

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**



**“HUELLA DE CARBONO DE LA PRODUCCIÓN DE
LECHE EN VACUNOS DEL VALLE DEL MANTARO”**

Presentada por:

RICHARD DAVID AYALA ROLDAN

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN NUTRICIÓN**

Lima - Perú

2024

Huella de Carbono de la producción de leche en vacunos del valle del Mantaro

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

bdigital.unal.edu.co

Fuente de Internet

8%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 7%

Excluir bibliografía

Activo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**

**“HUELLA DE CARBONO DE LA PRODUCCIÓN DE
LECHE EN VACUNOS DEL VALLE DEL MANTARO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

RICHARD DAVID AYALA ROLDAN

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Víctor Guevara Carrasco
PRESIDENTE

Ph.D. Carlos Gómez Bravo
ASESOR

Mg.Sc. Jorge Vargas Morán
MIEMBRO

Mg.Sc. Víctor Hidalgo Lozano
MIEMBRO

DEDICATORIA

A Jehová dios por darme salud y fuerza para conseguir mis metas.

A mis padres, Luis y María, por su apoyo incondicional

*A mis hermanos, Jeffrey, Eylin y Miguel, por sus consejos constantes y apoyo
incondicional*

A mi pareja Eliana, por ser mi pilar para soportar todos los problemas

AGRADECIMIENTOS

- A los miembros del programa de becas CIENCIACTIVA CONCYTEC, Convenio de Gestión N° 183- 2015 FONDECYT por la subvención de mis estudios de Maestría en Nutrición en la UNALM.
- A las autoridades del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) en el Proyecto 155-PI “Medición de metano entérico en bovinos lecheros alimentados con Rye Grass/Trébol y alfalfa en la EEA Santa Ana – Huancayo en época lluviosa” por el financiamiento.
- A la Universidad Nacional Agraria la Molina, por permitirme ser parte de su tan prestigiosa institución.
- A las autoridades del programa de la Maestría en nutrición, por darme el apoyo y conocimientos para culminar el trabajo de investigación.
- Al Ph.D Carlos Gómez Bravo asesor de la presente tesis, por la confianza, paciencia y orientación.
- Al Ing. Carlos García y Jesús Mercado, por permitir mi ingreso a sus centros de explotación lechera.
- Gracias a todos los que de una u otra manera han participado y colaborado conmigo en la realización de este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA GANADERÍA	3
2.2. GENERALIDADES Y METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR LA HUELLA DE CARBONO DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE	4
2.2.1. Metodologías	5
2.2.2. Las directrices del IPCC como herramienta de cálculo	7
2.3. ESTUDIOS SOBRE LA HUELLA DE CARBONO EN LA PRODUCCIÓN LECHERA VACUNA	8
2.3.1. Estudios nacionales	8
2.3.1. Estudios internacionales	9
2.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA GANADERÍA	16
2.4.1. Características del animal	16
2.4.2. Manejo de la alimentación	16
2.4.3. Eficiencia de la producción	17
2.5. LA GANADERÍA LECHERA EN LA REGIÓN JUNÍN	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO	20
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	21

3.3. MATERIALES	22
3.3.1. Materiales de campo	22
3.3.2. Materiales de oficina	22
3.3.3. Guías especializadas de trabajo	22
3.4. METODOLOGÍA	23
3.4.1. Mapeo de procesos	23
3.4.2. Establecimiento de los límites	25
3.4.3. Manejo de datos	26
3.4.4. Cálculo de la Huella de Carbono	34
3.4.5. Interpretación y reporte	41
3.5. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1. UNIDADES FUNCIONALES DE LA HUELLA DE CARBONO ..	43
4.2. REPORTE GENERAL DE EMISIONES	44
4.3. CONTRIBUCIÓN DE CADA FUENTE DE EMISIÓN A LA HUELLA DE CARBONO	45
4.4. COMPARACIÓN DE EMISIONES ENTRE ESTUDIOS DENTRO DE PERÚ	46
4.5. COMPARACIÓN DE EMISIONES ENTRE ESTACIONES DEL AÑO	48
V. CONCLUSIONES	50
VI. RECOMENDACIONES	51
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
VIII. ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 1. Fuentes de emisión considerados dentro de los límites establecidos ..	26
Tabla 2. Matriz de principales características de los sistemas evaluados	27
Tabla 3. Composición del hato según la estación del año	28
Tabla 4. Peso promedio de los animales en cada categoría	28
Tabla 5. Tipo de cultivo empleado según la estación del año	29
Tabla 6. Composición de los insumos utilizados en la alimentación animal	30
Tabla 7. Producción y composición de la leche de los establos evaluados	32
Tabla 8. Consumo de alimento de las vacas en producción según estación del año	34
Tabla 9. Tabla de conversión del Potencial de Calentamiento Global (PCG) ..	41
Tabla 10. Valor de la Unidad Animal en cada categoría	43
Tabla 11. Unidades funcionales relacionadas a la producción de leche	43
Tabla 12. Huella de Carbono promedio de la producción de leche de los sistemas evaluados	44
Tabla 13. Contribución de cada fuente de emisión a la Huella de Carbono	45
Tabla 14. Estudios sobre la Huella de Carbono de la producción de leche en el Perú	46
Tabla 15. Huella de Carbono de la producción de leche según la estación del año.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1. Relación entre la cantidad de leche producida y las emisiones de CO ₂ -eq	18
Figura 2. Mapa de la región Junín	20
Figura 3. Ubicación del sistema intensivo	21
Figura 4. Ubicación del sistema semi-intensivo	21
Figura 5. Pautas para determinar la Huella de Carbono de un producto	23
Figura 6. Procesos incluidos en los límites del sistema de producción de leche para el Valle del Mantaro	25

ÍNDICE DE ANEXOS

	<i>Pág.</i>
Anexo 1. Ficha de registro	60
Anexo 2. Resultado del análisis de leche	66
Anexo 3. Resultado del análisis de alimento	67
Anexo 4. Factor de emisión del consumo de energía eléctrica	68
Anexo 5. Factor de emisión de la fabricación de insumos para concentrado.	70
Anexo 6. Factor de emisión de la fabricación de fertilizantes nitrogenados..	76
Anexo 7. Origen de los fertilizantes nitrogenados importados	78
Anexo 8. Origen de los insumos para concentrado importados	79
Anexo 9. Factor de emisión por el uso de transporte	80
Anexo 10. Registro fotográfico	81

ÍNDICE DE ECUACIONES

	<i>Pág.</i>
Ecuación 1. Leche corregida a grasa y proteína (FPCM)	24
Ecuación 2. Leche corregida a energía (ECM)	24
Ecuación 3. Unidad Animal (UA)	24
Ecuación 4. Consumo de materia seca por vacas en lactancia	31
Ecuación 5. Consumo de materia seca por vacas secas y vaquillonas	31
Ecuación 6. Consumo de materia seca por vaquillas	31
Ecuación 7. Consumo de materia seca por terneros	32
Ecuación 8. Consumo de materia seca por toros y toretes	32
Ecuación 9. Emisiones totales por fermentación entérica	34
Ecuación 10. Factores de emisión de CH ₄ para cada categoría de ganado	35
Ecuación 11. Cálculo del factor de conversión del metano	35
Ecuación 12. Emisiones de CH ₄ de la gestión del estiércol	35
Ecuación 13. Factor de emisión de CH ₄ de la gestión del estiércol	36
Ecuación 14. Emisiones directas de N ₂ O de la gestión del estiércol	36
Ecuación 15. Emisiones indirectas de N ₂ O de la gestión del estiércol	36
Ecuación 16. Emisiones directas de N ₂ O de suelos gestionados	37
Ecuación 17. Emisiones indirectas de N ₂ O de suelos gestionados	37
Ecuación 18. Emisiones de CO ₂ por aplicación de cal	37

Ecuación 19.	Emisiones de CO ₂ por aplicación de urea	37
Ecuación 20.	Emisiones por uso de combustibles fósiles	38
Ecuación 21.	Emisiones por consumo de energía eléctrica	38
Ecuación 22.	Emisiones por fabricación de insumos para concentrado	39
Ecuación 23.	Emisiones por transporte de insumos para concentrado	39
Ecuación 24.	Emisiones por fabricación de fertilizantes nitrogenados	40
Ecuación 25.	Emisiones por transporte de fertilizantes nitrogenados	40
Ecuación 26.	Asignación de carga ambiental según la masa del producto	41

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la Huella de Carbono de la producción de leche en vacunos del Valle del Mantaro, en la región Junín. Para ello, se evaluaron dos explotaciones lecheras típicas pertenecientes al Sistema Intensivo (SI) y Semi-Intensivo (SmI) durante dos estaciones del año (seca y lluviosa). Las emisiones fueron estimadas por medio de la metodología propuesta por la International Dairy Federation (IDF), las directrices del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), la base de datos de Ecoinvent y bibliografía especializada. Las unidades funcionales designadas fueron: Leche fluida, FPCM (leche corregida a grasa y proteína), ECM (leche corregida a energía) y UA (Unidad Animal). Las emisiones emitidas por el Sistema Intensivo (SI) fueron de 1.91 kg CO₂-eq/kg de leche fluida, 1.80 kg CO₂-eq/kg FPCM, 1.84 kg CO₂-eq/kg ECM y 9.99 kg CO₂-eq/UA. Mientras que para el sistema Semi-Intensivo (SmI) fueron de 2.10 kg CO₂-eq/kg de leche fluida, 2.01 kg CO₂-eq/kg FPCM, 2.05 kg CO₂-eq/kg ECM y 10.49 kg CO₂-eq/UA. La fuente de emisión Fermentación Entérica la que tuvo mayor contribución a la Huella de Carbono, siendo del 51.0 por ciento para el Sistema Intensivo y 51.9 por ciento para el Semi-intensivo. Se concluye que el Sistema Intensivo (SI) tiene Huella de Carbono que el establo Semi-intensivo (SmI). Asimismo, la Huella de Carbono de ambos sistemas es mayor en la estación seca en comparación a la estación lluviosa.

Palabras claves: Huella de Carbono, fuente de emisión, unidad funcional.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the Carbon Footprint of milk production in cattle in the Mantaro Valley, in the Junin region. For this, two typical dairy farms belonging to the Intensive System (SI) and Semi-Intensive System (SmI) were evaluated during two seasons of the year (dry and rainy). The emissions were estimated using the methodology proposed by the International Dairy Federation (IDF), the guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the Ecoinvent database and specialized bibliography. The designated functional units were Fluid milk, FPCM (fat and protein corrected milk), ECM (energy corrected milk) and UA (Animal Unit). The emissions emitted by the Intensive System (SI) were 1.91 kg CO₂-eq/kg of fluid milk, 1.80 kg CO₂-eq/kg FPCM, 1.84 kg CO₂-eq/kg ECM and 9.99 kg CO₂-eq/AU. While for the Semi-Intensive system (SmI) they were 2.10 kg CO₂-eq/kg of fluid milk, 2.01 kg CO₂-eq/kg FPCM, 2.05 kg CO₂-eq/kg ECM and 10.49 kg CO₂-eq/AU. The emission source Enteric Fermentation the one that had the greatest contribution to the Carbon Footprint, being 51.0 percent for the Intensive System and 51.9 percent for the Semi-intensive. It is concluded that the Intensive System (SI) has a Carbon Footprint than the Semi-intensive stable (SmI). Likewise, the Carbon Footprint of both systems is higher in the dry season compared to the rainy season.

Keywords: Carbon Footprint, emission source, functional unit.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han buscado alternativas en procesos de producción pecuaria que puedan cubrir la demanda creciente de alimento considerando al medio ambiente. Siendo uno de sus intereses la explotación ganadera bovina, ya que está contribuye al calentamiento global a través de la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En ese sentido, surge la necesidad de evaluar el impacto ambiental de la producción pecuaria a través de la Huella de Carbono (HC), que es una evaluación específica dentro del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), representada como la cuantificación de las emisiones de GEI derivados de las actividades de producción (Flysjö *et al.* 2008).

Se estima que, a nivel mundial, el sector ganadero emite 7.1 Gt CO₂-eq/año de GEI, representando el 14.5 por ciento del total de las emisiones antropogénicas globales (Gerber *et al.* 2013a). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en uno de sus estudios hizo un llamamiento para resaltar la huella ambiental producida por la industria ganadera, considerando todo el proceso ganadero desde el uso de la tierra y la producción de pienso hasta la gestión del residuo, procesamiento y transporte, asignándole al sector lácteo sobre un 18 por ciento del total de emisiones de GEI antropogénicas (FAO 2013). Asimismo, FAO (2010) indica que la media global de las emisiones de la producción de leche contando transporte y procesado es de 2,4 kg CO₂-eq/kg FPCM (Leche corregida a grasa y proteína).

Por su parte, el Perú pertenece a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) desde 1992, teniendo un compromiso de reducir en 30 por ciento las emisiones de gases de efecto invernadero hasta el año 2030 (CMNUCC 1992). A raíz de esto, se han iniciado algunos estudios con la utilización de la HC en algunas empresas e industrias del sector económico. Sin embargo, no se ha tenido la debida consideración al sector productivo pecuario, específicamente a la ganadería bovina lechera. Teniendo como antecedentes en el Perú pocos estudios como los de Bartl *et al.* (2011), Van (2014) y los de Ruiz *et al.* (2022), que evaluaron la HC de la producción de leche vacuna en la costa, sierra y en la selva respectivamente. No obstante, no son suficientes

para aportar un panorama general de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la producción lechera vacuna.

Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo principal determinar la Huella de Carbono de la producción de leche en vacunos del Valle del Mantaro, teniendo como objetivos específicos identificar las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en la ganadería lechera bovina propia del área y cuantificar cada una de ellas.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA GANADERÍA

Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como consecuencia de la actividad antropogénica están contribuyendo en el aumento de la temperatura media del planeta, teniendo repercusiones negativas en el medio ambiente y por consiguiente en la salud de los seres humanos. A raíz de esta premisa, se ha percibido una creciente preocupación por disminuir la emisión a la atmósfera de estos GEI, tanto por parte de empresas como por parte de los consumidores (Asselin *et al.* 2012). El IPCC (2007) indica que los GEI de mayor importancia son los siguientes:

- **Dióxido de Carbono (CO₂).** Principal gas de efecto invernadero, abarca el 77 por ciento del total de GEI, además es el principal responsable del calentamiento global. Es producido mayormente por los procesos de quema de combustibles.
- **Metano (CH₄).** Originado a partir de la fermentación bacteriana anaeróbica en zonas pantanosas, cultivos y en el proceso de fermentación ruminal de los rumiantes. Asimismo, existen otras fuentes de importancia como la fermentación de vertederos, explotaciones mineras y fugas de gas natural. Su contribución al calentamiento global es de un 13 por ciento.
- **Óxido Nitroso (N₂O).** Producto final del uso masivo de fertilizantes en la agricultura intensiva, así como la quema de biomasa y la fabricación de ácido nítrico. Contribuyendo al calentamiento global con 10 por ciento del total de emisiones.

La explotación ganadera bovina ha estado relacionada con la generación de gran cantidad de gases de efecto invernadero. Gerber *et al.* (2013a) señalan que el sector ganadero es responsable del 14.5 por ciento del total de emisiones de GEI antropogénicas globales, con un valor de 7.1 Gt CO₂-eq/año. De los cuales, la ganadería bovina es la principal contribuyente de emisiones de dicho sector con un 65 por ciento (4.6 Gt CO₂-eq/año),

siendo su principal emisión el metano (44%), principalmente de la fermentación entérica y la gestión del estiércol; seguido por el óxido nitroso (29%) proveniente del uso de fertilizantes y el dióxido de carbono (27%) derivado especialmente del cambio en el suelo, la combustión móvil y estacionaria. Asimismo, FAO (2010) indica que la media global de emisiones de producción de leche contando con transporte y procesado es de 2.4 kg CO₂/kg FPCM (leche corregida a grasa y proteínas).

2.2. GENERALIDADES Y METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR LA HUELLA DE CARBONO DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE

El término “Huella de Carbono” es definido por la Federación Internacional de Lechería (IDF) como la cantidad de gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera durante el ciclo de vida de un producto (IDF 2015). Para calcularlo, ISO (2006a) propone el empleo de la categoría de impacto “Potencial de Calentamiento Global” dentro del Análisis de Ciclo de Vida. Dicho potencial involucra procesos que abarcan desde la adquisición de materias primas, el procesamiento, el empaquetado final, logística de distribución, obtención por parte del consumidor final y la gestión de residuos (Carbón Trust 2018). La cantidad de emisiones resultantes de cada gas individual dentro de la Huella de Carbono (CO₂, CH₄ y N₂O) son expresadas por el Potencial de Calentamiento Global (PCG) con relación al CO₂ como estándar en un periodo de referencia de 100 años, expresándolos en términos de CO₂ equivalentes (IPCC 2007).

ISO (2006b) describe al Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como una metodología empleada para la evaluación del ciclo de vida de un servicio o un producto, teniendo como fin el valorar el potencial impacto de un producto en el medio ambiente, mediante la cuantificación del uso de recursos. El ACV cuenta con distintas categorías de impacto ambiental como la eficiencia energética, eutrofización de las aguas y la Huella de Carbono. Siendo esta última representada como la cuantificación de las emisiones de GEI derivados de las actividades de producción (Flysjö *et al.* 2008).

En síntesis, la HC de la producción de leche debe de abarcar el total de emisiones durante el ciclo de vida de dicho producto. Tomando en consideración las fuentes de emisión relacionadas a la adquisición de insumos o materias primas, el proceso productivo realizado en la explotación y la transformación a un producto final (IDF 2015). Flysjö *et al.* (2012) afirman que los GEI predominantes dentro de la HC de la producción de leche

bovina son el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), los cuales están relacionados a los procesos de fermentación entérica, descomposición del estiércol y la fertilización de los cultivos, representando el 70-90 % del total de emisiones de GEI.

2.2.1. Metodologías

Para determinar la Huella de Carbono de un producto es necesaria la adquisición de información detallada y la disposición de materiales bibliográficos que nos permitan la comprensión de metodologías estandarizadas si se desean de obtener resultados comparables (IDF 2015). En los últimos años, se han planteado diferentes propuestas metodológicas específicas para la HC de leche, entre las cuales tenemos:

- **Federación Internacional de Lechería (IDF):** Propuso su guía en el año 2015, denominada “Un enfoque común de Huella de Carbono para el sector lácteo: metodología estándar de análisis de ciclo de vida” (IDF 2015).
- **Carbon Trust:** Desarrollada para el Reino Unido, plantea directrices para determinar la HC de los productos lácteos en dicho sector (Carbon Trust 2018).
- **Modelo Global de Evaluación Ambiental Ganadera (GLEAM):** Metodología propuesta por la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y publicada en el documento “Emisiones de gases de efecto invernadero del sector lácteo: una evaluación del ciclo de vida” (FAO 2013, 2018).

Según la International Organization for Standardization (ISO 2006b), existen características que deben estar incluidas dentro de un estudio de Análisis de Ciclo de Vida sin importar el tipo de metodología tomada para el cálculo o estimación de la Huella de Carbono de leche.

- **Definición del alcance:** Definir dónde inicia el proceso de producción y hasta dónde se propone contabilizar las emisiones asociadas. Pudiendo ser de “LA CUNA A LA PUERTA DE LA FABRICA” (estudia únicamente las fases de adquisición de materias primas, transporte a la explotación y el proceso de producción como tal), de “LA CUNA A LA TUMBA” (examina todas las etapas dentro del Ciclo de Vida del producto desde la obtención de la materia prima hasta la gestión de los residuos al final de su vida útil) y de “LA CUNA A LA CUNA” (examina todo lo anterior mencionado en la

cuna a la tumba, pero incluye la reutilización del producto como materia prima para el reinicio del ciclo). Este alcance dependerá del objetivo fijado.

- **Establecimiento de la Unidad Funcional:** La unidad funcional es la forma en que se expresara la emisión de los gases de efecto invernadero en relación con la unidad de producto (ej.: kg CO₂ eq/kg de leche, kg CO₂ eq/kg de carne).
- **Análisis del inventario:** Consta de la identificación de las diferentes fuentes de emisión a lo largo del proceso de producción (ej.: emisiones de GEI por fermentación entérica y gestión del estiércol), donde se colocan los datos de entradas y salidas del sistema, para su posterior cálculo o estimación de sus valores representativos.
- **Evaluación del impacto ambiental:** Donde se relacionan los datos de inventario con los potenciales impactos ambientales para clasificar, caracterizar, normalizar y evaluar los resultados del análisis de inventario.
- **Interpretación de resultados:** Donde se resumen y valoran los resultados del análisis de inventario y de la evaluación de impacto para llegar a unas conclusiones y recomendaciones que permitan elaborar una toma de decisiones.

