

Para definir las mejores alternativas con análisis costo beneficio, se comparará el valor actualizado neto (VAN) de cada opción, siendo la diferencia entre los beneficios y los costes esperados a lo largo del periodo de análisis. Los beneficios incluirán el ahorro de energía o recursos, la reducción de emisiones, la mejora de la imagen corporativa, la satisfacción de los clientes o empleados, entre otros. Los costes pueden incluir la inversión inicial, el mantenimiento, la operación, la amortización, entre otros. La opción que tenga el mayor VAN será la más rentable desde el punto de vista económico y ambiental.

Para realizar el análisis costo beneficio se pueden seguir los siguientes pasos:

- Identificar las alternativas que se quieren comparar y definir el periodo de análisis y la tasa de descuento que se va a aplicar.

- Estimar los flujos de beneficios y costes asociados a cada alternativa para cada año del periodo de análisis.
- Actualizar los flujos de beneficios y costes al año base utilizando la tasa de descuento.
- Calcular el VAN de cada alternativa restando los costes actualizados a los beneficios actualizados.
- Seleccionar la alternativa que tenga el mayor VAN.

Para calcular el VAN, se necesita conocer los siguientes datos:

- El costo inicial de la inversión, que es el desembolso que se hace al inicio del proyecto.
- Los flujos de caja que se esperan obtener en cada periodo del proyecto, que son los ingresos menos los gastos que se generan por el proyecto.
- La tasa de descuento, que es el rendimiento mínimo que se espera obtener del proyecto, o el costo de oportunidad de invertir en él.

La fórmula para calcular el VAN es la siguiente:

$$VAN = Costo\ inicial + \sum_{t=1}^n \frac{Flujo\ de\ caja\ t}{(1+Tasa\ de\ descuento)^t} \quad (Ec. 5)$$

Donde:

t es el número de periodos del proyecto.

n es el número total de periodos del proyecto.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de la información obtenida para la estimación de huella de carbono se presentarán con las siguientes herramientas:

- Tabla para la definición de alcances de la investigación
- Tabla comparativa de estándares para la medición de huella de carbono
- Tabla para la identificación de fuentes de emisión de gases de efecto invernadero
- Tabla para el registro de consumo de recursos
- Tabla para la definición de factor de emisión y potencial de calentamiento global por tipo de emisión
- Ecuación para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero

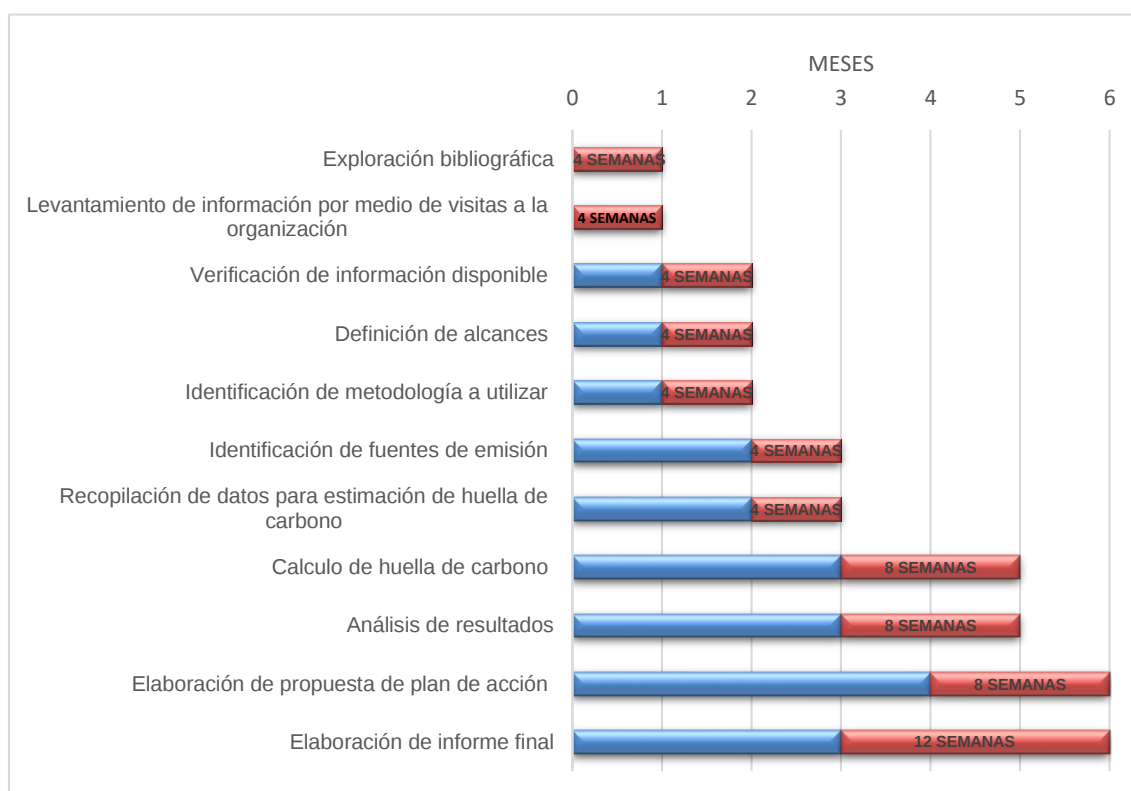
Posteriormente se analizarán y presentarán los resultados, por medio de las siguientes herramientas:

