

# Cálculo de la huella de carbono en la granja avícola “Maravilla 3” en Manabí, Ecuador.

## *Calculation of the carbon footprint of the “Maravilla 3” poultry farm in Manabí, Ecuador.*

Zamora- Mendoza, José Luis<sup>1</sup>; Palacios- López, Luisa Anabel<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Universidad Estatal del Sur de Manabí; Ecuador, Jipijapa; <https://orcid.org/0009-0006-6025-9569>; [zamora-jose0418@unesum.edu.ec](mailto:zamora-jose0418@unesum.edu.ec).

<sup>2</sup> Universidad Estatal del Sur de Manabí; Ecuador, Jipijapa; <https://orcid.org/0000-0002-9257-7557>; [luisa.palacios@unesum.edu.ec](mailto:luisa.palacios@unesum.edu.ec).

<sup>1</sup> Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v3/n3/67>

**Cita:** Zamora-Mendoza, J. L., & Palacios-López, L. A. (2025). Cálculo de la huella de carbono en la granja avícola “Maravilla 3” en Manabí, Ecuador. *Innova Science Journal*, 3(3), 1-27. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v3/n3/67>

**Recibido:** 01/04/2025  
**Aceptado:** 07/06/2025  
**Publicado:** 31/07/2025



**Copyright:** © 2025 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución- NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

**Resumen:** La huella de carbono es clave para medir el impacto ambiental de la actividad avícola. En Ecuador, este sector creció un 27 %, impulsando la adopción de prácticas sostenibles. En la avícola “Maravilla 3” (Manabí), se calculó la huella de carbono mediante una metodología en dos fases: identificación de fuentes emisoras de GEI (gases de efecto invernadero) y cálculo de emisiones en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. El alcance 1, relacionado con combustibles y GLP, presentó mayores emisiones, seguido del alcance 2 (energía eléctrica) y el alcance 3 (manejo de desechos). Los resultados evidencian buenas prácticas ambientales en comparación con otras avícolas de similar producción, aunque persisten puntos críticos de emisión de CO<sub>2</sub> y metano que requieren atención para mejorar la sostenibilidad del proceso.

**Palabras clave:** Ambiente, carbono, CO<sub>2</sub>, sostenibilidad.

**Abstract:** The carbon footprint is a key indicator for measuring the environmental impact of poultry farming. In Ecuador, this sector has grown by 27%, prompting the adoption of sustainable practices. At “Maravilla 3” poultry farm in Manabí, the carbon footprint was assessed using a two-phase methodology: identifying greenhouse gas (GHG) emission sources and calculating emissions in tons of CO<sub>2</sub> equivalent. Scope 1 emissions, related to fuel and LPG use, were the highest, followed by Scope 2 (electricity consumption) and Scope 3 (waste management). The results highlight the implementation of good environmental practices compared to other poultry farms with similar production levels. However, critical emission points of CO<sub>2</sub> and methane were identified, underscoring the need for targeted reductions to enhance sustainability.

**Keywords:** Environment, carbon, CO<sub>2</sub>, sustainability.

## 1. Introducción

A nivel internacional, la creciente inquietud por el cambio climático y sus efectos ha llevado a la implementación de políticas ambientales que buscan la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en diversas industrias, incluida la agropecuaria. Dentro de este contexto, el cálculo de la huella de carbono se ha convertido en una herramienta fundamental para la medición del impacto ambiental de las actividades productivas, permitiendo a las empresas la identificación de sus fuentes de emisiones y la búsqueda de alternativas para mitigarlas.

Según los aportes de investigación de Rojano (2022), en el sector avícola la evaluación es clave, pues ayuda al establecimiento a desarrollar prácticas sostenibles que contribuyen a la reducción del impacto ambiental a nivel global. En años recientes, se han creado varias herramientas de cuantificación y metodologías para medir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por personas, instituciones o empresas. Una de las más reconocidas es la Huella de Carbono (HC) (Padgett, 2008), la cual funciona como una herramienta clave para identificar los principales focos de impacto ambiental de una actividad específica, así como su peso relativo en comparación con otras fuentes emisoras (Nodarse y Alonso, 2021).

En Latinoamérica, la industria avícola representa un sector económico importante, caracterizado por una creciente demanda interna y la exportación de productos. Sin embargo, esta expansión también trae consigo desafíos relacionados con la sostenibilidad, la cual se enfrenta a la necesidad de equilibrio entre el incremento económico y la conservación ambiental, impulsando estrategias que reduzcan las emisiones de carbono y mejoren la eficiencia en la producción avícola. Bajo este contexto los estudios de Zamora (2024), revelan que hay diversos países de la región que están adoptando medidas para la implementación tecnologías más limpias y prácticas agrícolas sostenibles que permitan la reducción de la HC del sector.

En Ecuador, la avicultura se destaca como una de las industrias más activas y en expansión dentro del sector agroalimentario, el país ha comenzado a tomar acciones para la medición y gestión de las emisiones de GEI generadas en este ámbito, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y las políticas de reducción de emisiones a nivel nacional. En este contexto, estudios recientes, como el de Saltos y Velazco (2023), señalan que la industria avícola ha experimentado un crecimiento sostenido, registrando un aumento del 27 % únicamente entre los años 2018 y 2019.

En Manabí, provincia clave para la producción avícola en Ecuador, el cálculo de la huella de carbono se presenta como una oportunidad para el fortalecimiento de la competitividad del sector local y la promoción de la sostenibilidad. Manabí tiene un papel relevante en el suministro de productos avícolas a nivel nacional, por lo que es esencial la implementación de prácticas sostenibles que minimicen las emisiones de GEI y mejoren la eficiencia de los procesos productivos.

Por lo tanto, este estudio permitió identificar cuáles fueron las fuentes principales de emisiones dentro de la avícola, sin esta información sería difícil implementar acciones efectivas para reducir el impacto ambiental, la medición ayudo a conocer dónde están los procesos que generan más GEI, facilitando así la toma de decisiones para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción. Por lo que es importante para los

avicultores, debido a que nos brinda una herramienta clara y cuantificable para gestionar de manera sostenible sus operaciones. Al conocer la HC, es posible implementar mejoras en la eficiencia del uso de recursos, reducir el consumo energético y reducir residuos, lo que no solo reduce el impacto ambiental, sino que también puede ocasionar ahorros económicos.

La adopción de estas medidas no solo contribuirá a la conservación del medio ambiente, sino que también impulsará el progreso económico y sostenible de la región, tal el caso de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, a través del programa de maestría en Gestión Ambiental, que enfatiza en este particular, a través del proyecto de investigación: Diagnóstico de las actividades productivas con impacto ambiental en la ciudad de Jipijapa. A pesar de que no se realizó la investigación en la ciudad de Jipijapa, sin duda alguna, la propuesta puede ser contextualizada.

La consideración de lo anterior, permite vislumbrar, la inexistencia de referencias científicas referentes a la huella de carbono de esta industria a nivel nacional. Por tanto, el objetivo de la investigación fue determinar la huella de carbono en la avícola “Maravilla 3” en Manabí, Ecuador.

## 2. Materiales y Métodos

La investigación se realizó en la avícola “Maravilla 3” en el cantón Rocafuerte, provincia de Manabí, Ecuador; durante el año 2024. Este centro avícola se dedica desde el año 2013 a la producción de pollos de engorde, los cuales son comercializados principalmente entre las provincias de Manabí, Guayas, Pichincha, entre otras, contribuyendo al abastecimiento regional de carne y al desarrollo económico del sector.

**Figura 1.**

### ***Ubicación de la avícola “Maravilla 3”***



*Nota:* Imagen de la ubicación de la avícola “Maravilla 3” adaptado de Google Earth (X: 569197 - Y: 9902961).

### **2.1 Instrumentos de medición y técnicas**

Para determinar la HC planteada se aplicó la metodología cuantitativa, con base en el “Protocolo de GEI” del año 2006.

Se emplearon métodos del nivel teórico, que incluye: análisis – síntesis para el estudio de la teoría relacionada con la HC, histórico – lógico para considerar la cronología de las investigaciones relacionadas con el tema que se aborda y el inductivo – deductivo, que permitió la abstracción del estudio, propiciando el tránsito de lo general, a lo particular, a lo singular. En el nivel empírico, se empleó: revisión documental con énfasis en la información de campo. En cuanto a los métodos estadístico – matemáticos; se realizó el cálculo del CO<sub>2</sub>eq.

### 2.1.1 La fase 1: Diagnóstico ambiental

Se realizó la recopilación de la información disponible en la avícola, así como la identificación de las fuentes emisoras de gases de efecto invernadero (GEI), tanto fijas como móviles. Entre los aspectos evaluados se incluyeron el consumo de energía eléctrica, el tipo y cantidad de combustibles utilizados, la caracterización de las aguas residuales y la generación mensual de residuos comunes. Esta información fue la base para determinar el diagnóstico de la parte interna de la avícola.

