

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster Universitario en Sistemas Integrados de Gestión

ANÁLISIS DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA PRODUCCIÓN DE HUEVOS DE GALLINAS PONEDORAS Y ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN.

Alumno: Kevin Guayasamín

Tutor: Lucía Cachafeiro

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ANÁLISIS DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA PRODUCCIÓN DE HUEVOS DE GALLINAS PONEDORAS Y ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN.

Máster Universitario en Sistemas Integrados de Gestión

Alumno: Kevin Guayasamín

TUTOR: Lucía Cachafeiro

Madrid, 2026

ÍNDICE

1.	RESUMEN/ABSTRACT:	8
2.	Introducción:	10
3.	Objetivos:.....	14
3.1.	Principal:	14
3.2.	Específicos:.....	14
4.	Marco teórico:.....	14
4.1.	Huella de carbono en producción alimentaria	15
4.1.1.	¿Qué es la huella de carbono?	15
4.1.2.	Producción animal y la huella de carbono (producción alimento, emisiones entéricas y de estiércol, consumo de energías renovables y no renovables, transporte).....	16
4.1.3.	Producción del alimento:.....	16
4.1.4.	Consumo energético:.....	16
4.1.5.	Gestión de estiércol:.....	16
4.1.6.	Transporte:.....	16
4.2.	Enfoque del análisis de ciclo de vida (ACV)	16
4.3.	Fases del Análisis del Ciclo de Vida:	17
4.3.1.	Objetivo y alcance	17
4.3.5.	Análisis del inventario (LCI):	17
4.4.	Estrategias de mitigación de la huella de carbono	20
4.4.1.	Gestión y suministro del alimento.	20
4.4.2.	Manejo de estiércol y residuos:	20
4.4.3.	Eficiencia energética y energías renovables:	20
5.	Metodología:.....	21
5.1.	Fase 1; Definición del objetivo y el alcance del sistema.....	21
5.1.1.	Unidad funcional	21
5.1.2.	Límites del sistema:	22
5.1.3.	Selección de la granja, descripción y recopilación de datos.....	22
5.2.	Fase 2; Calculo de la Huella de Carbono y Análisis de Resultados.....	23
5.2.1.	Metodología de cálculo:	23
5.2.2.	Análisis de sensibilidad y puntos críticos.	24

5.3.	Fase 3: propuesta de evaluación y estrategias de mitigación:	24
5.3.1.	Diseño de estrategias de mitigación:	24
5.3.2.	Evaluación de la viabilidad.	25
6.	Resultados.....	25
6.1.	Identificación de los procesos y actividades que tienen impacto en la generación de la huella de carbono en la granja avícola “los cuatro hermanos”	25
		37
6.2.	Cálculo de la huella de carbono generada en la Granja Avícola “los Cuatro Hermanos”.	38
6.3.1.	Gestión de mortalidad.....	43
6.3.2.	Gestión de Gallinaza:.....	43
6.3.3.	Uso de cubetas de cartón:	44
7.	Discusión.....	45
7.2.	Identificación de los procesos y actividades que intervienen en la generación de la huella de carbono en la granja avícola “Los Cuatro Hermanos”	45
7.3.	Cálculo de la huella de carbono en la granja avícola “Los Cuatro Hermanos”	46
7.4.	Planteamiento de las estrategias para la reducción de GEI en la avícola “Los Cuatro Hermanos”	47
8.	Conclusiones	48
9.	Futuras líneas de investigación:	49
9.1.	Optimización Nutricional y Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de Insumos Locales	49
9.2.	Tecnologías de Mitigación en la Gestión de Residuos (Gallinaza)	49
9.3.	Análisis Comparativo de Sistemas de Bienestar Animal y Sostenibilidad.....	50
9.4.	Digitalización y Monitoreo de Emisiones en Tiempo Real	50
10.	Referencias Bibliográficas:.....	51

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Tabla de factores de emisión para el cálculo de la huella de carbono (Espinoza, Margoth et al., 2023; IPCC, 2006; RAGEI, 2023).	23
Tabla 2: Datos generales de la avícola "Los Cuatro Hermanos".....	25
Tabla 3: Resumen de estándares de rendimiento (Hy-Line International, 2025).	27
Tabla 4: Materia prima para la elaboración del balanceado y sus cantidades en las diferentes etapas de crianza.	28
Tabla 5: Áreas de producción.	29
Tabla 6: Actividades que se desarrollan en el proceso de producción.	29
Tabla 7: Procesos de producción dentro de la explotación.	30
Tabla 8: Actividades que se realizan en la etapa de crianza.	33
Tabla 9: Actividades que se realizan en la etapa de postura.	34
Tabla 10: Actividades que se realizan en la etapa de distribución.	35
Tabla 11: Cantidad de consumo anual en la etapa de crianza.	38
Tabla 12: Cantidad de consumo anual en las etapas de postura y distribución.	38
Tabla 13: Emisiones de gases de la avícola.....	40
Tabla 14: Cálculo de la huella de carbono en la avícola "Los Cuatro Hermanos".....	41
Tabla 15: Resumen de la generación de GEI en la granja "Los Cuatro Hermanos".....	41

INDICE DE FIGURAS:

Figure 1: Producción de huevos a nivel mundial (FAOSTAT, 2025).	10
Figure 2: emisiones según materia prima en función al contenido proteico (kg CO2 eq/kg proteína) (FAO, 2013).	12
Figure 3: Producción de huevos frescos en Ecuador desde el año 2016 hasta el año 2023 (FAOSTAT, 2025).	13
Figure 4: Huella de Carbono (Fuente: GHG Protocol).	15
Figure 5: Metodología del ACV (Norma UNE-EN ISO 14040:2006).	17
Figure 6: Categorías de impacto ambiental a efecto medio y efecto último (PRé Consultants, 2015).	19
Figure 7: ubicación geográfica de la granja avícola "Los Cuatro Hermanos".	26
Figure 8: Mapa de proceso de producción de huevo dentro de la avícola "Los Cuatro Hermanos".	32
Figure 9: Flujograma de entrada y salida de materiales en la etapa de crianza (elaboración propia).	36
Figure 10: <i>Flujograma de entrada y salida de materiales en la etapa de postura y distribución (elaboración propia)</i>	37
Figure 11: Porcentajes por categorías de las emisiones de GEI.....	42
Figure 12: <i>Emisión de GEI por etapas</i>	42

1. RESUMEN/ABSTRACT:

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal analizar la huella de carbono en la producción de huevos de la granja avícola "Los Cuatro Hermanos", ubicada en la parroquia Alchipichi, provincia de Pichincha, Ecuador. La metodología empleada se basa en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) bajo un enfoque de "la cuna a la puerta de la granja", siguiendo los principios de la norma ISO 14067.

La unidad funcional definida para el estudio es la producción mensual de 342,000 huevos, escalada a un año de operación. El inventario de datos recopilado directamente en la granja incluye el consumo de materias primas para alimento balanceado (maíz, soya, aceite de palma, entre otros), consumo energético (electricidad y GLP para calefacción), uso de empaques (cubetas de cartón) y gestión de residuos (gallinaza y mortalidad).

Como resultado del análisis, se identifican los puntos críticos de emisión, destacando que la producción de alimento balanceado y el uso de cubetas de cartón son los mayores contribuyentes a la huella total. Finalmente, el documento propone estrategias de mitigación técnica y económicamente viables para pequeños productores, tales como la implementación de compostaje aeróbico, el uso de tecnología LED, la optimización de dietas con aditivos naturales y el fomento de cadenas de distribución locales para reducir el impacto del transporte.

Palabras clave: Huella de carbono, análisis de ciclo de vida, producción avícola, estrategias de mitigación, gases de efecto invernadero.

This research aims to analyze the carbon footprint of egg production at the "Los Cuatro Hermanos" poultry farm, located in Alchipichi, Pichincha province, Ecuador. The methodology is based on Life Cycle Assessment (LCA) with a "cradle-to-farm gate" approach, following the principles of ISO 14067.

The functional unit defined for the study is the monthly production of 342,000 eggs, scaled to one year of operation. The data inventory collected directly from the farm includes raw material consumption for balanced feed (corn, soy, palm oil, etc.), energy consumption (electricity and LPG for heating), packaging use (cardboard trays), and waste management (manure and mortality).

The analysis identifies critical emission points, highlighting that balanced feed production and cardboard tray usage are the main contributors to the total footprint. Finally, the document proposes technically and economically viable mitigation strategies for small producers, such as aerobic composting, LED technology implementation, diet optimization with natural additives, and promoting local distribution chains to reduce transport impact.

Keywords: carbon footprint. Lyfe cycle assessment, poultry production, mitigation strategy, greenhouse gases.

2. INTRODUCCIÓN:

La creciente preocupación frente al cambio climático ha tenido un impulso hacia una revisión y reevaluación más profunda de las prácticas de producción en distintos sectores y la industria alimentaria no es la excepción. En particular la producción animal es una de las principales fuentes identificadas de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). en este caso específico se hablará de la producción de huevos, este alimento representa una fuente de proteína y macronutrientes (hidratos de carbono, lípidos, colina), usados en la dieta humana y son catalogados como alimentos saludable y nutritivo de bajo precio. Durante los últimos años la producción de huevos ha ido en aumento a nivel mundial, durante el año 2013 llegó a alcanzar una producción de 68 millones de toneladas (Abín et al., 2018).

La avicultura o la industria avícola es una de las industrias más grandes y la que más se ha desarrollado en el sector agrícola, por lo que se requieren grandes cantidades de energía. Por estas razones la producción de huevos comerciales llega a tener el desafío de ofrecer un producto de calidad que cumpla con los requisitos y expectativas del consumidor, el cumplimiento de las normativas medioambientales y maximizar la rentabilidad (Pelletier et al., 2013).

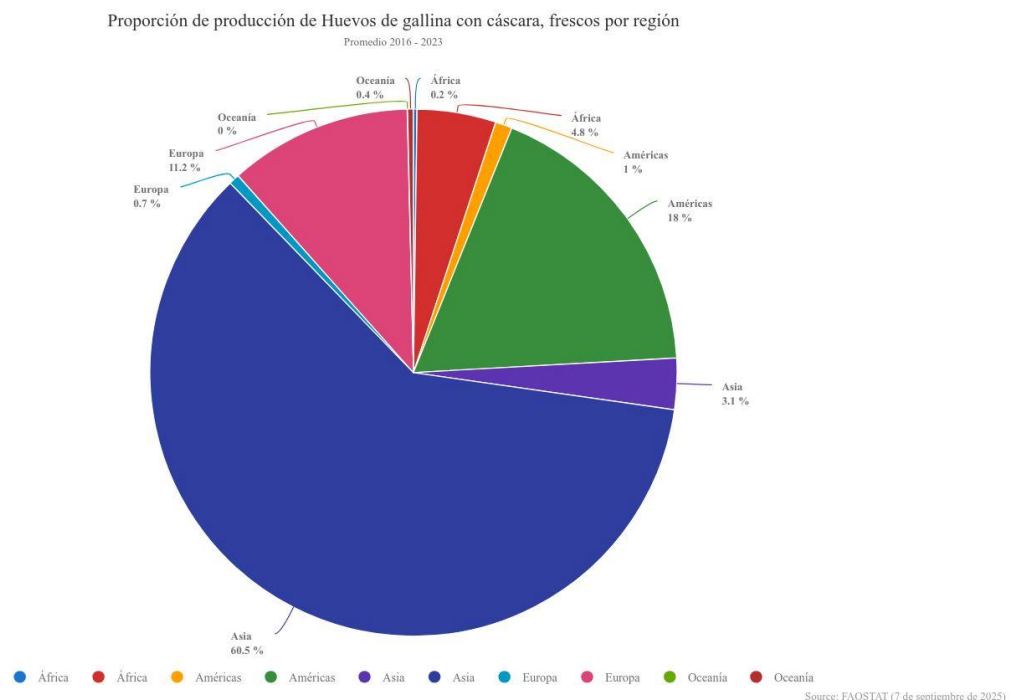


Figure 1: Producción de huevos a nivel mundial (FAOSTAT, 2025).

La definición de la huella de carbono es el total de las emisiones de GEI que son producidas por una organización, evento, producto o individuo. Esto se logra medir en unidades de dióxido de carbono (CO₂-eq), donde se abarcan las emisiones tanto directas como indirectas (Wiedmann & Minx, 2008). En lo que compete a la producción de huevos, principalmente las emisiones directas son provenientes de la fermentación entérica y la mala gestión del estiércol de las propias aves, a su vez las emisiones indirectas se las asocia a la producción del alimento balanceado, que conlleva el consumo de energía de las instalaciones, el transporte tanto para insumos y productos y la fabricación de los materiales del envasado (Pérez et al., 2018). Como primer paso se debe comprender la magnitud y las fuentes de las emisiones, para poder desarrollar intervenciones que ayuden a disminuir la carga ambiental del sector productivo. Las diferencias que existen entre las grandes y pequeñas industria, es el manejo, la alimentación y el uso de los recursos, lo que se puede traducir en una generación de huella de carbono distinta. El análisis de esto es fundamental para poder llevar a cabo soluciones ambientalmente beneficiosas, si no que a su vez sean económicamente viables para los pequeños productores.