- Huella de carbono total emitida por la organización en tiempo definido
- Clasificación de huella de carbono por tipo de alcance de forma gráfica
- Plan de acción con alternativas para la reducción de huella de carbono
- Análisis costo-beneficio con las propuestas

12. CRONOGRAMA

Tabla 7.

Cronograma de actividades



Nota. Cronograma del desarrollo de la investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios, para el desarrollo de la investigación se deberá contar con los siguientes recursos:

- Recursos humanos
 - Jefe de departamento ambiental
 - Personal de mantenimiento
 - Personal de compras y abastecimiento
 - Personal docente de la Escuela de Postgrado de Ingeniería
 - Ingenieros asesores y revisores de la Escuela de Postgrado de Ingeniería
- Recursos tecnológicos
 - Computadora portátil
 - Impresora
 - Cámara fotográfica
 - Fotocopiadora
- Recursos físicos
 - Hojas de papel bond
 - Lapicero
 - Tablilla de madera

En cuanto a los recursos financieros, serán utilizados principalmente para la impresión de los formatos para recolección de información y para todo el proceso que se requiere en la elaboración del trabajo de tesis.

Tabla 8.

Recursos necesarios para la investigación

Descripción	Cantidad	Costo
Horas laborales en campo	50	Q 8,250.00
Horas laborales en escritorio	40	Q 5,600.00
Alimentación, gasolina, impresiones, entre otros.	1	Q 1,500.00
Cámara fotográfica para evidencias	1	Q 2,000.00
Laptop	1	Q 4,500.00
Total		Q 21,850.00

Nota. Recursos necesarios para el desarrollo de la investigación. Elaboración propia, realizado en Excel

Considerando que los recursos aportados son suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.

REFERENCIAS

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2018). *Descripción general de los gases de efecto invernadero | La energía y el medio ambiente | US EPA*. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero>
- Arango, A. y Camargo, J. (2012). Determinación de la huella de carbono de una empresa forestal productora de guadua, caso de la empresa Yarima Guadua, Eje Cafetero de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, (65-66), 56-61. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7067/Determinacion%20de%20la%20huella%20de%20carbono%20de%20una%20empresa%20forestal%20productora%20de%20guadua.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arellano, I. (2018). *Determinación de la Huella de Carbono a partir de la metodología análisis de ciclo de vida en la producción de biodiesel en la empresa Energías Biodegradables de Costa Rica*. [Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica]. Archivo digital. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UCR.000586212>
- Arias, F. (2016). *Desarrollo de un modelo de cálculo de huella de carbono para la producción porcina en España*. [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Valencia de España]. Archivo digital. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/72039/ARIAS%20-%20Desarrollo%20de%20un%20modelo%20de%20c%C3%A1lculo%20>

[de%20Huella%20de%20Carbono%20para%20la%20producci%C3%B3n%20porcina%20en%20Esp....pdf?sequence=1](#)