### 2.1.2 La fase 2: Cálculo de la huella de carbono

El cálculo se llevó a cabo mediante operaciones matemáticas basadas en factores de emisión, con el objetivo de convertir el uso de combustibles, la energía e insumos en masa de CO<sub>2</sub>eq. Para ello, se utilizaron factores de emisión confiables y validados, establecidos por diversas entidades reconocidas, como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la Comisión Europea y distintos ministerios. Además, se recurrió a inventarios nacionales de emisiones de GEI y a reportes anuales sobre consumo energético de varios países.

De esta manera emerge para cuantificar los GEI, la norma ISO 14064:2006, que establece los principios y requisitos para la medición y reporte de estas emisiones a nivel organizacional. Para aquello se manejó la ecuación (1) - principal de la HC es:

$$\text{Emisiones de GEI} = \text{Dato de Actividad} * (\text{FE}) \quad (1)$$

**Donde:**

**Dato de actividad:** Cantidad de combustible, kWh consumidos, etc.

**FE:** Factor de emisión para cada dato de actividad.

A partir de los resultados se propone medidas alternativas para la reducción y fijación de los gases de efecto invernadero en la avícola “Maravilla 3”, las cuales se basaron en especificaciones técnicas recopiladas de literaturas.

## 3. Resultados

### 3.1. Situación ambiental en la avícola “Maravilla 3”, periodo 2024.

La avícola está orientada a la producción de carne destinada al consumo humano, mediante la cría de aves broiler de las razas Cobb y Ross. Cuenta con ocho galpones, distribuidos en dos lotes de cuatro galpones cada uno, cada galpón alberga aproximadamente 24 000 aves, lo que resulta en un total de 196 800 individuos por corrida. Durante el año 2024 se realizaron cinco corridas, con un ingreso total de 984 000 aves.

En este contexto, cabe señalar que la granja avícola cuenta con un equipo permanente de ocho personas, distribuidas de la siguiente manera: dos galponeros, dos auxiliares de galponeros, dos encargados de mantenimiento general, un duchero y un administrador. La distribución del personal se detalla en la Tabla 1.

**Tabla 1:**  
**Vivienda y Biodigestores Instalados.**

Vivienda	Área	Unidad	n° persona	Biodigestor
Galponero 1	46,62	m <sup>2</sup>	3	1
Galponero 2	46,62	m <sup>2</sup>	4	
Administrador	46,62	m <sup>2</sup>	2	0
Dormitorio Personal De Planta	30,87	m <sup>2</sup>	5	1

*Nota:* Esta tabla es el resumen de vivienda y biodigestores de los Galpones 1 y 2, administrador y dormitorio personal de planta de la avícola "Maravilla 3".

Es importante destacar que la única vivienda que no dispone de un biodigestor para el tratamiento de aguas residuales es la del administrador. En este caso, las aguas se dirigen a una fosa séptica que posteriormente son evacuadas mediante un hidro succionador contratado específicamente para este tipo de servicios.

En las instalaciones de la avícola "Maravilla 3", se identificó diversas fuentes de emisiones, incluyendo fuentes fijas, fuentes móviles, el consumo de gas licuado de petróleo (GLP), el transporte de alimentos y agua. Asimismo, se evidenció la generación de desechos comunes, aguas residuales y facturas de consumo de energía eléctrica. Entre estas actividades, algunos contribuyen a la emisión de CO<sub>2</sub> equivalente al entorno, mientras que las diversas especies forestales presentes ayudan a la captura de CO<sub>2</sub>.

Se presenta una descripción detallada mediante tablas, con el propósito de mostrar el consumo de combustibles, gas licuado de petróleo (GLP) y energía eléctrica, así como el volumen de generación de residuos comunes, la caracterización de las aguas residuales y el inventario forestal.

**Tabla 2**  
**Fuentes Fijas Combustión a Diésel.**

Combustión diésel-galones													
Volumen / meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Subtotal
Generador de energía eléctrica	0	0	0	421,36	111,01	0	106,25	185,18	32,74	146,34	688,66	618,83	3 310,37
Calentadoras	1 382,1	0	0	182,31	0	151,23	335,26	258,08	503,83	0	3343,3	0	12 156,11
<b>Total-galones-anual</b>													<b>15 466,48</b>

*Nota:* Esta tabla es de las fuentes fijas de combustión a diésel de los generadores de energía eléctrica y calentadoras.

La tabla 2 denominada "Fuentes Fijas Combustión a Diésel", muestra el consumo de diésel en galones para dos tipos de fuentes fijas: Generadores de energía eléctrica y Calentadoras. El consumo se desglosa por meses, desde enero hasta diciembre, y se incluye un subtotal anual.

**Tabla 3**

**Fuentes Móviles Combustión a Diésel.**

Combustión diésel-galones													
Volumen/ meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Se p	Oct	No v	Dic	Subtotal
Bobcat + canguro dentro de galpón	90,6 7	0	208, 14	0	118, 22	94,2 8	0	220, 73	0	108,25	0	89, 79	930,08
Bobcat + gallineta fuera de galpón	70,0 2	124,57	99,4 4	0	39,6	0	0	0	0	128,23	0	0	461,86
<b>Total-galones-anual</b>													<b>1 391,94</b>

*Nota:* En esta table se muestra las fuentes móviles de combustión a diésel.

La tabla 3 muestra el consumo de diésel en galones para dos tipos de fuentes móviles: Bobcat + canguro dentro de galpón y Bobcat + gallineta fuera de galpón y refleja el subtotal anual consumido.

**Tabla 4**

**Fuentes Móviles Combustión a Gasolina.**

Combustión gasolina-galones													
Volumen/me ses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oc t	Nov	Dic	Subtot al
Hidrolavador a	12,8	1,33	124, 27	1,87	21,3 3	74,6 7	0	111, 2	0	90, 4	0	94,1 3	532
Tricitomo	5,86	3,2	6,67	1,87	4,53	4,27	5,33	3,2	6,4	2,1 3	9,07	5,07	57,6
Moto	0	0	0	0	1,07	0	0	0	0	0	0	0	1,07
Bomba motor	4,27	5,33	6,13	2,67	1,87	0	0	0	0	0	0	0	20,27
Guadañas	0	0	0	0	1,07	0	0	0	0	0	0	2,13	3,2
Picadora de cama	17,0 6	54,1 3	0	25,8 7	24,8	11,7 3	56,5 3	0	45,8 7	0	24,5 3	8	268,52
Equipo desinfección camas	1,87	0	0	1,07	0	2,4	0	0,8	0	0	1,6	1,33	9,07
Otros	0	1,33	1,07	0	1,6	1,07	0	0	0,8	0	0	0	5,87
<b>Total-galones-anual</b>													<b>897,6</b>

*Nota:* En esta tabla se muestra el consumo de gasolina en varios tipos de equipos utilizados.

La Tabla 4 representa el consumo de gasolina para fuentes móviles de combustión, específicamente para varios tipos de equipos utilizados en la operación y mantenimiento de la avícola.

**Tabla 5**

**Consumo de Combustible en Transporte de Materia Prima.**

<b>Consumo de combustible por vehículo (diésel)</b>				
Tipo de vehículo	# viajes/año	Km/día	Galones/día	Total consumido
Graneleros-alimento	165	90	18,1	2 986,5
Tanqueros-agua	363	40	9,16	3 325,08
<b>Total-combustible-anual</b>				<b>6 311,58</b>

*Nota:* En la tabla 5 es de combustible en transporte de materia prima.

La Tabla 5, nombrada "Consumo de Combustible en Transporte de Materia Prima", establece el consumo de combustible diésel específicamente para dos tipos de vehículos: graneleros-alimento y tanqueros-agua. Además, da a conocer los kilometrajes recorridos al día y número de viajes al año, obteniendo el total consumido al año.

**Tabla 6**

**Consumo de Gas Licuado del Petróleo.**

<b>GLP</b>													
Unidad/meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Subtotal
Gas licuado del petróleo	23	19	34	0	26	16	0	30	0	34	0	30	212
<b>Total-unidades-anual</b>													<b>212</b>

*Nota:* En esta tabla se ve el consumo de gas licuado del petróleo.

La tabla 6 titulada "Consumo de Gas Licuado del Petróleo", expone el consumo de GLP en unidades durante cada mes del año.