En las últimas décadas el sector avícola ha experimentado una transformación, ha recurrido a sistemas de producción más intensivos para poder satisfacer la demanda. Sin embargo, la adopción de este sistema ha traído un aumento en el uso de los recursos naturales y en el incremento de las emisiones del GEI. La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) asegura que la ganadería es la responsable del 14,5% de las emisiones antropogénicas de GEI a nivel mundial, ahí entra el sector avícola contribuyendo por una pequeña fracción pero que no debe pasar desapercibida (Gerber et al., 2013). La mayoría de las investigaciones sobre la huella de carbono se centran en la producción de huevos de escala industrial en países desarrollados (MacLeos et al., 2013). Los estudios demuestran que el principal punto crítico en la huella de carbono es la producción de alimento balanceado, que llega a representar entre el 60% y el 80% del total de las emisiones, aunque hay más emisiones asociadas como lo son el consumo de energía, transporte y la gestión de residuos, son significativas, pero en menor medida.

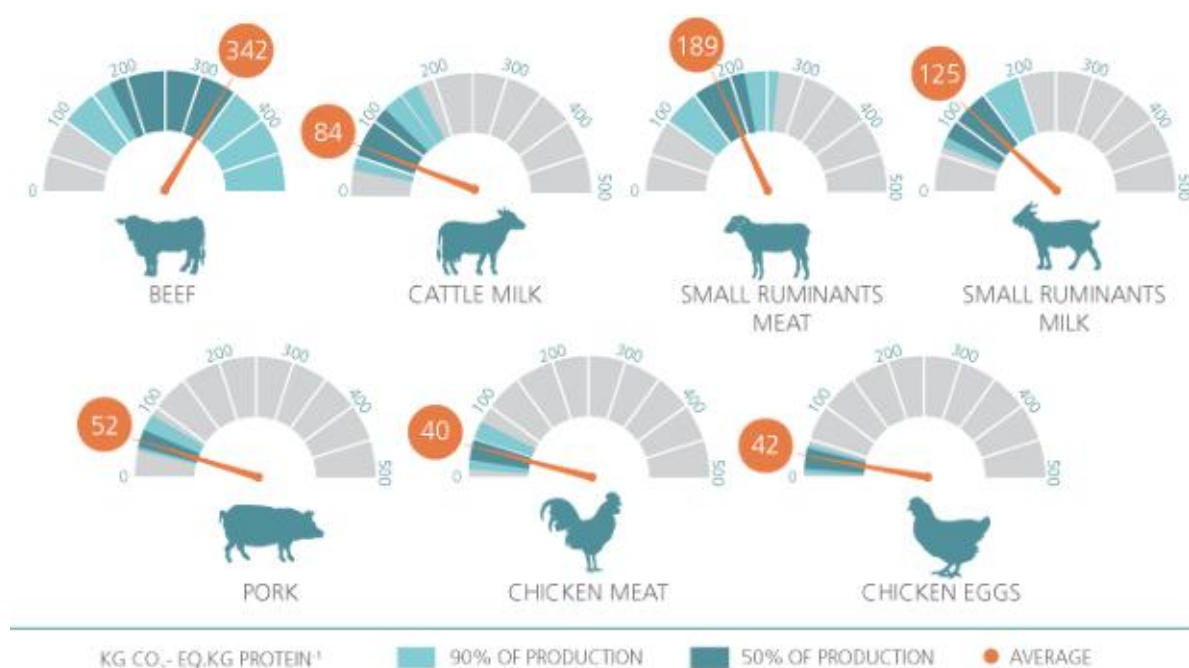


Figure 2: emisiones según materia prima en función al contenido proteico (kg CO₂ eq/kg proteína) (FAO, 2013).

A pesar de que exista una extensa información sobre la huella de carbono sobre la producción avícola a gran escala, hay una brecha inmensa de conocimiento sobre los sistemas de producción más pequeños como los son granjas a pequeña escala. Estos sistemas utilizan diferentes métodos de producción como pueden ser el pastoreo libre o también conocida como gallinas felices, alimentación con subproductos locales con una menor dependencia de productos externos, lo que puede influir de forma positiva en la huella de carbono (Nemecek et al., 2015).

Una de las prioridades a nivel global del sector agroalimentario en la mitigación del cambio climático. Dentro de las estrategias para perder reducir la huella de carbono en la producción de huevos, es la adopción de nuevas estrategias de manejo, uso de mejor tecnología más eficiente. Desde la perspectiva tecnológica, se puede proponer mejoras de la eficiencia alimentaria mediante la formulación de alimento basado en dietas en la que se pueda integrar aditivos que ayuden a contrarrestar y reducir las emisiones de metano y óxido nitroso, además de implementar sistemas que utilicen energía renovable (MacLeod et al., 2013). Otro cambio que se puede dar es en el manejo realizando prácticas de optimización de uso de agua y energía, un buen manejo de estiércol de gallina para su captura para biogás (Nemecek et al., 2015). Sin embargo, el llevar a la práctica estas tecnologías y estrategias a nivel de pequeñas granjas se va a ver limitado por la falta de presupuesto, conocimientos técnicos y acceso al mercado.

Unos de los métodos para evaluar los aspectos ambientales y sus impactos potenciales es el análisis de ciclo de vida (ACV), una herramienta que cuantifica el uso de recursos

y las emisiones de sectores primarios como por ejemplo la producción de carne, leche y huevos; esto está estrechamente relacionado al hecho que el sector alimentario llega a producir el 33% de las emisiones antropogénicas de carbono. Por ello, se ha adoptado la huella de carbono como un indicador universal para evaluar el desempeño productivo de diferentes alimentos (Guailas y Marbach, 2021; Shepherd et al., 2015).

En Ecuador entre los años 2018 y 2019 la industria avícola presento un crecimiento del 27%; además, el consumo de huevos per cápita fue de 226 unidades durante el año 2019, esto debido a que el huevo es un alimento económico y con buena fuente de proteína; dado que así en 2019 la producción de huevos fue de 2'800.000 unidades (Sánchez, et al., 2020). A pesar de esto, no se han encontrado estudios científicos que aborden o hagan referencia a la huella de carbono en esta industria a nivel nacional.

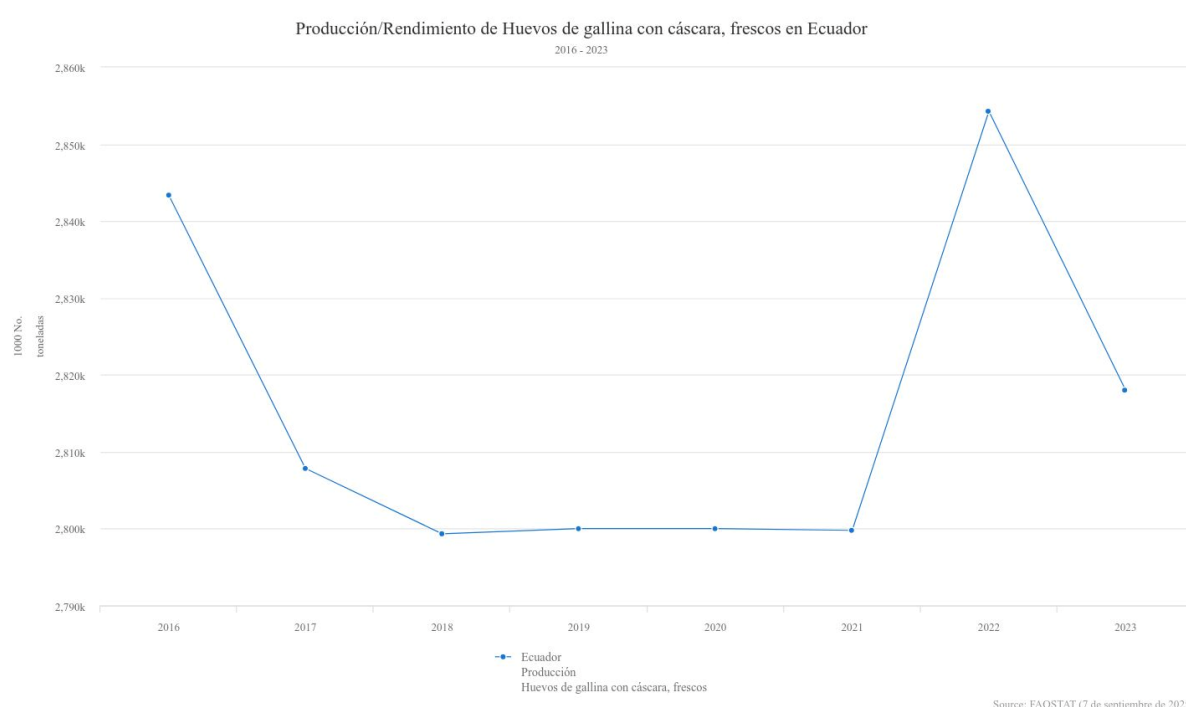


Figure 3: Producción de huevos frescos en Ecuador desde el año 2016 hasta el año 2023 (FAOSTAT, 2025).

Por lo que como objetivo principal de este trabajo es analizar la huella de carbono en la producción de huevos con estrategias de mitigación en la granja avícola “Los Cuatro Hermanos” en la provincia de Pichincha, en la sierra ecuatoriana

3. OBJETIVOS:

a. General:

- Analizar la huella de carbono en la producción de huevos con estrategias de mitigación en la granja avícola “Los Cuatro Hermanos”.

b. Específicos:

- Identificar las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
- Analizar la contribución de cada componente en la producción de huevos a la huella de carbono total.
- Desarrollar estrategias de mitigación aplicables para huella de carbono.
- Evaluar la viabilidad técnica de las estrategias de mitigación propuestas aplicada al contexto de la granja avícola.

4. MARCO TEÓRICO:

Para la subsistencia humana es importante la producción de alimentos, que a su vez se encuentra en una encrucijada crítica. Como bien se sabe la demanda global por productos agropecuarios va en aumento, y a la par esta la preocupación por el cambio climático y el impacto ambiental de la agricultura, más con la contribución mediante las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI). Si bien se conoce que unos de los principales emisores de los GEI es el sector pecuario que conlleva una responsabilidad que va desde la producción de insumos hasta la gestión de residuos (Gerber et al., 2013). Esto se centrará en la producción de huevos, uno de los pilares de la alimentación a nivel mundial, donde se abordará un segmento específico y a su vez menos estudiado: el de pequeños productores de huevos de gallinas ponedoras.

Una de las diferencias que se pueden hallar con las grandes industrias, las pequeñas granjas y productores trabajan bajo diferentes dinámicas, sistemas de producción más hacia lo artesanal y su enfoque es en el mercado local. Para ello, el análisis de la huella de carbono y las estrategias de mitigación se debe adaptar a su escala de forma específica. Para ello en este trabajo se proveerá bases sólidas para entender y cuantificar este impacto ambiental, además de proponer soluciones viables que se pueda reducir el impacto ambiental sin comprometer la sostenibilidad económica.

a. Huella de carbono en producción alimentaria

i. ¿Qué es la huella de carbono?

la huella de carbono es una métrica que sirve para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que son generadas directa e indirectamente, esto puede ser generados por un individuo, organización, evento o producto. La huella de carbono se puede expresar en términos de dióxido de carbono equivalente (CO_2e), lo que se puede agrupar y comparar el impacto que pueden generar los diferentes gases como lo son el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), estos dos gases se los considera en la huella de carbono por tener un potencial de calentamiento global significativamente superior al dióxido de carbono (CO_2) (IPCC, 2021).

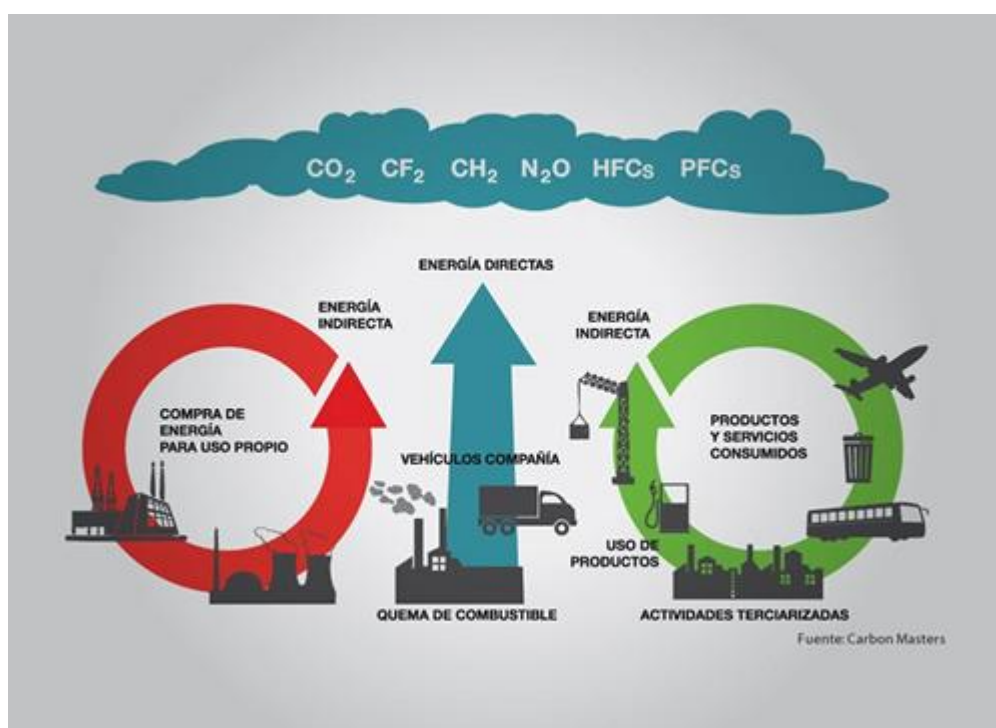


Figure 4: Huella de Carbono (Fuente: GHG Protocol).