Según Dalgaard *et al.* (2014), las metodologías para determinar la HC de la producción de leche comparten el aspecto fundamental de tener un enfoque de tipo atribucional, es decir, se estima la carga ambiental en las condiciones actuales según los límites del estudio, para posteriormente asignar el impacto ambiental al producto. No obstante, también existen diferencias entre las metodologías, de las cuales se pueden apreciar las siguientes:

- **La unidad funcional:** Las metodologías propuestas por la IDF y la FAO plantean el uso de la estandarización de la producción de leche a su contenido de 4.0 por ciento de grasa y 3.3 por ciento de proteína, mientras que Carbon Trust solo efectúa la estandarización de leche a un contenido de 4.0 % de grasa. Dificultando la comparación de resultados entre estudios (Dalgaard *et al.* 2014).
- **Asignación de coproductos:** Esto ocurre cuando en la explotación se produce más de un producto, induciendo la división de las emisiones de GEI entre cada producto producido. Existen varias formas de asignación de las emisiones de GEI en coproductos como la leche y la carne. La IDF sugiere el uso de la asignación por masas, la cual refleja la masa en kilogramos de los coproductos producidos dentro de

la explotación. El Carbon Trust propone la asignación de las emisiones según el valor económico de los coproductos vendidos según los precios establecidos en el tiempo de evaluación. Por último, la FAO utiliza la asignación en función al contenido proteico de la leche y carne, dándoles la facilidad de una comparación directa con otros productos alimenticios (Cederberg & Stadig 2003).

La elección de la metodología para la determinación de la Huella de Carbono dependerá de los objetivos de investigación, la facilidad de obtención de datos, la calidad de estos, los límites establecidos y el nivel de detalle del estudio (Crosson *et al.* 2011).

2.2.2. Las directrices del IPCC como herramienta de cálculo

A raíz de la Convención Marco sobre el Cambio Climático, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) ha implementado guías con el fin de calcular o estimar las emisiones de gases de efecto invernadero dentro de cada fuente de emisión que conforman la Huella de Carbono. Las cuales tienen diferentes niveles de precisión según su nivel de complejidad, siendo el Nivel uno o Tier uno el de menor precisión y el Nivel tres o Tier tres el de mayor. Con respecto a la producción ganadera, la elección de los diferentes niveles o Tiers va a depender de la disponibilidad de información en cada área de estudio (IPCC 2019).

- **Tier I**

El nivel uno o Tier uno se trata de una caracterización básica basada en la población del ganado del país, considerando la especie del ganado, el sistema de producción y la población total. Proporcionando un conjunto de factores de emisión por defecto, obtenidos de una revisión exhaustiva de la literatura.

- **Tier II**

El nivel dos o Tier dos es un método más complejo con requerimiento de datos detallados sobre las características de los animales, composición del hato, productividad, manejo de residuos entre otros, con el fin de desarrollar factores de emisión específicos para las condiciones del país.

- **Tier III**

El nivel tres o Tier tres tiene la particularidad donde las fuentes de emisión son calculadas mediante metodologías de medición directa incluyendo parámetros obtenidos en campo

2.3. ESTUDIOS SOBRE LA HUELLA DE CARBONO EN LA PRODUCCIÓN LECHERA VACUNA

2.3.1. Estudios nacionales

Bartl *et al.* (2011), reportaron la Huella de Carbono (HC) como parte de un Análisis de Ciclo de Vida de dos tipos de sistemas de producción de leche de pequeños productores con el fin de determinar la carga ambiental de la leche producida en cada explotación. El primer sistema de producción fue extensivo, ubicado en las zonas montañosas (sierra peruana), donde la alimentación del ganado se limita a pastos naturales permanentes complementados con trébol y centeno cultivado; este sistema se opuso a uno intensivo, ubicado en la zona costera, que contó con vacas lecheras alimentadas a base de maíz forrajero y concentrado. El límite que se le aplicó a ambos sistemas fue hasta que la leche fue vendida en la puerta de la granja; para los cálculos se hizo uso del software SimaPro 7.1.8 LCA. Además, se utilizó un Potencial de Calentamiento Global (PCG) con los factores del IPCC para $\text{CO}_2 = 1$, $\text{CH}_4 = 25$ y $\text{N}_2\text{O} = 298$. Encontrándose que los kg totales de equivalentes de CO_2 producidos por un kilo de ECM fueron 1.74 y 5.42 para las zonas costera y montañosa respectivamente.

Van (2014), reportó la Huella de Carbono de la leche producida de 13 explotaciones pecuarias con sistemas de producción extensiva e intensiva en el Valle del Mantaro. Donde se utilizó la guía de la Federación Internacional de Lechería, usando un enfoque de ACV y una unidad funcional de un kilo de FPCM. Para el cálculo de las fuentes de emisión se utilizó las ecuaciones de aproximación dentro de las bases del IPCC, así como material bibliográfico propios de la zona de estudio. El límite de estudio impuesto para ambos sistemas fue hasta que la leche era vendida en la puerta de la granja; asimismo, se utilizó un PCG de $\text{CO}_2 = 1$, $\text{CH}_4 = 25$ y $\text{N}_2\text{O} = 300$. Los resultados evidenciaron que el sistema intensivo (1.038 kg de $\text{CO}_2\text{-eq/ kg FPCM}$) fue nueve por ciento mayor que en el sistema extensivo (0.952 kg de $\text{CO}_2\text{-eq/ kg FPCM}$). Llegando a la conclusión que son necesarias estrategias de mitigación para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En la región de San Martín, Ruiz *et al.* (2022) reportaron la Huella de Carbono (HC) de la producción de leche de ocho granjas lecheras de sistema extensivo de la zona. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se estimaron mediante las ecuaciones provenientes de las directrices del IPCC del 2006, teniendo como límite del sistema “desde la cuna hasta la puerta de la granja” y haciendo uso de la leche corregida a grasa y proteína (FPCM) como unidad funcional. Los resultados mostraron que las características principales de dichas producciones eran que la raza predominante era el cruce de Gyr x Holstein, que la pastura más consumida era la *Brachiaria brizantha*, el manejo incluía un arreglo silvopastoril por medio de cercas vivas, poco uso de insumos externos y una producción de leche promedio de 9.7 ± 0.82 litro/vaca/día. Asimismo, la HC tuvo un valor promedio de 2.26 ± 0.49 kg CO₂-eq/kg FPCM, de las cuales la fermentación entérica fue la que más contribuyó con un 1.81 ± 0.51 kg CO₂-eq/kg FPCM, seguida por la gestión del estiércol, uso de suelo y energía/transporte con 0.26 ± 0.06 kg CO₂-eq/kg FPCM, 0.14 ± 0.04 kg CO₂-eq/kg FPCM, 0.05 ± 0.04 kg CO₂-eq/kg FPCM. Además, se encontraron diferencias en la HC entre explotaciones evaluadas, siendo más bajos en fincas con mejor calidad de alimento, mayor producción y cantidad de animales en lactancia. Concluyendo que existe un potencial de reducir las emisiones emitidas si se mejora las prácticas de manejo alimenticio actuales.

2.3.2. Estudios internacionales

2.3.2.1. América latina

Aunque América Latina sea un área nueva para el estudio de la Huella de Carbono de la producción pecuaria, Velarde *et al.* (2022) recopilaron estudios relacionados a la HC (Huella de Carbono) de la producción de lechera realizados en distintos países de América Latina, donde incluyeron estudios con las siguientes características: Uso de FPCM (leche corregida a grasa y proteína) como unidad funcional, uso de las directrices del IPCC en su nivel dos para la estimación de las fuentes de emisión y que la evaluación sea desde la cuna hasta la puerta de la granja. El resultado recabó estudios procedentes de Perú, Nicaragua, Colombia, Uruguay, Costa Rica, Brasil y Colombia. Teniendo como rango de emisión en la HC de dichos países entre 1.54 - 3.57 kg CO₂-eq/kg FPCM. Indicando que el sistema de alimentación tuvo un efecto significativo en la producción de leche, siendo los establos con pastoreo cero 140 por ciento mayores a comparación de los establos con

pastoreo (20.1 vs 8.4 kg de leche/vaca/día). Sin embargo, no tuvo efecto significativo en la Huella de Carbono, debido a la adquisición de materias primas para el pienso y a la diversidad de sistemas de explotación a comparación de países desarrollados con sistemas más homogéneos.

- **Colombia**

Rivera *et al.* (2014) reportaron la HC como parte de un Análisis de Ciclo de Vida de la leche en dos hatos de lechería especializada en la Estación Agraria Paysandú en el departamento de Antioquia. La HC realizada se basó en la estructura metodológica propuesta en las normas ISO 14040 y 14044, para el análisis de inventario se utilizó la metodología del IPCC en su nivel dos y la base de datos de Ecoinvent y las unidades funcionales utilizadas fueron un kilo de FPCM, un kilo de grasa y un kilo de proteína. Obteniéndose valores de 1.61 y 1.79 kg CO₂-eq /kg FPCM, 39.4 y 38.9 kg CO₂-eq /kg de grasa y 41.7 y 42.6 kg CO₂-eq /kg de proteína. Asimismo, la mayor contribución a la HC fue por parte de la fermentación entérica (58.2 y 57.9% respectivamente).

En otro estudio del mismo autor se evaluó la HC para la producción de leche bovina en un sistema silvopastoril (SSPi) a base de pastos y un sistema convencional (SC) a base de pastos y suplemento alimenticio en el Valle del Cauca. Utilizando como referencia la estructura de ISO 14044 y la base de datos de Ecoinvent, teniendo un total de cuatro unidades funcionales: un kilo de FPCM, un kilo de ECM, un kilo de proteína y un kilo de grasa. Los resultados observados encontraron que para producir un kilo de FPCM, el SSPi emitió 2.05 vs 2.34 kg de CO₂-eq en el SC, para producir un kilo de ECM se emitió en el SSPi 1.68 vs 1.92 kg de CO₂-eq en el SC, para un kilo de proteína se emitió en el SSPi 47.3 vs 58.3 kg de CO₂-eq en el SC y para un kilo de grasa en el SSPi se emitió 42.3 vs 54.9 kg de CO₂-eq en el SC. Asimismo, el mayor contribuyente a la Huella de Carbono fue la fermentación entérica, con un 53.48 por ciento. Concluyendo que el SSPi genera entre 13 a 25 por ciento menos de emisiones de GEI pro cada unidad funcional frente a sistemas que utilizaban gran cantidad de insumos (Rivera *et al.* 2016).

En la provincia de Ubaté se determinó la HC de 39 fincas dedicadas a la explotación lechera. Para ello, se hizo uso de de las directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), definiendo el límite de estudio hasta la puerta de la granja y su unidad funcional como un kilogramo de leche corregida a grasa y proteína (FPCM). Los

resultados mostraron que la HC promedio de las fincas es de $1,43 \pm 0,31$ kg de CO₂-eq/ kg FPCM. Mientras que la principal fuente de emisión de GEI fue la fermentación entérica (59%), seguida por la gestión del estiércol en pastoreo con un 20 por ciento (Gómez 2018).

- **Uruguay**

Lizarralde (2013), evaluó la relación entre la huella de carbono y las prácticas de manejo en 24 lecherías comerciales de producción de leche de vaca, las cuales contaron con una alimentación basada en pastoreo y suplementación de concentrado. Donde la información recabada incluyó aspectos como la producción de leche, número de vacas y pesos de los animales, para posterior determinar las emisiones de GEI según la metodología del IPCC Tier II, considerando como unidad funcional un kilo de FPCM (4.0% de grasa y 3.3% de proteína), obteniendo como resultado una HC promedio de 0.99 kg CO₂-eq/kg FPCM y que prácticas de manejo tales como la producción de leche por vaca, la carga animal y la cantidad de vacas en ordeño son las más prometedoras para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero por kilo de leche en una explotación.

- **Nicaragua**

Gaitán *et al.* (2016), reportaron la HC de 30 sistemas ganaderos de doble propósito en el trópico. La cantidad de los establos son categorizados en tres tipos de sistemas: Sistema de subsistencia, Sistema de mercado convencional y Sistema climáticamente inteligente. Para calcular las emisiones de GEI se utilizó una herramienta de cálculo desarrollada por el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) con base en los parámetros y factores de emisión estipuladas por la IPCC en sus niveles uno y dos. Los resultados demostraron que las emisiones de GEI para el Sistema de mercado convencional fue de 2.4 kg CO₂-eq/kg FPCM, Sistema de subsistencia con 3.1 kg CO₂-eq/kg FPCM y Sistema climáticamente inteligente con 1.7 kg CO₂-eq/kg FPCM. Asimismo, las emisiones por fermentación entérica fue la que mayor presencia tuvo en la HC, abarcando entre un 53 - 67 por ciento del total de emisiones. Llegando a la conclusión que el Sistema climáticamente inteligente tiene una dieta de mejor calidad, que junto al aumento de animales y de producción mejora los parámetros de HC. Sin embargo, es necesaria la adición de políticas de incentivos tales como pagos por servicios ecosistémicos que incentiven al ganadero a invertir.

- **Costa Rica**

Mazzeto *et al.* (2020), determinaron la HC de 552 fincas correspondiente a distintas categorías de explotación tales como: DP (Doble propósito), DPTD (Doble propósito inclinado a lácteos), DPTB (Doble propósito inclinado hacia producción de carne), SD_E_L (Lechería especializada extensiva en tierras bajas), SD_I_L (Lechería especializada intensiva en tierras bajas), SD_SI_U (Semi-intensivo lácteo especializado en las tierras altas), SD_I_U (Intensivo lácteo especializado en las tierras altas). Para estimar las emisiones de GEI se utilizaron las directrices del IPCC en su nivel dos, teniendo como unidad funcional el kg CO₂-eq/kg FPCM y kg CO₂-eq/kg de carne. Los resultados indicaron que las emisiones producidas por DP (4.54 kg CO₂-eq/kg FPCM) y DPTD (5.32 kg CO₂-eq/kg FPCM) fueron mayores que las que las lecherías especializadas como SD_E_L (2.34 kg CO₂-eq/kg FPCM), SD_I_L (2.56 kg CO₂-eq/kg FPCM), SD_SI_U (3.86 kg CO₂-eq/kg FPCM), SD_I_U (1.86 kg CO₂-eq/kg FPCM), a excepción de DPTB (1.99 kg CO₂-eq/kg FPCM). Llegando a la conclusión de que la leche producida por las granjas de doble propósito tiene una HC mayor que de las lecherías especializadas. Debido a factores como estructura de los rebaños, cantidad de animales, cantidad de carne y leche producida.

- **Brasil**

Maria de Léis *et al.* (2014), reportaron la HC de la producción de leche en Brasil mediante un estudio de caso comparativo de dos sistemas de producción, uno al pastoreo y otro de confinamiento. Para ello, utilizaron un Análisis de Ciclo de Vida basado en la estructura metodológica propuesta en las normas ISO, valiéndose de datos primarios y secundarios de la base de datos de Ecoinvent y de la literatura especializada por medio del software SimaPro 7.3.3, tomando en consideración un kilo de ECM (leche corregida a energía) como unidad funcional. Los resultados demostraron que el sistema confinado tuvo menor emisión de GEI con 0.535 kg de CO₂-eq/ kg ECM que el sistema de pastoreo, que tuvo una emisión de 0.738 kg de CO₂-eq/kg ECM en el sistema al pastoreo.

Otros estudios sobre la HC de la producción de leche en América Latina con otros criterios de selección de unidad funcional y presentación de resultados fueron los siguientes:

- **Ecuador**

Vásquez (2016), elaboró un inventario de fuentes de emisión de GEI con el fin de determinar la HC en una explotación de la provincia de Guayas. Para ello, se hizo uso de las directrices del IPCC en su nivel junto a la Norma ISO 14064. Encontrando que el HC total de la explotación fue de 83.27 T CO₂-eq/año, siendo el mayor contribuyente la emisión de por la fermentación entérica del ganado (36.65%), seguido por la emisión de óxido nitroso por la lixiviación y escorrentía de los residuos de la ganadería (17.57%), uso de combustibles fósiles para transporte y trabajo (15.49%), emisiones indirectas de N₂O (14.89%). Estos son continuados por fuentes de emisión más pequeñas tales como el uso de fertilizantes sintéticos (7.29%), 4.28 por ciento por combustibles de bombas estacionarias utilizadas en el proceso de ordeño, 1.79 por ciento por la utilización de la urea como fertilizante en cultivos, 1.21 por ciento como emisiones de CH₄ por la gestión del estiércol, 0.68 por ciento por uso de herbicidas y 0.14 por ciento por mantenimiento de los vehículos.

- **Argentina**

Giménez *et al.* (2018), evaluaron la Huella de Carbono (HC) y la Huella Hídrica (HH) de establos representativos de la provincia de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y Santa Fe, divididos en cuatro grupos: Alta Carga y Alta Suplementación (AC/AS), Alta Carga y Baja Suplementación (AC/BS), Baja Carga y Alta Suplementación (BC/AS) y Baja Carga y Baja Suplementación (BC/BS). Utilizando información de encuesta y censo registrado en el Proyecto Nacional de Producción Animal de INTA, tomando valores promedios de producción, de carga animal y de suplementación, así como estudios de caso a nivel exploratorio, con visitas puntuales. Para el cálculo de la HC se utilizó el software AACREA basado en plantillas de Microsoft Excel, así como la norma ISO 14046. Teniendo como resultado una producción total de CO₂-eq por litro de leche producida de 0.98, 0.85, 0.99 y 0.95 para AC/AS, AC/BS, BC/AS y BC/BS respectivamente.

- **México**

En México se realizaron dos estudios donde se evaluaron la Huella de Carbono de dos diferentes sistemas. Siendo el primero, el de Rendón *et al.* (2018), en el cual compararon emisiones de gases de efecto invernadero como metano (entérico - estiércol), óxido nitroso (estiércol) y dióxido de carbono (uso de energía y combustibles) de 26 explotaciones

intensivas ubicadas en Querétaro, Jalisco, Guanajuato y Aguascalientes, divididos en tres grupos según su nivel de intensificación (bajo, medio, alto), relacionado al número de vacas en producción y cantidad de leche producida por vaca al día. Para ello, se utilizaron diversas encuestas para levantar información relacionadas al rendimiento animal, composición de la dieta, estiércol de cada establo; para su posterior análisis en materia seca, proteína bruta, grasas y cenizas. Toda la información fue analizada gracias a las ecuaciones de aproximación del IPCC y el uso del modelo matemático COWPOLL, tomando como unidad funcional un kilo de leche fluida. Los resultados mostraron un promedio de emisiones de 1.39, 1.02 y 0.99 kg para los establos con nivel de intensificación baja, media y alta respectivamente. Llegando a la conclusión de que el aumento de intensificación y la eficiencia alimenticia, genera una menor emisión de gases de efecto invernadero, pudiendo ser de gran ayuda para crear estrategias de mitigación.

2.3.2.2. Norte América, Europa y Oceanía

- **Suecia y Nueva Zelanda**

Flysjö *et al.* (2011), evaluaron dos sistemas de producción contrastantes en dos países, un sistema de explotación extensiva al pastoreo en Nueva Zelanda (NZ) y un sistema intensivo estabulado con consumo de concentrado en Suecia (SE). Para ello usaron un Análisis de Ciclo de Vida con referencia en las emisiones de gases de efecto invernadero, teniendo como base la metodología estándar del ACV propuesta por la Federación Internacional de Lechería (IDF), con una unidad funcional de un kilo de ECM (Leche corregida a grasa). Utilizando el software Simapro 7, con un potencial de calentamiento global de $\text{CO}_2 = 1$, $\text{CH}_4 = 25$ y $\text{NO}_2 = 298$. Los resultados fueron de 1.0 kg $\text{CO}_2\text{-eq/kg}$ ECM en NZ y 1.16 kg $\text{CO}_2\text{-eq/kg}$ ECM en SE. Siendo las fuentes de emisión con mayor contribución las emisiones por fermentación entérica (63% y 50% para NZ y SE respectivamente).

- **Australia**

Gollnow *et al.* (2014), realizaron una investigación con el fin de evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de leche de vacas de 139 granjas de las principales regiones lecheras de Australia. Para ello, se utilizó la metodología de la Federación Internacional de Lechería, tomando en consideración el alcance desde la cuna

hasta la puerta de la granja durante el periodo de doce meses y teniendo como unidad funcional un kilo de FPCM (leche corregida a 4% de grasa y 3.3% de proteína). Teniendo como resultados emisiones entre 0.9 y 1.39 kg CO₂-eq/kg FPCM, con un promedio de emisiones de 1.11 kg CO₂-eq/kg FPCM, estas variabilidades en las emisiones fueron debidas a las diferentes prácticas de producción propias de cada centro de explotación. Asimismo, el mayor contribuidor a la Huella de Carbono fue la fermentación entérica con un 58 por ciento de las emisiones totales promedio.