**Tabla 7**

**Consumo de Energía Eléctrica.**

<b>Consumo de energía eléctrica</b>													
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Subtotal	
34 361	53 068	15 322	58 278	22 821	22 576	66 656	45 604	8 812	36 362	14 658	18 999	397 517	
<b>Total - kw/anual</b>												<b>397 517</b>	

*Nota:* Se muestra kWh durante cada mes del año.

La tabla 7, nombrada "Consumo de Energía Eléctrica", muestra el consumo de energía eléctrica en kWh durante cada mes del año.

**Tabla 8**  
**Generación de Desechos Comunes.**

Desechos comunes													
Pesos/meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Subtotal
Orgánicos (resto de alimentos)	20,3	15,3	27,54	20,8	26,3	19,3	20,9	26,88	20,84	25,96	30,56	48,8	303,48
Inorgánicos (desechables)	21,17	22	18,45	21,58	23,33	20,27	23	56,94	23,15	58,5	24,92	53,51	366,82
<b>Total-kg-anual</b>													<b>670,3</b>

Nota: En la tabla 8 se ve la generación de desechos comunes.

La Tabla 8, representa la generación de desechos comunes durante un año, clasificados en dos categorías: orgánicos (restos de alimentos) e inorgánicos (desechables).

**Tabla 9**  
**Caracterización de aguas residuales.**

Detalle	Valor	Unidad
Promedio Caudal	0,013	l/s
Caudal diario	1120	l/día
Población Total (administrador, galponeros, auxiliares, mantenimiento y duchero.	14	Individuo
PPC Agua residual	80	l/habitante*día
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	108,60	mg/l

Nota: En esta tabla se muestran las características de las aguas residuales.

La Tabla 9, representa la caracterización de las aguas residuales generadas en la avícola Maravilla 3.

**Tabla 10**  
**Inventario Forestal.**

Nombre	Común	Científico	Rango de años					Subtotal
			1 a 2	3 a 4	5 a 6	7 a 9	10 a 12	
Neem		Azadirachta indica	59	66	0	0	1	126
Jazmín de arabia-primavera		Melia azederatch	3	0	0	0	0	3
Guayacán sureño		Tabebuia aurea	8	0	0	0	0	8
Acacia roja		Delonix regia	2	0	0	0	0	2
Mango		Mangifera indica	0	0	0	1	0	1
Naranja		Citrus x sinensis	0	2	0	0	0	2
Frutillo		Ehretia tinifolia l.	2	0	0	0	0	2
Limón mandarina		Citrus	0	0	2	0	0	2
Mamey amarillo		Mammea	1	0	0	0	0	1
Grosella		Ribes rubrum	1	0	0	0	0	1

Muyuyo	Cordia lutea	1	0	0	0	0	1
Pela caballo	Luehea divaricata	1	5	0	0	0	6
<b>Total de arboles</b>							<b>155</b>

Nota: La tabla 10 titulada "Inventario Forestal", muestra el número de árboles para cada especie, clasificados por su rango de edad.

### 3.2. Cálculo de la huella de carbono en la avícola "Maravilla 3"

#### 3.2.1. Cálculo del alcance 1.

Está relacionada con las emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles fósiles en la zona directa de la granja avícola los factores de emisión empleados se detallan en la tabla 11.

Tabla 11

#### Factores de emisión de combustibles utilizados en la avícola Maravilla 3.

Combustibles	PCI (kcal/kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	F-E (kg CO <sub>2</sub> /TJ)	F-E (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	F-E (t CO <sub>2</sub> /L)
Diésel	11 300	550	74 100	2677	0,002677
Gasolina	10 273	840	69 300	2242	0,002242
GLP	10 583	730	63 100	1642	0,001642

Nota: Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (2006). Directrices del IPCC 2006 para la elaboración de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

A continuación, se presentan los cálculos matemáticos realizados para obtener el valor correspondiente a dicho alcance.

Para el diésel:

$$23\ 170\ gal \left| \frac{3,785\ L}{1\ gal} \right| = 87\ 698,45\ L$$

Para la gasolina:

$$897,6\ gal \left| \frac{3,785\ L}{1\ gal} \right| = 3\ 397,42\ L$$

Para el GLP:

$$212\ tanques\ GLP \left[ \frac{15\ KG}{1\ tanque\ GLP} \right] = \left[ \frac{3\ 180\ kg}{730\ kg/m^3} \right] = 4,356\ m^3 \left[ \frac{1\ 000\ L}{1\ m^3} \right] = 4\ 356\ L$$

Utilizando la ecuación de la norma ISO 14064:2006 fue posible obtener los valores en toneladas de dióxido de carbono equivalente.

Tabla 12

#### Transformación de litros de combustible a t CO<sub>2</sub>.

Combustibles	Volumen (L)	F-E (t CO <sub>2</sub> /L)	t CO <sub>2</sub>
Diésel	87 698,45	0,002677	234,77

Gasolina	3 397,42	0,002242	7,62
GLP	4 356	0,001642	7,15

Nota: En la tabla 12 muestra la transformación de los litros de combustible.

Desde esta perspectiva de análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub>, es fundamental también cuantificar en toneladas los otros dos GEI significativos en Ecuador: el metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

**Tabla 13**

**Factores de emisión de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.**

Combustibles	F-E (Kg/ TJ)	
	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Diésel	3	0,6
Gasolina	3,8	5,7
GLP	5	0,1

Nota: Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (2006). Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Para transformar los volúmenes de combustibles consumidos durante el año 2024 en toneladas equivalentes de metano y óxido nitroso, se efectuaron los siguientes cálculos, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

**Datos de transformación:**

$$1 \text{ Kcal} = 4,1868 \text{ KJ}$$

$$1\text{KJ} = 1 \times 10^{-9} \text{ TJ.}$$

Los valores de poder calorífico inferior (PCI) y densidad empleados en este estudio fueron obtenidos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), específicamente de las Directrices de 2006 para la elaboración de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

**Diésel:** PCI = 11 300 Kcal/kg y densidad = 550 Kg/m<sup>3</sup>

**Gasolina:** PCI = 10 273 Kcal/kg y densidad = 840 Kg/m<sup>3</sup>

**GLP:** PCI = 10 583 Kcal/kg y densidad = 730 Kg/m<sup>3</sup>

**Para el diésel:**

$$11\ 300 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \left| \frac{550 \text{ Kg}}{\text{m}^3} \right| \left| \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right| = 6\ 215 \frac{\text{Kcal}}{\text{L}}$$

$$6\ 215 \frac{\text{Kcal}}{\text{L}} \left| \frac{4,1868 \text{ KJ}}{1 \text{ Kcal}} \right| \left| \frac{1 \times 10^{-9} \text{ TJ}}{1 \text{ KJ}} \right| = 0,000026 \frac{\text{TJ}}{\text{L}}$$

**Para la gasolina:**

$$10\,273 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \left| \frac{840 \text{ Kg}}{\text{m}^3} \right| \left| \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right| = 8\,629,32 \frac{\text{Kcal}}{\text{L}}$$

$$8\,629,32 \frac{\text{Kcal}}{\text{L}} \left| \frac{4,1868 \text{ KJ}}{1 \text{ Kcal}} \right| \left| \frac{1 \times 10^{-9} \text{ TJ}}{1 \text{ KJ}} \right| = 0,000036 \frac{\text{TJ}}{\text{L}}$$

Para el GLP:

$$10\,583 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \left| \frac{730 \text{ Kg}}{\text{m}^3} \right| \left| \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right| = 7\,725,59 \frac{\text{Kcal}}{\text{L}}$$

$$7\,725,59 \frac{\text{Kcal}}{\text{L}} \left| \frac{4,1868 \text{ KJ}}{1 \text{ Kcal}} \right| \left| \frac{1 \times 10^{-9} \text{ TJ}}{1 \text{ KJ}} \right| = 0,000032 \frac{\text{TJ}}{\text{L}}$$

Aplicando la ecuación 1 y realizando la conversión de unidades correspondiente, se obtienen los valores en toneladas para el metano y el óxido nitroso.