Asociación Española de Normalización y Certificación. (s.f.). *Norma PAS 2050*.
<https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/norma-pas-2050>

BBVA OpenMind. (22 de octubre de 2020). *¿Qué es la neutralidad de carbono y cómo se puede conseguir?*
<https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/que-es-la-neutralidad-de-carbono-y-como-se-puede-conseguir/>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2018). *La economía del cambio climático en Guatemala: Documento técnico 2018*.
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/43725-la-economia-cambio-climatico-guatemala-documento-tecnico-2018>

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (s. f.). *Los gases de efecto invernadero: Resumen ejecutivo*.
https://unfccc.int/resource/docs/publications/key_ghg_execsum_sp.pdf

Erazo, S. (2018). Determinación de la huella de carbono y la huella hídrica en el Instituto Tecnológico Superior SUCRE, Quito, Ecuador: Propuesta de un sistema de mitigación. [Tesis de pregrado, Universidad Internacional SEK de Ecuador]. Archivo digital.
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2904/2/TESIS%20ALEXANDRA%20ERAZO%20GUZM%C3%81N%20DOCUMENTO%20FINAL%2009-03.pdf>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2018). *¿Qué es el IPCC?*
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS_what_ipcc_es.pdf

Guerra, L. (2007). *Construcción de la huella de carbono y logro de carbono neutralidad para el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)*. [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza de Costa Rica]. Archivo digital.
https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4681/Construccion_de_la_huella_de_carbono.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Iberdrola. (s.f.). *¿Qué es el carbono neutralidad?*
<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-carbono-neutralidad>

IMF Business School. (18 de diciembre de 2019). *Contaminantes atmosféricos: ¿Qué son y qué efectos tienen?* <https://blogs.imf-formacion.com/blog/energias-renovables/contaminacion/contaminantes-atmosfericos/>

Instituto Meteorológico Nacional. (s.f.). *Composición de la atmósfera*.
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/27818/Comp-atmosfera.pdf/996a94d5-ec7c-478f-91ec-d465d8cab5f8>

Jurado, A. (2018), *Determinación de la huella de carbono de la empresa JRC Ingeniería y Construcción SAC en la unidad minera el Brocal*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Archivo digital.
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6211/T010_45727071_M%20-%20Abel%20Crispin%20Jurado.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kanankab. (23 de octubre de 2016). *La huella de carbono y su relación con el efecto invernadero*. <https://kanankab.wordpress.com/2016/10/23/la-huella-de-carbono-y-su-relacion-con-el-efecto-invernadero/>

Mateus, D. (2020). *Estudio y selección de la metodología a utilizar para la medición de la huella de carbono en el uso de las TIC en Colombia*. [Tesis de maestría, Universidad Santo Tomas de Colombia]. Archivo digital. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/29754>

Organización Mundial de la Salud. (2019). *Contaminación del aire*. <https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution>

Quezada, R., Hsieh, T. y Valderrama, J. (2013). Determinación de la Huella del Carbono mediante el Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) para una Empresa Vitivinícola en Chile. *Información Tecnológica*, 24(4), 3-14. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000400002&lng=en&nrm=iso&tlng=en

Sánchez, M. (2016). *Análisis de la huella de carbono y contenido de nutrientes de la masa de nixtamal producida en molinos ubicados en la ZMVM bajo el modelo GTG*. [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional de México]. Archivo digital. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/20378/Maria%20Eugenia%20Sanchez%20Femat.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (5 de junio de 2016). *Fuentes de contaminación atmosférica*

<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/fuentes-de-contaminacion-atmosferica>

Umaña, J. (2012). *Huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falán, Tolima*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana de Colombia]. Archivo digital. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/12390>