Dentro del contexto de la producción de huevos, generalmente la huella de carbono se lo analizaría bajo un enfoque más de “de la cuna a la puerta de la granja” (cradle-to-farm gate). Lo que significa que se van a incluir todas las emisiones producidas y asociadas a la producción de insumos que pueden ser alimento balanceado, agua energía, transporte, todo esto hasta el momento en el que el huevo salga de la granja.

ii. Producción animal y la huella de carbono (producción alimento, emisiones entéricas y de estiércol, consumo de energías renovables y no renovables, transporte).

En la producción de huevos las emisiones generadas son originados de diferentes puntos a lo largo de la cadena de suministro y del ciclo de vida. Dentro de las principales fuentes, identificadas por estudios previos como los detallan Pelletier et al., (2014) y Garnett (2009), son:

- iii. Producción del alimento:** este aspecto es considerado en mayor frecuencia como uno de los mayores contribuyentes a la huella de carbono. En la producción del alimento se puede originar desde el cultivo de las materias primas como lo son los cereales y oleaginosas (maíz, trigo y soya), además de los fertilizantes usados en la producción de estos que son fuentes de emisión de N_2O , también es el consumo de energía para hacer funcionar lo que es maquinaria agrícola, procesamiento y transporte del alimento.
- iv. Consumo energético:** en este punto se hace énfasis al consumo de lo que es electricidad y combustible fósil que son usados en granjas para iluminación, climatización de los galpones ya sea calefacción o ventilación, y para el funcionamiento de maquinaria.
- v. Gestión de estiércol:** mediante la descomposición del estiércol que se puede dar en condiciones anaerobias (sin oxígeno), esta es una fuente significativa de emisión de metano (CH_4) y de óxido nitroso (N_2O). un factor determinante en la gestión de residuos es el almacenaje y el manejo de las deyecciones.
- vi. Transporte:** lo que se puede asociar en cuanto a este punto es el transporte de alimento que se hace hasta la granja, la distribución de los huevos a diferentes partes interesadas. Mayormente en las pequeñas granjas, la cadena de suministro suele ser más corta, lo que se puede mitigar un poco este impacto.

b. Enfoque del análisis de ciclo de vida (ACV)

A nivel mundial una de las metodologías más aceptada para la cuantificación precisa de la huella de carbono es el análisis de ciclo de Vida (ACV). Este método

tiene un enfoque sistemático donde se evalúa los impactos ambientales de un producto en todas sus etapas. Las normativas que proporcionaran las directrices para llevar a cabo el ACV son los ISO 14040 (Gestión ambiental — Evaluación del ciclo de vida — principios y el marco general) e ISO 14044 (Gestión ambiental — Evaluación del ciclo de vida — Requisitos y directrices) (ISO, 2006).



Figure 5: Metodología del ACV (Norma UNE-EN ISO 14040:2006).

c. Fases del Análisis del Ciclo de Vida:

- i. **Objetivo y alcance:** en este punto se va a establecer el propósito de la investigación o del estudio, el uso que se dará a los resultados y la decisión que se pretende alcanzar al final de la investigación. En cuanto al alcance se debe enfocar el ámbito que se aplicara al estudio, tanto como los límites, la hipótesis y los requerimientos de los datos. Al final se da la unidad funcional, esta será unidad se referirá a los datos que se encuentran dentro del sistema tanto de emisiones como de consumo. Es primordial la selección de la unidad funcional para poder realizar el estudio del ACV, ya que las unidades pueden ser tanto físicas o de tipo funcional y su finalidad será el comparar con distintos productos que lleguen a cumplir la misma función.
- ii. **Análisis del inventario (LCI):** dentro de esta fase se recopilan los datos para la cuantificación de lo que van a ser las entradas y

salidas tanto de materia y energía en el sistema a estudiar. En cada proceso individual se considerará un subsistema, y para cada uno de ellos se procederá a especificar los siguientes parámetros como lo son materias primas, materiales auxiliares, energía utilizada, y las emisiones medioambientales generadas. Esta fase es la de mayor duración y la que hay que tener precaución para poder evitar errores que puedan afectar a los resultados finales.

En el análisis del inventario se pueden distinguir las siguientes fases (Clemente et al., 2005):

1. Recopilación de información como origen y metodología que se emplea en las diferentes actividades de la organización.
2. Elaboración de un diagrama de flujo.
3. Cálculo de cargas ambientales
4. Balance de materia.
5. Documentación de los cálculos.

Una vez obtenida la información, una limitación que se puede encontrar es en la calidad, es decir el nivel de confianza en la recolección de datos por parte del analista (Vigon, 1997). Esto dependerá de diferentes factores como los son la fuente de información, nivel de agregación (observaciones individuales o promediado), el método usado en la toma de datos (medidas directas, extrapolares o modelos).

- iii. **Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV):** esta etapa consiste en transformar la información recogida en la etapa anterior en datos interpretables, lo que significa, hay que evaluar la importancia de los impactos ambientales potenciales, juntando los datos del inventario con los impactos ambientales específicos.

Conforme la normativa UNE-EN ISO 14042:2001, hay diferentes etapas para esta fase donde algunas son de carácter obligatorio y otras de carácter opcional, entre las obligatorias se distinguen:

Selección de la categoría de impacto, indicadores de la categoría y modelo. Se define a la categoría de impacto como representación de las consecuencias ambientales que se generan en los diferentes procesos.

Clasificación, se agrupan las diferentes intervenciones en categorías de impacto ambiental a las que afectan.

Caracterización, modelización de los datos obtenidos del inventario para la evaluación del efecto del sistema estudiado en cada una de las categorías de impacto ambiental que se consideraron.

En las etapas consideradas como opcionales van en función del objetivo y alcance del ACV y son:

Normalización, es la relación entre la magnitud cuantificada para una categoría del impacto frente a un valor de referencia, esta puede ser a escala geográfica y/o temporal, para observar su relevancia.

Ponderación, se establecen factores donde se les da un grado de importancia relativa a las diferentes categorías de impacto, donde se las suma y se obtiene un resultado ponderado que es el único índice ambiental global del sistema.

Ponderación, se establecen factores donde se les da un grado de importancia relativa a las diferentes categorías de impacto, donde se las suma y se obtiene un resultado ponderado que es el único índice ambiental global del sistema.

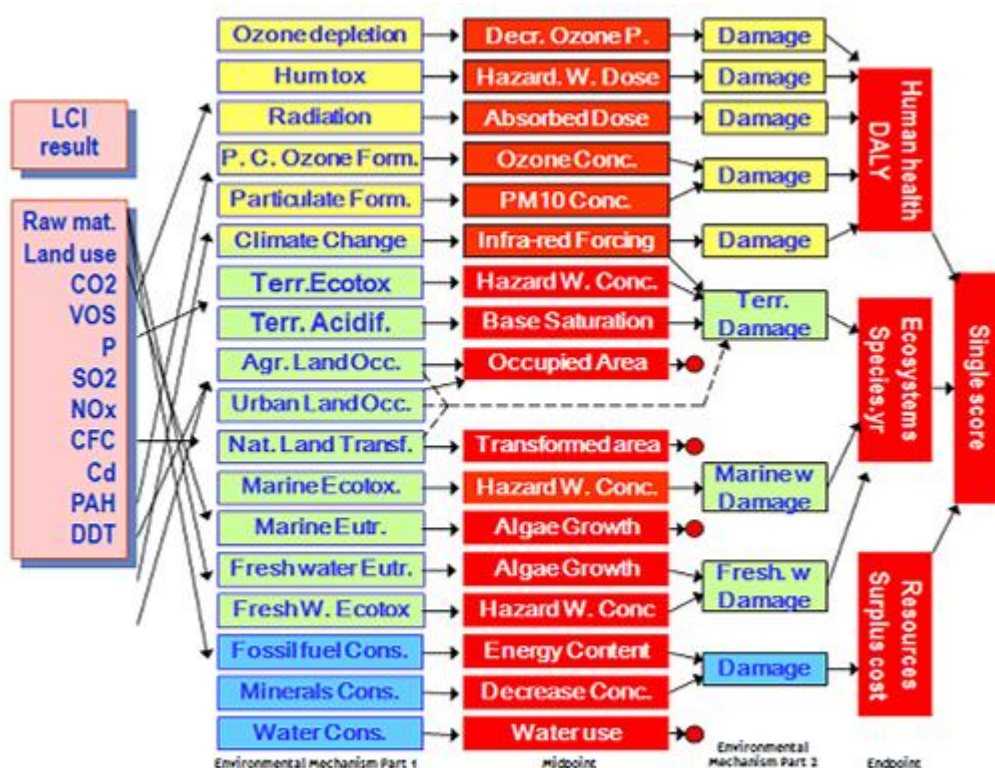


Figure 6: Categorías de impacto ambiental a efecto medio y efecto último (PRé Consultants, 2015).

iv. Interpretación de los resultados:

Al integrar los datos del inventario con la evaluación de impactos, se analizan los hallazgos para así poder interpretar los resultados de acuerdo con los

objetivos del estudio, para la formulación de conclusiones y recomendaciones. Este proceso permite concluir la fase del ciclo de vida del producto, donde se producen y/o generan las principales cargas ambientales, para poder determinar oportunidades de mejora.

d. Estrategias de mitigación de la huella de carbono

Para los pequeños productores se necesitan soluciones prácticas y económicamente viables para poder obtener una reducción de la huella de carbono.

i. Gestión y suministro del alimento.

1. **Formulación eficiente del alimento:** al proporcionar una dieta balanceada y optimizada para una alta conversión alimenticia (menor alimento por huevo), se puede reducir la cantidad de alimento que requiere el animal, y, por ende, se reducen las emisiones. Se debe incluir aditivos naturales que ayuden a la digestión del ave y ayuda a la reducción de las emisiones de metano entérico.

ii. Manejo de estiércol y residuos:

1. **Compostaje aeróbico:** con el manejo del estiércol mediante condiciones con oxígeno se evita la producción de metano, que es considerado un GEI de alta emisión. El resultado final del compostaje se considera un fertilizante natural que puede reemplazar a los fertilizantes sintéticos.
2. **Biodigestión a pequeña escala:** al ser una alternativa tecnológica avanzada, existe soluciones de construcción de biodigestores para pequeñas operaciones. En estos sistemas el estiércol pasará a convertirse en biogás (gas natural considerado energía renovable) y digerido (fertilizante líquido).

iii. Eficiencia energética y energías renovables:

1. **Equipamientos eficientes:** uso de tecnología de mejor eficiencia, donde se pueden reemplazar los focos incandescentes por focos con tecnología led, en cuanto a los sistemas de ventilación y calefacción usar sistemas de

2. mayor eficiencia llegaría a reducir el consumo eléctrico o de gases de origen fósil.

5. METODOLOGÍA:

Para un enfoque más general de la investigación se va a llevar a cabo un enfoque de investigación aplicada y de forma cuantitativa, usando el Análisis de Ciclo de Vida como herramienta principal, que se va a adaptar para la evaluación de la huella de carbono. La metodología va a centrarse en la recolección de datos directamente de la granja de las gallinas ponedoras establecida. Dentro de la fase de análisis se englobará la identificación de los puntos principales de emisión, para luego proponer las estrategias de mitigación. En cuanto a la estructura de la metodología se va a basar en los principios de la norma ISO 14067, de esta manera se va a hacer una adaptación para la escala de la investigación y la disponibilidad de los datos obtenidos. Asimismo, el estudio tomara como referencia la Norma PAS 2050, una especificación desarrollada por la *British Standards Institution*. Para su aplicación metodológica se evaluarán variables claves como es el consumo de energía, procesos de combustión, pérdidas de refrigerantes y otros gases volátiles. Cabe destacar que este marco se puede aplicar a diferentes procesos tanto a actividades formales como informales, para la mejora de la gestión de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La metodología de este estudio se dividirá en tres fases principales que son:

1. Fase 1: definición del objetivo y del alcance, y la recopilación de los datos de la granja pequeña.
2. Fase 2: cálculo de la huella de carbono y análisis de los resultados.
3. Propuestas y evaluación de las estrategias de mitigación.

a. Fase 1; Definición del objetivo y el alcance del sistema.

Dentro del sistema de estudio se analizará la producción de huevos de gallina en una pequeña granja, abarcando todo el proceso desde que las gallinas entran a la granja hasta que los huevos salen de la granja para su venta. Lo que se debe considerar son las entradas y salidas de lo que son materiales y energía dentro de los límites de la granja de estudio, hasta el momento donde los huevos son vendidos. El análisis de Ciclo de vida (ACV) se focalizará en la categoría de impacto del calentamiento global que se expresará en dióxido de carbono equivalente (CO₂ e).

- i. **Unidad funcional:** la unidad funcional que se propondrá en la investigación es la producción de un mes de huevos que equivaldría a la producción de 342,000 huevos, lo que esto se lo escalara a 1 año de producción.

ii. **Límites del sistema:** dentro de los límites se incluirán:

Entradas (inputs): en la entrada se incluirá lo que son la producción de huevos y alimento, consumo de electricidad, producción y transporte de pollo bb, empaques y otros insumos usados.

Procesos dentro de la granja: el manejo de gallinas, recolección de huevos, limpieza y desinfección, calefacción, iluminación y gestión de residuos (estiércol y gallinas muertas y de descarte).

Salidas (outputs): huevos, estiércol, gallinas de descarte al final del ciclo productivo, emisiones atmosféricas de gases invernadero (CO₂, CH₄, N₂O).