Para el diésel:

$$0,000026 \frac{\text{TJ}}{\text{L}} \left| \frac{3 \text{ Kg CH}_4}{\text{TJ}} \right| \left| \frac{87\,698,45 \text{ L}}{1} \right| \left| \frac{1 \text{ t CH}_4}{1000 \text{ Kg CH}_4} \right| = 0,0068 \text{ t CH}_4$$

$$0,000026 \frac{\text{TJ}}{\text{L}} \left| \frac{0,6 \text{ Kg N}_2\text{O}}{\text{TJ}} \right| \left| \frac{87\,698,45 \text{ L}}{1} \right| \left| \frac{1 \text{ t N}_2\text{O}}{1000 \text{ Kg N}_2\text{O}} \right| = 0,0014 \text{ t N}_2\text{O}$$

Para la gasolina:

$$0,000036 \frac{\text{TJ}}{\text{L}} \left| \frac{3,8 \text{ Kg CH}_4}{\text{TJ}} \right| \left| \frac{3\,397,42 \text{ L}}{1} \right| \left| \frac{1 \text{ t CH}_4}{1000 \text{ Kg CH}_4} \right| = 0,00046 \text{ t CH}_4$$

$$0,000036 \frac{\text{TJ}}{\text{L}} \left| \frac{5,7 \text{ Kg N}_2\text{O}}{\text{TJ}} \right| \left| \frac{3\,397,42 \text{ L}}{1} \right| \left| \frac{1 \text{ t N}_2\text{O}}{1000 \text{ Kg N}_2\text{O}} \right| = 0,00069 \text{ t N}_2\text{O}$$

Para el GLP:

$$0,000032 \frac{\text{TJ}}{\text{L}} \left| \frac{5 \text{ Kg CH}_4}{\text{TJ}} \right| \left| \frac{4\,356 \text{ L}}{1} \right| \left| \frac{1 \text{ t CH}_4}{1000 \text{ Kg CH}_4} \right| = 0,00069 \text{ t CH}_4$$

$$0,000032 \frac{\text{TJ}}{\text{L}} \left| \frac{0,1 \text{ Kg N}_2\text{O}}{\text{TJ}} \right| \left| \frac{4\,356 \text{ L}}{1} \right| \left| \frac{1 \text{ t N}_2\text{O}}{1000 \text{ Kg N}_2\text{O}} \right| = 0,000014 \text{ t N}_2\text{O}$$

El CO<sub>2</sub> equivalente es una unidad de referencia que permite comparar las emisiones de diversos gases de efecto invernadero en términos de su potencial de calentamiento global. Para calcular el CO<sub>2</sub> equivalente de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, se utilizó los factores de conversión basados en sus respectivos potenciales de calentamiento atmosférico (PCA). La ecuación (2) es la siguiente:

$$\text{Tonelada de CO}_2\text{eq} = \text{toneladas GEI} * \text{PCA} \quad (2)$$

**Donde:**

**Toneladas GEI:** son los valores totales de cualquier GEI.

**PCA:** Es el potencial de calentamiento atmosférico específico de cada GEI.

Cabe destacar que los potenciales de calentamiento atmosférico (PAC) del metano y del óxido nitroso, establecidos por el IPCC, son de 21 y 310 respectivamente. Estos factores han sido empleados para convertir las emisiones de estos gases a su equivalente en CO<sub>2</sub>.

Los resultados de las conversiones realizadas considerando estos PCA se muestran en la tabla 14:

**Tabla 14**

**Transformación a CO<sub>2</sub> eq por combustible.**

Combustibles		Toneladas	PCA	t CO2 eq
Diésel	CO <sub>2</sub>	234,77	1	234,77
	CH <sub>4</sub>	0,0068	21	0,1428
	N <sub>2</sub> O	0,0014	310	0,434
Gasolina	CO <sub>2</sub>	7,62	1	7,62
	CH <sub>4</sub>	0,00046	21	0,0097
	N <sub>2</sub> O	0,00069	310	0,2139
GLP	CO <sub>2</sub>	7,15	1	7,15
	CH <sub>4</sub>	0,00069	21	0,01449
	N <sub>2</sub> O	0,000014	310	0,00434

*Nota:* Se muestran en la tabla la transformación de a CO<sub>2</sub> eq por combustible

Por último, es posible calcular el valor total de las emisiones de dióxido de carbono correspondientes al alcance 1.

**Tabla 15**

**Total CO<sub>2</sub> eq alcance 1.**

COMBUSTIBLES	SUMA	TOTAL (t CO2 eq)
Diésel	234,77+0,1428+0,434	235,35
Gasolina	7,62+0,0097+0,2139	7,84
GLP	7,15+0,01449+0,00434	7,17
<b>ALCANCE 1</b>		<b>250,36</b>

*Nota:* Le muestra en la tabla 15 Total CO<sub>2</sub> eq alcance 1.

### 3.2.2. Cálculo del alcance 2.

Las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero (GEI), derivadas de la generación de electricidad consumida en la avícola “Maravilla 3”, se calcularon utilizando

los factores de emisión que se presentan en la Tabla 16. Estos factores facilitaron la estimación de las emisiones vinculadas a la producción de cada unidad de energía eléctrica empleada.

**Tabla 16**

**Factor de emisión de la energía eléctrica.**

Combustibles	F-E (t CO2 eq/MWh)
Electricidad por generación convencional	0,092

Nota: Tabla obtenida de CENACE (2023).

**Tabla 17**

**Total CO<sub>2</sub> eq alcance 2.**

Consumo eléctrico total (kWh)	Consumo eléctrico total (MWh)	F-E (t CO2 eq/MWh)	Alcance 2 (t CO2 eq)
397 517	397,517	0,092	36,57
	<b>ALCANCE 2</b>		<b>36,57</b>

Nota: tabla del consumo CO<sub>2</sub> eq alcance 2.

**3.2.3. Cálculo del alcance 3.**

Las emisiones indirectas asociadas a la avícola provienen de actividades que, aunque no se llevan a cabo directamente en la granja, son indispensables para su operación. Entre estas se incluyen principalmente la gestión de desechos comunes y el tratamiento de aguas residuales, cuyas emisiones de dióxido de carbono equivalente se han contabilizado para calcular el total de la huella de carbono.

**3.3. Eliminación de desechos comunes.**

El cálculo del metano generado por la descomposición de residuos orgánicos se basó en el método de descomposición de primer orden establecido por el IPCC. Siguiendo las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, específicamente en el Volumen 5 referente a Desechos, se utilizaron valores predeterminados esenciales para este estudio.

Este método asume que el material orgánico biodegradable presente en los residuos se descompone de manera gradual durante varias décadas. Por lo tanto, para esta investigación se consideró la disposición anual de desechos comunes, aplicando la ecuación (3):

$$DOC_m = W * DOC * DCO_f * MCF \quad (3)$$

**Donde:**

**DDOC<sub>m</sub>:** Masa del DDOC depositado, Gg.

**W:** Masa de los desechos depositados, Gg.

**DOC:** La fracción de carbono orgánico degradable correspondiente al año de deposición, expresada Gg de C/Gg de residuos, puede consultarse en el Cuadro 2.4 del

Capítulo 3, sobre eliminación de desechos sólidos, según las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

**DOCf:** Fracción del DDOC que puede descomponerse (fracción).

**MCF:** Factor de corrección de CH<sub>4</sub> que considera la descomposición aeróbica durante el año en que se deposita el residuo. Para más detalles, consulta el Cuadro 3.1. Capítulo 3 sobre la eliminación de residuos sólidos en las Directrices del IPCC 2006 para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Para estimar el contenido de carbono orgánico degradable (DOC) presente en los distintos tipos de residuos generados en la avícola Maravilla 3, se utilizaron los datos proporcionados por la guía correspondiente:

$$W * DOC$$

$$(0,30348 * 0,15) + (0,36682 * 0,24) = \mathbf{0,134 t}$$

La ecuación utilizada para el cálculo asume que el 50 % de la fracción de carbono orgánico degradable (DOCf) se descompone, por lo que se empleó un valor de 0,5. Asimismo, se aplicó un factor de corrección del metano (MCF) de 0,5, correspondiente a sitios de disposición semi-aeróbicos:

$$DDOCm = 0,134 * 0,5 * 0,5 = \mathbf{0,0335 t}$$

Para determinar la cantidad de metano emitido, se multiplicó la cantidad calculada de carbono orgánico degradable disuelto por la fracción de metano presente en el gas generado en el vertedero, y por el cociente entre los pesos moleculares del metano y del carbono. El resultado se obtuvo aplicando la ecuación (4), arrojando lo siguiente:

$$CH_4 \text{ Generado} = DDOCm * F * \frac{16}{12} \quad (4)$$

**Donde:**

**CH<sub>4</sub> generadoT:** cantidad CH<sub>4</sub> generado a partir del material en descomposición.

**DDOCm descompT:** CH<sub>4</sub> descompuesto durante el año T, Gg.

**F:** fracción volumétrica de CH<sub>4</sub> en el gas de vertedero generado (fracción).

**16/12:** cociente de pesos moleculares CH<sub>4</sub>/C (cociente).

$$CH_4 \text{ Generado} = 0,0335 * 0,5 * 16/12$$

$$CH_4 \text{ Generado} = \mathbf{0,022 t CH_4}$$

Finalmente, la cantidad de metano estimada se transforma a toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente al multiplicar el valor por el potencial de calentamiento global (PCA) del metano, obteniéndose de esta manera:

$$Emisiones de CO_2 = 0,022 * 21$$

$$Emisiones de CO_2 = \mathbf{0,462 t CO_2 eq}$$

### 3.4. Eliminación de aguas residuales.

Las emisiones de CH<sub>4</sub> generadas por la avícola Maravilla 3 fueron estimadas utilizando la ecuación (5), la cual está definida en las Directrices del (IPCC 2006) para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Antes se determinó la demanda bioquímica de oxígeno (BOD) per cápita:

$$DBO \text{ per cápita} = \frac{108,6 \text{ mg de } \frac{BOD}{l} * (1\ 120 \text{ l/día})}{14 \text{ individuo}}$$

$$= 8\ 688 \frac{\text{mg de DBO}}{\text{individuo por día}} = 8,688 \frac{\text{g de BOD}}{\text{individuo por día}} = 0,008688 \frac{\text{kg de BOD}}{\text{individuo por día}}$$