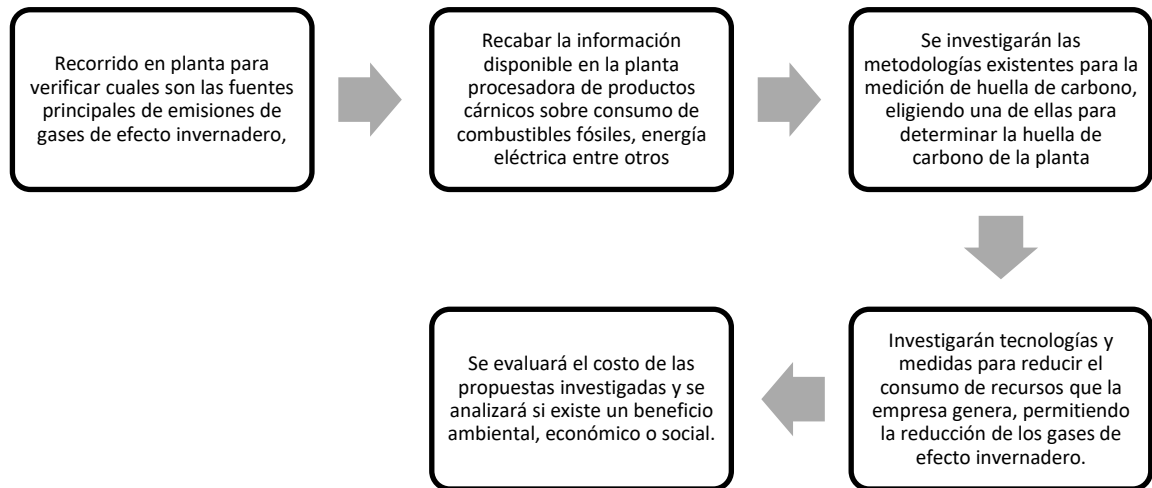
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (2019). *La atmósfera: capas y propiedades*. https://www.uaeh.edu.mx/division_academica/educacion-media/repositorio/2019/3-semester/diversidad-espacio-terrestre/docs/la-atmosfera-capas-propiedades.pdf

Universidad de Murcia. (s.f.). *Tema 3: La atmósfera*. https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-pau-bachillerato/tema_3_.pdf

APÉNDICES

Apéndice 1.