Lo que se va a excluir son: el transporte de las gallinas hacia la granja, transporte de materias primas para la producción del alimento, de igual manera como el fin de los productos y residuos, para mantener coherencia con el enfoque inicial.

iii. **Selección de la granja, descripción y recopilación de datos.**

Se seleccionará la granja que cuente con los siguientes parámetros para la viabilidad del estudio:

La granja de propiedad familiar que cuente con al menos 15.000 gallinas ponedoras.

Disponibilidad y disposición de los propietarios para ser participe del estudio y proporcionar los datos requeridos.

Que cuente con la disponibilidad de los registros de producción, consumos de alimento y energía y otros datos de operaciones con validez de al menos 12 meses.

Para la recopilación primaria de los datos se lo realizará a través de entrevistas estructuradas con el propietario y se realizará la revisión de los registros de la granja.

Para este estudio se necesitarán la siguiente información:

Datos de producción: número de gallinas, producción de huevos (en peso por kilogramo), tasa de mortalidad en un mes.

Datos de alimentación: tipo y cantidad de alimento que se produce y se consume (kg) al mes.

Datos energéticos: el consumo de electricidad (kWh), consumo de combustibles (Litros de gas o diésel).

Datos de gestión de residuos: volumen de estiércol generado, método de gestión (compostaje o venta).

Otros insumos: uso de medicamentos, productos de empaques.

Para recopilar los datos secundarios, se usará bases de datos científicas y bibliografía para obtener los datos de factores de emisión pertinentes, así como sería la huella de carbono en la producción de alimento, y los factores de emisión del estiércol de gallina.

b. Fase 2; Calculo de la Huella de Carbono y Análisis de Resultados.

i. Metodología de cálculo:

Para realizar el cálculo de la huella de carbono total se debe realizar mediante la sumatoria de todas las emisiones de cada componente del sistema (alimento, energía, residuos, etc.). la formula a usar es la siguiente:

$$\text{Huella de Carbono Total} = i = 1 \sum n(\text{Entrada}_i \times \text{Factor de Emisión}_i)$$

Donde *Entrada_i*, es la cantidad del insumo o proceso (Ej. kg de alimento, kWh de electricidad, m³ de agua, diésel o gas) y *Factor de emisión_i*, es el factor de conversión a tCO₂e.

Cálculo de emisiones de alimento: se usarán factores de emisiones por kilogramo (kg) de alimento, que se puede obtener mediante la literatura científica.

Cálculo de emisiones por uso de energía: se empleará los factores de emisión de la red local mediante facturas que proporciona la empresa eléctrica de ecuador, además del combustible usado.

Cálculo de las emisiones de otros insumo y procesos: se considerarán otras emisiones asociadas a la limpieza de los galpones o transporte de aves, etc.

Para la determinación del impacto ambiental en términos de carbono se utilizará la siguiente tabla con los factores de emisión correspondientes:

Tabla 1: Tabla de factores de emisión para el cálculo de la huella de carbono (Espinoza, Margoth et al., 2023; IPCC, 2006; RAGEI, 2023).

Categoría	Factor de Emisión	Unidad
Maíz	0,19	kg kg. CO ₂ equiv/kg
Afrecho (Trigo)	0,21	kg. CO ₂ equiv/kg
Polvillo (Arroz)	0,65	kg. CO ₂ equiv/kg
Palmiste	0,9	kg. CO ₂ equiv/kg
Aceite de Palma	4,25	kg. CO ₂ equiv/kg
Soya (Harina/Torta)	0,25	kg. CO ₂ equiv/kg
Concentrado	1,15	kg. CO ₂ equiv/kg
Caliza	0,035	kg. CO ₂ equiv/kg

Fosfato de Calcio	1	kg. CO ₂ <i>equiv</i> /kg
Sal	0,78	kg. CO ₂ <i>equiv</i> /kg
Agua Potable	0,00032	kg. CO ₂ <i>equiv</i> /m ³
Gas licuado de petróleo (GLP)	0,43	kg. CO ₂ <i>equiv</i> /m ³
Cubetas de cartón	1,23	kg. CO ₂ <i>equiv</i> /kg
Camioneta	0,19	kg. CO ₂ <i>equiv</i> /km

ii. Análisis de sensibilidad y puntos críticos.

Una vez concluido el cálculo de la huella de carbono total, se realizará el análisis de sensibilidad, el cual identifica cuales fueron los parámetros de entrada con mayor impacto en el resultado final de la investigación. Este análisis ayudara a priorizar las estrategias de mitigación. La forma en que se presentaran los resultados será en un formato donde se muestre la contribución porcentual de cada componente a la huella total. Esto ayudara a determinar los puntos críticos de emisión de la granja y sus procesos.

c. Fase 3: propuesta de evaluación y estrategias de mitigación:

i. Diseño de estrategias de mitigación:

Una vez concluida la fase 2: Calculo de la Huella de Carbono y Análisis de Resultados, se basarán en los resultados, donde se diseñará un conjunto de estrategias de mitigación específicas que se adapten a las condiciones, necesidades y recursos con los que cuenta la granja. Se clasificarán las estrategias en diferentes categorías:

1. **Mejoras en la alimentación:** modificaciones en las materias primas para el alimento
2. **Gestión de estiércol:** propuestas de manejo de compostaje aeróbico o implementación de pequeños biodigestores.
3. **Ahorro y transición energética:** mejora de la eficiencia energética de las instalaciones.
4. **Reducción de transporte:** fomentar la venta local del producto y compra de insumos a proveedores de la zona de estudio

ii. Evaluación de la viabilidad.

Para cada estrategia de mitigación que se proponga será evaluado bajo ciertos criterios como los son:

4.3.2.1. Viabilidad técnica: se observará y analizara si lo propuesto cumple con los criterios tecnológicos además si es aplicable a la escala de la granja a evaluar, se considerará la disponibilidad del espacio, mano de obra y recursos. Es este punto se consultará con las leyes y normativas aplicables a la granja.

6. RESULTADOS

a. Identificación de los procesos y actividades que tienen impacto en la generación de la huella de carbono en la granja avícola “los cuatro hermanos”

Para identificar las etapas operativas dentro de la granja avícola “Los Cuatro Hermanos” se realizó una ficha técnica de datos generales que se identifican en la siguiente tabla.

Tabla 2: Datos generales de la avícola “Los Cuatro Hermanos”.

Nombre de la empresa	Los Cuatro Hermanos
Dueño de la avícola	Manuel Guayasamin
Dirección de la avícola	Alchipichi, Quito-Ecuador
Tipo de empresa	Privada
Actividad económica	Venta de huevos
Tamaño de la empresa	Microempresa
Procesos de la explotación	Un proceso de 3 etapas
Total, de trabajadores	4 trabajadores
Horario laboral	7:00 am – 16:00 pm
Tiempo de la toma de datos	1 mes (diciembre 2025)

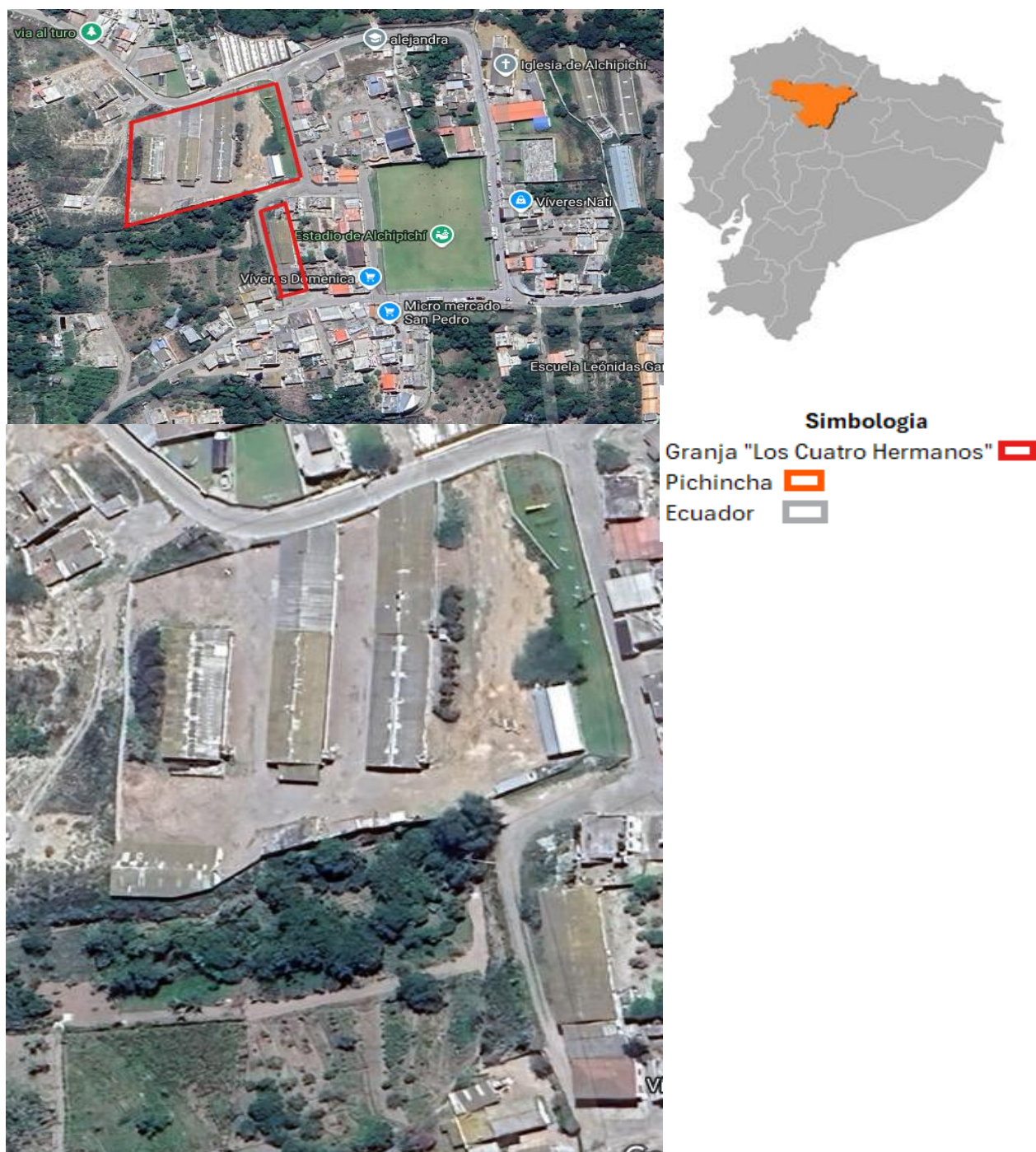


Figure 7: ubicación geográfica de la granja avícola “Los Cuatro Hermanos”.

Mediante una entrevista con el encargado de la Granja “Los cuatro Hermanos”, se obtuvo información más detallada sobre ciertos datos generales, las funciones, los procesos que se desarrollan en su actividad productiva, la cual es la comercialización de huevos.

La instalación cuenta con 15.000 gallinas ponedoras de la raza Hy Line Brown las cuales se reparten en 5 galpones de 3.000 gallinas cada uno con una diferencia de edad de 12 semanas, además de eso, a las gallinas se les alimenta con alimento balanceado en harina con una ración diaria, los gramos que consumen las gallinas dependen de la edad en la que se encuentre tal y como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 3: Resumen de estándares de rendimiento (Hy-Line International, 2025).

PERÍODO DE CRIANZA (A LAS 17 SEMANAS)	
Viabilidad	98%
Alimento Consumido	5.99 kg
Peso Corporal a las 18 Semanas	1411–1492 g
PERÍODO DE POSTURA (A LAS 100 SEMANAS):	
Porcentaje de Pico de Producción	93.6–98.5%
Huevos Ave-Día a las 60 semanas	259.8–274.7
Huevos Ave-Día a las 100 semanas	481.8–514.5
Huevos por Ave-Alojada a las 60 semanas	256.2–270.8
Huevos por Ave-Alojada a las 100 semanas	466.4–497.9
Viabilidad a las 60 semanas	97.17%
Viabilidad a las 100 semanas	91.40%
Días a 50% de Producción (desde el nacimiento)	139
Peso del huevo a las 26 semanas	55.2–58.6 g
Peso del huevo a las 32 semanas	58.9–62.6 g
Peso del huevo a las 70 semanas	61.2–65.0 g
Peso del huevo a las 100 semanas	62.2–66.1 g
Total de Masa de Huevo por Ave-Alojada a las (18–80 semanas)	23.3 kg
Total de Masa de Huevo por Ave-Alojada a las (18–100 semanas)	29.8 kg
Peso Corporal a las 26 semanas	1810–1913 g
Peso Corporal a las 32 semanas	1877–1984 g
Peso Corporal a las 70 semanas	1954–2066 g
Peso Corporal a las 100 semanas	1965–2078 g
Libre de Inclusiones	Excelente
Resistencia de la Cáscara	Excelente
Calificación del Color de la Cáscara a las 38 semanas	87
Calificación del Color de la cáscara a las 56 semanas	85
Calificación del Color de la Cáscara a las 72 semanas	81
Calificación del Color de la Cáscara a las 90 semanas	79
Unidades Haugh a las 38 semanas	90.0
Unidades Haugh a las 56 semanas	84.0
Unidades Haugh a las 72 semanas	81.0
Unidades Haugh a las 90 semanas	79.7
Consumo Promedio de Alimento Diario (19–100 semanas)	109.1–116.9 g/día por ave
Proporción de conversión de alimento, kg alimento/kg huevos (20–60 semanas)	2.06–2.15
Proporción de conversión de alimento, kg alimento/kg huevos (20–100 semanas)	2.15–2.24
Utilización de alimento, kg huevo/kg alimento (20–60 semanas)	0.47–0.48
Utilización de alimento, kg huevo/kg alimento (20–100 semanas)	0.45–0.47
Consumo de Alimento por 10 huevos (20–60 semanas)	1.23–1.28 kg
Consumo de Alimento por 10 huevos (20–100 semanas)	1.29–1.34 kg
Consumo de Alimento por docena de huevos (20–60 semanas)	1.48–1.54 kg
Consumo de Alimento por docena de huevos (20–100 semanas)	1.55–1.61 kg
Color de la Piel	Amarilla
Condición de las Heces	Seca

Las gallinas ponedoras de la granja al estar ubicados en una zona cálida demoran unas 18 a 19 semanas en iniciar la producción de huevos según las especificaciones de la raza de las gallinas, con un periodo de producción de 70 semanas donde la producción diaria es del 95%, donde se cuenta con 4 galpones de producción, la cual la producción diaria de huevos es de un aproximado de 2.850 huevos en promedio los cuales se recogen en cubetas de cartón donde se colocan 30 huevos por unidad y se las apila de

10 cubetas de alto, al momento de que el trabajador está recogiendo los huevos estos se los clasifica según su tamaño (grande, mediano, pequeño). El principal cliente de la granja es “la asociación de productores de huevos de Puellaro”, después son los compradores exteriores, y por ultimo los habitantes del pueblo de Alchipichi. Respecto al personal de trabajo, se cuenta con 4 personas quienes trabajan en un horario de 7:00 am a 16:00 pm de lunes a viernes y los sábados en horario de 8:00 a 12:00 pm y los domingos descansan. Cabe resaltar que en la granja se utiliza energía eléctrica solo en la etapa de crianza durante las dos primeras semanas de vida con un promedio de 20 horas diarias, además de usar energía térmica durante el mismo periodo de tiempo la cual se utiliza GLP domestico para calentar el galpón.