- **Canadá**

Vergé *et al.* (2013), realizaron la evaluación de la Huella de Carbono de 11 productos lácteos comúnmente consumidos por los canadienses. Para el cálculo de las emisiones dentro de la granja se utilizó el modelo del Sistema Unificado de Estimación de la Industria Ganadera y los Cultivos (ULICEES), lo cual está basado en las directrices del IPCC. Para las emisiones externas se hizo uso la calculadora canadiense de huella de carbono de los alimentos (cafoo)² - milk, el cual considera las emisiones desde la salida de la puerta de la granja hasta la salida de la planta de procesamiento. Para posteriormente ser procesado por el software Simapro 7.3.2. Los resultados evidenciaron que las provincias occidentales tuvieron una emisión de 0.93 kg CO₂-eq/L de leche, mientras que las orientales tuvieron 1.12 kg CO₂-eq/L, siendo la diferencia debida a las diferencias en las condiciones climáticas y la gestión del rebaño lechero. Por otro lado, la mayoría de las emisiones de los productos lácteos oscilaron entre 1 a 3 kg de CO₂-eq/ kg de producto. No obstante, tres productos fueron significativamente más altos: queso (5.3 kg de CO₂-eq/ kg de producto), mantequilla (7.3 kg de CO₂-eq/ kg de producto) y leche en polvo (10.1 kg de CO₂-eq/ kg de producto).

- **Irlanda y Reino Unido**

O'Brien *et al.* (2014), evaluaron la Huella de Carbono (HC) de granjas lecheras de confinamiento de alto rendimiento en Reino Unido y las granjas a base de pastos de alto rendimiento en Irlanda. Para la estimación de la HC se utilizó el Modelo del Sistema Lácteo Moorepark (MDSM), el cual proporciona datos de entrada (inventario de animales e ingesta de alimento, entre otros factores) para el modelo de GEI. El MDSM utiliza los sistemas de energía neta y ME para determinar los requisitos de alimentación. Mientras que las emisiones de GEI fuera de las explotaciones asociadas con la producción y el

suministro de productos no agrícolas (por ejemplo, la fabricación de plaguicidas) se estimaron utilizando factores de emisión de la base de datos Ecoinvent y datos de fuentes bibliográficas. Además, los factores de emisión para las fuentes en las explotaciones agrícolas y los productos no agrícolas comprados se utilizaron en combinación con datos físicos de estadísticas nacionales. La unidad funcional a la cual se le atribuyó las emisiones a la leche fue una tonelada de leche corregida energéticamente (ECM). Las emisiones de GEI del sistema irlandés basado en pastos fue de 0.837 kg CO₂-eq/ kg ECM fue un cinco por ciento más bajo que el sistema de confinamiento del Reino Unido (0.884 kg CO₂-eq/ kg ECM). Llegando a la conclusión de que las emisiones emitidas por los sistemas en Irlanda y Reino Unido son entre 27 a 32 por ciento menores que los sistemas lácteos promedio.

2.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA GANADERÍA

2.4.1. Características del animal

De Blas *et al.* (2008), afirman que existen diferencias en la emisión de metano entérico dentro de los rumiantes (bovino, ovino y caprino), siendo las variables más representativas la selectividad del alimento, el perfil microbiano en cada especie, la actividad metabólica y la zona de fermentación. Asimismo, Machmüller & Clark (2006) observaron como resultado de estudios en bovinos y ovinos al pastoreo, que existe una relación directamente proporcional entre el peso del animal con las emisiones de metano entérico.

2.4.2. Manejo de la alimentación

a. Composición de la dieta

Gómez (2018) indicó en sus resultados que un aumento en la calidad del forraje, asociado a la inclusión de leguminosas y pastos tiernos de alta digestibilidad, promueven una disminución de la emisión neta de GEI. Asimismo, Alvarado *et al.* (2021) y Salas *et al.* (2022), en sus respectivos estudios de cálculo de emisiones de metano entérico por SF₆ en zonas altoandinas, afirman que la disponibilidad y composición química de la pastura (digestibilidad, proteína cruda, energía metabolizable y fibra detergente neutro) da lugar a cambios en la emisión de metano entérico, teniendo una relación inversamente proporcional.

Con respecto a la inclusión de suplementos en la dieta, tales como la adición de concentrado, tienen un potencial de reducir las emisiones de CH₄ debido a que dietas altas en almidones producen tasas de fermentación alta, una mayor producción de propionato, un cambio en la relación acetato/propionato, teniendo como consecuencia un efecto inhibitorio de las bacterias metanogénicas (Pari 2017). No obstante, la inclusión de concentrado en la dieta genera individualmente mayor emisión de GEI, la cual está asociada a la adquisición de insumos para el pienso del animal, ya que la materia prima necesaria para la fabricación de estos tiene que ser importada, transportada y distribuida al consumidor final, acumulando una alta carga ambiental (Basset *et al.* 2008; DairyCo 2012).

b. Consumo de alimento

El Consumo de Materia Seca (CMS) junto a la digestibilidad del alimento consumido tienen relación con la emisión de metano (CH₄). Esto se evidencia en dietas con altas digestibilidad, las cuales promueven una menor producción de metano por kilogramo de materia seca consumida. Esto es debido a que dietas más digestibles poseen una mayor concentración de carbohidratos solubles, estimulan el consumo voluntario y favorecen a una mayor tasa de paso del alimento en el rumen. Por ello, se sugiere implementar prácticas que promuevan el uso de forraje más digestible y aumenten el consumo de pastura, que conduzcan a una disminución de las emisiones por fermentación entérica. (Blaxter & Clapperton 1995; Vargas *et al.* 2012; Vargas *et al.* 2014)

2.4.3. Eficiencia de la producción

Existe una relación inversamente proporcional entre la eficiencia del hato y los GEI emitidos dentro de la Huella de Carbono de la producción de leche. Diferentes estudios han reportado que el aumento del performance lechero de una vaca aumenta la producción de CO₂-eq de dicho animal, no obstante, reduce la producción de CO₂-eq por unidad funcional. Este efecto se basa en que un animal más productivo nos proporcionara una mayor producción de leche, lo cual favorecerá a que las emisiones por unidad de producto sean menores debido a que los GEI emitidos se diluyen en una mayor producción de leche (Blaxter & Clapperton 1965; Gerber *et al.* 2011; Gollnow *et al.* 2014).

Asimismo, un aumento en la proporción de vacas en ordeño permite mantener o aumentar la cuota de producción de leche de la explotación a la vez que diluye las emisiones de GEI

de las otras categorías de animales. No obstante, para ello se requiere de la mejora de parámetros reproductivos tales como la reducción de la edad al primer parto, mejorar la tasa de detección de celo, reducir el intervalo entre partos y la eliminación de los animales problemas como las vacas repetidoras y otros animales no productivos. Además, la adquisición de animales de mayor valor genético, así como mejoras en el apartado de gestión de ordeño y el bienestar animal han demostrado tener resultados favorables. (Garnsworthy 2004; Casey & Holden 2005; Gerber *et al.* 2011; Guerci *et al.* 2015)

Sin embargo, hay una brecha en la relación que existe entre la producción de leche por vaca y las emisiones totales de GEI por kg de leche. Según Gerber *et al.* (2011), las emisiones de GEI disminuyen abruptamente a medida que aumenta la productividad hasta 2000 kg PFCM/vaca/año, desde los parámetros de 12 - 3 kg CO₂-eq/kg FPCM. A partir de los 3 kg CO₂-eq/kg se observa una reducción más lenta de las emisiones a medida que la productividad asciende hasta los 6000 kg PFCM/vaca/año. Siendo relativamente estables dentro de los valores 1.8 - 1.6 kg CO₂-eq/kg, para posteriormente ser más complicado reducir las emisiones de GEI (Figura 1). Concluyendo que la HC no disminuye significativamente con el aumento de la producción animal por debajo de 4000 kg PFCM/vaca/año, por lo que se recomienda que los sistemas de producción deberían de buscar estrategias que permiten que sobrepasen la producción de 4000 kg PFCM/vaca/año.

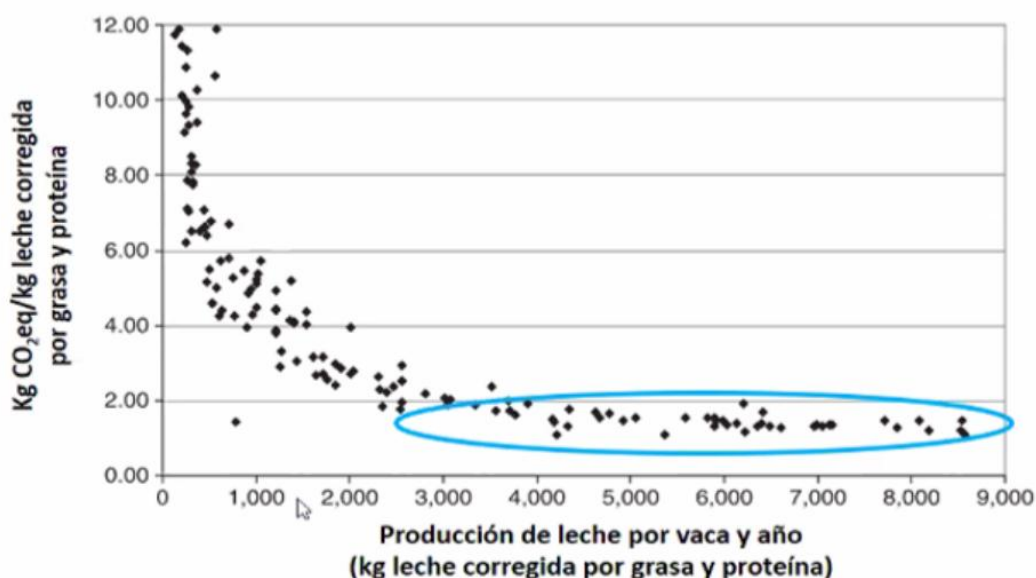


Figura 1. Relación entre la cantidad de leche producida y las emisiones de CO₂-eq.
Fuente: Gerber *et al.* (2011)

2.5. LA GANADERÍA LECHERA EN LA REGIÓN JUNÍN

El Valle del Mantaro es reconocido por su capacidad de abastecimiento de alimentos a la ciudad de Lima Metropolitana, principal mercado nacional. La provincia de Concepción cuenta con la mayor producción de leche (11,464 toneladas/año), seguido por la provincia de Huancayo con 8.803 toneladas/año, provincia de Jauja con 6.360 toneladas/año y Chupaca con 3.775 toneladas/año (DRA 2016).

Arauco (2015), describió sistemas productivos en hatos lecheros en el Valle del Mantaro con fines de estudios sanitarios, donde consideró la definición típica de sistema intensivo (explotación confinada con uso concentrado y forraje), sistema extensivo (alimentación a base de pasturas) y al sistema semi-intensivo como el intermedio entre las dos anteriores (a base de pasturas y concentrado). Determinando que, del total de hatos lecheros, 62.2 por ciento pertenecen al sistema semi-intensivo, 35.1 por ciento pertenecen al sistema intensivo y 2.7 por ciento al sistema extensivo. Indicando este resultado a un aumento en los niveles tecnológicos e inclusión de mejoras en el manejo animal. Por otro lado, Gamboa & Mercado (2015) clasificaron a las ganaderías como pequeñas, medianas y grandes. Siendo las pequeñas (59%) con producción promedio de 8.6 kg/vaca/día, medianas (31%) con un promedio de 10.7 kg/vaca/día y grandes (10%) con un promedio de 12.5 kg/vaca/día. Las razas bovinas predominantes son la Holstein, Brown Swiss y sus cruces. Además, para la subsistencia del sistema de producción son necesarias las articulaciones hacia atrás como el aprovisionamiento de insumos, servicios técnicos y la articulación hacia adelante mediante la comercialización, teniendo como principales destinos de la producción de leche a la micro y pequeña empresa (54.9%), la gran industria (17.9%), el acopio rural (18.8%), el procesamiento propio (5.2%) y el autoconsumo (3.2%)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El área de estudio para el presente trabajo de investigación fue la región Junín, la cual está ubicada en la zona central de los Andes, con un área total de 44197 km (siendo 3.4% del territorio nacional), con una altitud oscilante entre los 360 y 5000 m.s.n.m. La región se encuentra dividida en nueve provincias: Tarma, Yauli, Chanchamayo, Satipo, Junín, Huancayo (capital), Concepción, Jauja y Chuapaca.

El Valle del Mantaro posee unas coordenadas de 11°28'48" latitud sur, 74°58'48" longitud oeste y una altitud promedio de 3,270 m.s.n.m. Asimismo, incluye políticamente a cuatro provincias: Huancayo, Concepción, Jauja, Chupaca y un total de 29 distritos. La duración del estudio fue de nueve meses, desde el mes de agosto del año 2019 hasta agosto del año 2020.

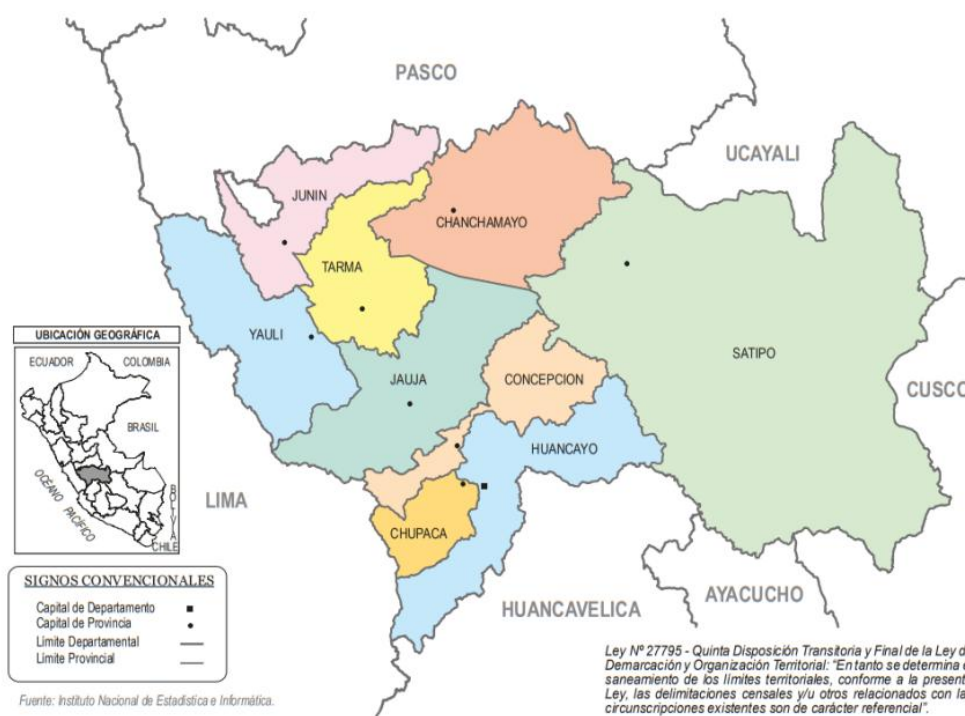


Figura 2. Mapa de la región Junín

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI 2014)

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población abarca a todos los establos ubicados en el Valle del Mantaro, y la muestra consta de dos establos lecheros de los sistemas prevalentes de la zona, uno perteneciente al sistema intensivo ubicado en el distrito de Matahuasi - Provincia de Concepción (coordenadas -11.870116, - 75.358988) y otro perteneciente al sistema semi-intensivo en el distrito de Apata – Provincia de Chupaca (coordenadas -11.849105, - 75.360221).



Figura 3. Ubicación del sistema intensivo
FUENTE: Google maps (Google s.f a)

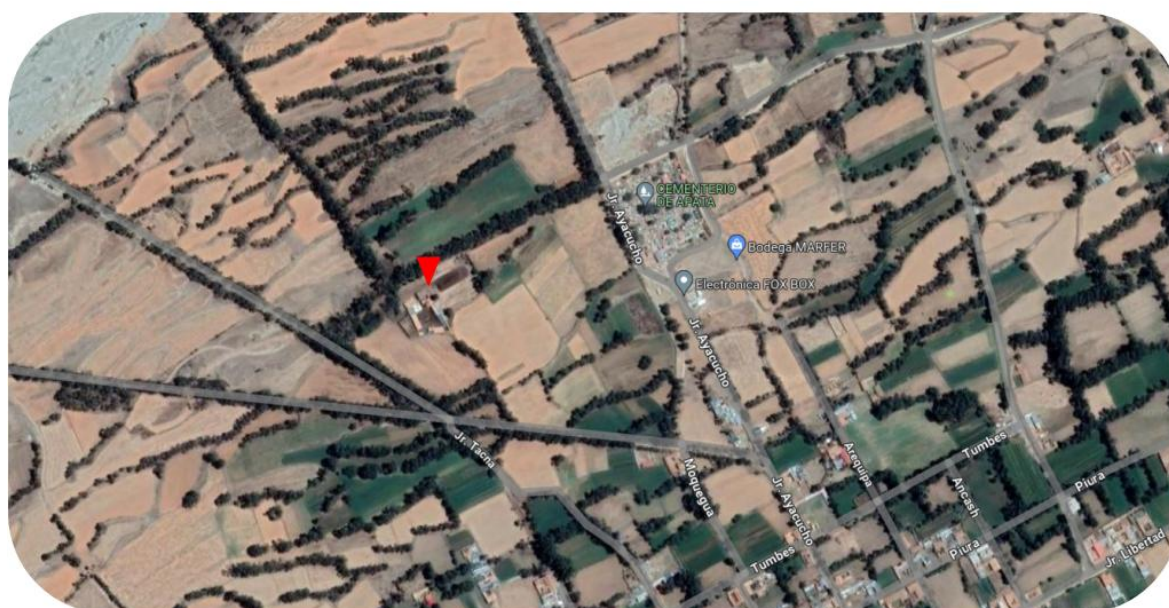


Figura 4. Ubicación del sistema semi-intensivo
FUENTE: Google maps (Google s.f b)

3.3. MATERIALES

3.3.1. Materiales de campo

- Soga
- Mameluco
- Botas
- Guantes
- Cinta bovinométrica
- Potes de 20 ml esterilizados
- Cuaderno de apuntes
- Bolsas ziploc
- Balanza electrónica
- Termómetro ambiental
- Encuestas
- Cámara fotográfica

3.3.2. Materiales de oficina

- Laptop
- Impresora
- Útiles de escritorio

3.3.3. Guías especializadas de trabajo

- La guía de la Federación Internacional de Lechería (IDF 2015), denominada “Un enfoque común de Huella de Carbono para el sector lácteo: metodología estándar de análisis de ciclo de vida”
- Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático en su versión del 2019 (IPCC 2019), para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero:
 - Volumen dos: Energía. Capítulo dos: Combustión estacionaria.
 - Volumen dos: Energía. Capítulo tres: Combustión móvil.
 - Volumen cuatro: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol.

- Volumen cuatro: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 11: Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea.
- Bases de datos de ECOINVENT para emisiones resultantes del ciclo de vida de productos y servicios (Ecoinvent 2020).
- Recopilación de fuentes bibliográficas relacionadas a estudios de Huella de Carbono.

3.4. METODOLOGÍA

Para estimar la HC de la producción de leche en cada sistema se utilizó la metodología estándar del ACV propuesta por el Federación Internacional de Lechería (IDF 2015). Donde los pasos a seguir están detallados en la Figura cinco.

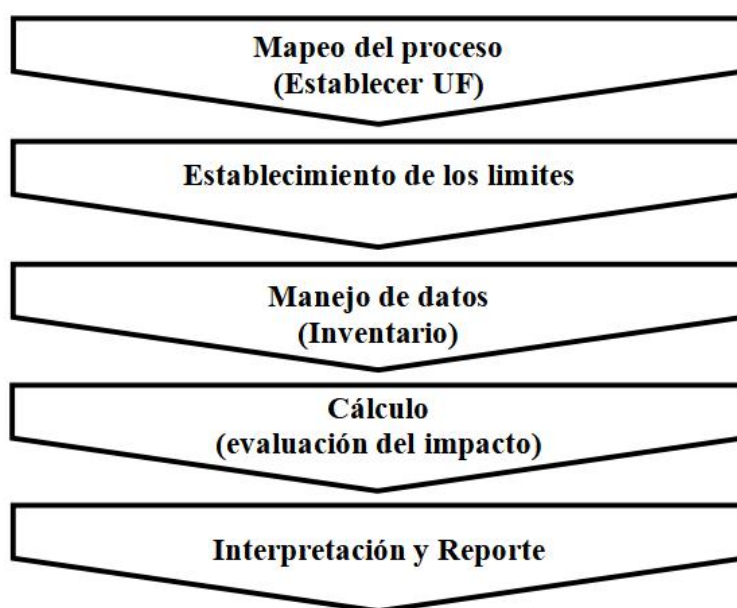


Figura 5. Pautas para determinar la Huella de Carbono de un producto
FUENTE: Adaptado de International Dairy Federation (IDF 2015)

3.4.1. Mapeo del proceso

- **Definición de los procesos**

Los procesos dentro del Análisis de Ciclo de Vida de la leche que fueron tratados en este estudio fueron desde “LA CUNA HASTA LA PUERTA DE LA GRANJA”, que consta

desde la adquisición de la materia prima, el proceso de producción de leche y su venta en la puerta de la granja, excluyendo el proceso de transformación de la leche.