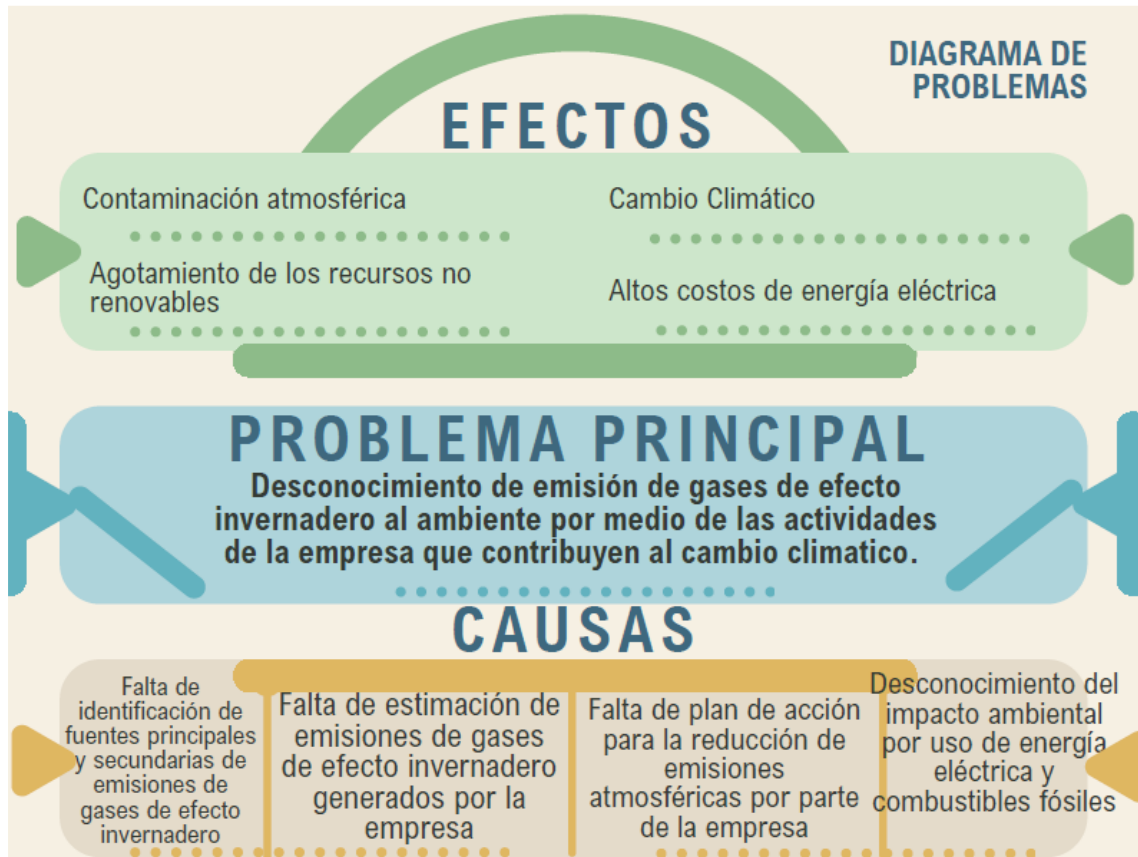
Plan de actividades



Nota. Plan de actividades de investigación. Elaboración propia.

Apéndice 2.

Árbol de problemas



Nota. Planteamiento del problema principal, sus causas y efectos. Elaboración propia.

Apéndice 3.

Matriz de coherencia

Descripción del problema	Pregunta del Problema	Objetivos	Justificación	Plan de acción
No se cuenta con un plan de acción que pueda establecer medidas para la reducción de gases de efecto invernadero que una empresa procesadora de productos cárnicos emite al medio ambiente.	Pregunta General	Objetivo General	Esta investigación tiene como objetivo estimar la huella de carbono y proponer medidas de mitigación para una planta procesadora de productos cárnicos en Guatemala, en el marco de la línea de investigación de Gestión y Manejo Ambiental de la Maestría de Energía y Ambiente. La investigación se justifica por la importancia de medir y evaluar los impactos del sector cárnico sobre el cambio climático y la salud humana, así como por la necesidad de generar soluciones factibles y sostenibles que mejoren el desempeño ambiental, económico y social de la empresa y del sector.	Determinar la huella de carbono por medio de las metodologías ya establecidas, tomando como base el dato de emisión se desarrollará un plan de acción para reducción de la huella de carbono.
	¿Qué medidas de reducción de la huella de carbono a estimar para la empresa procesadora de productos cárnicos se pueden implementar dentro del plan de acción, que pueda tener beneficios ambientales, económicos y sociales?	Proponer medidas de reducción de huella de carbono por medio de un plan de acción que sea ambiental, económica y socialmente sostenible para una planta de procesamiento de productos cárnicos.		
	Preguntas específicas:	Objetivos específicos:		
	¿Qué fuentes primarias y secundarias de emisiones de gases de efecto invernadero se pueden identificar en las actividades de la empresa?	1. Identificar las fuentes primarias y secundarias de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a las actividades de la empresa.		Se realizará un recorrido en planta para verificar cuales son las fuentes principales de emisiones de gases de efecto invernadero, así mismo, se solicitará información documental de consumo de recursos para verificar otras fuentes de emisiones
	¿Qué metodología se puede utilizar para estimar la huella de carbono de la empresa procesadora de productos cárnicos?	2. Definir una metodología adecuada para calcular la huella de carbono de la empresa procesadora de productos cárnicos.		Se investigarán las metodologías existentes para la medición de huella de carbono, eligiendo una de ellas para determinar la huella de carbono de la planta
	¿Qué medidas se pueden adoptar para reducir el consumo de recursos y las emisiones de gases de efecto invernadero en la empresa?	3. Evaluar medidas de reducción del consumo de recursos y las emisiones de gases de efecto invernadero en la empresa.		Se investigarán tecnologías y medidas para reducir el consumo de recursos que la empresa genera, permitiendo la reducción de los gases de efecto invernadero.
	¿Qué beneficios ambientales, económicos y sociales se pueden obtener al implementar planes de acción para la mitigación de emisiones?	4. Analizar los beneficios ambientales, económicos y sociales que se pueden obtener al implementar planes de acción para la mitigación de emisiones		Se evaluará el costo de las propuestas investigadas y se analizará si existe un beneficio ambiental, económico o social.