Para la materia prima empleada para la elaboración del alimento balanceado que se ocupa en la explotación se detalla a continuación.

Tabla 4: *Materia prima para la elaboración del balanceado y sus cantidades en las diferentes etapas de crianza.*

Materia Prima	Cantidad			
	Etapa de Crianza		Etapa de Postura	
Maiz	991	kg	500	kg
Afrecho	188	kg	23	kg
Polvillo	75	kg	91	kg
Palmiste	53	kg	23	kg
Aceite Palma	30	kg	15	kg
Soya	355	kg	68	kg
Concentrado	142	kg	120	kg
Caliza	25	kg	73	kg
Fosfato de Calcio	25	kg	3	kg
Sal	5	kg	2	kg

Fuente: elaboración propia

Las principales áreas que se consideraron para el estudio en la granja fueron tres las cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 5: Áreas de producción.

Área	Descripción
Granja	El lugar en el que se desarrolla la actividad, que cuenta con un cerco perimétrico con dos entradas tanto para vehículos como para peatones quienes ingresan a la granja, cada entrada a los galpones cuenta con pediluvios, para la recepción de las aves ponedoras de un día de edad se cuenta con un galpón alejado del resto para evitar posibles enfermedades al nuevo lote.
Lotes de gallinas en producción	Cada galpón de la granja está adecuado de acuerdo con la función que se desempeña, cuenta con jaulas ubicados en tipo batería, con un sistema de agua tipo nipple, para brindarles confort a las aves, como ya se mencionó cuenta a la entrada con un pediluvio para la desinfección del personal, además de contar con una buena ventilación.
Áreas para la elaboración de alimento balanceado y otras áreas.	Existe un espacio destinado para lo que es la elaboración del alimento balanceado donde también sirve para el almacenamiento de la materia prima, a su vez existe una como bodega donde se guardan lo que son productos veterinarios, productos y equipos para desinfección y limpieza, así mismo tiene una bodega donde se almacenan los huevos para su distribución y venta además de contar con un escritorio para atención a los clientes.

Fuente: elaboración propia

El ciclo de producción conlleva una serie de actividades que, en el ámbito avícolas se consideran tres actividades principales que se desarrolla en la tabla a continuación

Tabla 6: Actividades que se desarrollan en el proceso de producción.

Actividades	Descripción
INICIACION	7. El manejo de la temperatura es un factor determinante para la crianza y producción efectiva de huevos en la granja. 8. Sanidad: las condiciones en las que ingresan las nuevas aves a las instalaciones son de suma importancia, para ello se debe tener agua y comida para que estas cómodas, además de seguir con el calendario de vacunación según la raza que se está manejando.

	9. Infraestructura: es importante tener un buen ambiente dentro de los galpones según la edad en la que se encuentren las aves. 10. Medio ambiente: en el control de la gallinaza se realiza lo que son ventilaciones de los galpones diariamente, respecto al retiro de la gallinaza se lo realiza cada 3 meses.
DESARROLLO	11. Se hace un control en cuanto al peso y tamaño de las aves para uniformizar el lote 12. Se brinda alimento balanceado según el requerimiento del ave de acuerdo con la edad en la que se encuentran.
PRODUCCION	13. El ave ingresa a postura a las 19 semanas. 14. El tiempo efectivo de producción es de 60 semanas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla a continuación, se enumeran tres etapas más destacadas en la producción avícola, como lo son: etapa de crianza, postura y distribución y/o venta, dentro de cada una de ellas se realizará y analizará la generación de GEI.

Tabla 7: *Procesos de producción dentro de la explotación.*

Etapas	
Crianza	Lavado y desinfección del galpón. Aclimatación adecuada (temperatura). ventilación e iluminación adecuada. Recepción de las nuevas aves. Alimentación 5 veces al día con alimento balanceado. Vacunación. Traslado de las aves al galpón de producción.
Postura	Lavado y desinfección del galpón Aclimatación del galpón Ventilación e iluminación se abren las cortinas del galpón Distribución de las gallinas de producción (6 aves por jaula). Adecuación de los comederos y de los bebederos (limpieza y abastecimiento) Alimentación una vez al día según su requerimiento de edad. Vacunación de acuerdo con el calendario. Recolección de huevos, la cual se realiza una vez al día a partir de las 8 de la mañana.

	Clasificación del huevo en tres categorías (pequeño, mediano, grande), cada categoría se coloca en cubetas de cartón Limpieza de huevos Registro de la producción de huevos por cada galpón el cual se realiza a diario (se anota el total de huevos sanos y rotos, además de la mortalidad de las gallinas)
Distribución y/o venta	Venta de los huevos a quienes van a la granja Distribución de huevos.

Fuente: Elaboración propia

Con la entrevista realizada al representante legal de la avícola “Los Cuatro Hermanos” se obtuvo información relevante, para poder realizar el mapa de procesos que se presenta en la siguiente figura.



Figure 8: Mapa de proceso de producción de huevo dentro de la avícola "Los Cuatro Hermanos".

Fuente: Elaboración propia

Etapa de crianza dentro de los galpones.

En la siguiente tabla se detalla la etapa de crianza, el cual su propósito es conocer más a detalle las actividades que se realizan y poder desarrollar un análisis para determinar la generación de GEI dentro de la propiedad y su actividad productiva

Tabla 8: Actividades que se realizan en la etapa de crianza.

Actividad	Descripción
Limpieza, desinfección y adaptación	La limpieza y desinfección del galpón se realiza con días de anticipación a la recepción de las aves, lo cual se lava con agua a presión lo que son las jaulas, pisos paredes y techos, luego se aplica desinfectante de uso veterinario en todo el galpón. Se usa papel periódico para que las aves puedan caminar cómodamente por la jaula hasta su adaptación.
Aclimatación	Para la aclimatación del ambiente del galpón se usan criadores a gas, los cuales permaneces prendidos una hora antes de la llegada de las nuevas aves que tiene que llegar a una temperatura de 25°C
Ventilación e iluminación	Para la ventilación, los galpones cuentan con ventanas amplias que están cubiertas con cortinas, las cuales se las puede deslizar de forma manual, para mantener la temperatura adecuada para las aves. Por otro lado, se usan 12 focos de luz blanca de 65W solo en el galpón de crianza
Recepción de gallinas	Las aves se adquieren de una empresa privada, que por lo general se reciben de 1 día de edad, para permanecer 17 semanas en el galpón de crianza, para posteriormente llevarlas a los galpones de producción.
Alimentación	La alimentación de las aves se la realiza unas 3 a 5 veces al día con alimento balanceado en pellet adquirido a la marca ALIFORTE, esto durante 2 semanas, para luego pasar al alimento balanceado en harina que fabrica la propia avícola en sus instalaciones.
Vacunación	La vacunación de las aves se las realiza de acuerdo con el calendario que maneja la propia avícola, donde se usan vacunas que se les aplica vía subcutánea, ocular y oral.
Traslado a los galpones de producción	Una vez cumplido el tiempo en el galpón de crianza, las gallinas se trasladan en una camioneta a gasolina, esto puede tardar entre unas 2 a 3 horas.

Fuente: elaboración propia

Etapa de postura

Esta etapa es la más crucial para obtener un producto final de calidad, y es aquí donde existen más actividades que aportan a la generación de GEI dentro de la producción.

Tabla 9: Actividades que se realizan en la etapa de postura.

Actividad	Descripción
Limpieza y desinfección del galpón	Para la limpieza del galpón se lo realiza 2 semanas antes que, entre un lote nuevo de gallinas, así mismo primero se lo lava con agua a presión de lo que son jaulas, suelo paredes y techo, para después usar un desinfectante de uso veterinario.
Aclimatación	Para la edad en la que se encuentran las gallinas el galpón no necesita estar a una temperatura optima, por lo que es suficiente estar a temperatura ambiente.
Ventilación e iluminación	Para la ventilación se cuenta con ventanas grandes y se los cubre con cortinas, la ventilación se hace dependiendo el clima del día a día, es decir si el día esta soleado con alta temperatura las cortinas se las baja hasta la mitad de la ventana, y si el día esta con temperatura baja o el día esta lluvioso las cortinas no se bajan. La iluminación del galpón se la aprovecha de la luz del día, no se cuentan con focos.
Alimentación	La alimentación de las aves se realiza una a dos veces al día, que es en el horario de 8h00 y a las 16h00, es alimento es balanceado en harina que se fabrica en la misma avícola.
vacunación	
Recolección y clasificación de huevos	La recolección de huevos se la realiza una vez al día en la mañana a las 9h00 o a las 10h00, el galponero va recogiendo los huevos y clasificándolos en el lugar y colocándolos en las cubetas de cartón y estas se las apila de 10 cubetas de alto.
Conteo de huevos	Una vez recogidos los huevos del galpón, el trabajador procede a contar cuantas rumas de huevos hay en el galpón para obtener el total.
Registro del inventario por galpón	Una vez recogidos los huevos de todos los galpones de producción, se los lleva a la bodega destinada para su almacenamiento donde se procede a colocar en los lugares destinados según el tamaño del huevo y se procede a registrar la cantidad de huevos y por tamaño y además de los huevos rotos
Limpieza de huevos	Para la limpieza de los huevos se usan paños reutilizables y agua para limpiarlos de cualquier excreta, alimento o sangre que pueda quedar en el huevo.

Fuente: Elaboración propia

Etapa de venta y distribución

En esta etapa el producto final (huevo), requiere ser transportado hacia los clientes que han solicitado de huevos con anterioridad, lo cual esta acción genera GEI, por lo que es importante considerar esta etapa y sus actividades.

Tabla 10: Actividades que se realizan en la etapa de distribución.

Actividad	Descripción
Venta del producto	La venta de los huevos se la realiza en las cubetas de cartón, cada cubeta es para 30 huevos, y se los apila en rumas de 10 cubetas, es un total de 300 huevos por ruma
Distribución	La distribución se hace a los compradores y a la asociación de productores de huevos de la zona.