Seguidamente, se procedió al cálculo el TOW considerando los datos previamente obtenidos:

$$TOW: \text{Población} * BOD * 365 \text{ días}$$

$$TOW: 14 * 0,008688 * 365$$

$$TOW: 44,39 \frac{\text{kg de BOD}}{\text{año}}$$

Para el cálculo del factor de emisión de CH<sub>4</sub> para cada vía o sistema de tratamiento y/o expulsión de aguas residuales domésticas, se utilizó la siguiente ecuación (6):

$$EF_j = B_o * MCF_j \quad (6)$$

**Donde:**

**EF<sub>j</sub>:** factor de emisión, kg de CH<sub>4</sub>/kg de BOD “Demanda Biológica de Oxígeno”.

**J:** cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación.

**B<sub>o</sub>:** capacidad máxima de producción de CH<sub>4</sub>, kg de CH<sub>4</sub>/kg de COD “Demanda Química de Oxígeno”.

**MCF<sub>j</sub>:** factor corrector para el metano (fracción - véase el Cuadro 6.3, del capítulo 6, tratamiento y eliminación de aguas residuales de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero).

$$EF_j = 0,6 * 1 = 0,6$$

#### Tabla 18

**Valores por defecto para CH<sub>4</sub> proveniente de descargas líquidas.**

---

Capacidad máxima de producción de CH<sub>4</sub> (B<sub>o</sub>).

---

Aguas residuales domésticas		Valor por defecto
		0,6
Valores de MCF por defecto para las aguas residuales domésticas		
Tipo de vía de eliminación	MCF 1	Intervalo
Con tratamiento	1	0,8 – 1,0
Reactor anaeróbico		
<b>Valores para la urbanización (U), grado de utilización de la vía del tratamiento (Ti, j).</b>		
Vía del tratamiento (Ti, j).		
<b>Urbanización (Ui)</b>	U=urbana de ingresos bajos	
<b>País</b>	Urbana baja	Otro
<b>Ecuador</b>	0,20	0,80
Factor de corrección para DBO.		
<b>No recolectado</b>	1,00	

Nota: Obtenido de panel Intergubernamental sobre el cambio climático (2006).

Directrices del IPCC 2006 para la elaboración de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \left[ \sum_{i,j} (u_i * T_{i,j} * EF_j) \right] * (TOW - S) - R \quad (5)$$

**Donde:**

**Emisiones de CH4:** emisiones de CH4 durante el año del inventario, kg de CH4/año.

**TOW:** total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg de BOD/año.

**S:** componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario, kg de BOD/año.

**Ui:** fracción de la población del grupo de ingresos i en el año de inventario, véase el Cuadro 6.5. Capítulo 6, tratamiento y eliminación de aguas residuales de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

**Ti,j:** grado de utilización de vía o sistema de tratamiento y/o eliminación j, para cada fracción de grupo de ingresos i en el año del inventario, véase el Cuadro 6.5. Capítulo 6, tratamiento y eliminación de aguas residuales de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

**i:** grupo de ingresos: rural, urbano de altos ingresos y urbano de bajos ingresos.

**j:** cada vía o sistema de tratamiento/eliminación.

**EFj:** factor de emisión, kg de CH4/kg de BOD.

$$S = \% \text{ eliminación } BOD_{Biodigestor} * TOW$$

$$S = 0,85 * 44,39 = 37,73 \frac{kg \text{ de BOD}}{\text{año}}$$

$$Emisiones \text{ de } CH_4 = [(0,20)(0,80)(0,6)] * (44,39 - 37,73) - 0$$

$$Emisiones \text{ de } CH_4 = 0,64 \frac{Kg \text{ de } CH_4}{\text{año}} \text{ o } 0,00064 \frac{t \text{ de } CH_4}{\text{año}}$$

Para transformar el resultado anterior a toneladas de CO2 equivalente se multiplico según el potencial de calentamiento atmosférico del gas metano.

$$Emisiones = 0,00064 * 21$$

$$Emisiones \text{ totales} = 0,013 \frac{t \text{ de } CO_2 \text{ eq}}{\text{año}}$$

Para estimar las emisiones de N<sub>2</sub>O, se empleó la ecuación (7), la cual está especificada en las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, en el Volumen 5, correspondiente al tratamiento y eliminación de aguas residuales.

$$Emisiones \text{ de } N_2O = N \text{ efluente} * EF \text{ efluente} * \frac{44}{28} \quad (7)$$

**Donde:**

**Emisiones de N<sub>2</sub>O:** emisiones de N<sub>2</sub>O durante el año del inventario, kg de N<sub>2</sub>O/año.

**N EFLUENTE:** nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, kg de N/ año.

**EF EFLUENTE:** factor de emisión para las emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de la eliminación en aguas servidas, kg de N<sub>2</sub>O/kg de N.

El factor 44/28 corresponde a la conversión de kg de N<sub>2</sub>O-N en kg de N<sub>2</sub>O.

En lo que concierne a la elección del factor de emisión para N<sub>2</sub>O tenemos por defecto el valor del IPCC para aguas servidas domésticas de efluentes con nitrógeno, dicho valor es 0,005 kg N<sub>2</sub>O-N/kg de N, mismo que se presenta en la tabla 19.

**Tabla 19**

**Valores por defecto para N<sub>2</sub>O provenientes de las aguas residuales.**

Factor de emisión.	Descripción.	Valor por defecto.	Intervalo.
Proteína	Consumo anual de proteína per cápita	0,057	± 10%
FNPR	Fracción de nitrógeno contenido en la proteína	0,16	0,15 – 0,17
FNON–CON	Factor de ajuste para la proteína no consumida	1,4 para los países con eliminación de basura	1,0-1,5

FIND-COM	Factor introducido para tomar en cuenta las co-descargas de nitrógeno industrial en los alcantarillados.	1,25	1,0 – 1,5
EF EFLUENTE	Factor de emisión, (kg de N <sub>2</sub> O-N/kg de N).	0,005	0,0005 - 0,25

*Nota:* Obtenido de panel intergubernamental del cambio climático (2006).

Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

$$N_{EFLUENTE} = (P * Proteína * F_{NPR} * F_{NON-CON} * F_{IND-COM}) - N_{LODO}$$

**Donde:**

**NEFLUENTE:** cantidad total anual de nitrógeno en los efluentes de aguas residuales, kg de N/año

**P:** población humana

**Proteína:** consumo per cápita anual de proteínas, kg./persona/año.

**FNPR:** fracción de nitrógeno en las proteínas, por defecto = 0,16, kg de N/kg de proteína.

**FNON-CON:** factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales.

**FIND-COM:** factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado.

**NLODO:** nitrógeno separado con el lodo residual (por defecto = 0), kg de N/año.

$$N_{EFLUENTE} = \left( 14 * 0,057 \frac{kg \text{ de } N}{\text{individuos año}} * 0,16 * 1,4 * 1,25 \right) - 0$$

$$N_{EFLUENTE} = 0,22344 \frac{kg \text{ de } N}{\text{año}}$$

Una vez hallado este valor es posible calcular las emisiones de N<sub>2</sub>O de las aguas residuales, para lo cual se usó la ecuación (7) de esta manera:

$$\text{Emisiones de } N_2O = 0,22344 \frac{kg \text{ de } N}{\text{año}} * 0,005 \frac{kg \text{ } N_2O - N}{Kg \text{ de } N} * \frac{44}{28}$$

$$\text{Emisiones de } N_2O = 0,00175 \frac{kg \text{ } N_2O}{\text{año}}$$

Y utilizando el PCA del N<sub>2</sub>O:

$$\text{Emisiones de } N_2O = 1,75 \times 10^{-6} \frac{t \text{ } N_2O}{\text{año}} * \frac{310 t \text{ } CO_2 \text{ eq}}{1 t \text{ de } N_2O}$$

$$\text{Emisiones Totales} = 0,0005425 \frac{t \text{ de } CO_2 \text{ eq}}{\text{año}}$$