- **Unidades funcionales**

Las unidades funcionales de referencia a las cuales se relacionaron todos los impactos ambientales fueron de un kilo de leche fluida, un kilo de FPCM (leche corregida a 4% grasa y 3.3.% proteína) según la fórmula de la IDF (2015), un kilo de ECM (leche corregida a energía con 4% de grasa, 3.2% proteína y 4.8% lactosa), según la fórmula del Instituto de Investigación del Agroscópico Liebefeld-Posieux (ALP 2006), citado por Bartl *et al.* (2011) y una Unidad Animal (UA), planteada por Mandaluniz *et al.* (2005). Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de las unidades funcionales fueron detalladas a continuación:

Ecuación 1. Leche corregida a grasa y proteína (FPCM)

$$\text{FPCM (Kg/día)} = \text{PL (Kg/día)} \times [0.1226 \times \text{G\%} + 0.0776 \times \text{P \%} + 0.2543]$$

Donde:

FPCM = Leche corregida a grasa y proteína.

PL = Producción de leche.

G = Grasa de la leche.

P = Proteína de la leche

Ecuación 2. Leche corregida a energía (ECM)

$$\text{ECM (Kg/día)} = \text{PL (Kg/día)} \times [0.038 \times \text{G (g/kg)} + 0.024 \times \text{P (g/kg)} + 0.017 \times \text{L (g/kg)}] / 3.14$$

Donde:

ECM = Leche corregida a energía.

PL = Producción de leche.

G = Grasa de la leche.

P = Proteína de la leche

L = Lactosa

Ecuación 3. Unidad Animal (UA)

Referente a un bovino en seca, no preñado, de 500 kg de PV y un consumo de 10 kg de MS

$$0.00945 \times \text{PV}^{0.75} \text{ (vacas secas y recria)}$$

$$0.0100 \times \text{PV}^{0.75} \text{ (vacas gestantes)}$$

$$0.00945 \times \text{PV}^{0.75} + 0.02 \times \text{Leche (vacas en producción)}$$

Donde:

PV = *Peso vivo del animal*

LECHE = Producción de leche

3.4.2. Establecimiento de los límites

Según los procesos seleccionados, se consideraron todas las emisiones directas e indirectas de GEI (CH_4 , N_2O y CO_2) provenientes de las actividades de la granja (manejo del ganado, de los residuos sólidos, de los fertilizantes y los combustibles) y las actividades externas a tales como el uso de electricidad, fabricación y transporte de insumos (Figura 6).

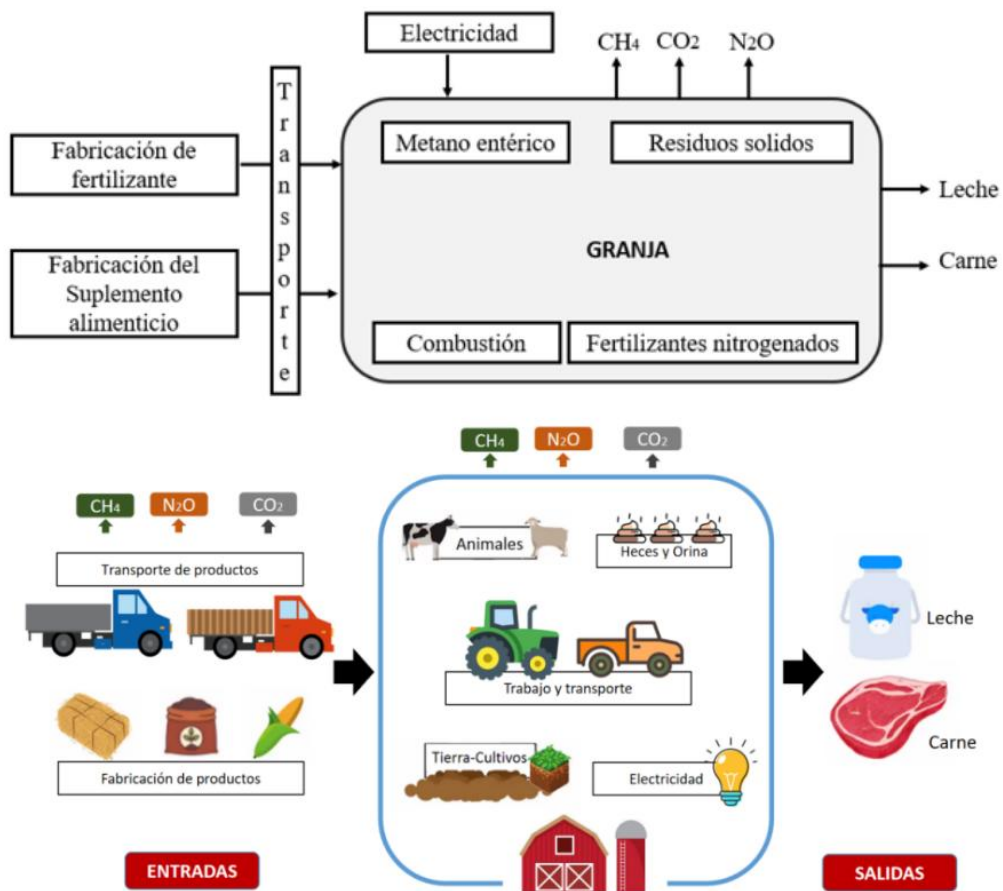


Figura 6. Procesos incluidos en los límites del sistema de producción de leche para el Valle del Mantaro

Fuente: Adaptado de International Dairy Federation (IDF 2015)

En la Tabla uno se presentan las fuentes de emisión consideradas dentro del límite de los procesos “LA CUNA HASTA LA PUERTA DE LA GRANJA” repartidas según su origen dentro o fuera de la granja.

Tabla 1. Fuentes de emisión consideradas dentro los límites establecidos

FUENTE DE EMISIÓN	ORIGEN
Fermentación entérica	Dentro de la granja
Gestión de residuos (heces y orinas)	
Suelos gestionados fertilizados	
Uso de combustibles fósiles	
Consumo de energía eléctrica	
Fabricación y transporte de insumos para concentrado	Fuera de la granja
Fabricación y transporte de fertilizantes nitrogenados	

FUENTE: Adaptado de International Dairy Federation (IDF 2015)

3.4.3. Manejo de datos

La visita a los productores se realizó en dos momentos al año (estación seca y estación lluviosa), con un total de cuatro visitas (dos visitas para levantamiento de información y dos visitas para estimar la ganancia de peso promedio diario). Los datos fueron recolectados mediante el uso de una ficha de registro estructurada y muestreos realizados en campo.

- **Ficha de registro:**

Se hizo uso de una ficha de registro que consto de seis categorías para establecer el nivel tecnológico de las producciones (Anexo 1).

- **Información básica:** Esta categoría constó del nombre del productor o dueño del establo, el nombre del negocio o sistema agropecuario, ubicación, número de teléfono, y correo electrónico.
- **Información pecuaria:** Consto de la conformación del hato (categoría de ganado vacuno), producción de leche.
- **Sistema de alimentación:** esta categoría involucró los datos referentes al alimento destinado al consumo animal como: el uso de forraje, la compra de pasto, uso de concentrado y uso de suplementos. Asimismo, se registró la procedencia de los insumos usados en cada establo.
- **Manejo agrícola:** los datos incluidos fueron el tipo de pastoreo, frecuencia de fertilización y cantidad de fertilizante usado, uso de cal, uso de estiércol, tamaño

del área de pastura o cultivos, mecanización del suelo y uso de riego. Asimismo, se registró la marca de los fertilizantes usados y su procedencia.

- **Manejo de estiércol:** Se registro el tipo de almacenaje y gestión del estiércol, así como la temperatura ambiental de la zona.
- **Tecnología:** la categoría incluyó los datos del tipo de ordeño (manual o mecánico), uso de maquinaria, uso de combustible, uso de energía eléctrica.

En la Tabla dos se muestran las principales características de los dos sistemas evaluados en el estudio, subdivididas en nueve categorías: Ubicación, estructura del hato, forma de alimentación, tipo de ordeño, área de cultivo, número de vacas en producción, producción de leche promedio, tipo de manejo de estiércol y temperatura ambiental del área.

Tabla 2. Matriz de principales características de los sistemas evaluados

CARACTERÍSTICA	Sistema Intensivo		Sistema Semi-intensivo	
	Estación seca	Estación lluviosa	Estación seca	Estación lluviosa
Ubicación	Valle del Mantaro (Concepción)		Valle del Mantaro (Apata)	
Estructura del hato	6 categorías (vacas en producción, vacas secas, vaquillonas, vaquillas, recría y terneros)		7 categorías (vacas en producción, vacas secas, vaquillonas, vaquillas, recría, terneros y toretes)	
Forma de alimentación	Estabulado con alimento brindado en corral		Semiestabulado a base de pastura con suplementación de concentrado	
Tipo de ordeño	Mecánico		Mecánico	
Área de cultivo	70	70	10	12
Número de vacas en producción	40	44	18	21
Producción de leche prom. (litro/leche/día)	13.03	13.97	11.64	12.34
Tipo de manejo de estiércol	Almacenaje en sólidos (secado al sol)	Almacenaje en solido (secado al sol)	Almacenaje en sólidos (secado al sol)	Almacenaje en líquido
Temperatura ambiental del área (°C)	18.3	19	20.8	20.01

FUENTE: Ficha de registro en campo

- **Muestreo de campo y análisis de laboratorio:**

- a. **Pesaje**

La estimación del peso se realizó por medio del uso de una cinta bovinométrica. El cual se ejecutó en un 10 por ciento de la población animal por categoría de ganado dentro de cada hato. Sin embargo, si la categoría de ganado tuvo una población menor a 20 animales, se estimó pesos de mínimo cinco animales por categoría. Además, si la población según la categoría fue menor a cinco animales, se estimó el peso del total de toda la población de

dicha categoría. Esta actividad se repitió a los 45 días para registrar la ganancia de peso promedio por día.

La Tabla tres muestra la cantidad de animales en cada categoría de ganado dentro del hato según la estación del año. Evidenciando que tanto para el Sistema Intensivo (SI), como para el Semi-intensivo (SmI) la cantidad de vacas en producción y terneros aumentan en la estación lluviosa en comparación a la estación seca.

Tabla 3. Composición del hato según la estación del año

EXPLOTACIÓN	COMPOSICIÓN DEL HATO						
	Categoría de ganado						
	Vacas en Lactación	Vacas secas	Vaquillonas	Vaquillas	Recría	Terneraje	Toretas
Sistema Intensivo, estación seca	40	19	16	24	6	3	-
Sistema Intensivo, estación lluviosa	44	17	26	9	5	10	-
Sistema Semi-intensivo, estación seca	18	9	7	7	3	5	6
Sistema Semi-intensivo, estación lluviosa	21	5	7	5	6	8	7

FUENTE: Ficha de registro en campo

La tabla cuatro presenta los pesos promedios de los animales en cada categoría de ganado en el Sistema Intensivo (SI) y Semi-intensivo (SmI).

Tabla 4. Peso promedio de los animales en cada categoría

EXPLOTACIÓN	PESO PROMEDIO (Kg)						
	Categoría de ganado						
	Vacas en Lactación	Vacas secas	Vaquillonas	Vaquillas	Recría	Terneraje	Toretas
Sistema Intensivo, estación seca	519	555	381	259	184	92	-
Sistema Intensivo, estación lluviosa	523	561	384	247	187	94	-
Sistema Semi-intensivo, estación seca	474	415	353	261	179	82	176
Sistema Semi-intensivo, estación lluviosa	482	455	355	264	174	90	215

FUENTE: Muestreo de campo

b. Alimento

- **Concentrados:** se recolectaron muestras de 300g del concentrado utilizado por los sistemas evaluados.

- **Forrajes**, según el plan de alimentación animal se tomaron muestras de cada forraje perteneciente a dicho plan, obteniendo muestras consolidadas de un kilo por insumo.
- **Pastura**, se utilizó el método de “hand plucking” descrita por Cook (Cook 1964), el cual constó de la toma de muestra por simulación manual en cada estación donde la vaca pastorea. Posteriormente, se combinó la cantidad de pastura obtenida en todas las estaciones y se obtuvo una muestra de un kilo.

Las muestras de alimento fueron empaquetadas para su almacenamiento, transporte y enviadas al Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Los análisis considerados fueron: proteína cruda y humedad de acuerdo con el método de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC 2005). Así mismo, se analizó la Digestibilidad *in vitro* aparente de la materia seca (DIVMS ap) por medio del método ANKOM (2005): Método 3 - *in vitro* True Digestibility usando Daisy Incubator.

En la Tabla cinco se detalla los tipos de pasturas cultivadas encontradas en campo según la estación del año. Donde, la letra X marca los meses en donde el cultivo está presente, mientras que el espacio en blanco señala la ausencia del cultivo en dichos meses.

Tabla 5. Tipo de cultivo empleado según la estación del año

EXPLOTACIÓN	CULTIVO	Año 2019								Año 2020				
		ESTACIÓN SECA						ESTACIÓN LLUVIOSA						
		May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	
Sistema Intensivo	Maíz	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Haba	X	X	X	X	X	X							
Sistema Semi-intensivo	Mix (Avena + Vicia)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Cebada	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Mix (Rye Grass + Trébol Rojo)	X	X	X	X	X	X							
	Alfalfa							X	X	X	X	X	X	X
	Mix (Rye Grass + Alfalfa + Trébol Rojo)							X	X	X	X	X	X	X

FUENTE: Muestreo de campo

En la Estación Seca, el Sistema Intensivo (SI) cuenta con un área de cultivo de 70 hectáreas, de las cuales 40 hectáreas son utilizadas para el cultivo de maíz, y las restantes

30 hectáreas son utilizadas para el cultivo de haba. No obstante, no todo este cultivo es destinado para el consumo animal, siendo solo utilizado el 60 por ciento de la producción del maíz y el 55 por ciento de la producción de haba para la alimentación del ganado. Este manejo, sufre un cambio en la Estación Lluviosa, en el cual solo se cultiva maíz. Los cultivos son siempre fertilizados en las dos estaciones con estiércol de vaca y nitrato de amonio.

El Sistema Semi-intensivo (Smi) contó con un área de cultivo de 10 hectáreas en la estación seca. De las cuales cinco hectáreas corresponden al cultivo combinado de avena y vicia, una hectárea correspondió al cultivo de cebada y cuatro hectáreas fueron asignadas para el cultivo combinado de rye grass y trébol rojo; en esta estación, los cultivos son fertilizados con estiércol seco de vacuno y por sacos de urea agrícola. No obstante, en la estación lluviosa la cantidad de hectáreas aumenta, siendo un total de 12; de las cuales cinco hectáreas corresponden al cultivo combinado de avena y vicia, una hectárea correspondió al cultivo de cebada, una hectárea fue asignada para el cultivo de sólo alfalfa y cinco hectáreas fueron destinadas al cultivo combinado de rye grass, alfalfa y trébol rojo. Con respecto al uso de fertilizantes, en esta estación se utilizó estiércol líquido y urea agrícola.

Tabla 6. Composición porcentual de los insumos utilizados en la alimentación animal

Explotación	Tipo de alimento	MS	DIVMS	PBS
Sistema Intensivo	Ensilado de chala + haba (estación seca)	29.17	68.05	7.69
	Concentrado (estación seca)	89.11	81.03	28.64
	Chala verde picada (estación lluviosa)	24.73	70.85	7.52
	Concentrado (estación lluviosa)	90.48	80.13	28.60
Sistema Semi-intensivo	Ensilado de avena + vicia (estación seca)	26.78	62.16	6.95
	Mix pastura rye grass + alfalfa (estación seca)	24.96	74.21	22.95
	Concentrado (estación seca)	88.71	85.05	18.92
	Heno de avena (estación seca)	89.44	65.76	4.30
	Mix pastura avena + vicia cortada (estación lluviosa)	25.31	71.09	5.69
	Concentrado (estación lluviosa)	89.29	81.53	15.81
	Alfalfa cortada (estación lluviosa)	23.14	71.71	23.51
	Mix pastura rye grass + trébol rojo + alfalfa (estación lluviosa)	26.44	76.43	22.81

FUENTE: Análisis del Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la UNALM

En la Tabla seis se muestra la composición de los diferentes insumos utilizados en la alimentación de los animales en los dos sistemas evaluados. Donde, se presenta la materia seca (MS), la digestibilidad invitro de la materia seca (DIVMS) y la proteína en base seca (PBS).

c. Consumo

Se determinó el consumo del alimento por medio del pesaje de este brindado al animal con una balanza electrónica. El consumo de pastura se determinó por diferencia del requerimiento de materia seca y la cantidad consumida de concentrado, ensilaje y/o heno expresado en MS. Para estimar el consumo de materia seca se hizo uso de las directrices del IPCC (2019), el cual nos brindó ecuaciones para cada categoría de ganado.

Ecuación 4. Consumo de materia seca para vacas en lactancia

$$CMS = 0.0185 \times BW + 0.305 \times FCM$$

Donde:

CMS = Consumo de materia seca.

BW = Peso vivo del animal.

FCM = Leche corregida a grasa al 3.5%.

Ecuación 5. Consumo de materia seca para vacas secas y vaquillonas

$$CMS = 3.184 + (0.01536 \times BW \times 0.96)$$

Donde:

CMS = Consumo de materia seca.

BW = Peso vivo del animal.

Ecuación 6. Consumo de materia seca para vaquillas

$$DMI = BW^{0.75} \cdot \left[\frac{(0.0582 \cdot NE_{mf} - 0.00266 \cdot NE_{mf}^2 - 0.0869)}{0.239 \cdot NE_{mf}} \right]$$

Donde:

DMI = Consumo de materia seca.

BW = Peso vivo del animal.

NE_{mf} = Concentración de energía neta estimada de la dieta.

Ecuación 7. Consumo de materia seca para terneros

$$DMI = BW^{0.75} \cdot \left[\frac{(0.0582 \cdot NE_{mf} - 0.00266 \cdot NE_{mf}^2 - 0.1128)}{0.239 \cdot NE_{mf}} \right]$$

Donde:

DMI = Consumo de materia seca.

BW = Peso vivo del animal.

NE_{mf} = Concentración de energía neta estimada de la dieta.

Ecuación 8. Consumo de materia seca para toros y toretes

$$CMS = 3.83 + (0.0143 \times BW \times 0.96)$$

Donde:

CMS = Consumo de materia seca.

BW = Peso vivo del animal.

En la Tabla siete se muestra el consumo de alimento de las vacas en producción para cada sistema según la estación del año.

Tabla 7. Consumo de alimento de las vacas en producción según estación del año

Sistema Intensivo (SI)		
INSUMO	Estación seca	Estación lluviosa
	kg/animal/día	kg/animal/día
Ensilado chala + haba	36	
Concentrado	4	4
Chala picada		44
TOTAL	40	48
Sistema Semi-intensivo (SmI)		
INSUMO	Estación seca	Estación lluviosa
	kg/animal/día	kg/animal/día
Ensilado avena + vicia	25	
Mix pastura rye grass + alfalfa	9.78	
Heno de avena	2	
Mix pastura avena + vicia cortada		25
Mix pastura rye grass + trébol rojo + alfalfa		18.44
Concentrado	2	2
TOTAL	34.78	45.44

FUENTE: Ficha de registro en campo

El plan de alimentación del Sistema Intensivo (SI) estuvo basado en una ración formulada a base de ensilado de chala y haba forrajeras con un concentrado a base de harina de pescado, afrecho, torta de soya y pasta de algodón durante en la estación seca. No obstante, el ensilado a base de chala y haba es reemplazado por solo chala forrajera verde picada en la estación lluviosa. Los insumos del concentrado fueron adquiridos de agentes externos.