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de flujo de entradas y salidas de materiales usados en cada etapa

Mediante la diagramación de procesos, se sistematiza la información sobre el consumo de recursos y la generación de residuos en cada etapa operativa. Este mapeo detallado es la base fundamental para el análisis de ciclo de vida (ACV) y la determinación del impacto ambiental de la granja “Los Cuatro Hermanos”, siguiendo la metodología de frontera de sistema

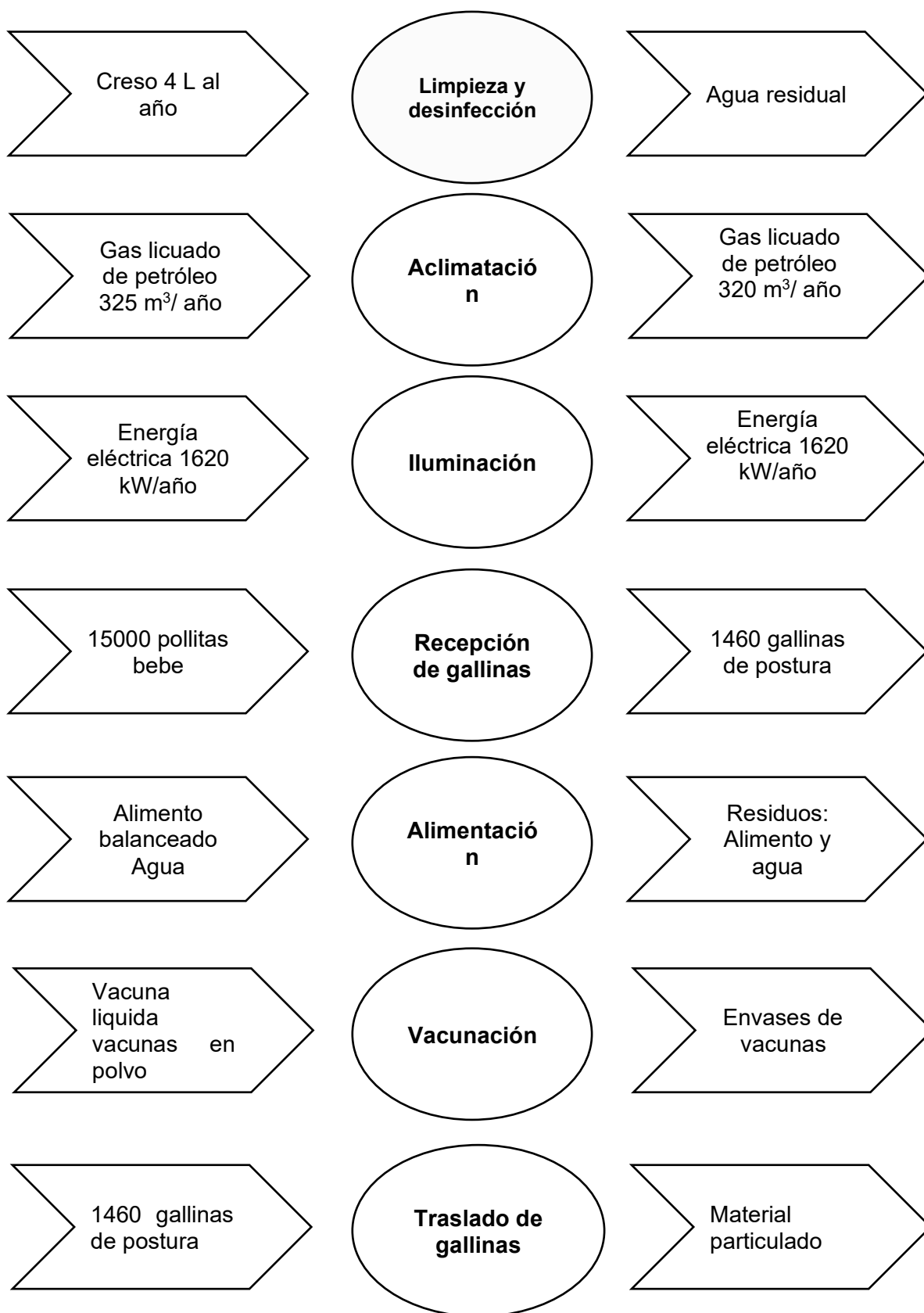


Figure 9: Flujograma de entrada y salida de materiales en la etapa de crianza (elaboración propia).

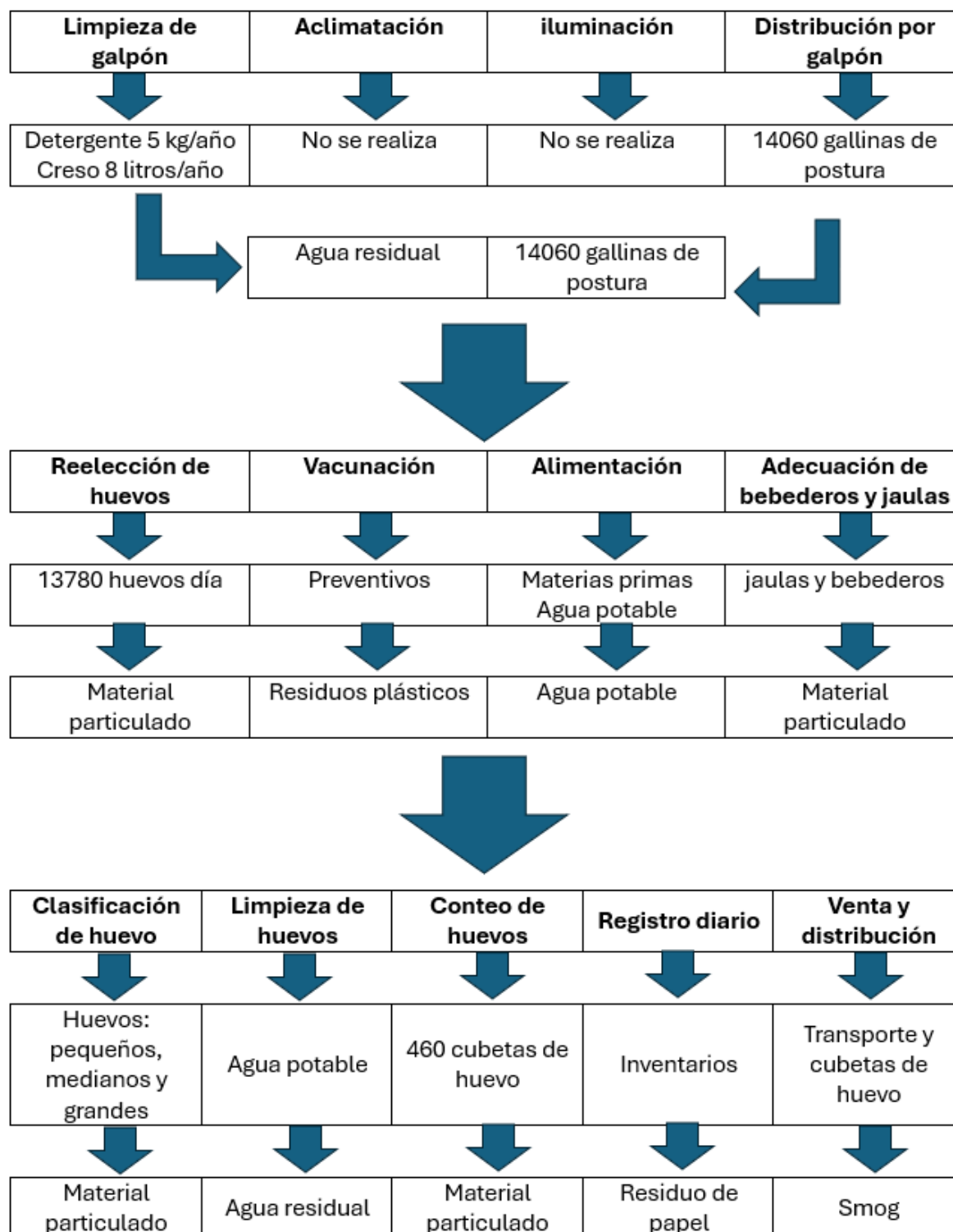


Figure 10: Flujograma de entrada y salida de materiales en la etapa de postura y distribución (elaboración propia).

5.2. Cálculo de la huella de carbono generada en la Granja Avícola “los Cuatro Hermanos”.

La determinación de la huella de carbono se basa en el estándar PAS 2050 bajo un enfoque de 'cuna a la puerta'. Actualmente, se procesan datos mensuales para proyectar el consumo anual de las fases de crianza, postura y distribución, cuyos detalles se presentan en las tablas siguientes.

Tabla 11: Cantidad de consumo anual en la etapa de crianza.

Descripción	Producto	Unidad	Cantidad
Materias primas para la elaboración de alimento balanceado	Maiz	kg/año	35672,73
	Afrecho	kg/año	6774,55
	Polvillo	kg/año	2686,91
	Palmiste	kg/año	1898,18
	Aceite Palma	kg/año	1080,00
	Soya	kg/año	12763,64
	Concentrado	kg/año	5105,45
	Caliza	kg/año	900,00
	Fosfato de Calcio	kg/año	900,00
	Sal	kg/año	50,00
Consumo de agua en la granja	Agua Potable	m3/año	26,00
Uso de combustible para criadoras (GLP)	Gas licuado de petróleo (GLP)	m3/año	325,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Cantidad de consumo anual en las etapas de postura y distribución.

Descripción	Producto	Unidad	Cantidad
Materias primas para la elaboración de alimento balanceado	Maiz	kg/año	130000,00
	Afrecho	kg/año	5909,09
	Polvillo	kg/año	23636,36
	Palmiste	kg/año	5909,09
	Aceite Palma	kg/año	3900,00
	Soya	kg/año	17727,27
	Concentrado	kg/año	31200,00
	Caliza	kg/año	18909,09
	Fosfato de Calcio	kg/año	832,00
	Sal	kg/año	472,73
Consumo de agua en la granja	Agua Potable	m3/año	110,00
Uso de combustible para transporte	Equivalente a gas natural	m3/año	404,00

Fuente: Elaboración propia

Actividades que generan emisiones de GEI**Etapas de crianza**

Dentro de esta etapa en su mayoría se genera material particulado, esto se debe a las actividades que se realizan como por ejemplo es la limpieza del galpón, la recepción de las nuevas aves, vacunación de estas, y el traslado de las aves a los galpones de postura, además, se hace uso de las criadoras para su aclimatación que es con GLP, la generación de la gallinaza propio de la producción que genera GEI que llega a afectar el medio ambiente.

Etapas de postura y distribución

Lo que también se genera en esta etapa es material particulado, dentro de las diferentes actividades que se realiza dentro de los galpones es la limpieza, vacunación, recolección, selección y limpieza de huevos. Con respecto a la distribución del producto final se genera CO₂ por el uso de un vehículo, sin embargo, la generación de gallinaza produce malos olores y por ende generan gases de efecto invernadero.

La determinación de la huella de carbono de la avícola "Los Cuatro Hermanos" se realizó mediante una herramienta en Excel fundamentada en la metodología PAS 2050. El análisis adoptó un enfoque de "cuna a la puerta", integrando los factores de emisión

correspondientes a cada actividad evaluada. Los resultados finales, expresados en kg CO₂ equiv/año, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 13: Emisiones de gases de la avícola.

Descripción	Unidad	Cantidad		Total
		Etapas de Crianza	Etapas de Postura y Distribución	
Materia prima para el balanceado	kg. CO ₂ equiv/año	26278	105372	131650
insumos de limpieza	kg. CO ₂ equiv/año	6,56	21,32	28
Residuos de producción	kg. CO ₂ equiv/año	20	35	55
Agua potable	kg. CO ₂ equiv/año	0,0083	0,0352	0,0435
Transporte y distribución	kg. CO ₂ equiv/año	0	497	497
Aclimatación con criadoras	kg. CO ₂ equiv/año	140	0	140
Cubetas de huevos	kg. CO ₂ equiv/año	0	168264	168264
Total	kg. CO ₂ equiv/año	26444,33	274189,37	300633,69

Fuente: Elaboración propia

La determinación de la huella de carbono del producto final se basó en el análisis de las emisiones generadas durante la fase de producción. Para estandarizar los resultados, se contabilizó la proteína total de huevo producida anualmente, permitiendo así calcular la relación de kg de CO₂ equivalente por kg de proteína, tal como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 14: Cálculo de la huella de carbono en la avícola "Los Cuatro Hermanos".

Variables	Calculo
Total, de emisiones de gases (Kg CO ₂ equiv. /año)	300633,69
Número total de cubetas utilizadas	136800
Total, de producción de huevos al año	4104000
total, de Kg de proteínas de huevo al año	27702
Kg CO ₂ equiv. /kg proteína	10,85

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la investigación, la actividad en la granja genera un impacto ambiental de 300,633.69 kg CO₂eq al año. Esta cifra se traduce en una huella de carbono específica de 10.85 kg CO₂eq/kg de proteína de huevo, estableciendo así el indicador de sostenibilidad para "Los Cuatro Hermanos"

Tabla 15: Resumen de la generación de GEI en la granja "Los Cuatro Hermanos".

Categoría	Total, de Emisiones por Etapas (Kg CO ₂ equiv. /año)			Total, de Emisiones de GEI	Porcentaje de Emisiones de GEI
	Crianza	Postura	Distribución		
ACV materias primas	26278,01	105372,09	0,00	131650,10	43,79
ACV Limpieza y desinfección	6,56	21,32	0,00	27,88	0,01
ACV combustible	139,75	0,00	0,00	139,75	0,05
ACV residuos de producción	20,00	35,00	0,00	55,00	0,02
ACV consumo de agua	0,0083	0,0352	0,00	0,04	0,00001
Emisiones Indirectas					
Transporte para la distribución	0,00	0,00	496,92	496,92	0,17
material para distribución	0,00	0,00	168264,00	168264,00	55,97
Total	26444,33	105428,45	168760,92	300633,69	100

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos de la Tabla 15 y la Figura 11, se identifica que la mayor fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) corresponde al análisis de ciclo de vida del material de distribución (cubetas), representando el 55,97%. Le sigue el impacto de las materias primas del alimento balanceado con un 43,79%. Estos hallazgos son

fundamentales para implementar estrategias de mejora orientadas a reducir la huella de carbono en la producción avícola

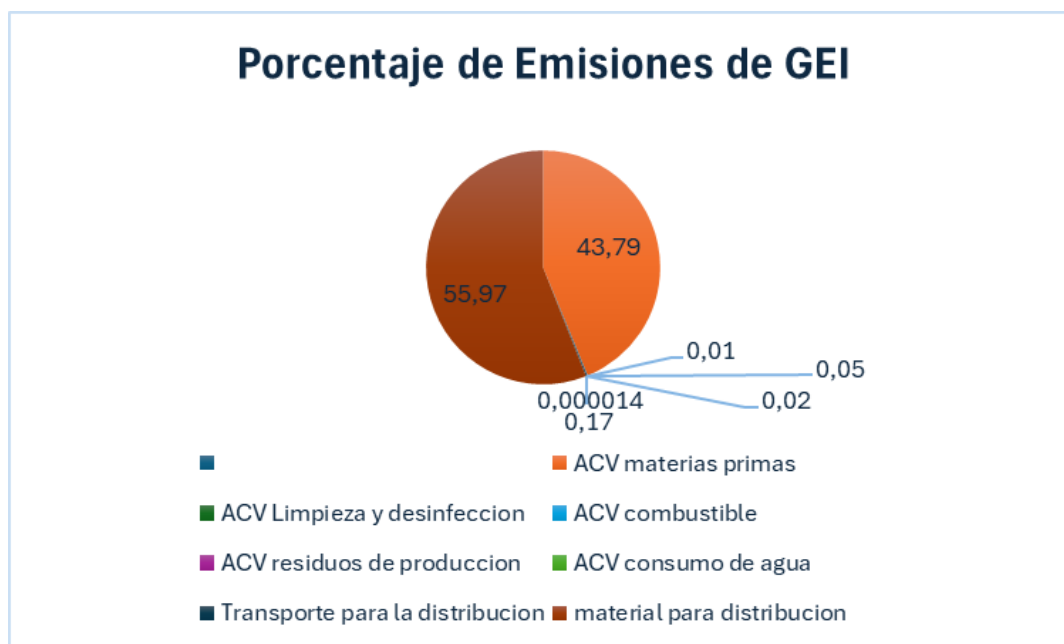


Figure 11: Porcentajes por categorías de las emisiones de GEI

En la granja "Los Cuatro Hermanos", el impacto ambiental se concentra principalmente en la fase de distribución, la cual genera el 56% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Le siguen la etapa de postura con un 35% y, en menor medida, la de crianza con el 9% restante.