**Tabla 20.**  
**Total CO<sub>2</sub> eq alcance 3.**

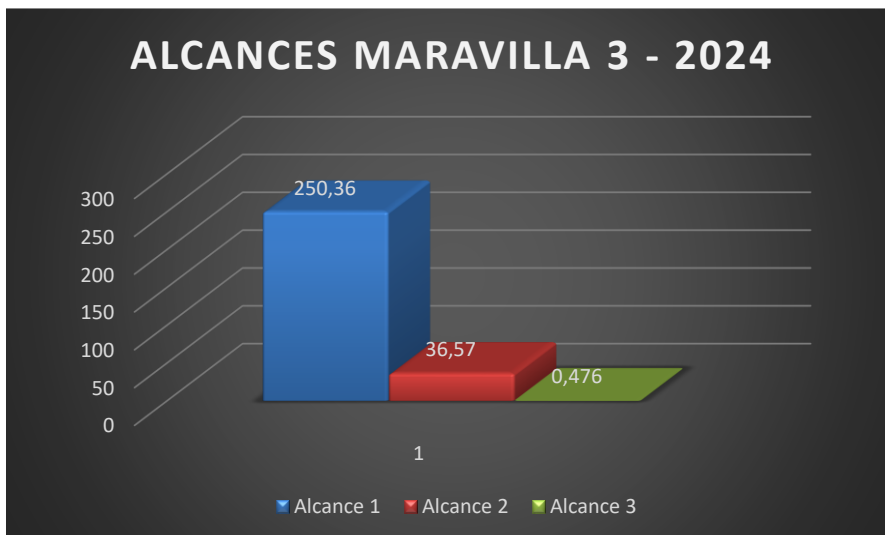
COMBUSTIBLES	SUMA	TOTAL (t CO <sub>2</sub> eq)
Eliminación desechos comunes	0,462	0,462
Eliminación aguas residuales	0,013+0,0005425	0,014
<b>ALCANCE 3</b>		<b>0,476</b>

*Nota:* En la tabla 20 de muestra CO<sub>2</sub> eq alcance 3.

Analizando los resultados de los alcances se obtuvo el valor total de la huella de carbono en la avícola Maravilla 3 durante el año 2024.

**Figura 2.**

**Resultados de los alcances en Maravilla 3 durante el año 2024.**



*Nota:* Se muestra los porcentajes de los alcances de la avícola “Maravilla 3”

Como se muestra en la figura 2, el alcance 1 es el que representa el mayor valor, con 250,36 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, seguido del alcance 2 con 36,57 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente y finalmente el menor valor, el del alcance 3, es 0,476 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

Al sumar los 3 alcances se obtiene un total de 287,406 toneladas de CO<sub>2</sub> eq.

**3.5. Proponer medidas alternativas para la reducción y fijación de los gases de efecto invernadero en la avícola “Maravilla 3”.**

Dentro de las medidas alternativas compensatoria que han realizado en la avícola Maravilla 3, se destaca el programa de reforestación, del cual se realizó un inventario y se logró identificar 155 árboles de diferentes especies, entre las más comunes se encuentra al neem con 126 árboles, guayacán sureño con 8 árboles, jazmín de arabia con 3 árboles, entre otras variedades.

Adicionando como punto resaltante es que la mayoría de estos árboles son jóvenes y a medida que vayan creciendo su capacidad para capturar CO<sub>2</sub> aumentara

significativamente como sumideros que luchan contra el cambio climático, en consecuencia, actualmente los 155 árboles captan 1,83 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente al año.

Desde esta perspectiva de análisis, es prudente seguir aplicando estrategias integrales que combinen la reducción de combustibles fósiles, la eficiencia energética, la gestión de desechos sólidos y líquidos y la captura de carbono para el abordaje de manera efectiva de la problemática de los gases de efecto invernadero en la avícola.

Al implementar tecnologías innovadoras y capacitar al personal administrativo y operativo de avícola “Maravilla 3”, son pasos clave para cerrar estas brechas y avanzar hacia una avicultura más sostenible, entre ellas tenemos:

### **3.6. Eficiencia energética y energías renovables:**

**3.6.1. Instalación de paneles solares:** Según el estudio de Pérez et al. (2023), en el centro porcino de la granja “El Guayabal” se determinó que el 64,84 % de la demanda eléctrica puede ser cubierta mediante la energía generada a partir de biogás. El porcentaje restante puede satisfacerse utilizando energía solar, tanto fotovoltaica como térmica, en proporciones del 20,96 % y 14,20 %, respectivamente. El análisis del impacto ambiental reveló que con esta propuesta se evita la emisión de 9,41 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> al año, la liberación de 7,95 m<sup>3</sup> diarios de metano, y el consumo de 4,11 toneladas equivalentes de petróleo anualmente. Además, se identificó el potencial de producción de 0,13 m<sup>3</sup> diarios de biofertilizantes. El estudio concluye que esta alternativa permite reducir el impacto ambiental, disminuir el consumo de energía convencional, recortar costos por electricidad y generar biofertilizantes aprovechables en diversos cultivos, contribuyendo así a la mejora del esquema energético mediante el uso de fuentes renovables.

De acuerdo, con Coque (2024), el estudio tiene como objetivo analizar cómo la implementación de sistemas fotovoltaicos puede contribuir a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en la empresa Baker Hughes (ALS Mitad del Mundo), utilizando como referencia metodológica la norma ISO 14064-1 para el cálculo de la huella de carbono. Asimismo, se realizó el dimensionamiento del sistema solar, concluyéndose que serían necesarios 107 paneles solares con una capacidad de 316 W cada uno. Los resultados mostraron una disminución anual de emisiones de 15,94 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo cual equivale a aproximadamente 115 vuelos entre Quito y Guayaquil.

En congruencia con lo expuesto, al optar por energía solar, se logrará minimizar la dependencia de los combustibles fósiles para cubrir las necesidades energéticas de la avícola Maravilla 3, como calefacción, ventilación e iluminación. Esto, a su vez, ayuda a disminuir a gran escala las emisiones de CO<sub>2</sub>.

**3.6.2. Mejorar la eficiencia energética:** A partir de la explicación de Guerrero, et al. (2023), Exhibe que el desarrollo de redes inteligentes (smart grids) también ha sido un factor clave en la optimización del uso de energías renovables. Estas redes incorporan tecnologías de inteligencia artificial y sistemas de gestión de datos para mejorar la eficiencia del suministro eléctrico, reducir pérdidas energéticas y adaptar la producción a la demanda en tiempo real (Lund et al., 2020). La digitalización del sector energético, junto con la descentralización de la generación mediante sistemas de autoconsumo y comunidades.

Por otra parte Serrano, et al. (2015), Se ha planteado un estudio de caso en el que luminarias de halogenuros metálicos han sido sustituidas por luminarias LED, los resultados conseguidos indican que ambas luminarias son equiparables obteniendo un importante ahorro energético cercano al 50%, lo cual señala que la tecnología LED ofrece soluciones de iluminación de alto rendimiento que optimizan el ahorro energético reduciendo a su vez costes de mantenimiento e incrementando la esperanza de vida útil de las luminarias. Además, sustenta, que desde el punto de vista medioambiental supone una importante reducción en emisiones de CO<sub>2</sub> y eliminación de residuos tóxicos como el mercurio.

Tomando como base dichas investigaciones, cambiar las lámparas tradicionales por tecnología LED para la iluminación y aplicando redes inteligentes permitirá consumir electricidad de manera más eficiente en la avícola Maravilla 3.

### **3.7. Gestión sostenible de residuos sólidos:**

**3.7.1. Manejo y Clasificación de los desechos sólidos:** Es de gran importancia capacitar y concientizar tanto al personal de mano de obra directa como indirecta de la avícola sobre la importancia de manipular y clasificar correctamente los desechos sólidos no peligrosos. Para facilitar su clasificación, se deberá utilizar contenedores de colores como lo estipula la norma INEN 2841, con el objetivo de reutilizar aquellos desechos que aún puedan ser aprovechados y someterlos a un proceso productivo, buscando así generar nuevos productos y fomentar la sostenibilidad en la producción avícola (NTE INEN 2841, 2014).

**3.7.2. Aguas residuales:** el estudio de Gonzales, et al. (2022), plantea como objetivo, exponer y comparar la efectividad de fosas sépticas y biodigestores en el procedimiento de aguas residuales domésticas, para lo cual realizaron análisis estadístico de los datos proporcionados del monitoreo de fosas sépticas y biodigestores por parte del departamento de operaciones de agua potable y saneamiento de ETAPA EP. Concluyeron que la efectividad tanto para fosas sépticas con 80,96 % como los biodigestores con 84,16 % son seguros en el tratamiento de aguas residuales domésticas siempre y cuando estén bien construidas e instaladas, tomando en cuenta las normativas existentes para su construcción.