Nota. Matriz de coherencia de la investigación. Elaboración propia.

Apéndice 4.

Histórico de consumo de energía eléctrica

	Histórico de consumo de energía eléctrica	CÓDIGO PP-09/2023 Versión: 01 Página: 1/1																		
Fecha: ____/____/____/ Año base: _____ Nombre del encargado: _____ <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"><thead><tr><th style="width: 40%; text-align: center;">Mes</th><th style="width: 60%; text-align: center;">Consumo (kWh)</th></tr></thead><tbody><tr><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td></tr></tbody></table> _____ Firma de encargado			Mes	Consumo (kWh)																
Mes	Consumo (kWh)																			

Nota. Datos históricos del consumo de energía eléctrica en la organización. Elaboración propia.

Apéndice 5.

Histórico de consumo de combustibles fósiles

	Histórico de consumo de combustibles fósiles	CÓDIGO PP-09/2023 Versión: 01 Página: 1/1
Fecha: ____/____/____/ Año base: _____ Nombre del encargado: _____		
Mes	Tipo de combustible	Consumo (gal)

Firma de encargado

Nota. Datos históricos del consumo de combustibles fósiles en la organización. Elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1.

Constancia de colegiado activo

 **COLEGIO DE INGENIEROS
AGRÓNOMOS DE GUATEMALA**
POR GUATEMALA Y SU AGRICULTURA
11 Ave. 12-28 zona 2, Ciudad Nueva, Guatemala

SERIE F
No. 68735

El infrascrito Secretario del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Guatemala, CERTIFICA: Haber tenido a la vista el informe de Tesorería, en el cual consta que el(la):

Ingeniero/a Agrónomo (a)
Carlos Vinicio Godínez Miranda
Es miembro de este Colegio Profesional, inscrito con el número de Colegiado:

2212
Fecha de colegiación: 14 de enero de 2000
encontrándose en calidad de Colegiado Activo hasta el mes de:

Diciembre 2023

De consiguiente goza de los privilegios y obligaciones que la Ley de Colegiación Profesional Obligatoria confiere a los miembros de este Colegio, habiendo satisfecho lo preceptuado en el Decreto 48-77 y 69-92 Ley del Timbre del Ingeniero Agrónomo relacionado con el pago del Impuesto del Timbre.
A solicitud del (la) Interesado (a), se extiende la presente en:

Ciudad de Guatemala, 05/12/2022 11:37:15 a.m.

1. Esta certificación es válida únicamente en papel seguridad, con firma y sello originales o digitales.
2. Favor de verificar la autenticidad del Certificado al PBX: 2504-2929 E

Emitida por: **Murales, David(dmurales15)**

Ing. Agr. Felix Brito De León
Secretario de Junta Directiva

Nota. La figura muestra la constancia de colegiado activo del profesional asesor. Elaboración propia.

Anexo 2.

Diploma de grado académico magíster



Universidad Rafael Landívar
Guatemala

Por cuanto
el Ingeniero

Carlos Vinicio Godínez Miranda

llenó los requisitos académicos necesarios,

la Universidad Rafael Landívar

le otorga el grado académico de

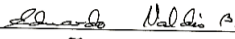
Magíster en Docencia Universitaria

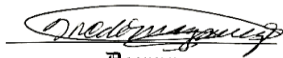
y le expide el presente diploma que le acredita como miembro de la

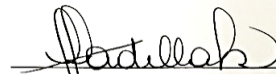
Facultad de Humanidades

y le concede el derecho de gozar de los honores y preeminencias debidos.

Dado en la Ciudad de Guatemala de la Asunción, a los diecinueve
días del mes de septiembre del año dos mil catorce.


Rector


Decana



Secretaria General


Continuación del anexo 2.



Razón de Pago		SAT	
Impuesto Sobre Títulos Universitarios y de Carreras Técnicas a nivel universitario		Servicio de Administración Tributaria	
NIT	11902817	Fecha de pago	13/09/2021
Nombre	CARLOS VINICIO GONÁLEZ MIRANDA	No. del formulario SAT-7190	719032580075969
Universidad	Universidad Rafael Landívar	Monto	Q100.00
Tipo de Título	Título de Maestría		
Nombre del Título	Magister en docencia universitaria		

Válido al encontrarse adherido al título que corresponda o impreso en el mismo.