En la estación seca, el plan de alimentación del Sistema Semi-intensivo (Sml) estuvo basado en un ensilado de avena y vicia junto a un concentrado compuesto de maíz, cebada y avena, los cuales eran suministrados a los animales en un corral comunitario. Posterior a ello, los animales salían al campo durante cinco a seis horas para el consumo de pastos combinados de rye grass y trébol. Esta rutina variaba ligeramente en la estación lluviosa, en la cual el ensilado de avena y vicia era reemplazado por pastura de avena y vicia, que era cortada y transportada a la explotación. Las pasturas consumidas variaron a una combinación de rye grass, trébol y alfalfa. Los insumos que formaban parte del concentrado a excepción del maíz fueron producidos en el mismo establo y molido posteriormente en un molino cercano.

d. Leche

El procedimiento para la toma de una muestra de leche fue el siguiente:

- Antes de iniciar el muestreo, se preparó los frascos de 100 ml añadiéndole tres gotas de formol al 40%. y se roció alcohol de 70° a todos los materiales que entraron en contacto con la leche (cucharón, jarra).
- El muestreo se inició agitando la leche homogéneamente de abajo hacia arriba sin generar espuma dentro del porongo (o la muestra compuesta de todos los porongos) con un cucharón de acero inoxidable, aproximadamente por 30 segundos. Si el productor tenía tanque se procedió a encender el agitador mecánico por 10 minutos y tomar la muestra de leche llevándola a la jarra para luego traspasarla a los frascos, acto seguido se llevó a una caja de aislante de poliestireno expandido con solución congelante comercial.
- Si el productor realizaba dos ordeños a más, se procedió a tomar muestras representativas anotando volumen por turno para luego realizar una mezcla por ponderación de cantidad de leche producida.
- Se rotuló el frasco con el nombre del establo.
- Se conservó la leche en cadena de frio a 4°C.

La leche fue enviada al Laboratorio de Leche y Carnes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y analizada en sus fracciones primarias: grasa, sólidos no grasos, proteína, lactosa y sólidos totales con la utilización de Equipo Milko Scan FOSS, de tecnología de análisis de leche por rayos infrarrojos.

En la Tabla ocho se muestran el promedio producción de leche por cada vaca en su etapa de lactación en los sistemas evaluados en las dos estaciones del año, junto a su respectiva composición.

Tabla 8. Producción y composición de la leche de los sistemas evaluados

EXPLOTACIÓN	PRODUCCIÓN	COMPONENTES DE LA LECHE			
	Leche prom./vaca/día	Proteína (%)	Grasa (%)	Sólidos no grasos (%)	Lactosa (%)
Sistema Intensivo, estación seca	13.03	3.95	4.11	8.69	4.52
Sistema Intensivo, estación lluviosa	13.97	3.94	4.39	8.35	4.44
Sistema Semi-intensivo, estación seca	11.64	3.54	4.16	8.81	4.59
Sistema Semi-intensivo, estación lluviosa	12.34	3.90	4.00	8.40	4.53

FUENTE: Análisis del Laboratorio de Leches y Carnes de la UNALM

3.4.4. Cálculo de la Huella de Carbono

3.4.4.1. Análisis de inventario

- **Fermentación entérica**

La fermentación entérica expresada en metano (CH₄) se estimó a partir de la ingesta energética bruta de las diferentes categorías de ganado de acuerdo con el nivel dos del IPCC y para el uso del factor de conversión del metano se utilizó la fórmula propuesta por Gerber *et al.* (2013b), el cual se vale de los parámetros de la digestibilidad de la dieta.

Ecuación 9. Emisiones totales por fermentación entérica del ganado

$$\text{Total CH}_{4\text{Entérica}} = \sum_i E_i$$

Donde:

Total CH₄ Entérica = Emisiones totales de metano por fermentación entérica, Kg CH₄ día.

E_i = emisiones provenientes de cada categoría de ganado.

Ecuación 10. Factores de emisión de CH₄ para cada categoría de ganado

$$EF = \left[\frac{GE \cdot \left(\frac{Y_m}{100} \right) \cdot N_{cat}}{55,65} \right]$$

Donde:

FE = Factor de emisión por categoría de ganado

Y_m = Factor de conversión del metano

GE = Consumo de energía bruta

N_{cat} = Número de animales en la categoría de ganado

Ecuación 11. Cálculo del factor de conversión del metano

$$Y_m = 9.57 \times 0.05 \times DE\%$$

Donde:

Y_m = Factor de conversión del metano

DE = Digestibilidad de la dieta en porcentaje

- **Gestión de residuos (estiércol y orina)**

Las GEI producidas por la gestión del estiércol fueron expresados en metano y óxido nítrico, las cuales son estimadas de la siguiente manera.

La emisión de metano debido a la excreción del estiércol en pastizales y su almacenamiento se estimó según las pautas del nivel uno del IPCC, los factores de conversión de metano usados para cada sistema de gestión de estiércol fueron tomados considerando la región climática específica de la zona y la temperatura ambiental en el momento de la toma de muestra.

Ecuación 12. Emisiones de CH₄ de la gestión del estiércol

$$CH_{4\text{Estiércol}} = \sum_{(T)} \frac{(EF_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6}$$

Donde:

Total CH₄ Estiércol = Emisiones totales de metano por gestión del estiércol, Kg CH₄ día.

EF_(T) = Factor de emisión de CH₄ para la población de ganado por categoría.

N_(T) = Cantidad de ganado por categoría.

Ecuación 13. Factor de emisión de CH₄ de la gestión de estiércol

$$EF_{(T)} = (VS_T \cdot 365) \left[B_{0(T)} \cdot 0.67 \cdot \sum_{S,k} \frac{MCF_{S,k}}{100} \cdot AWMS_{(T,S,k)} \right]$$

Donde:

$EF_{(T)}$ = Factor de emisión de CH₄ para la población de ganado por categoría.

$VS_{(T)}$ = Sólidos volátiles excretados por día en la categoría de ganado.

365 = Base para calcular la producción anual.

$B_{0(T)}$ = Capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado.

0,67 = Factor de conversión de m³ de CH₄ a kilos de CH₄.

$MCF_{(S,k)}$ = Factores de conversión de metano para cada sistema de gestión del estiércol por región climática.

$AWMS_{(T,S,k)}$ = Fracción del estiércol del ganado de la categoría manejado usando el sistema de gestión de desechos en la región climática.

La emisión de óxido nitroso directo e indirecto debido a la excreción del estiércol en pastizales y su almacenamiento se estimó según las pautas del nivel uno del IPCC.

Ecuación 14. Emisiones directas de N₂O de la gestión del estiércol.

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_S \left[\sum_{T,P} \left((N_{(T,P)} \cdot Nex_{(T,P)}) \cdot AWMS_{(T,S,P)} \right) + N_{edg(s)} \right] \cdot EF_{3(S)} \right] \cdot \frac{44}{28}$$

Donde:

$N_2O_{D(mm)}$ = Emisiones directas de N₂O de la gestión del estiércol del país.

$N_{(T,P)}$ = Cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría.

$Nex_{(T,P)}$ = Promedio anual de excreción por cabeza de la especie/categoría en el país

$AWMS_{(T,S,P)}$ = fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie/categoría de ganado, que se gestiona en el sistema de gestión del estiércol en un país.

$N_{edg(s)}$ = Aporte anual de nitrógeno a través del codigestado en el país.

$EF_{3(S)}$ = Factor de emisión para emisiones directas de N₂O del sistema de gestión del estiércol en el país.

44/28 = Conversión de emisiones de N₂O-N a N₂O.

Ecuación 15. Emisiones indirectas de N₂O de la gestión del estiércol

$$N_2O_{I(mm)} = N_2O_{G(mm)} + N_2O_{L(mm)}$$

Donde:

$N_2O_{I(mm)}$ = Emisiones indirectas de N₂O de la gestión del estiércol del país.

$N_2O_{G(mm)}$ = Emisiones indirectas de N₂O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol.

$N_2O_{L(mm)}$ = Emisiones indirectas de N₂O debidas a la lixiviación de N de la gestión del estiércol.

- **Suelos gestionados fertilizados**

Las GEI producidas por la gestión de suelos fertilizados por fertilizantes nitrogenados y excretas de animales, son expresados en óxido nitroso, los cuales son estimadas según las ecuaciones IPCC en su nivel uno.

Ecuación 16. Emisiones directas de N₂O de suelos gestionados

$$N_2O_{directas-N} = N_2O-N_{N\text{ aportes}} + N_2O-N_{Os} + N_2O-N_{ppp}$$

Donde:

$N_2O_{directas-N}$ = Emisiones directas de N₂O-N producidas a partir de suelos gestionados.

$N_2O-N_{N\text{ aportes}}$ = Emisiones directas de N₂O-N producidas por aportes de N a suelos gestionados.

N_2O-N_{Os} = Emisiones directas de N₂O-N de suelos orgánicos gestionados.

N_2O-N_{ppp} = Emisiones directas de N₂O-N de aportes de orina y estiércol a tierras de pastoreo

Ecuación 17. Emisiones indirectas de N₂O de suelos gestionados

$$N_2O_{indirectas-N} = N_2O_{(ADT)-N} + N_2O_{(L)-N}$$

Donde:

$N_2O_{indirectas-N}$ = Emisiones indirectas de N₂O-N producidas a partir de suelos gestionados.

$N_2O_{(ADT)-N}$ = Cantidad de N₂O-N producida por deposición atmosférica de N volatilizado.

$N_2O_{(L)-N}$ = Cantidad de N₂O-N producida por lixiviación y escurrimiento de agregados de N.

Ecuación 18. Emisiones de CO₂ por aplicación de cal

$$EmisiónCO_2-C = (M_{caliza} \times EF_{caliza}) + (M_{dolomita} \times EF_{dolomita})$$

Donde:

$EmisiónCO_2-C$ = Emisiones de C por aplicación de cal.

M = Cantidad piedra cálcica o dolomita.

EF = Factor de emisión de piedra caliza o dolomita.

Ecuación 19. Emisiones de CO₂ por aplicación de urea

$$CO_2-C Emisión = M \times EF$$

Donde:

$EmisiónCO_2-C$ = Emisiones de C por aplicación de urea.

M = Cantidad urea.

EF = Factor de emisión de urea.

- **Uso de combustibles fósiles**

Las emisiones generadas por el uso de combustibles fósiles fueron expresadas en metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y dióxido de carbono (CO₂). Las cuales se estimaron siguiendo las directrices del IPCC en su nivel uno. Para hallar el factor de emisión para las emisiones de dióxido de carbono se hizo uso de los parámetros por defecto presentes en las tablas del IPCC, las cuales fueron para gasolina (69300 kg/TJ), petróleo (63100 kg/TJ) y lubricantes (73300 kg/TJ). Para el valor del factor de emisión para metano y óxido nitroso provenientes del uso de gasolina, se utilizaron los valores por defecto de 33 kg/TJ y 3.2 kg/TJ para metano y óxido nitroso respectivamente.

Ecuación 20. Emisiones por uso de combustibles fósiles

$$Emisión = \sum_a [Combustible_a \cdot EF_a]$$

Donde:

Emisión = Emisiones (Kg).

Combustible_a = Combustible consumido (TJ).

EF_a = Factor de emisión (Kg/TJ). Es igual al contenido de carbono del combustible multiplicado por 44/12.

a = Tipo de combustible.

- **Consumo de energía eléctrica**

Las emisiones causadas por el consumo de energía eléctrica fueron expresadas en dióxido de carbono (CO₂). Las cuales se estimaron gracias a los factores de emisión del uso de energía eléctrica específicos para zonas altoandinas del Perú dentro de la base de datos de Ecoinvent (Ecoinvent 2020), las cuales fueron para generación de electricidad (0.006585 kg CO₂-eq/kWh) y para la distribución de electricidad a bajo voltaje (0.2807 CO₂-eq/kWh).

Ecuación 21. Emisiones por consumo de energía eléctrica

$$Emisión = \sum_b [Consumo_b \cdot EF_b]$$

Donde:

Emisión = Emisiones (Kg).

Consumo_b = Cantidad de energía consumida (kWh).

EF_b = Factor de emisión (kg CO₂-eq).

b = Tipo de Factor de emisión (generación o distribución de electricidad).

- **Fabricación y transporte de insumos para concentrado**

Las emisiones causadas por la fabricación de suplemento alimenticio fueron expresadas en dióxido de carbono (CO₂). Las cuales se estimaron gracias a los factores de emisión dentro de la base de datos de Ecoinvent para la fabricación de cada kilo de ingrediente dentro de los concentrados preparados para la alimentación (Ecoinvent 2020). Siendo para la harina de pescado (0.3732 kg CO₂), afrecho (0.3609 kg CO₂), torta de soya (0.4138 kg CO₂), pasta de algodón (0.3212 kg CO₂), cebada (0.5596 kg CO₂), maíz (0.506 kg CO₂) y avena (0.7507 kg CO₂).

Ecuación 22. Emisiones por fabricación de insumos para concentrado

$$Emisión = \sum_c [Cantidad_c \cdot EF_c]$$

Donde:

Emisión = Emisiones (Kg).

Cantidad_c = Cantidad del tipo de alimento (Kg).

EF_c = Factor de emisión (kg CO₂-eq/ kg de producto).

c = Tipo de alimento.

Las emisiones generadas por el transporte del suplemento alimenticio desde el lugar de fabricación hasta la explotación lechera son expresadas en dióxido de carbono (CO₂). Para estimarlo se asignó el origen de los alimentos balanceados en dieta animal con base a la información brindada por Van (2014), de las cuales se delimitaron distancias desde la adquisición del extranjero, pasando por Lima hasta el valle del Mantaro por medio de la aplicación de Google Maps. Siendo las distancias las siguientes: Lima – Valle del Mantaro (310 km), EE.UU – Perú (5577 km), Bolivia (1468 km), Paraguay (2369 km) y Argentina (3441 km).

Ecuación 23. Emisiones por transporte de insumos para concentrado

$$Emisión = \sum \left[\frac{\frac{FE_{TT} \cdot Distancia}{1000}}{\frac{1000}{Cantidad_{TA}}} \right]$$

Donde:

Emisión = Emisiones (Kg).

FE_{TT} = Factor de emisión por tipo de transporte (Kg CO₂-eq).

Distancia = Distancia entre el lugar de fabricación del suplemento hasta el lugar de uso.

Cantidad_{TA} = Cantidad de alimento por tipo.

La información de emisiones por el uso de cada tipo de transporte fue tomada del estudio de Meul *et al.* (2012), siendo para transportes por carretera (134 kg CO₂-eq / Ton x 1000 km), ferrocarril (40 kg CO₂-eq / Ton x 1000 km), marítimo (11 kg CO₂-eq / Ton x 1000 km) y fluvial (43 kg CO₂-eq / Ton x 1000 km).

- **Fabricación y transporte de fertilizantes nitrogenados**

Las emisiones causadas por la fabricación de fertilizantes nitrogenados fueron expresadas en dióxido de carbono (CO₂). Las cuales se estimaron gracias a los factores de emisión dentro de la base de datos de Ecoinvent para la fabricación de cada tipo de fertilizante nitrogenado (Ecoinvent 2020). Siendo para Urea (3.25 kg/ CO₂) y para Nitrato de Amonio (8.08 kg/ CO₂).

Ecuación 24. Emisiones por fabricación de fertilizantes nitrogenados

$$Emisión = \sum_d [Cantidad_d \cdot (F\%) \cdot EF_d]$$

Donde:

Emisión = Emisiones (Kg).

Cantidad_d = Cantidad del producto fertilizante (Kg).

N% = Porcentaje del fertilizante nitrogenado (Urea, Nitrato de Amonio) dentro del producto fertilizante.

EF_d = Factor de emisión (kg CO₂-eq/ kg de producto).

d = Tipo de fertilizante

Las emisiones generadas por el transporte del fertilizante nitrogenado hasta la explotación lechera son expresadas en dióxido de carbono (CO₂).

Ecuación 25. Emisiones por transporte de fertilizante nitrogenado

$$Emisión = \sum \left[\frac{\frac{FE_{TT} \cdot Distancia}{1000}}{\frac{Cantidad_{TF} \cdot (F\%)}{1000}} \right]$$

Donde:

Emisión = Emisiones (Kg).

FE_{TT} = Factor de emisión por tipo de transporte (Kg CO₂-eq).

Distancia = Distancia entre el lugar de fabricación del suplemento hasta el lugar de uso.

Cantidad_{TF} = Cantidad de fertilizante por tipo.

Para estimarlo se asignó el origen de la fabricación de los fertilizantes nitrogenados con base a la información brindada por el ICEX (2018), de las cuales se pudo delimitar las distancias desde el punto de adquisición del Perú y el extranjero, pasando por Lima hasta el valle del Mantaro por medio de la aplicación Google Maps. Siendo las distancias las siguientes: Lima – Valle del Mantaro (310 km), EE.UU – Perú (5577 km), Chile - Perú (5577 km), Rusia – Perú (14187 km) La información de emisiones por el uso de cada tipo de transporte fueron tomados del estudio de Meul *et al.* (2012) ya detallado pasaje arriba.

3.4.4.2. Evaluación del impacto ambiental

Luego de cuantificar cada fuente de emisión en el análisis de inventario, se procedió a estandarizar los gases emitidos (CO₂, CH₄, N₂O) a CO₂-eq multiplicando las cifras individuales por el factor relevante de Potencial de Calentamiento Global (PCG) dados por el IPCC (2013) para un horizonte temporal de 100 años (Tabla 9).

Tabla 9. Tabla de conversión del Potencial de Calentamiento Global (PCG)

TONELADAS DE GAS	TONELADAS DE GAS EN CO ₂ -eq
1 kg CO ₂	1 kg CO ₂ -eq
1 kg CH ₄	28 kg CO ₂ -eq
1 kg N ₂ O	265 kg CO ₂ -eq

FUENTE: IPPC (2013)

3.4.5. Interpretación y reporte

La carga ambiental obtenida del cálculo de la Huella de Carbono se le asignó a la producción de leche, la cual fue delimitada de productos secundarios como la carne por medio de la técnica de asignación por masas propuestas por la IDF (IDF 2015).

Ecuación 26. Asignación de carga ambiental según la masa del coproducto

$$AF \text{ leche} = 1 - 6.04 \times BMR$$

Donde:

AF = Factor de asignación para leche

BMR = Relación kg carne/ kg leche

*Kg carne es la suma del peso vivo de todos los animales vendidos (incluido los terneros y los animales maduros sacrificados).

*Kg leche es la suma de leche vendida corregida a 4% de grasa y 3.3% de proteína.

3.5. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Los reportes de emisiones obtenidos en cada sistema fueron analizados a partir del uso de parámetros de estadística descriptiva. Realizándose una prueba de comparación de medias de la Huella de Carbono entre sistemas (Intensivo y Semi-intensivo) y estaciones (seca y lluviosa).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. UNIDADES FUNCIONALES DE LA HUELLA DE CARBONO

La tabla 10 muestra el valor de la Unidad Animal (UA) para cada categoría de ganado bovino. Asimismo, se puede presenciar el total de Unidades Animales de cada sistema según la estación del año.

Tabla 10. Valor de la Unidad Animal en cada categoría

EXPLOTACIÓN	UNIDAD ANIMAL (1UA = 500kg PV, 10 Kg MS consumida)							TOTAL, UA (valor de UA x animales de categoría)
	Categoría de ganado							
	Vacas en Lactación	Vacas secas	Vaquillonas	Vaquillas	Recría	Terneraje	Toretos	
Sistema Intensivo, estación seca	1.29	1.14	0.86	0.61	0.47	0.28	-	105.39
Sistema Intensivo, estación lluviosa	1.31	1.15	0.87	0.59	0.48	0.29	-	110.44
Sistema Semi-intensivo, estación seca	1.19	0.92	0.81	0.61	0.46	0.26	0.46	45.16
Sistema Semi-intensivo, estación lluviosa	1.22	0.93	0.82	0.62	0.45	0.27	0.53	47.71

FUENTE: Análisis de inventario

En la Tabla 11 se muestran las unidades funciones relacionadas a la producción de leche, las cuales son la leche fluida (cantidad de leche ordeñada del animal), FPCM (leche corregida a grasa y proteína) y ECM (leche corregida a energía).

Tabla 11. Unidades funcionales relacionadas a la producción de leche

EXPLOTACIÓN	PRODUCCIÓN POR VACA AL DÍA		
	Leche Fluida (litros)	FPCM (kg)	ECM (kg)
Sistema Intensivo, estación seca	13.03	13.42	13.16
Sistema Intensivo, estación lluviosa	13.97	15.33	14.98
Sistema Semi-intensivo, estación seca	11.64	12.09	11.89
Sistema Semi-intensivo, estación lluviosa	12.34	12.93	12.68

FUENTE: Análisis de inventario

Para ambos sistemas, el valor de las unidades funciones (UA, Leche fluida, FPCM y ECM) fueron mayores en la estación lluviosa a comparación con la estación seca. Esto es debido a que en la estación lluviosa existe una mayor disponibilidad de alimentos y una mejor composición química (digestibilidad, proteína cruda, energía metabolizable y fibra detergente neutro) de estos, lo cual promueve un aumento de los parámetros productivos del animal, tales como ganancia de peso, producción de leche, calidad de leche (Guerci *et al.* 2015; Gómez 2018; Alvarado *et al.* 2021).