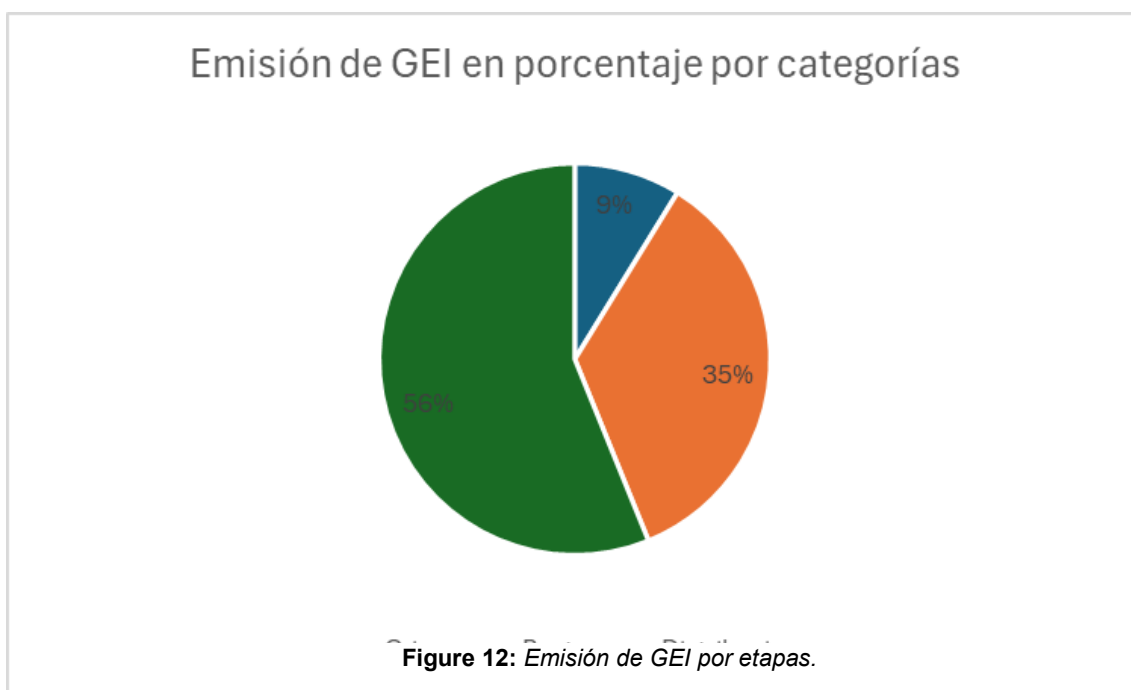


Figure 12: Emisión de GEI por etapas.

5.3. Propuesta estratégica para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en la explotación avícola "Los Cuatro Hermanos".

Una vez realizado los cálculos de huella de carbono generada en la avícola "Los Cuatro Hermanos" se planteó alternativas para reducir emisiones de gases de efecto invernadero tomando como punto de partida y como principal referencia la Resolución 0060 de Buenas Prácticas Avícolas (BPA) emitida por la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario (ARCSA). Esta resolución establece requisitos técnicos que deben cumplir las granjas para garantizar la inocuidad del producto final, salud de las aves y protección al medio ambiente.

5.3.1. Gestión de mortalidad.

Los métodos autorizados por AGROCALIDAD para la eliminación de aves muertas son métodos que garanticen la inactivación de los agentes infecciosos y estos son:

Compostaje: este es uno de los métodos mas recomendados, donde lo que se realiza es la construcción de cajones o áreas impermeabilizadas lo cual se evita la lixiviación (filtración de líquidos al suelo).

Fosa séptica o Sanitaria: para las fosas se recomienda estar correctamente selladas, ubicadas en zonas altas (fuera de riesgo de inundación) y que estén alejadas de las zonas de fuentes de agua para evitar su contaminación.

Incineración: para este método se debe tener y contar con los permisos ambientales correspondientes y además de contar con los equipos adecuados para una combustión completa.

Entierro sanitario: este método se lo debe hacer bajo condiciones específicas y con el uso de cal para acelerar la descomposición y evitar olores y plagas.

Además de los métodos de eliminación AGROCALIDAD hace énfasis en la ubicación donde se debe realizar los métodos de eliminación, la cual dice que debe estar aislada de los galpones de producción, además de llevar un registro obligatorio de mortalidad.

5.3.2. Gestión de Gallinaza:

Por parte de AGROCALIDAD se prohíbe que la gallinaza salga del predio o de las granjas sin antes haber recibido un tratamiento previo que garantice la eliminación de los patógenos (virus bacterias y parásitos). El método estándar que mas se utiliza es la fermentación aeróbica o sanitización.

Uso de estercolero:

para que el material llegue a ser usado como abono, se debe cumplir un proceso de estabilización térmica donde;

- El material debe apilarse dentro de un área específica
- Para el piso debe ser de cemento o de material que evite que los líquidos contaminen el suelo o acuíferos.
- Se debe cubrir con plástico negro de al menos de calibre 4 o 6, esto para elevar la temperatura, además debe contar con un techo para evitar que el material se moje y genere malos olores.
- La ubicación del estercolero debe estar alejado de los galpones de producción y de fuentes cercanas de agua potable
- Con esto el material debe alcanzar una temperatura promedio entre los 55°C y 60°C, por al menos unos 5 a 7 días consecutivos, esto para asegurar la muerte de patógenos y larvas de moscas.

5.3.3. Uso de cubetas de cartón:

Dentro de la resolución 044 de AGROCALIDAD el uso de las cubetas de cartón es considerado uno de los mayores “formites” (objetos inanimados capaces de transportar enfermedades) dentro de la industria avícola. Esto se debe a la porosidad, el cartón de las cubetas puede absorber humedad, materia orgánica y microorganismos que no se pueden eliminar con desinfectantes comunes. Dentro de los puntos mas importantes sobre su uso y manejo se detallan a continuación:

Prohibición de reutilización:

Las cubetas de cartón se las debe tomar en cuenta que son de un solo uso, lo cual esta prohibido que las cubetas que hayan salido de las instalaciones regresen a la granja o sean reutilizadas para los nuevos ciclos de empaque. Lo que dice la norma es “una vez que el cartón haya sido expuesto al ambiente externo, se considera material contaminado”.

Manejo de las cubetas en granja:

Solo se permite el ingreso a la granja las cubetas de cartón que sean nuevas provenientes de fábrica.

Las cubetas se deben almacenar en bodegas limpias secas, cerradas y protegidas ante el ingreso de cualquier plaga.

El almacenamiento de estas debe estar alejadas del suelo, mediante el uso de pallets.

Disposición final

Las cubetas que lleguen a ensuciarse, romperse o que por alguna razón no se utilicen dentro de la granja, se las debe tratar como desecho sólido, lo cual;

No pueden llegar a ser vendidas a terceros para un nuevo uso con huevos.

El método de eliminación de las cubetas es la incineración siempre y cuando se cuenten con los permisos o a su vez enviar las cubetas a los centros de reciclajes autorizados.

Alternativas a las cubetas de cartón:

El uso de las cubetas de plástico es uno de los incentivos dentro de esta resolución, ya que estas pueden retornar a las granjas de donde salieron siempre y cuando cumplan con los siguientes puntos:

Las cubetas plásticas deben ser lavadas y desinfectadas obligatoriamente cada vez que retornen a la granja.

Deben pasar por un arco de desinfección o área de limpieza con productos aprobados por AGROCALIDAD antes de ingresar a la zona de producción

6. DISCUSIÓN

6.2. Identificación de los procesos y actividades que intervienen en la generación de la huella de carbono en la granja avícola “Los Cuatro Hermanos”

La investigación permitió identificar que el ciclo productivo de la granja avícola se articula en tres etapas fundamentales: crianza, postura y distribución. En cada una de estas fases se categorizaron las actividades de iniciación, desarrollo y producción, evaluando exhaustivamente los flujos de entrada y salida de materiales e insumos necesarios para la obtención del huevo como producto final.

En términos de impacto ambiental, los resultados de la estimación de la huella de carbono determinaron que el factor con mayor incidencia es el uso de cubetas de cartón destinadas a la recolección, representando un 55,97% de las emisiones totales. El segundo factor de mayor relevancia corresponde a las materias primas para la alimentación, con una participación del 43,79%.

Los hallazgos de esta investigación presentan convergencias y puntos de contraste con la literatura especializada:

Estructura del Proceso: La metodología empleada coincide con lo expuesto por Velez (2021), quien sostiene que un cálculo preciso de la huella de carbono debe segmentarse obligatoriamente en las fases de crianza, postura y distribución.

Fuentes de Emisión de GEI: En contraste, Pelletier et al. (2014) argumentan que los factores críticos de impacto ambiental son la eficiencia alimenticia, la composición del pienso y el manejo del estiércol. En esta misma línea, Kelleher et al. (2001) identifican a los residuos como el principal foco de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI),

sugiriendo que una gestión técnica mediante digestión anaeróbica, compostaje o combustión directa puede transformar este pasivo ambiental en un beneficio económico. Potencial Energético y Sensibilidad: Por su parte, Choudhury et al. (2020) jerarquizan a los residuos como la principal fuente de GEI, seguidos por los insumos para alimento balanceado. Sus análisis de sensibilidad demuestran que el aprovechamiento de residuos para la generación de biogás podría reducir en un 10% la demanda de electricidad externa para calefacción.

Gestión y Mitigación: Finalmente, Pazmiño (2018) enfatiza la necesidad de que la gerencia promueva el uso eficiente de los recursos durante la crianza y producción. Esta optimización es indispensable para el diseño de estrategias de mitigación que mejoren el desempeño ambiental de la unidad de producción.

6.3. Cálculo de la huella de carbono en la granja avícola “Los Cuatro Hermanos”

La presente investigación, fundamentada en la metodología de "la cuna a la puerta" según la normativa PAS 2050, determinó una emisión total de 300.633,97 kg CO₂eq/año. En términos de eficiencia productiva, se estableció un factor de emisión de 10,85 kg CO₂eq por kilogramo de proteína de huevo.

Al contrastar este valor con la literatura nacional, se observa que es significativamente superior a los 5,68 kg CO₂eq/kg de proteína reportados por Velez (2021) en una explotación ecuatoriana bajo una metodología análoga. De igual manera, los resultados superan los estándares internacionales; por ejemplo, en España, Forero et al. (2020) sitúan la huella media en 3,02 ± 0,19 kg CO₂eq por kilogramo de huevo. Asimismo, en el Reino Unido, Taylor et al. (2014) reportaron valores de 2,2 kg CO₂eq por docena de huevos (aprox. 60 g/unidad), lo cual subraya la necesidad imperativa de fortalecer las estrategias de mitigación en la unidad de estudio para reducir la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Impacto de los Insumos y la Matriz Energética

En cuanto a la composición de las emisiones, el 43,79% del impacto se atribuye a las materias primas para el alimento balanceado dentro del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Este hallazgo guarda relación con lo expuesto por Brouček y Čermák (2015), quienes identifican la producción de piensos como la fuente principal de GEI (80%), seguida por el consumo eléctrico (29%).

Aunque el porcentaje detectado en este estudio es inferior al de la literatura citada, la discrepancia se asocia a las particularidades del manejo interno y la composición de la dieta, factores críticos según Li et al. (2014) y Swelum et al. (2021). Al respecto, Willett et al. (2019) ratifican que los sistemas de producción de origen animal presentan,

inherentemente, una carga ambiental superior a las dietas de origen vegetal. No obstante, propuestas como las de Estrada et al. (2020) sugieren que la implementación de esquemas ecoeficientes y energías renovables podría reducir los impactos ambientales hasta en un 56,3%.