En el marco contextual antes indicado, es esencial que en la avícola Maravilla 3 se trate las aguas residuales utilizando biodigestores u otros métodos avanzados para garantizar que se ajusten a los límites de descarga establecidos, ya que esto no solo permitirá darles un nuevo propósito como el riego, sino que también contribuirá a la sostenibilidad ambiental en la producción avícola.

**3.7.3. Producción de biogás:** En el estudio de Sanguino et al. (2009), se señala que una granja típica produce aproximadamente 150,000 aves por ciclo y genera 507 toneladas de pollinaza o estiércol seco, el cual es compostado o reutilizado en los galpones tras un proceso de desinfección. La investigación evalúa la tecnología de gasificación de pollinaza, que aprovecha el alto potencial energético de esta biomasa, proponiendo un ciclo operativo con un rendimiento del 96,07 % en el proceso de gasificación. Además, se indica que el consumo energético anual de una granja promedio es de 2,234 MWh, y que la cantidad de estiércol producido puede cubrir esta demanda, generando 2,233.8 MWh al año y permitiendo así el autoabastecimiento

energético. Sin embargo, el principal desafío económico radica en la recuperación a largo plazo de la inversión inicial, que asciende a 860,131 dólares para la puesta en marcha del sistema.

Según los autores, resulta importante considerar la implementación de sistemas de digestión anaeróbica en la avícola Maravilla 3, ya que esta tecnología permite convertir la pollinaza en biogás, lo que no solo reduce las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ), sino que también ofrece una fuente de energía renovable para la granja y disminuye la dependencia de combustibles fósiles.

**3.7.4. Compostaje para fertilización orgánica:** Un punto de vista de referencia en el estudio de Castro, et al. (2023). Particulariza que los microorganismos edáficos desempeñan un papel esencial en la fertilidad del suelo, facilitando la disponibilidad y el reciclaje de nutrientes clave para el crecimiento de las plantas. A través de procesos bioquímicos especializados, estos organismos regulan el ciclo del nitrógeno, transforman formas insolubles de fósforo en compuestos biodisponibles y degradan la materia orgánica para generar sustancias húmicas que mejoran la estructura y la retención de humedad en el suelo.

Del mismo modo el artículo de Lazcano, et al. (2021), indica que el uso de fertilizantes orgánicos constituye una estrategia sostenible para reciclar nutrientes, aumentar las reservas de carbono (C) del suelo y mitigar el cambio climático. Por lo consiguiente acota que el estiércol sin procesar con alto contenido de humedad, nitrógeno (N) disponible y C puede alterar la estructura de la comunidad microbiana, aumentando la abundancia y la actividad de los microorganismos nitrificantes y desnitrificantes. Lo contrario al estiércol procesado, como el digestato, el compost, el vermicompost y el biocarbón, que puede estimular los microorganismos nitrificantes y desnitrificantes. Además, detalla que la aplicación a largo plazo de estiércol compostado y la acumulación de reservas de C en el suelo pueden contribuir a la retención de N como N microbiano u orgánico estabilizado en el suelo, al tiempo que aumentan la abundancia de microorganismos desnitrificantes y, por lo tanto, reducen las emisiones del óxido de nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) al favorecer la finalización de la desnitrificación para producir gas dinitrógeno.

Por lo expuesto, al utilizar el estiércol tratado para producir compost que se aplique como fertilizante orgánico en las áreas agrícolas, es una excelente práctica que se puede elaborar a través de la pollinaza que se genera en la avícola Maravilla 3, esto ayudara a reducir la emisión de gases como  $\text{N}_2\text{O}$  y mejora la sostenibilidad en el manejo de nutrientes.

### **3.8. Captura y fijación de carbono:**

**3.8.1. Reforestación y agroforestería:** Romero et al. (2021) realizaron una investigación en cinco localidades de las provincias de Imbabura y Carchi, con el propósito de medir la tasa de fijación de carbono (C) en sistemas agroforestales manejados por pequeños productores en los Andes ecuatorianos. Los resultados mostraron que la mayor tasa de fijación de carbono fue de 87,13  $\text{Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ , registrada en un sistema silvopastoril que combina *Eucalyptus globulus* con *Pennisetum clandestinum*.

Aunque la investigación no se basó en el sector avícola, dio a conocer la tasa de fijación de  $C$ , por lo tanto, plantar y establecer cinturones verdes en el perímetro de la avícola Maravilla 3 puede ser una gran manera de capturar  $CO_2$  de la atmósfera, actuando como sumideros de carbono. La agroforestería que combina cultivos con árboles, es una práctica que beneficia tanto la biodiversidad como la sostenibilidad del ecosistema agrícola.

### **3.9. Reducción del uso de combustibles fósiles:**

**3.9.1. Transición a maquinaria eléctrica o híbrida:** de conformidad con la investigación de Broadbent, et al. (2017), indica que acelerar la adopción de vehículos eléctricos (VE) es un objetivo de muchos países para mitigar y mejorar las externalidades negativas derivadas del uso de combustibles fósiles, incluyendo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la contaminación atmosférica y el ruido, así como aumentar la seguridad energética y reducir los déficits presupuestarios. El documento evidencia cómo la implementación de estas estrategias puede afectar las tasas generales de adopción. Por lo consiguiente con Prina, J. et al. (2023), El estudio se enfoca en evaluar la viabilidad de reemplazar tractores a gasoil por tractores eléctricos en el cultivo de arroz, así como en la implementación de un sistema para optimizar la carga de las baterías de estos vehículos. Los resultados preliminares muestran que la adopción de tractores eléctricos presenta importantes beneficios, como la reducción de emisiones contaminantes y la disminución de la dependencia de combustibles fósiles. No obstante, también se identificaron desafíos relacionados con la autonomía de los tractores, la disponibilidad de infraestructura de recarga y posibles impactos económicos para los agricultores. La información recopilada servirá para orientar la planificación estratégica en la incorporación de tecnologías más limpias en la agricultura y para el desarrollo de políticas que promuevan la sostenibilidad en la producción de arroz y otros cultivos.

Al cambiar las maquinarias que funciona con combustibles fósiles por alternativas eléctricas o híbridas es un paso importante hacia un futuro más sostenible en la avícola Maravilla 3.

**3.9.2. Optimización de la logística interna y externa:** el PNUD, (2024), establece que el sector transporte es uno de los principales responsables de las emisiones GEI a nivel global, lo que lo convierte en un área de oportunidad para ofrecer soluciones más claras y de alto impacto para alcanzar los objetivos propuestos en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC). En América Latina y el Caribe (ALC), el sector transporte es también el principal generador de  $CO_2$  por combustión con un 37,7% del total, seguido en importancia por el sector industrial con un 28,2% y el sector residencial con un 13,6%.

Con lo contextualizado, es importante tomar en cuenta que en la avícola Maravilla 3 se tiene que mejorar la planificación de rutas y el uso de vehículos para la reducción del consumo de combustible y, por ende, las emisiones asociadas.

## **4. Discusión**

Para discutir teóricamente los resultados de esta investigación, es pertinente destacar el estudio del Grupo AN (Avinewa, 2023), el cual identifica al consumo eléctrico y uso del combustible empleado para el transporte como factores determinantes en el cálculo

de la huella de carbono en la producción de la carne de pollo. Estos hallazgos coinciden parcialmente con los resultados obtenidos en este trabajo, en la que se identificó que las principales fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> eq, se generan a partir del sistema de calefacción en fuente fija, consumo de combustibles de fuentes móviles, consumo energético y la eliminación de desechos sólidos y líquidos.

En este sentido, la avícola “Maravilla 3” genera un total de 287,406 toneladas de CO<sub>2</sub> eq/año para una producción anual de 984 000 aves, cifra que refleja valores inferiores en comparación con el trabajo reportado por Guasca (2021), en el municipio de San Pedro, Valle del Cauca, donde las avícolas dedicadas al engorde de pollos emiten alrededor de 56 843,05 toneladas de CO<sub>2</sub> eq/año con 812 000 aves. Asimismo, el estudio de Rosero (2016) en una empresa avícola del cantón Bucay (Guayas, Ecuador), sin especificar el número de aves producidas, estima una huella de carbono de 531,5250 CO<sub>2</sub> eq ton/año.

La comparación evidencia que, a pesar de contar con una mayor cantidad de aves, la avícola “Maravilla 3” registra emisiones relativamente más bajas, esto puede estar asociado a la escala de producción, condiciones regionales y tecnologías aplicadas en cada avícola.