4.2. REPORTE GENERAL DE EMISIONES

En la Tabla 12 se muestra la Huella de Carbono de la producción de leche de vacunos representada como el promedio de las emisiones de gases de efecto invernadero expresados en CO₂-eq según las respectivas unidades funcionales (Leche fluida, FPCM, ECM y UA).

Tabla 12. Huella de Carbono promedio de la producción de leche de los sistemas evaluados

SISTEMA	Unidades Funcionales			
	kg CO ₂ -eq/Kg de Leche Fluida	kg CO ₂ -eq/Kg de FPCM	kg CO ₂ -eq/Kg de ECM	kg CO ₂ -eq/UA
Intensivo	1.91	1.80	1.84	9.99
Semi-intensivo	2.10	2.01	2.05	10.49

FUENTE: Análisis de inventario

Estos resultados son menores a la media global de emisiones de producción de leche mostrados por FAO (2010), el cual es de 2.40 kg CO₂-eq/kg de FPCM (leche corregida a grasa y proteína). Asimismo, las emisiones son mayores a las presentadas en diferentes reportes de países desarrollados tales como Suecia, Nueva Zelanda, Canadá, Reino Unido e Irlanda, los cuales fueron de 1.16 kg CO₂-eq/kg de ECM, 1 kg CO₂-eq/kg de ECM, 1.12 kg CO₂-eq/kg de leche fluida, 0.837 kg CO₂-eq/kg de ECM y 0.887 kg CO₂-eq/kg de ECM respectivamente para cada país (Flysjö *et al.* 2011; Vergé *et al.* 2013; Gollnow *et al.* 2014; O'Brien *et al.* 2014).

A nivel de América Latina, los resultados del presente estudio se encuentran dentro del rango de emisiones de HC estipulados por Velarde *et al.* (2022), los cuales dan rangos desde 1.54 a 3.57 kg CO₂-eq/kg FPCM para establos evaluados de Perú, Nicaragua, Colombia, Uruguay, Costa Rica, Brasil y Colombia. No obstante, fueron mayores a los

valores presentados en otros países como Argentina y México, con emisiones promedio 0.94 kg CO₂-eq/kg de leche fluida y 1.13 kg CO₂-eq/kg de leche fluida respectivamente para ambos (Giménez *et al.* 2018; Rendón *et al.* 2018).

Todos estos reportes de emisión tienen resultados variados debido a diferentes factores que se han venido presentando en los últimos años, tales como una mayor carga animal por explotación lechera (menos cantidad de establos lecheros, pero con mayor cantidad de animales que producen leche en cada uno de ellos), los cuales permiten diluir las emisiones de GEI asociadas con las demás categorías de animales gracias a una mayor producción de leche en global; una mayor producción animal individual debido al uso de animales con alto valor genético y mayor producción de leche, así como el descarte de animales problema y de pobre valor genético; oportunidades diferentes en la adquisición de nuevas tecnologías e insumos necesarios para la preparación de piensos, que varía de acuerdo a cada país y región. (Blaxter & Clapperton 1965; Garnsworthy 2004; Casey & Holden 2005; Gerber *et al.* 2011; Guerci *et al.* 2015; Gimenez *et al.* 2018). Asimismo, las altas variaciones de la HC de la producción de leche en América Latina son debidas a la diversidad de tipos de sistemas, siendo muy heterogéneos los resultados a comparación de países desarrollados con explotaciones más homogéneas (Velarde *et al.* 2022).

4.3. CONTRIBUCIÓN DE CADA FUENTE DE EMISIÓN A LA HUELLA DE CARBONO

Tabla 13. Contribución de cada fuente de emisión a la Huella de Carbono

FUENTE DE EMISIÓN	Sistema Intensivo (SI)		Sistema Semi-intensivo (SmI)	
	kg CO ₂ -eq/día	Porcentaje (%)	kg CO ₂ -eq/día	Porcentaje (%)
Fermentación entérica	549.9	51.0	252.6	51.9
Gestión de residuos (heces y orinas)	105.3	9.8	42.0	8.6
Suelos gestionados fertilizados	126.1	11.7	49.9	10.2
Uso de combustibles fósiles	48.3	4.5	18.7	3.8
Consumo de energía eléctrica	94.1	8.7	67.8	13.9
Fabricación y transporte de insumos para concentrado	82.4	7.6	39.2	8.1
Fabricación y transporte de fertilizantes nitrogenados	72.7	6.7	16.7	3.4
TOTAL	1078.8	100	486.9	100

FUENTE: Análisis de inventario

La contribución de cada fuente de emisión a la Huella de Carbono está representada en la Tabla 13; en la cual, se aprecia que para el Sistema Intensivo (SI) y el Sistema Semi-intensivo (SmI), la fuente de emisión con mayor contribución es la Fermentación entérica con un 51.0 por ciento y 51.9 por ciento respectivamente para ambos sistemas.

Estos resultados concuerdan con lo afirmado por FAO (2020) en su Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM), el cual menciona que, dentro de la Huella de Carbono, las emisiones derivadas de la Fermentación entérica corresponden al 44.3% del total de emisiones, siendo el mayor contribuyente dentro de la Huella de Carbono. A la comparación con otros estudios, pese a las diferencias del tipo de sistema ganadero evaluado, la Fermentación entérica fue el mayor contribuyente de GEI a la Huella de Carbono, teniendo como ejemplo los estudios de Rivera *et al.* (2016), Vásquez (2016) y Gómez (2018), en los cuales, dicha fuente de emisión acaparó el 53.48 por ciento, 36.65 por ciento y 59 por ciento del total de emisiones para cada estudio respectivamente.

4.4. COMPARACIÓN DE EMISIONES ENTRE ESTUDIOS DENTRO DE PERÚ

Tabla 14. Estudios sobre la Huella de Carbono de la producción de leche en el Perú

VALOR	ESTUDIOS							
	Nuestro estudio		Bartl <i>et al.</i> (2011)		Van (2014)		Ruiz <i>et al.</i> (2022)	
Unidad funcional	Int.	SmI	Int.	Ext.	Int.	Ext.	Int.	Ext.
Emisión (kg CO ₂ /kg leche fluida)	1.91	2.10	-	-	-	-	-	-
Emisión (kg CO ₂ /kg FPCM)	1.80	2.01	-	-	1.04	0.95	-	2.26
Emisión (kg CO ₂ /kg ECM)	1.84	2.05	1.74	5.42	-	-	-	-
Fuentes de emisión								
Fermentación entérica	X		X		X		X	
Gestión de residuos (heces y orinas)	X		X		X		X	
Suelos gestionados fertilizados	X		X		-		X	
Uso de combustibles fósiles	X		X		-		X	
Consumo de energía eléctrica	X		X		-		X	
Fabricación y transporte de insumos para concentrado	X		X		X		X	
Fabricación y transporte de fertilizantes nitrogenados	X		X		-		X	

FUENTE: Análisis de inventario

En la Tabla 14 se plasma los estudios e investigaciones antecedentes relacionados a la Huella de Carbono de la producción de leche en el Perú, en la cual se muestran resultados de emisiones promedio de establos, así como también las fuentes de emisión consideradas en cada uno de ellos.

Los resultados de nuestro estudio con respecto a establos intensivos son cercanos a los de Barlt *et al.* (2011), en los cuales las emisiones fueron de 1.74 kg CO₂/kg ECM. Las diferencias ligeras en la comparación de las emisiones pueden ser debidas en primer lugar, a la ubicación, la cual permite una menor distancia entre el establo y la ciudad de Lima, lugar donde llegan la mayor parte de productos importados destinados al uso en la alimentación animal, así como un mayor acceso a tecnología y asesoramiento profesional. Asimismo, están presentes también los factores tales como la densidad de población animal en los establos, mejor manejo de parámetros nutricionales, reproductivos (la reducción de la edad al primer parto, mejorar la tasa de detección de celo, reducción del intervalo entre partos y la eliminación de los animales problemas como las vacas repetidoras y otros animales no productivos) y genéticos (adquisición de animales de alto valor genético con altas producciones de leche), así como una reducción de los animales problemas como las vacas repetidoras y otros animales no productivos (Garnsworthy 2004; Casey & Holden 2005; Gerber *et al.* 2011; Guerci *et al.* 2015; Gómez 2018). Con respecto a los sistemas que no son intensivos estabulados, nuestro resultado fue significativamente menor a los mencionados por Barlt *et al.* (2011), el cual fue de 5.42 kg CO₂/kg ECM para explotaciones en el altiplano con un sistema de alimentación a base de pastura natural y/o cultivada, asociada o no a una suplementación con heno/ensilado. Esta diferencia es explicada al hecho de que esas emisiones en las zonas altoandinas son el resultado de un promedio de emisiones de varias explotaciones, cuyo manejo varía desde una crianza artesanal de subsistencia hasta una medianamente tecnificada, conllevando a diferencias en la población animal y los parámetros productivos (producción de leche) que influyen en las emisiones finales de la HC.

Las emisiones resultantes fueron mayores que las de Van (2014), el cual reportó emisiones de 1.04 y 0.95 kg CO₂/kg FPCM para explotaciones intensivas ubicados en zonas costeras y explotaciones extensivas en zonas altoandinas. La diferencia más evidente que se puede apreciar a la comparación es que no se consideró la misma cantidad de fuentes de emisión dentro de cada explotación lechera, excluyendo algunas fuentes de emisión importantes como las emisiones por suelos gestionados fertilizados y las emisiones por fabricación y

transporte de insumos para concentrado. Las causas de este problema pueden variar desde el alcance limitado por el mismo estudio, obviando procesos como la adquisición de insumos. Hasta problemas en el acceso a la información, debido a las restricciones a base de datos y la falta de cooperación por parte de los productores.

Los resultados presentados en el estudio fueron menores a los presentados por Ruiz *et al.* (2022), los cuales evaluaron la HC en explotaciones extensivas semi-pastoriles de la selva con unas emisiones promedio de 2.26 ± 0.49 kg CO₂-eq/kg FPCM. La explicación de esto radica en que pese a que las explotaciones extensivas tienen una menor emisión general debido al poco uso de insumos externos, al momento de llevarlo a CO₂-eq por unidad de producto, éste aumenta, debido a la baja producción de leche registrada (9.7 ± 0.82 litro/vaca/día) (Blaxter & Clapperton 1965; Gerber *et al.* 2011; Gollnow *et al.* 2014).

4.5. COMPARACIÓN DE EMISIONES ENTRE ESTACIONES DEL AÑO

En la Tabla 15 se muestra la Huella de Carbono de la producción de leche en cada sistema según la estación del año. Demostrando que existe una mayor emisión de CO₂-eq/Unidad Funcional en la estación seca a comparación de la estación lluviosa.

Tabla 15. Huella de Carbono de la producción de leche bovina según la estación del año

VALOR	SISTEMA			
	Intensivo		Semi-intensivo	
Unidad Funcional	Estación seca	Estación lluviosa	Estación seca	Estación lluviosa
kg CO ₂ -eq/ kg de leche fluida	2.02	1.80	2.30	1.90
kg CO ₂ -eq/ kg FPCM	1.96	1.64	2.21	1.81
kg CO ₂ -eq/ kg ECM	2.00	1.68	2.25	1.85
kg CO ₂ -eq/ UA	9.99	9.98	10.65	10.33

FUENTE: Análisis de inventario

Estos resultados son explicados gracias a diferentes estudios que afirman la importancia de la eficiencia nutricional y la eficiencia productiva. La primera está basada en los cambios presentados entre estaciones, en la estación lluviosa ambos establos tienen la posibilidad de adquirir pasturas más tiernas y de mayor digestibilidad, suministrándoles ya sea por medio del pastoreo o siendo cortado y transportado a la explotación. Esta mejora en la calidad del alimento suministrado (digestibilidad, proteína cruda y fibra detergente neutro) promueven

una disminución de la emisión neta de GEI producidos por unidad funcional (Alvarado *et al.* 2021 y Salas *et al.* 2022), gracias a una mayor concentración de carbohidratos solubles, al aumento en el consumo voluntario y una mayor tasa de paso del alimento en el rumen (Blaxter & Clapperton 1995; Vargas *et al.* 2012; Vargas *et al.* 2014; Alvarado *et al.* 2021).

Asimismo, esta mejora en la alimentación promueve un aumento de los parámetros productivos del animal (ganancia de peso, producción de leche y calidad de leche) favorece a que se reduzcan las emisiones gracias a la dilución de la emisión de GEI en una mayor producción de leche (Blaxter & Clapperton 1965; Gerber *et al.* 2011; Gollnow *et al.* 2014).

V. CONCLUSIONES

- La fermentación entérica es la fuente de emisión con mayor contribución dentro de la Huella de Carbono de la producción de leche vacuna, con una participación del 51.0 por ciento para el Sistema Intensivo y 51.9 por ciento para el Sistema Semi-intensivo.
- El Sistema Intensivo tuvo menor Huella de Carbono en comparación del sistema semi-intensivo.
- La Huella de Carbono de ambos sistemas es mayor en la estación seca en comparación a la estación lluviosa.

VI. RECOMENDACIONES

- El planteamiento de estrategias de mitigación de GEI deben ir acompañadas de políticas propuestas por entidades públicas o privadas, que permitan que el ganadero obtenga un incentivo, ya sea de tipo tecnológico o económico.
- Se sugiere la realización de futuras investigaciones en otras explotaciones lecheras del área, con el fin de establecer una Huella de Carbono de la producción de leche a nivel regional.
- El establecimiento de mejoras tecnológicas tales como la adición de paneles solares o biodigestores son excelentes alternativas de energía limpia que contribuirían a una menor emisión de GEI dentro de la granja.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALP (Instituto de Investigación del Agroscoopio Liebefeld-Posieux). 2006. Recomendaciones de alimentación y tablas nutricionales para rumiantes. Posieux, Suiza.
- Alvarado, V., Medrano, J., Haro, J., Castro, J., Dickhoefer, U., Gómez, C. 2021. Enteric methane emissions from lactating dairy cows grazing cultivated and native pastures in the high Andes of Peru. *Livestock Science* 243: 1 - 7 p.
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). 2005. Official method of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 18th ed. (1st edition). AOAC International, Gaithersburg, MD, USA. 26 p.
- ANKOM (Technology of dietary fiber analyzer). 2005. Method for determining *In Vitro* True Digestibility using the ANKOM DAISY Incubator. Ankom Technology, Macedon, NY. Consultado 20 sep. 2022. Disponible en: <https://www.ankom.com/embed-only/document/vitro-true-digestibility-method-ivtd-daisy>
- Alvarado, V. 2018. Emisión de metano entérico de vacas en lactación con pastos cultivados en zona alto andinas – estación lluviosa y seca. Tesis para optar el grado de maestría en Nutrición. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 90 p.
- Arauco, F. 2015. Descripción de sistemas productivos en hatos lecheros del Valle del Mantaro y factores de riesgo para la Diarrea Viral Bovina y Neosporosis. *Apuntes de Ciencia y Sociedad* 5 (2): 293 - 303 p.
- Asselin, A., Popp, J., Henderson, A., Heller, M., Thoma, G., Jolliet, O. 2012. Dairy farm greenhouse impacts: A parsimonious model for a farmer's decision support tool. *International Dairy Journal* 31: 65 - 77 p.

- Bartl, K., Gómez, C., Nemecek, T. 2011. Life cycle assessment of milk produced in two smallholder dairy systems in the highlands and the coast of Peru. *Journal of Cleaner Production* 19: 1494 - 1505 p.
- Basset, C., Ledgard, S., Boyes, M. 2008. Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecological Economics* 68: 1615 - 1625 p.
- Blaxter, K., Clapperton, J. L. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition* 19: 511 - 522 p.
- Carbon Trust. 2018. Carbon footprinting guide: The next step to reducing your emissions. Reino Unido, Consultado 20 sep. 2019. Disponible en: <https://www.carbontrust.com/resources/guides/carbon-footprinting-and-reporting/carbon-footprinting/>
- Casey, J.; Holden, N. 2005. Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production System. *Agricultural Systems* 86: 97 - 114 p.
- Cederberg, C., Stadig, M. 2003. System Expansion and Allocation in Life Cycle Assessment of Milk and Beef Production. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 8: 350 - 356 p.
- CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 1992. Razones técnicas. Artículo 1. Párrafo 2. 27 p.
- Cook, C. 1964. Symposium on nutrition forages and pastures: Collecting forage samples representative of ingested material of grazing animals for nutrition studies. *Journal of Animal Science* 23: 265 - 270 p.
- Crosson, P., Shalloo, L., Brien, D., Lanigan, G., Foley, P., Boland, T., Kenny, D. 2011. A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. *Animal Feed Science and Technology* 166: 29 - 45 p.
- DairyCo. 2012. Greenhouse gas emissions on British dairy farms. DairyCo carbon footprinting stud. *Agriculture and Horticulture Development Board* 64.
- Dalgaard, R., Schmidt, J., Flysjö, A. 2014. Generic model for calculating carbon footprint of milk using four different life cycle assessment modelling approaches. *Journal of Cleaner Production* 73: 146 - 153 p.

- De Blas, C., García-Rebollar, P., Cambra-López, M., Torres, A. 2008. Contribución de los rumiantes a las emisiones de gases con efecto invernadero (en línea). XXIV curso de especialización FEDNA. Editorial FEDNA. Madrid. 121-150 p. Consultado 20 ago. 2022. Disponible en: http://fundacionfedna.org/sites/default/files/08CAP_IX.pdf.
- DRA (Dirección Regional Agraria). 2016. Dirección de estadística e información agraria: Compendio estadístico agropecuario 1997-2016. Junín, Perú, Consultado 01 sep. 2019. Disponible en: http://www.agrojunin.gob.pe/?page_id=3708
- Ecoinvent. 2020. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Version 3.8. Disponible en: <http://www.ecoinvent.org>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2010. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector: A Life Cycle Assessment. Rome, Italy. 98 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2013. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector: A Global Life Cycle Assessment. Food and. Rome, Italy. 213 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2018. Global Livestock Environmental Assessment Model. Model description Version 2.0. Rome, Italy. 121 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2020. GLEAM 2.0: Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y su potencial de mitigación. Disponible en: www.fao.org/gleam/results/es
- Flysjö, A., Cederberg, C., Johannesen, J. 2008. Carbon Footprint and Labelling of Dairy Products – Challenges and opportunities.
- Flysjö, A., Henriksson, M., Cederberg, C., Ledgard, S., Englund, J. 2011. The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweeden. *Agricultural Systems* 104: 459 - 469 p.
- Flysjö, A., Cederberg, C., Henriksson, M., Ledgard, S. 2012. The interaction between milk and beef production and emissions from land use change e critical considerations in life cycle assessment and carbon footprint studies of milk. *Journal of Cleaner Production* 28: 134 - 142 p.

- Gaitán, L., Laderach, P., Graefe, S., Rao, I., Van der Hoek, R. 2016. Climate-smart livestock systems: An assessment of carbon stocks and GHG emissions in Nicaragua. PLOS ONE 11(12): 1 - 19 p.
- Gamboa, C., Mercado, W. 2015. Comercialización de la leche en la Provincia de Concepción, Valle del Mantaro, Junín – Perú. Anales Científicos 76: 225 - 236 p.
- Garnsworthy, P. 2004. The environmental impact of fertility in dairy cows: a modelling approach to predict methane and ammonia emissions. Animal Feed Science and Technology 112: 211 - 223 p.
- Gerber, P., Vellinga, T., Opio, C., Steinfeld, H. 2011. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. Journal of Livestock Science 139: 100 - 108 p.
- Gerber, P., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J, Falcucci, A., Tempio, G. 2013a. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Roma. 153 p.
- Gerber, P., Opio, C., Vellinga, T., Falcucci, A., Tempio, G., Gianni, G., Henderson, B., MacLeod, M., Makkar, H., Mottet, A., Robinson, T., Weiler, V. 2013b. Greenhouse gas emission from ruminant supply chains: A global life cycle assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma. 190 p.
- Giménez, G., Frank, F., Marini, P. 2018. Huellas de carbono y agua en tambos con diferentes estrategias de intensificación. Universidad Nacional de Rosario Journal 10 (2): 2687 - 2694 p.
- Google. s.f.a. Google Maps: Ubicación del establo intensivo en el valle del Mantaro, coordenadas -11.870116, -75.358988. Consultado 01 sep. 2021. Disponible en: <https://maps.google.com>
- Google. s.f.b. Google Maps: Ubicación del establo semi-intensivo en el valle del Mantaro, coordenadas -11.849105, -75.360221. Consultado 01 sep. 2021. Disponible en: <https://maps.google.com>

- Gómez, E. 2018. Impacto de las prácticas de manejo sobre la huella de carbono de la leche en los sistemas de producción bovina de la provincia de Ubaté. Tesis para optar el grado de Magister en Producción Animal. Departamento de Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 94 p.
- Gollnow, S., Lundie, S., Moore, A., McLaren, J., Buuren, N., Sthale, P., Christie, K., Thylmann, D., Rehl, T. 2014. Carbon footprint of milk production from dairy cows in Australia. *International Dairy Journal* 37: 31 - 38p.
- Guerci, M., Luciana, B., Zucali, M., Sandrucci, A., Penati, C., Tamburini, A. 2015. Effect of farming strategies on environmental impact of intensive dairy farms in Italy. *Journal of Dairy Research* 80: 300 - 308 p.
- ICEX (Instituto de Comercio exterior). 2019. Estudios de mercado y otros documentos de comercio exterior: Fertilizantes en Perú. Disponible en: www.icex.es
- IDF (International Dairy Federation). 2015. A common carbon footprint approach for the dairy sector: The IDF guide to standard life cycle assessment methodology. Brussels, Belgium. 70 p.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza. 104 p.
- IPCC. (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2013. Climate change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. IPCC, New York, EE.UU. 1535 p.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>
- ISO (International Organization for Standardization). 2006a. Environmental Management - Life Cycle Assessment- Principles and framework. ISO 14040.