Universidad Rafael Landívar CAMPUS CENTRAL Guatemala DIRECCIÓN DE REGISTRO Inscrito bajo el No. <u>50967</u> del Registro de Títulos respectivo. Guatemala, 26 de agosto del año 2014 MGTR. YADIRA BARRIOS DE BARRIOS Directora DIRECTORA DE REGISTRO Nº 034016	La infrascrita Secretaria General de la Universidad Rafael Landívar hace constar que el presente Diploma fue firmado por: Rector: <u>P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.</u> Secretaria General: <u>LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA</u> Decana: <u>MGTR. MARIA HILDA CABALLEROS ALVARADO DE MAZARIEGOS</u> Secretaria General
---	--

Nota. La figura muestra el título de grado a nivel magister del profesional asesor. Elaboración propia.

Anexo 3.

Hoja de vida del profesional asesor

HOJA DE VIDA
INGENIERO AGRÓNOMO CARLOS VINICIO GÓDINEZ MIRANDA

DATOS GENERALES:
 Fecha de nacimiento: 31 de octubre de 1971. Edad: 51 años. Estado civil: Casado.
 Profesión: Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola (USAC 1999).
 DPI: 2465905481220. NIT: 11902817.
 Correo electrónico: biomaconsultores@gmail.com
 Dirección Domiciliar: 4 Av. 9-20 Balcones de San Cristóbal Lt. 09 SE Zona 8 C. III El Álamo Mixco.
 Teléfono: 40797070.



DE	A	INSTITUCIÓN	TÍTULO RECIBIDO
2021	2021	CATHALAC, FAUSAC, CEPREDENAC	Diplomado "Gestión integrada de recursos hídricos ante los efectos del cambio climático"
2013	2013	Colegio de Ingenieros de Guatemala, CEDUCA	Estudios de Impacto Ambiental
2001	2005	Universidad Rafael Landívar, Facultad de Humanidades	Maestría en Docencia Universitaria
1993	1999	Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía	Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola
1989	1992	Escuela Nacional Central de Agricultura	Dasónomo

DE	A	INSTITUCIÓN	TRABAJO REALIZADO
2012	2023	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación	Profesional en seguimiento y evaluación en Planeamiento (DIPLAN) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
2010	2021	Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala	Catedrático de Economía de los Recursos naturales, Calidad del aire, Entomología y Manejo Integrado de Plagas (en FAUSAC)
2010	2012	Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas, MARN	Jefe del Área de Cuencas y Ordenamiento Territorial en la Unidad de Recursos Hídricos
2007	2008	Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria, OIRSA	Oficial A de Cuarentena. Entomólogo del Puesto SEPA Puerto Quetzal, Escuintla. Jefe de Laboratorio.
2007	2007	Constructora Nacional S.A. CONASA	Ejecutor Ambiental del Proyecto "Ampliación y Pavimentación de la Carretera de San Ildefonso Ixtahuacán a Cuilco, Huehuetenango".
2006	2007	Unidad de Gestión para el Desarrollo UGD MAGA	Consultor especialista en encadenamientos productivos
2005	2006	Escuela de Formación Agrícola (EFA) de Sololá	Director
2001	2005	Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas de la Universidad Rafael Landívar	Coordinador de Laboratorios; Coordinador de la Carrera de Gestión Ambiental; coordinador de proyectos ambientales y agrícolas; Catedrático
1999	2001	Centro Mesoamericano de Tecnología Apropiada CEMAT	Asistente técnico del Proyecto "Sistemas Integrados de Gestión Ambiental" ejecutado en Guatemala por CEMAT/IDEADS/ARMSA. Encargado del Componente Recursos Hídricos
1999	1999	Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala	Ayudante de Cátedra II Área de Protección de Plantas (Entomología)



Página 1 de 2

Nota. La figura muestra la hoja de vida del profesional asesor. Elaboración propia.