Este argumento se respalda en las recomendaciones de Portillo (2022), quien propone medidas como la adaptación de la gestión ambiental en la actividad avícola: a través de la adopción progresiva de fuentes de energía sostenibles, optimización de rutas y minimización de distancias de recorrido, como estrategias clave para disminuir la huella de carbono. Esto guarda relación en ciertas actividades con la avícola “Maravilla 3”, ya que dentro de las medidas planteadas han aplicado eficiencia energética y optimización de rutas.

En cuanto las acciones de mitigación, se identificó que la avícola logra capturar aproximadamente 1,83 toneladas de CO<sub>2</sub> eq/año mediante especies vegetales implantadas en sus instalaciones. Esta práctica puede llegar a maximizarse y continuar reduciendo carbono, así lo sostiene Lal en su estudio de Impactos del secuestro de carbono en el suelo en el cambio climático global y la seguridad alimentaria (2004), en el que indica que la integración de sistemas agroforestales y la promoción de prácticas de conservación del suelo pueden contribuir a la captura de CO<sub>2</sub>, mejorando así la capacidad de los sistemas agrícolas para actuar como sumideros de carbono. Si bien esto se aplica comúnmente a cultivos y sistemas mixtos, las granjas avícolas también pueden adoptar estas prácticas, especialmente en zonas circundantes para compensar las emisiones de GEI.

Así mismo, Casas, et al., (2022) destacan la importancia de la tecnología en la sostenibilidad de la avicultura, mejorando aspectos relacionados con el medio ambiente, el bienestar animal y la inocuidad alimentaria, siendo este aporte altamente significativo en la avicultura de precisión, debido que permite optimizar el uso de recursos, minimizar costos y mejorar la eficiencia productiva, contribuyendo a una producción más sostenible y resiliente.

## 5. Conclusiones

La evaluación inicial mostró que las principales fuentes de emisiones en la avícola provienen del uso de 12 156,11 gal-diésel en el sistema de calefacción y 1 391,94 gal-

diésel; 897,6 gal-gasolina de maquinarias y herramientas; seguido por el consumo de energía eléctrica con 397 517 kw/año, gestión de los desechos sólidos con 670,3 kg/año y por último en la generación de aguas residuales con 80 l/Hab\*día.

El análisis de la huella de carbono permitió determinar que con la producción de 984 000 aves/año se generaron 287,406 t CO<sub>2</sub> eq/año, siendo el alcance 1 con mayor emisión relacionado con el uso de combustible de 250,36 t CO<sub>2</sub> eq, el segundo alcance con el consumo de energía eléctrica de 36,57 t CO<sub>2</sub> eq y el tercer alcance que considera la descomposición de los residuos sólidos y descargas aguas residuales en 0,476 CO<sub>2</sub> eq, destacando la necesidad de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y metano como prioridad para la mitigación del impacto ambiental.

Se han propuesto medidas alternativas para reducir el consumo de combustibles, mejorar la eficiencia energética, optimizar la gestión de residuos sólidos, descarga de aguas residuales y el fomento de la captura de carbono, lo que permitirá a la avícola la disminución de su huella de carbono, a favor de la sostenibilidad ambiental.

### Referencias Bibliográficas

Avinews (2023). Certificado el cálculo de la huella de carbono de un kilo de pollo desde las granjas de cría hasta la comercialización. Grupo AN.

Broadbent, G., Drozdowski, D. and Metternicht, G. (2017). Electric vehicle adoption: an analysis of best practice and pitfalls for policy making from experiences of Europe and the US. *Geography Compass*. 2017; e12358. <https://doi.org/10.1111/gec3.12358>

Casas, L., Carvalho, A., y Viñoles, J. (2022). La avicultura de precisión: una herramienta clave para potenciar la eficiencia del sector avícola. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*.

Castro-Landin, A. L., Mayra Lisette, M. L., y Luisa Anabel, L. A. (2023). El rol de los microorganismos en la fertilidad del suelo agrícola basado en una revisión de estudios recientes. *Innova Science Journal*, 1(1), 26-37. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v1/n1/8>.

CENACE. (2023). Matriz Factor Emisión\_CO2\_SNI\_2022. Factor de Emisión de CO<sub>2</sub> 2022. Ecuador.

Coque L., (2024). Análisis de la reducción en emisiones de efecto invernadero debido a la penetración de sistemas fotovoltaicos en la empresa Baker Hughes (Als mitad del mundo). Obtenido de Chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/25384/1/CD%2014073.pdf

Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. y Tanabe, K. (2006). Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático Volumen 5, desechos. JAPÓN, 240-0115.

González, M., Coronel, D., y Matovelle, C. (2022). Determinación de la eficiencia en el uso de fosas sépticas y filtros anaerobios (Biodigestor) para el tratamiento de

- aguas residuales domésticas. AlfaPublicaciones, 4(2.1), 6–24.  
<https://doi.org/10.33262/ap.v4i2.1.191>
- Guasca, J., Jaramillo P., y Lopez J. (2021). Medición de la huella de carbono (CO<sub>2</sub>) en el sector avícola del municipio de San Pedro valle del Cauca
- Guerrero-Calero, J. M., Diego Raul, D. R., Marco Antonio, M. A., y Gema Elizabeth, G. E. (2023). Energías limpias y desarrollo sostenible una revisión sobre las tendencias y desafíos actuales. *Innova Science Journal*, 1(1), 38-50.  
<https://doi.org/10.63618/omd/isj/v1/n1/9>
- Lal, R. (2004). Impactos del secuestro de carbono en el suelo en el cambio climático global y la seguridad alimentaria. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- Lazcano, C., Barker, X., y Decock, Ch. (2021). Effects of organic fertilizers on the soil microorganisms responsible for N<sub>2</sub>O emissions: a review. Disponible en <https://doi.org/10.3390/microorganisms9050983>
- Lund, H., Østergaard, P. A., Connolly, D., y Mathiesen, B. V. (2017). Smart energy and smart energy systems. *Energy*, 137, 556–565.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.123>
- Nodarse, R., y Alonso, Y. (2021). Determinación estimada de la huella del carbono en un municipio rural Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas (Vols. 4, núm. 2). Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=721778109028>
- NTE INEN 2841. (2014). Gestión ambiental. estandarización de colores para recipientes de depósito y almacenamiento temporal de residuos sólidos. requisitos
- Padgett, P. (2008). A Comparison of Carbon Calculators. *Environmental Impact Assessment Review*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=721778109028>
- Pérez, O., Morejón, Y., Pérez, M., Barrios, S., y Suarez, J. (2023). Sostenibilidad energética basada en la implementación de energías renovables en centros porcinos: caso Granja “El Guayabal”. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v32n3/es\_2071-0054-rcta-32-03-e05.pdf
- Portillo, F. (2022). Estimación del impacto ambiental de un sistema convencional de producción de pollo de engorde en costa rica. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/8818b882-d8b4-40e4-bf5d-a464f0404f5f/content
- Prina, J., Trombotti, M., y Miranda, R. (2023). Análisis de viabilidad de tractores eléctricos a batería e implementación de sistema de optimización de carga en tiempo real en la cuenca arrocerá del país. URI: <http://hdl.handle.net/20.500.11968/6582>

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2024). Transporte de bajas emisiones para cumplir con el Acuerdo de París en América Latina y el Caribe. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-12/transport\_ndc\_stocktake\_lac\_spanish-16122024.pdf
- Rojano, T. (2022). Metodología de cálculo de la huella de carbono a partir del tejido urbano. Aplicación en Fuencaliente. La Palma.
- Romero, M., y Gómez, N. (2021). Fijación de carbono en sistemas agroforestales gestionados por pequeños productores de los Andes del Ecuador. Disponible en <https://doi.org/10.54753/blc.v11i2.1089>
- Rosero, A. (2016). Determinación de huella de carbono en una empresa avícola del cantón Bucay, provincia del Guayas
- Saltos, H. T. V., y Velazco, A. J. V. (2023). Huella de carbono generada por la producción de huevos. Caso: granja avícola Velasco, provincia de Manabí, Ecuador. Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales, 17(1)
- Sanguino, P., Téllez, N., Escalante, H., y Vásquez, C. (2009). Aprovechamiento energético de la biomasa residual del sector avícola. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=342030280005>
- Serrano, A., Martínez, A., Guarddon, O., y Santolaya, J. (2015). Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v82n191/v82n191a29.pdf
- Zamora, J. (2024). Propuesta de plan de mitigación de huella de carbono en finca del colegio técnico profesional, Liberia, Guanacaste, Costa Rica. Maestría en Gestión de Agronegocios y Mercados Sostenibles.

#### CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.