- ISO (International Organization for Standardization). 2006b. Environmental Management - Life Cycle Assessment- Requirements and Guidelines. ISO 14044.
- Lizarralde, C. 2013. Relación entre la Huella de Carbono y las prácticas de manejo en predios lechero de Uruguay. Tesis para optar el grado de maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la Republica. 66 p.
- Machmuller, A., Clark, H. 2006. First results of a meta-analysis of the methane emissions data of New Zealand ruminants. International congress series 1293: 54 - 57 p.
- Mandaluniz, N., Ruiz, R., Oregui, L. 2005. Propuesta de definición de unidad animal y metodología de estimación, para su aplicación en sistemas de pastoreo extensivo. XLV Reunión Científica de la SEEP. 274 - 280 p.
- Maria de Léis, C., Cherubini, E., Favarini, C., Prudencio, V., Nascimento, V., Spies, A., Roberto, S. 2015. Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study. The International Journal of Life Cycle Assessment 20: 46 - 60 p.
- Mazzeto, A., Bishop, G., Styles, D., Arndt, C., Brook, R., Chadwick, D. 2020. Comparing the environmental efficiency of milk and beef production through life cycle assessment of interconnected cattle systems. Journal of Cleaner Production 277: 13 p.
- Meul, M., Ginneberge, C., Van, C., De Boer, I., Fremaut, D., Haesaert, G. 2012. Carbon footprint of five pig diets using three land use change accounting. Livestock Science 149: 215 - 233 p.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2018. Sector pecuario crecería 4 % al cierre del 2018 por mejores perspectivas (Noticias). Lima, Perú. Consultado 01 sep. 2019. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/minagri-sector-agropecuario-creceria-4-cierre-2018-mejores-perspectivas-240642>
- O'Brien, D., Capper, J., Garnsworthy, P., Crainger, C., Shalloo, L. 2014. A case study of the carbon footprint of milk from high-performing confinement and grass-based dairy farms. Journal of Dairy Science 97: 1835 - 1851 p.
- Pari, J. 2017. Efecto del nivel de consumo de concentrado fibroso en las emisiones de metano entérico en alpacas y llamas. Tesis título de médico veterinario y zootecnista. Puno, Perú, Universidad Nacional del Altiplano.

- Rendón, J., Pinos, J., Kebreab, E., García, J., Vicente, J. 2018. Comparison of greenhouse gas emissions from Mexican intensive dairy farms. *South African Journal of Animal Science* 48(1): 48 - 55 p.
- Rivera, J., Arenas F., Rivera, R., Benavides, L., Sánchez, J, Barahona, R. 2014. Análisis de ciclo de vida en la producción de leche: comparación de dos hatos de lechería especializada. *Livestock Research for Rural Development*. 26: 1 - 9 p.
- Rivera, J., Chará, J., Barahona, R. 2016. Análisis del ciclo de vida para la producción de leche bovina en un sistema silvopastoril intensivo y un sistema convencional en Colombia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 19: 237 - 251 p.
- Ruiz, D., Velarde, J., Fuentes, E., Prudencio, M, Gómez, C. 2022. Milk Carbon footprint of silvopastoral dairy systems in the Northern Peruvian Amazon. *Tropical Animal Health and Production* 54(227): 1 - 8 p.
- Salas, C., Osorio, S., Del Pilar, J., Alvarado, V., Osorio, C., Gómez; C. 2022. Enteric methane emissions by lactating and dry cows in the high Andes of Peru. *Tropical Animal Health and Production* 54(144): 1 - 11 p.
- Van, H. 2014. Carbon Footprint of milk produced in extensive and intensive dairy production systems in Peru and potential or mitigation through diet optimization. Master's dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Bioscience Engineering: Agriculture. Faculty of Bioscience Engineering. Ghent University. 104 p.
- Vargas, J., Cárdenas, E., Pabón, M., Carulla, J. 2012. Emisión de metano entérico en rumiantes al pastoreo. *Archivos de Zootecnia* 61: 51 - 66 p.
- Vargas, J., Cárdenas, E., Pabón, M., Carulla, J. 2014. Producción de metano *In Vitro* en mezcla de gramíneas-leguminosas del trópico alto colombiano. *Archivos de Zootecnia* 63: 397 - 407 p.
- Vásquez, K. 2016. Determinación de la huella de Carbono de una finca agropecuaria en la provincia de Guayas. Tesis para optar el grado de maestría en Administración Ambiental. Guayaquil, Ecuador. Universidad de Guayaquil. 80 p.
- Velarde, J., Arndt, C., Gómez, C. 2022. Carbon footprint in Latin American dairy systems. *Tropical Animal Health and Production* 54 (15): 1 - 7 p.

Vergé, X.; Maxime, D., Dyer, J., Desjardins, R., Arcand, Y., Vanderzaag, A. 2013. Carbon footprint of Canadian dairy products: Calculations and issues. *Journal of Dairy Science* 96: 6091 - 6104 p.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Ficha de registro

FICHA DE REGISTRO

INFORMACIÓN BÁSICA

Fecha:

Nombre del propietario:

Nombre del establecimiento:

Ubicación:

Tipo de explotación:

INFORMACIÓN PECUARIA

- **Estructura del hato**

Estructura del hato	Sangre dominante			Total
Vacas lactación				
Vacas secas				
Vaquillonas				
Vaquillas				
Recria				
Terneros				
Toretos				

- **Producción de leche**

Producción de leche total												Producción promedio total
Día 1		Día 2		Día 3		Día 4		Día 5		Día 6		
M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	
Día 7		Día 8		Día 9		Día 10		Día 11		Día 12		
M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

- Sólo Pastoreo
- Estabulación + pastoreo
- Sólo Estabulación

- **Vacas en lactación**

- Concentrado
- Pastura
- Heno
- Ensilado
- Pasto de corte
- Piedra mineral

En este espacio se detallará la cantidad del consumo del alimento, así como la composición y la procedencia de este.

- **Vacas secas**

- Concentrado
- Pastura
- Heno
- Ensilado
- Pasto de corte
- Piedra mineral

En este espacio se detallará la cantidad del consumo del alimento, así como la composición y la procedencia de este.

- **Vaquillonas**

- Concentrado
- Pastura
- Heno
- Ensilado
- Pasto de corte
- Piedra mineral

En este espacio se detallará la cantidad del consumo del alimento, así como la composición y la procedencia de este.

- **Vaquillas**

- Concentrado
- Pastura
- Heno
- Ensilado
- Pasto de corte
- Piedra mineral

En este espacio se detallará la cantidad del consumo del alimento, así como la composición y la procedencia de este.

- **Recría**

- Concentrado
- Pastura
- Heno
- Ensilado
- Pasto de corte
- Piedra mineral

En este espacio se detallará la cantidad del consumo del alimento, así como la composición y la procedencia de este.

- **Terneros**

- Concentrado
- Pastura
- Heno
- Ensilado
- Leche

En este espacio se detallará la cantidad del consumo del alimento, así como la composición y la procedencia de este.

- **Toros y toretes**

- Concentrado
- Pastura
- Heno
- Ensilado
- Pasto de corte
- Piedra mineral

En este espacio se detallará la cantidad del consumo del alimento, así como la composición y la procedencia de este.

MANEJO DE ESTIERCOL

Disposición	Marque con x
Se utilizan biodigestores	
Se realiza compostaje	
Se almacena líquido (no se puede secar al sol)	
Se almacena seco (secado al sol)	
Es quemado	
No se realiza ningún tratamiento	

Temperatura ambiental (C°)	
-----------------------------------	--

MANEJO AGRICOLA

- **Aplicación de fertilizantes**

Uso de fertilizantes			
Tipo	Presentación	Cantidad	Hectáreas

- **Uso del suelo**

TIPO	Nombre	Ha cultivadas	Origen
Pastura natural			
Pastura cultivada			
Cultivo			

TECNOLOGÍA

Maquinara y tipo de combustible utilizado			
Tipo	Capacidad y/o marca	Combustible usado	Ud
Tractor			
Auto o moto para uso interno			
Auto o moto para uso externo			
Motobomba			
Equipo de riego			
Equipo mecánico de ordeño			
Tanque de frío			
Máquina pica pasto			

Consumo combustibles al mes			
Tipo	Comercializadora	Cantidad	Ud
E. eléctrica			Kwh
Gasolina			L
Petróleo			L
Diésel			L
Gas			cm ³
Lubricante			L

Anexo 2: Resultados del análisis de leche

- Resultados del análisis de leche en la Estación Seca:



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE ZOOTECNIA-Departamento de Producción Animal
 Laboratorio de Leche y Carnes
 Teléfonos: 6147800 Anexos 300 -353 Telefax: 3495761

“Año de la lucha contra la corrupción e impunidad”

Nombre	Grasa	SNG	ST	Proteína	Densidad	Lactosa	Urea
penia E1 1	3.41	6.88	10.29	3.39	1.0280	4.38	49.29
PNIA E1 2	4.82	6.72	11.54	3.60	1.0254	4.65	46.68
PNIA E2 1	3.44	7.02	10.46	3.45	1.0278	4.48	54.58
PNIA E2 2	4.88	6.81	11.69	3.62	1.0254	4.69	49.45



- Resultados del análisis de leche en la Estación Lluviosa:



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE ZOOTECNIA-Departamento de Producción Animal
 Laboratorio de Leche y Carnes
 Teléfonos: 6147800 Anexos 300 -353 Telefax: 3495761

“Año de la Universalización de la Salud”

Identificación	Grasa (%)	Densidad relativa (g/ml)	Sólidos no grasos (%)	Sólidos totales (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	Urea (mg/100 ml)
Carlos 24/02/20 (T)	4.62	1.0315	8.47	13.09	4.03	4.45	28.64
Carlos 25/02/20 (M)	4.15	1.0311	8.22	12.37	3.85	4.43	32.54
Jesus 24/02/20 (T)	3.76	1.0316	8.46	12.22	3.90	4.56	41.11
Jesus 25/02/20 (M)	4.05	1.0310	8.34	12.39	3.91	4.49	41.65



Anexo 3: Resultados del análisis de alimento

- Resultados del análisis de alimento en la Estación Seca:**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA - DEPARTAMENTO ACADEMICO DE NUTRICION
LABORATORIO DE EVALUACION NUTRICIONAL DE ALIMENTOS

“Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad”

INFORME DE ENSAYO LENA N° 1211/2019

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

CÓDIGO	AQ19-1211/01	AQ19-1211/02	AQ19-1211/03	AQ19-1211/04	AQ19-1211/05	AQ19-1211/06
MUESTRA	E1 - Ensilado de chala y haba	E1 - Concentrado	E2 - Heno de avena	E2 - Ensilado de avena y vicia	E2 - Concentrado	E2 - Asoc. Rye Grass y alfalfa
a.- HUMEDAD, %	70.83	10.89	10.56	73.22	11.29	75.04
b.- PROTEINA TOTAL (N x 6.25), %	2.24	25.52	3.85	1.86	16.78	5.73
c.- DIG.IN VITRO MS, %	68.05	81.03	65.76	62.16	85.05	74.21



Av. La Molina s/n Lima 12. E-mail: lena@lamolina.edu.pe
Teléfonos: 614-7800 Anexo: 266 / Directo 348-0830

- Resultados del análisis de alimento en la Estación Lluviosa:**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA - DEPARTAMENTO ACADEMICO DE NUTRICION
LABORATORIO DE EVALUACION NUTRICIONAL DE ALIMENTOS

“Año de la Universalización de la Salud”

INFORME DE ENSAYO LENA N° 0307/2020

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

CÓDIGO	AQ20-0307/01	AQ20-0307/02	AQ20-0307/03	AQ20-0307/04	AQ20-0307/05	AQ20-0307/06
MUESTRA	E1 - Concentrado	E2 - Concentrado	E1 - Chala verde picada	E2 - Asoc. Trébol, Ray grass y Alfalfa	E2 - Avena y vicia cortada	E2 - Alfalfa cortada
a.- HUMEDAD, %	9.52	10.71	75.27	73.56	74.69	76.86
b.- PROTEINA TOTAL (N x 6.25), %	25.88	14.12	1.86	6.03	1.44	5.44
c.- DIG.IN VITRO MS, %	80.13	81.53	70.80	76.43	71.09	71.71



Av. La Molina s/n Lima 12. E-mail: lena@lamolina.edu.pe
Teléfonos: 614-7800 Anexo: 266 / Directo 348-0830

Anexo 4: Factor de emisión del consumo de energía eléctrica



Ecoinvent 3.6 dataset documentation

electricity production, hydro, reservoir, alpine region - PE

Dataset identification		Table of content
Activity name	electricity production, hydro, reservoir, alpine region	Exchange summary
geography	PE (Peru)	Dataset description
Time period	2012-01-01 to 2019-12-31 Valid for the entire period	Detailed information for exchanges
Synonym	None	Selected impact assessment results
ISIC rev.4 ecoinvent	3510: Electric power generation, transmission and distribution	Sources
Reference product	electricity, high voltage	Note: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, i.e. in ecoSpold format.
CPC classification	17100: Electrical energy	Link to the dataset on the ecoinvent website
Dataset type	Ordinary transforming activity	
Technology level	Old	
Version - system model	3.6 - Allocation, cut-off	

Dataset authorship

Role	Name, organisation
Data generator	Alfredo Pro Castaneyra, SUDESCO ENERGY
Data entry	Alfredo Pro Castaneyra, SUDESCO ENERGY
Review	Christopher Oberschelp, Ecological Systems Design, ETH Zürich
Review	Tereza Levova, ecoinvent Centre
Review	Emilia Moreno Ruiz, ecoinvent Centre

Exchange summary

[Back to table of content](#)

Reference product	Byproduct classif.	Amount
electricity, high voltage	allocatable product	1 kWh
Inputs from technosphere		Amount
hydropower plant, reservoir, alpine region		4.04e-13 unit
lubricating oil		7.56e-06 kg
Inputs from technosphere, wastes*		Amount
waste mineral oil		-7.56e-06 kg
Inputs from environment		Amount
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted		3.79 MJ
Occupation, lake, artificial		0.00345 m ² *year
Transformation, from unspecified		2.3e-05 m ²
Transformation, to industrial area		2.3e-07 m ²
Transformation, to lake, artificial		2.28e-05 m ²
Volume occupied, reservoir		0.15 m ³ *year
Water, turbine use, unspecified natural origin		0.888 m ³
Emissions to air		Amount
Dinitrogen monoxide		7.7e-08 kg
Methane, non-fossil		1.4e-05 kg
Water		0.15 m ³
Emissions to water		Amount
Water		0.738 m ³

*A negative input indicates a by-product output of waste.

Selected impact assessment results

[Back to table of content](#)

method	category	indicator	score
IPCC 2013	climate change	GWP 100a	0.006585 kg CO ₂ -Eq
ecological scarcity 2013	total	total	1.051e+2 UBP



Ecoinvent 3.6 dataset documentation

market for electricity, low voltage - PE

Dataset identification

Activity name	market for electricity, low voltage
geography	PE (Peru)
Time period	2014-01-01 to 2019-12-31 Valid for the entire period
Synonym	None
ISIC rev.4 ecoinvent	3510: Electric power generation, transmission and distribution
Reference product	electricity, low voltage
CPC classification	17100: Electrical energy
Dataset type	Market activity
Version - system model	3.6 - Allocation, cut-off

Table of content

- [Exchange summary](#)
- [Dataset description](#)
- [Detailed information for exchanges](#)
- [Selected impact assessment results](#)
- [Sources](#)

Note: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, i.e. in ecoSpold format.

[Link to the dataset on the ecoinvent website](#)

Dataset authorship

Role	Name, organisation
Data generator	Karin Treyer, Paul Scherrer Institute
Data entry	Karin Treyer, Paul Scherrer Institute
Review	Christopher Oberschelp, Ecological Systems Design, ETH Zürich
Review	Tereza Levova, ecoinvent Centre
Review	Emilia Moreno Ruiz, ecoinvent Centre

Exchange summary

[Back to table of content](#)

Reference product	Byproduct classif.	Amount
electricity, low voltage	allocatable product	1 kWh
Inputs from technosphere		Amount
electricity, low voltage		1.04 kWh
distribution network, electricity, low voltage		8.74e-08 km
sulfur hexafluoride, liquid		9.09e-09 kg
Emissions to air		Amount
Sulfur hexafluoride		9.09e-09 kg

Selected impact assessment results

[Back to table of content](#)

method	category	indicator	score
IPCC 2013	climate change	GWP 100a	0.2807 kg CO2-Eq
ecological scarcity 2013	total	total	3.017e+2 UBP

Anexo 5: Factor de emisión de la fabricación de insumos para concentrado



Ecoinvent 3.6 dataset documentation

fishmeal and fish oil production, 65-67% protein - PE

Dataset identification

Activity name	fishmeal and fish oil production, 65-67% protein
geography	PE (Peru)
Time period	2010-01-01 to 2020-12-31 Valid for the entire period
Synonym	None
ISIC rev.4 ecoinvent	1020: Processing and preserving of fish, crustaceans and molluscs
Reference product	fishmeal, 65-67% protein
CPC classification	21291: Flours, meals and pellets, inedible, of fish, crustaceans, molluscs or other aquatic invertebrates
Dataset type	Ordinary transforming activity
Technology level	Current
Version - system model	3.6 - Allocation, cut-off

Table of content

[Exchange summary](#)
[Dataset description](#)
[Detailed information for exchanges](#)
[Selected impact assessment results](#)
[Sources](#)

Note: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, i.e. in ecoSpold format.

[Link to the dataset on the ecoinvent website](#)

Dataset authorship

Role	Name, organisation
Data generator	Angel Avadi, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
Data entry	Angel Avadi, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
Review	Tereza Levova, ecoinvent Centre
Review	Friederike Ziegler, SIK - Swedish Institute for Food and Biotechnology
Review	Emilia Moreno Ruiz, ecoinvent Centre

Exchange summary

[Back to table of content](#)

Reference product	Byproduct classif.	Amount
fishmeal, 65-67% protein	allocatable product	1 kg
Inputs from technosphere		Amount
cyclohexane		0.00049 kg
electricity, medium voltage		0.0594 kWh
extrusion, plastic film		0.00176 kg
fishmeal plant		0.00289 unit
heat, district or industrial, natural gas		4.32 MJ
landed anchovy, fresh		2.89 kg
polypropylene, granulate		0.00176 kg
weaving, synthetic fibre		0.00176 kg
Inputs from technosphere, wastes*		Amount
waste plastic, mixture		-0.00176 kg
Emissions to air		Amount
Water		0.00208 m3
Emissions to water		Amount
BOD5, Biological Oxygen Demand		0.0265 kg
COD, Chemical Oxygen Demand		0.0146 kg
Emissions to water		Amount
DOC, Dissolved Organic Carbon		0.0423 kg
Oils, non-fossil		0.00906 kg
Suspended solids, unspecified		0.0107 kg
TOC, Total Organic Carbon		0.0423 kg

Selected impact assessment results

[Back to table of content](#)

method	category	indicator	score
IPCC 2013	climate change	GWP 100a	0.3732 kg CO2-Eq
ecological scarcity 2013	total	total	7.620e+2 UBP



Ecoinvent 3.6 dataset documentation

soybean meal and crude oil production - US

Dataset identification

Activity name	soybean meal and crude oil production
geography	US (United States)
Time period	2007-01-01 to 2019-12-31 Valid for the entire period
Synonym	None
ISIC rev.4 ecoinvent	1040: Manufacture of vegetable and animal oils and fats
Reference product	soybean meal
CPC classification	21920: Flours and meals of oil seeds or oleaginous fruits, except those of mustard
Dataset type	Ordinary transforming activity
Technology level	Current
Version - system model	3.6 - Allocation, cut-off

Table of content

- [Exchange summary](#)
- [Dataset description](#)
- [Detailed information for exchanges](#)
- [Selected impact assessment results](#)
- [Sources](#)

Note: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, i.e. in ecoSpold format.