Distribución de Emisiones por Etapas Productivas

En la granja “Los Cuatro Hermanos”, la etapa de distribución constituye el núcleo de mayor impacto con un 56% de la participación total, seguida por la producción (35%) y la crianza (9%). Esta distribución difiere de lo reportado por Velez (2021), donde la etapa de postura representó el 75,57%, mientras que la distribución apenas alcanzó el 2,01%. Estas variaciones demuestran que la huella de carbono es altamente sensible al modelo de gestión logística y operativa. Mientras que en este estudio la logística externa (distribución) predomina, otros autores como Pazmiño (2018) sugieren que el impacto debe desglosarse en procesos internos específicos, tales como la generación de excretas, la ambientación de galpones y el transporte, para identificar puntos críticos de control más precisos.

6.4. Planteamiento de las estrategias para la reducción de GEI en la avícola “Los Cuatro Hermanos”.

La emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) constituye un desafío crítico y persistente en la industria avícola. En el contexto ecuatoriano, la implementación de estrategias para la mitigación de estos gases encuentra un respaldo técnico en la Resolución N° 0060 de Agrocalidad. Aunque el objetivo primordial de esta normativa es garantizar la inocuidad de los productos avícolas y asegurar la calidad desde el galpón hasta el consumidor final (Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario, 2013), su aplicación deriva en una reducción indirecta, pero significativa, de GEI.

La observancia de esta resolución impacta positivamente en el control de las emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Este beneficio ambiental se fundamenta en tres ejes operativos derivados de la gestión técnica:

Gestión de Residuos Orgánicos: El manejo tecnificado de la gallinaza y pollinaza, orientado a la bioseguridad, optimiza la descomposición y reduce la volatilización de gases.

Eficiencia Metabólica y Alimenticia: Una dieta equilibrada y un control estricto de la mortalidad no solo aseguran la inocuidad, sino que minimizan la excreción de nitrógeno y la generación de desechos.

Optimización de Recursos: El uso eficiente de energía y agua, pilares de las buenas prácticas avícolas, reduce la huella de carbono operativa del sistema.

Hacia un Modelo de Economía Circular y Ecoeficiencia La formulación de estrategias efectivas para contrarrestar el cambio climático en el sector avícola depende de una visión holística que integre la inmunidad, la salud animal y los indicadores de productividad. Según Hafez y Attia (2020), el diseño de guías de buenas prácticas permite alinear la producción con las demandas del mercado actual, asegurando una transición hacia modelos de economía circular sostenible.

Bajo esta perspectiva, el monitoreo constante de indicadores clave y la transición hacia esquemas ecoeficientes representan una oportunidad de mejora sustancial. Al respecto, Estrada et al. (2020) sostienen que una gestión enfocada en la optimización energética puede resultar en una disminución del 49,5% en el consumo total de energía. Este ajuste operativo tiene el potencial de reducir los impactos ambientales globales en un 56,3%, demostrando que la eficiencia técnica es el vehículo principal para la sostenibilidad de las explotaciones avícolas.

7. CONCLUSIONES

En la granja avícola “Los Cuatro Hermanos”, el diagnóstico de los procesos operativos permitió estructurar el ciclo productivo en tres etapas fundamentales: crianza, postura y distribución. Estas fases comprenden actividades críticas de iniciación, desarrollo y producción, las cuales fueron auditadas mediante un análisis de flujos de entrada y salida de materiales e insumos.

El inventario de emisiones reveló que el 99,76% de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) generados en las etapas de postura y distribución se concentra exclusivamente en dos rubros: el uso de cubetas de cartón para el empaque y recolección del producto, y las materias primas destinadas a la formulación del alimento balanceado.

Cuantificación de la Huella de Carbono (HC)

La evaluación cuantitativa determinó que la huella de carbono total de la explotación asciende a 300.633,97 kg CO₂eq/año. Al normalizar este valor por unidad de producto, se estableció un indicador de intensidad de emisiones de \$10,85\$ kg CO₂eq por cada kilogramo de proteína de huevo producida.

Respecto a la contribución relativa por cada fase del ciclo de vida, la distribución presenta la mayor incidencia con un 56% del impacto total, seguida por la etapa de postura con un 35%, y finalmente la etapa de crianza con un 9%. Esta distribución porcentual permite identificar a la logística externa y el manejo en granja como los principales focos de intervención ambiental.

Lineamientos Estratégicos y Gestión Ambiental

Basado en los hallazgos del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), se formularon estrategias de mitigación fundamentadas en el concepto de Buenas Prácticas Avícolas (BPA). Estos planteamientos buscan la implementación de acciones correctivas puntuales que permitan:

Reducir los impactos ambientales negativos derivados de la adquisición y desecho de materiales de empaque.

Optimizar la eficiencia productiva mediante la gestión técnica de insumos alimenticios.

Fomentar la sostenibilidad operativa, alineando la producción de la granja con estándares de responsabilidad ambiental y eficiencia de recursos.

8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

A partir de los hallazgos obtenidos en el presente análisis de la huella de carbono en la granja "Los Cuatro Hermanos" y las limitaciones identificadas durante el proceso investigativo, se proponen las siguientes rutas para futuros estudios académicos:

8.1. Optimización Nutricional y Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de Insumos Locales

Dado que la producción de alimento balanceado representa la mayor carga de emisiones indirectas (Alcance 3), se sugiere:

Investigación de dietas alternativas: Evaluar el impacto ambiental de sustituir porcentajes de soya y maíz importado por subproductos de la industria agrícola local (como torta de palmiste, subproductos de banano o harinas de insectos), realizando un ACV comparativo que cuantifique la reducción en la categoría de cambio de uso de suelo y transporte transoceánico.

8.2. Tecnologías de Mitigación en la Gestión de Residuos (Gallinaza)

Considerando el potencial de calentamiento global derivado de las emisiones de metano y óxido nitroso en el almacenamiento de estiércol:

Valorización energética: Desarrollar estudios de factibilidad técnica y ambiental sobre la implementación de sistemas de digestión anaerobia (biodigestores) a pequeña escala, analizando el potencial de reducción de emisiones mediante la captura de metano para generación de energía térmica en la misma granja.

Modelado de compostaje aeróbico: Investigar la eficiencia de diferentes técnicas de compostaje controlado y el uso de biochar como enmendante para retener nitrógeno, reduciendo así la volatilización de amoníaco y las emisiones de N₂O.

8.3. Análisis Comparativo de Sistemas de Bienestar Animal y Sostenibilidad

Existe una creciente demanda de mercado por sistemas alternativos, lo que abre espacio para:

Evaluación multicriterio: Comparar la huella de carbono por docena de huevos producida en sistemas de jaula convencional frente a sistemas de libre pastoreo (cage-free o free-range) en condiciones altoandinas, integrando indicadores de bienestar animal y eficiencia en el uso de la tierra.

8.4. Digitalización y Monitoreo de Emisiones en Tiempo Real

Para mejorar la precisión de los datos primarios:

Implementación de Internet de las Cosas (IoT): Investigar el uso de sensores de bajo costo para el monitoreo continuo de concentraciones de NH₃ y CO₂ en los galpones, permitiendo transitar de modelos basados en factores de emisión genéricos (IPCC Tier 1 o 2) a mediciones directas (Tier 3) que reflejen la realidad micro climática local.

9. Referencias Bibliográficas:

- Abín, R., Laca, A., Laca, A., y Díaz, M. (2018). Environmental assessment of intensive egg production: A Spanish case study. *Journal of Cleaner Production*, 179, 160–168. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.067
- Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario [Agrocalidad]. (2013). *Resolución No. 0060: Guía de Buenas Prácticas Avícolas*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/guia-de-buenas-practicas-avicolas.pdf>
- Brouček, J., & Čermák, B. (2015). Emission of harmful gases from poultry farms and possibilities of their reduction. *Ekologia Bratislava*, 34(1), 89–100. <https://doi.org/10.1515/eko-2015-0010>
- Choudhury, A., Felton, G., Moyle, J., & Lansing, S. (2020). Fluidized bed combustion of poultry litter at farm-scale: Environmental impacts using a life cycle approach. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124231. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124231>
- Clemente, G., Sanjuán, N., Vivancos, J. L. (2005). *Análisis de Ciclo de Vida: Aspectos Metodológicos y casos prácticos*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Dunkley, C. S., Fairchild, B. D., Ritz, C. W., Kiepper, B. H., & Lacy, M. P. (2015). Carbon footprint of poultry production farms in South Georgia: A case study. *Journal of Applied Poultry Research*, 24(1), 73–79. <https://doi.org/10.3382/japr/pfu005>
- Espinoza; Margoth, Escobar; Elizabeth, & Cabrera; Nelly. (2023). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) 2000-2019*.
- Estrada, Y., Taboada, I. E., Guerrero, P., García Rojas, H., & Márquez Benavides, L. (2020). Decreasing the environmental impact in an egg-producing farm through the application of LCA and lean tools. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/app10041352>

- FAO. (2013). *Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. <http://faostat.fao.org/>
- Forero, G., Ribal, J., & Sanjuán, N. (2020). Levying carbon footprint taxes on animal-sourced foods. A case study in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118668>
- Gaillac, R., y Marbach, S. (2021). The carbon footprint of meat and dairy proteins: A practical perspective to guide low carbon footprint dietary choices. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128766. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128766
- Garnett, T. (2009). *Livestock-related greenhouse gas emissions: Impacts and options for mitigation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Guinée, J. B., Gorée, M., Heijungs, R., van der Vossen, S. F., Duin, R. V., & van Hooft, E. (2002). *Handbook on life cycle assessment: operational guide to ISO standards*. Kluwer Academic Publishers.
- Hafez, H. M., & Attia, Y. A. (2020). Challenges to the Poultry Industry: Current Perspectives and Strategic Future After the COVID-19 Outbreak. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00516>
- Hy-Line International. (2025). *Hy-Line Brown: Sistemas convencionales, guía de rendimiento*. <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product-PDFs/Brown/BRN%20STD%20SPN.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment

- Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- International Organization for Standardization (ISO). (2006). *ISO 14040:2006 Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework*. ISO.
- IPCC. (2006). Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol. *In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.
- ISO 14040. (2006). *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. International Organization for Standardization.
- ISO 14067:2018. *Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification*. International Organization for Standardization
- Kelleher, B. P., Leahy, J. J., Henihan, A. M., O'Dwyer, D., Sutton, D., & Leahy, M. J. (2001). Advances in poultry litter disposal technology – a review. *Bioresource Technology*, 1(2), 27–36. <https://doi.org/10.1007/s11668-016-0088-z>
- Li, Q. F., Wang-Li, L., Shah, S. B., Jayanty, R. K. M., & Bloomfield, P. (2014). Ammonia concentrations and modeling of inorganic particulate matter in the vicinity of an egg production facility in Southeastern USA. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(6), 4675–4685. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2417-z>
- MacLeod, M., H. H. J. E. A. W. C., G. T., & A. T. (2013). *Greenhouse gas emissions from the dairy and egg industries: An analysis of the production chain and mitigation opportunities*. *The Journal of Agricultural Science*, 151(2), 205-224.
- Nemecek, T., Kägi, T., & Gaillard, G. (2015). *Environmental assessment of organic and conventional farming systems for egg production in Switzerland*. *Journal of Cleaner Production*, 92, 114-124.

- Pazmiño, R. (2018). *ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA GRANJA AVÍCOLA "SIRIA" DEL SITIO MOCOCHAL DE LA CIUDAD DE CALCETA. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ.*
- Pelletier, N., Ibarburu, M., y Xin, H. (2013). A carbon footprint analysis of egg production and processing supply chains in the Midwestern United States. *Journal of Cleaner Production*, 54, 108–114. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.04.04
- Pelletier, N., Ibarburu, M., & Xin, H. (2014). Comparison of the environmental footprint of the egg industry in the United States in 1960 and 2010. *Poultry Science*, 93(2), 241–255. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03390>
- Pelletier, N., Pirog, R., & Audsley, E. (2014). The environmental sustainability of egg production in the United States and the European Union. *Journal of Cleaner Production*, 66, 552-562.
- Pérez, G., Rodríguez, L., & G., V. (2018). *Análisis de la huella de carbono en la producción avícola en el sur de España*. Revista de Agroecología, 12(1), 45-58.
- RAGEI. (2023). *Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del sector Agricultura del año 2019. Categorías: Ganado y Fuentes agregadas y fuentes de emisión no-CO 2 en la tierra Preparado por: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego Dirección General de Asuntos Ambi.*
- Sánchez, A., Vayas, T., Mayorga, F., y Freire, C. (2020). *Sector avícola Ecuador. Universidad Técnica de Ambato*. <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/09/Sector-avicola-Ecuador.pdf>
- Shepherd, T., Zhao, Y., Li, H., Stinn, J., Hayes, M., y Xin, H. (2015). Environmental assessment of three egg production systems — Part II. Ammonia, greenhouse gas, and particulate matter emissions. *Poultry Science*, 94(3). 534-543. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003257911938602X>

- Taylor, R. C., Omed, H., & Edwards-Jones, G. (2014). The greenhouse emissions footprint of free-range eggs. *Poultry Science*, 93(1), 231–237. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03489>
- Velez, A. J. (2021). *Huella de carbono generada por las actividades avícolas en la granja Velasco, Bahía de Caráquez*. 88.
- Vigon, B.W. (1997). Life cycle inventory: data quality issues. *Society of Automotive Engineers*. (pp 47-54).
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). *A definition of carbon footprint*. En C. C. M. L. G. G. H. R. J. D. C. S. A. G. G. C. M. A. F. R. P. P. R. A. P. L. T. J. L. P. T. L. T. J. B. P. N. (Ed.), *Carbon Footprint - The future of an indicator*. Springer
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., De Vries, W., Majele Sibanda, L., ... Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447–492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)