[Link to the dataset on the ecoinvent website](#)

Dataset authorship

Role	Name, organisation
Data generator	Anne Greig, Four Elements Consulting, LLC
Data entry	Anne Greig, Four Elements Consulting, LLC
Review	Gregor Wernet, ecoinvent Centre
Review	Bo Weidema, ecoinvent Centre

Exchange summary

[Back to table of content](#)

Reference product	Byproduct classif.	Amount
soybean meal	allocatable product	1 kg
Inputs from technosphere		Amount
electricity, medium voltage		0.0449 kWh
heat, central or small-scale, other than natural gas		0.0147 MJ
heat, district or industrial, natural gas		0.637 MJ
heat, district or industrial, other than natural gas		0.328 MJ
hexane		0.00046 kg
oil mill		1.41e-10 unit
soybean		0.813 kg
tap water		0.395 kg
Inputs from technosphere, wastes*		Amount
inert waste, for final disposal		-0.00135 kg
Emissions to air		Amount
Hexane		0.00046 kg
Water		5.93e-05 m3
Emissions to water		Amount
BOD5, Biological Oxygen Demand		8.69e-06 kg
COD, Chemical Oxygen Demand		4.35e-05 kg
DOC, Dissolved Organic Carbon		1.63e-05 kg
Oils, non-fossil		2.17e-05 kg
Emissions to water		Amount
TOC, Total Organic Carbon		1.63e-05 kg
Water		0.000336 m3

Selected impact assessment results

[Back to table of content](#)

method	category	indicator	score
IPCC 2013	climate change	GWP 100a	0.4138 kg CO2-Eq
ecological scarcity 2013	total	total	1.737e+3 UBP



Ecoinvent 3.6 dataset documentation

cottonseed oil mill operation - RoW

Dataset identification		Table of content
Activity name	cottonseed oil mill operation	Exchange summary
geography	RoW (Rest-of-World)	Dataset description
Time period	2012-01-01 to 2019-12-31 Valid for the entire period	Detailed information for exchanges
Synonym	None	Selected impact assessment results
ISIC rev. 4 ecoinvent	1040: Manufacture of vegetable and animal oils and fats	Sources
Reference product	cottonseed meal	Note: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, i.e. in ecoSpold format.
CPC classification	23319: Preparations used in animal feeding n.e.c.	Link to the dataset on the ecoinvent website
Dataset type	Ordinary transforming activity	
Technology level	Current	
Version - system model	3.6 - Allocation, cut-off	

Dataset authorship

Role	Name, organisation
Data generator	Tereza Levova, ecoinvent Centre
Data entry	Tereza Levova, ecoinvent Centre
Review	Emilia Moreno Ruiz, ecoinvent Centre
Review	Bo Weidema, ecoinvent Centre

Exchange summary

[Back to table of content](#)

Reference product	Byproduct classif. allocatable product	Amount
cottonseed meal		1 kg
Inputs from technosphere		Amount
activated bentonite		0.000139 kg
cottonseed		0.667 kg
electricity, medium voltage		0.0205 kWh
heat, district or industrial, natural gas		0.0419 MJ
hexane		6.5e-05 kg
oil mill		1.35e-10 unit
phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state		0.000125 kg
tap water		0.000188 kg
Inputs from technosphere, wastes*		Amount
biowaste		-0.2 kg
wastewater, from residence		-1.6e-07 m3
Inputs from environment		Amount
Carbon dioxide, in air		0.318 kg
Emissions to air		Amount
Carbon dioxide, non-fossil		0.32 kg
Hexane		6.5e-05 kg
Water		2.82e-08 m3

*A negative input indicates a by-product output of waste.

Selected impact assessment results

[Back to table of content](#)

method	category	indicator	score
IPCC 2013	climate change	GWP 100a	0.3212 kg CO2-Eq
ecological scarcity 2013	total	total	2.288e+3 UBP



Ecoinvent 3.6 dataset documentation

wheat grain processing, dry milling - RoW

Dataset identification

Activity name	wheat grain processing, dry milling
geography	RoW (Rest-of-World)
Time period	2016-01-01 to 2019-12-31 Valid for the entire period
Synonym	None
ISIC rev.4 ecoinvent	1061: Manufacture of grain mill products
Reference product	wheat bran
CPC classification	23130: Groats, meal and pellets of wheat and other cereals
Dataset type	Ordinary transforming activity
Technology level	Current
Version - system model	3.6 - Allocation, cut-off

Table of content

- [Exchange summary](#)
- [Dataset description](#)
- [Detailed information for exchanges](#)
- [Selected impact assessment results](#)
- [Sources](#)

Note: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, i.e. in ecoSpold format.

[Link to the dataset on the ecoinvent website](#)

Dataset authorship

Role	Name, organisation
Data generator	[System]
Review	Assumpció ANTON, Institut de Reserca i Tecnològica Agroalimentàries

Exchange summary

[Back to table of content](#)

Reference product	Byproduct classif.	Amount
wheat bran	allocatable product	1 kg
Inputs from technosphere		Amount
building, multi-storey		4.23e-06 m3
electricity, low voltage		0.00722 kWh
industrial machine, heavy, unspecified		6.5e-06 kg
tap water		0.000344 kg
wheat grain		0.508 kg
Inputs from environment		Amount
Occupation, construction site		9.97e-07 m2*year
Occupation, industrial area		2.49e-05 m2*year
Transformation, from unspecified		4.98e-07 m2
Transformation, to industrial area		4.98e-07 m2
Emissions to air		Amount
Water		1.08e-05 m3

Selected impact assessment results

[Back to table of content](#)

method	category	indicator	score
IPCC 2013	climate change	GWP 100a	0.3609 kg CO2-Eq
ecological scarcity 2013	total	total	2.128e+3 UBP



Ecoinvent 3.6 dataset documentation

barley grain, feed production - RoW

Dataset identification

Activity name	barley grain, feed production
geography	RoW (Rest-of-World)
Time period	1996-01-01 to 2019-12-31 Valid for the entire period
Synonym	None
ISIC rev.4 ecoinvent	0111: Growing of cereals (except rice), leguminous crops and oil seeds
Reference product	barley grain, feed
CPC classification	23319: Preparations used in animal feeding n.e.c.
Dataset type	Ordinary transforming activity
Technology level	Current
Version - system model	3.6 - Allocation, cut-off

Table of content

- [Exchange summary](#)
- [Dataset description](#)
- [Detailed information for exchanges](#)
- [Selected impact assessment results](#)
- [Sources](#)

Note: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, i.e. in ecoSpold format.

[Link to the dataset on the ecoinvent website](#)

Dataset authorship

Role	Name, organisation
Data generator	Dominique Maxime, CIRAI, Ecole Polytechnique Montreal
Data entry	Dominique Maxime, CIRAI, Ecole Polytechnique Montreal
Review	Thomas Nemecek, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART
Review	Gregor Wernet, ecoinvent Centre
Review	Tereza Levova, ecoinvent Centre

Exchange summary

[Back to table of content](#)

Reference product	Byproduct classif.	Amount
barley grain, feed	allocatable product	1 kg
Inputs from technosphere		Amount
barley grain		1 kg
building, multi-storey		8.5e-06 m3
electricity, low voltage		0.035 kWh
heat, district or industrial, natural gas		0.138 MJ
tap water		0.056 kg
Inputs from technosphere, wastes*		Amount
wastewater, average		-3.8e-05 m3
Inputs from environment		Amount
Occupation, construction site		2e-06 m2*year
Occupation, industrial area		5e-05 m2*year
Transformation, from unspecified		1e-06 m2
Transformation, to industrial area		1e-06 m2
Emissions to air		Amount
Water		1.8e-05 m3

*A negative input indicates a by-product output of waste.

Selected impact assessment results

[Back to table of content](#)

method	category	indicator	score
IPCC 2013	climate change	GWP 100a	0.5596 kg CO2-Eq
ecological scarcity 2013	total	total	3.314e+3 UB



Ecoinvent 3.6 dataset documentation

oat grain, feed production - RoW

Dataset identification		Table of content
Activity name	oat grain, feed production	Exchange summary
geography	RoW (Rest-of-World)	Dataset description
Time period	1996-01-01 to 2019-12-31 Valid for the entire period	Detailed information for exchanges
Synonym	None	Selected impact assessment results
ISIC rev.4 ecoinvent	0111: Growing of cereals (except rice), leguminous crops and oil seeds	Sources
Reference product	oat grain, feed	Note: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, i.e. in ecoSpold format.
CPC classification	23319: Preparations used in animal feeding n.e.c.	Link to the dataset on the ecoinvent website
Dataset type	Ordinary transforming activity	
Technology level	Current	
Version - system model	3.6 - Allocation, cut-off	

Dataset authorship

Role	Name, organisation
Data generator	Dominique Maxime, CIRAI, Ecole Polytechnique Montreal
Data entry	Dominique Maxime, CIRAI, Ecole Polytechnique Montreal
Review	Emilia Moreno Ruiz, ecoinvent Centre
Review	Tereza Levova, ecoinvent Centre
Review	Jürgen Reinhard, Eidgenössische Materialprüf- und -forschungsanstalt

Exchange summary

[Back to table of content](#)

Reference product	Byproduct classif.	Amount
oat grain, feed	allocatable product	1 kg
Inputs from technosphere		Amount
building, multi-storey		8.5e-06 m3
electricity, low voltage		0.035 kWh
heat, district or industrial, natural gas		0.138 MJ
oat grain		1 kg
tap water		0.056 kg
Inputs from technosphere, wastes*		Amount
wastewater, average		-3.8e-05 m3
Inputs from environment		Amount
Occupation, construction site		2e-06 m2*year
Occupation, industrial area		5e-05 m2*year
Transformation, from unspecified		1e-06 m2
Transformation, to industrial area		1e-06 m2
Emissions to air		Amount
Water		1.8e-05 m3

*A negative input indicates a by-product output of waste.

Selected impact assessment results

[Back to table of content](#)

method	category	indicator	score
IPCC 2013	climate change	GWP 100a	0.7507 kg CO2-Eq
ecological scarcity 2013	total	total	9.070e+3 UBP

Anexo 6: Factor de emisión de la fabricación de fertilizantes nitrogenados



Ecoinvent 3.6 dataset documentation

urea production, as N - RoW

Dataset identification

Activity name	urea production, as N
geography	RoW (Rest-of-World)
Time period	1999-01-01 to 2019-12-31 Valid for the entire period
Synonym	None
ISIC rev.4 ecoinvent	2012: Manufacture of fertilizers and nitrogen compounds
Reference product	urea, as N
CPC classification	34611: Urea
Dataset type	Ordinary transforming activity
Technology level	Current
Version - system model	3.6 - Allocation, cut-off

Table of content

- [Exchange summary](#)
- [Dataset description](#)
- [Detailed information for exchanges](#)
- [Selected impact assessment results](#)
- [Sources](#)

Note: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, i.e. in ecoSpold format.

[Link to the dataset on the ecoinvent website](#)

Dataset authorship

Role	Name, organisation
Data generator	Angelika Heil
Data entry	Angelika Heil
Review	Maggie Osses, Eidgenössische Materialprüf- und -forschungsanstalt

Exchange summary

[Back to table of content](#)

Reference product	Byproduct classif.	Amount
urea, as N	allocatable product	1 kg
Inputs from technosphere		Amount
ammonia, liquid		1.23 kg
chemical factory, organics		8.7e-10 unit
electricity, medium voltage		0.32 kWh
heat, district or industrial, natural gas		8.05 MJ
Inputs from environment		Amount
Water, cooling, unspecified natural origin		0.285 m3
Water, unspecified natural origin		0.0005 m3
Emissions to air		Amount
Ammonia		0.00348 kg
Carbon monoxide, fossil		0.00287 kg
Methane, fossil		0.000783 kg
Particulates, < 2.5 um		0.000809 kg
Particulates, > 10 um		0.000809 kg
Particulates, > 2.5 um, and < 10um		0.000404 kg
Water		0.111 m3
Emissions to water		Amount
Ammonium, ion		0.000364 kg
Water		0.175 m3

Selected impact assessment results

[Back to table of content](#)

method	category	indicator	score
IPCC 2013	climate change	GWP 100a	3.25 kg CO2-Eq
ecological scarcity 2013	total	total	4.043e+3 UBP



Ecoinvent 3.6 dataset documentation

ammonium nitrate production - RoW

Dataset identification		Table of content
Activity name	ammonium nitrate production	Exchange summary Dataset description Detailed information for exchanges Selected impact assessment results Sources <p>Note: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, i.e. in ecoSpold format.</p> Link to the dataset on the ecoinvent website
geography	RoW (Rest-of-World)	
Time period	1999-01-01 to 2019-12-31 Valid for the entire period	
Synonym(s)	Ammonsalpeter	
ISIC rev.4 ecoinvent	2012: Manufacture of fertilizers and nitrogen compounds	
Reference product	ammonium nitrate, as N	
CPC classification	34613: Ammonium nitrate	
Dataset type	Ordinary transforming activity	
Technology level	Current	
Version - system model	3.6 - Allocation, cut-off	

Dataset authorship

Role	Name, organisation
Data generator	Angelika Heil
Data entry	Angelika Heil
Review	Maggie Osses, Eidgenössische Materialprüf- und -forschungsanstalt

Exchange summary

[Back to table of content](#)

Reference product	Byproduct classif.	Amount
ammonium nitrate, as N	allocatable product	1 kg
Inputs from technosphere		Amount
ammonia, liquid		0.609 kg
chemical factory, organics		1.14e-09 unit
nitric acid, without water, in 50% solution state		2.25 kg
Emissions to air		Amount
Ammonia		0.000571 kg
Particulates, < 2.5 um		0.000571 kg
Particulates, > 10 um		0.000571 kg
Particulates, > 2.5 um, and < 10um		0.000286 kg
Emissions to water		Amount
Ammonium, ion		0.000736 kg

Selected impact assessment results

[Back to table of content](#)

method	category	indicator	score
IPCC 2013	climate change	GWP 100a	8.077 kg CO2-Eq
ecological scarcity 2013	total	total	7.863e+3 UBP

Anexo 7: Origen de la importación de fertilizantes nitrogenados



FERTILIZANTES EN PERÚ

IMPORTACIÓN DE 31.01: ABONOS DE ORIGEN ANIMAL O VEGETAL, INCLUSO MEZCLADOS ENTRE SÍ

Año	Kg Netos	CIF en USD	USD/Kg	Principales Países Proveedores
2014	1.942.606	4.077.347	2,10	Italia 28%, España 25% , México 18%
2015	2.713.131	5.224.950	1,93	España 27% , Italia 25%, México 17%
2016	3.061.041	5.362.418	1,75	Italia 25%, México 19%, España 18%
2017	3.367.759	7.552.956	2,24	Italia 23%, México 18%, Chile 16%
2018	4.692.946	8.924.020	1,90	Chile 23%, España 21% , Italia 19%

Fuente: SUNAT.

IMPORTACIÓN DE 31.02: ABONOS MINERALES O QUÍMICOS NITROGENADOS

Año	Kg Netos	CIF en USD	USD/Kg	Principales Países Proveedores
2014	818.624.394	298.060.113	0,36	Rusia 47%, Chile 22%, China 14%
2015	1.084.024.402	339.124.675	0,31	Rusia 52%, China 22%, Chile 13%
2016	977.568.434	242.319.903	0,25	Rusia 52%, Chile 13%, China 12%
2017	1.067.469.171	369.992.420	0,35	Rusia 38%, EE. UU. 30%, China 9%
2018	953.478.429	270.079.387	0,28	Rusia 62%, Chile 13%, EE. UU. 7%

Fuente: SUNAT.

IMPORTACIÓN DE 31.03: ABONOS MINERALES O QUÍMICOS FOSFATADOS

Año	Kg Netos	CIF en USD	USD/Kg	Principales Países Proveedores
2014	1.873.810	901.007	0,48	China 56%, Italia 25%, Chile 18%
2015	2.172.119	876.114	0,40	China 87%, Italia 13%
2016	3.757.731	1.319.161	0,35	China 51%, Marruecos 35%, Italia 7%
2017	5.326.175	1.911.954	0,36	Marruecos 50%, España 12% , China 11%
2018	2.923.479	1.172.942	0,40	China 48%, Marruecos 19%, Portugal 11%

Fuente: SUNAT.

IMPORTACIÓN DE 31.04: ABONOS MINERALES O QUÍMICOS POTÁSICOS

Año	Kg Netos	CIF en USD	USD/Kg	Principales Países Proveedores
2014	165.571.846	81.794.276	0,49	Chile 28%, Canadá 20%, Bélgica 16%
2015	167.783.446	77.873.882	0,46	Chile 26%, Canadá 21%, Rusia 16%
2016	143.344.365	53.309.267	0,37	Rusia 19%, Chile 17%, Bélgica 13%
2017	236.916.669	76.466.152	0,32	Canadá 20%, Rusia 18%, Bélgica 18%
2018	198.180.992	76.580.569	0,39	Canadá 27%, Bélgica 20%, Rusia 17%

Fuente: SUNAT.

Anexo 8: Origen de la importación de insumos para concentrado

Feed component	Origin of feed	Type of transport	Place of cultivation
corn	ARGENTINA 84%	boat	fertile grond, Mantarro valley
	PARAGUAY 10%	truck	
	PERU 6%	truck	
Soybean meal	Bolivia 50%	truck	
	Paraguay 26%	truck	
	ARGENTINA16%	boat	
	USA 8 %	boat	
soybean flour	Bolivia 50%	truck	
	Paraguay 26%	truck	
	ARGENTINA16%	boat	
	USA 6%	boat	
fishmeal	PERU	truck	ocean, close to LIMA
wheat bran	PERU	truck	fertile grond, Mantarro valley + processing LIMA
grains (barley)	PERU	truck	fertile grond, Mantarro valley
cottonseed meal	PERU	truck	by product, industrie, LIMA
whole cotton seed	PERU	truck	fertile grond, Mantarro valley + processing LIMA
DDGS	USA	boat	
molasses sugarcane	PERU	truck	by product, industrie, LIMA
sunflower meal	PERU	truck	by product, industrie, LIMA
whole mais plant	PERU	truck	fertile grond, Mantarro valley
artichoke	PERU	truck	by product, industrie, LIMA
Corn*	PERU	truck	fertile grond, Mantarro valley + processing LIMA
Wet brewers' Grain	PERU	truck	by product, industrie, LIMA
Calf concentrates	PERU	truck	inudstrial product, LIMA

FUENTE: Van (2014)

Anexo 9: Factores de emisión por el uso de transporte

Crop production	Emission factor	
Production of farm inputs		
Mineral N	8.66	kg CO ₂ -eq/kg N
Mineral P ₂ O ₅	2.62	kg CO ₂ -eq/kg P ₂ O ₅
Mineral K ₂ O	0.50	kg CO ₂ -eq/kg K ₂ O
Lime	0.01	kg CO ₂ -eq/kg CaCO ₃
Herbicides	10.25	kg CO ₂ -eq/kg A.I.
Insecticides	16.67	kg CO ₂ -eq/kg A.I.
Fungicides	10.59	kg CO ₂ -eq/kg A.I.
Machinery ^a	0.89	kg CO ₂ -eq/l diesel
Diesel used by field machinery	3.02	kg CO ₂ -eq/l diesel
Transport		
Road transport	134	kg CO ₂ -eq/(ton × 1000 km)
Railway transport	40	kg CO ₂ -eq/(ton × 1000 km)
Ocean transport	11	kg CO ₂ -eq/(ton × 1000 km)
River transport	43	kg CO ₂ -eq/(ton × 1000 km)

FUENTE: Meul *et al.* (2012)

Anexo 10: Registro Fotográfico



Cría de ganado en el establo sistema intensivo



Cría de ganado en el establo sistema semi-intensivo



Pastoreo de ganado en el sistema semi-intensivo



Estimación del peso animal



**Pesaje de las muestras
de alimento**



**Pesaje del alimento
consumido**



**Toma de temperatura
ambiental**



Gestión del estiércol en seco



Gestión del estiércol en líquido