

Huella de Carbono de la Finca María Verónica de Industrias Lácteas Toni

Cristina Jazmin Páliz Benalcázar

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2019

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Huella de Carbono de la Finca María Verónica de Industrias Lácteas Toni

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Cristina Jazmin Páliz Benalcázar

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2019

Huella de Carbono de la Finca María Verónica de Industrias Lácteas Toni

Cristina Jazmin Páliz Benalcázar

Resumen. Las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero (GEI) y sus posibles efectos sobre el ambiente se han convertido en un desafío nacional e internacional asociado al cambio climático. Diferentes actividades tienen efecto sobre el total de emisiones, pero las granjas lecheras y el ciclo de vida de sus productos son considerados importantes contribuyentes al aporte global de GEI. Este estudio tuvo como objetivo estimar la huella de carbono organizacional del año 2018 de la Finca María Verónica, perteneciente a Industrias Lácteas Toni en Quevedo-Ecuador. La cuantificación de GEI se realizó mediante el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, con un enfoque de Nivel 1 del IPCC para fermentación entérica, gestión de estiércol y uso de fertilizantes. La huella de carbono para el año 2018 fue de 485,870.85 kg CO₂eq. La mayor cantidad de emisiones correspondió al Alcance 1 con un 67% debido a la fermentación entérica de los animales, seguida de la fabricación y mantenimiento de bienes de capital e infraestructura que hacen parte del alcance 3 (30%). Finalmente, el Alcance 2 en donde se incluye el uso de energía contribuyó con 3% de la huella total. Tomando en cuenta las mayores emisiones por fermentación entérica, a partir de revisión de información se propone la evaluación de inclusión de especies forrajeras en la dieta con el fin de disminuir el aporte a las emisiones del proceso de producción.

Palabras clave: Fermentación entérica, gases de efecto invernadero, organización, producción ganadera, protocolo de gases de efecto invernadero.

Abstract. The anthropic greenhouse gas emissions (GHG), and their possible effects in the environment have become a national and international challenge, associated with climate change. Different activities have an effect on the total emissions, but dairy farms and products make important contribution to the global GHG, during their life cycle. This study focusses on measuring the institutional carbon footprint from Maria Veronica Farm, which is part of Toni Dairy Industries in Quevedo-Ecuador, The GHG quantification was made through the application of GHG Protocol, with the application of IPCC level 1 for enteric fermentation, manure management, and fertilizer use. The carbon footprint for 2018 was 485,870.85 kg CO₂eq. The higher amount of emissions for scope 1 was 67% from the animals' enteric fermentation, followed by manufacturing, capital goods maintenance and infrastructure, which correspond to scope 3 with 30%. Finally scope 2, corresponding to energy use generated 3% of the total footprint. Taking into account the higher enteric fermentation emissions, improvement strategies are proposed, such as evaluating the inclusion of forage species in the animals' diet in order to reduce their GHG contribution.

Keywords: Enteric fermentation, greenhouse gas protocol, greenhouse gases, livestock production, organization.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
4. CONCLUSIONES.....	13
5. RECOMENDACIONES	14
6. LITERATURA CITADA.....	15
7. ANEXO	19

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXO

Cuadros	Página
1. Alcance 1 Emisiones Directas	9
2. Alcance 2 Emisiones Indirectas asociadas a la electricidad	10
3. Alcance 3. Otras Emisiones Indirectas.....	10

Figuras	Página
1. Flujo de proceso de la Finca María Verónica.	7
2. Emisiones de GEI de la Finca María Verónica.	8

Anexo	Página
1. Inventario de GEI.....	19

1. INTRODUCCIÓN

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y sus posibles efectos sobre el ambiente se han convertido en un importante desafío nacional e internacional (Rotz, Montes y Chianeset, 2010). Una de las principales inquietudes está relacionada con el cambio climático (CC), ya que de acuerdo con el Scripps Institution of Oceanography (2018) para abril del año anterior, la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera superó la barrera de las 410 ppm. Además, altos niveles de CO_2 representan un punto de inflexión climático que puede desencadenar una serie de respuestas dinámicas fuera del control de la humanidad (Hansen et al., 2008). Aunque existen diversas fuentes de emisiones de GEI, la agricultura, la silvicultura y otros usos del suelo son responsables del 24% de las emisiones en el mundo (Tubiello et al., 2015). La ganadería dentro de esta actividad recibe especial atención debido a su contribución a las emisiones globales (Steinfeld et al., 2006). Se estima que esta actividad produce 5.335 Tm de CO_2 eq. por año, lo que representa aproximadamente el 11% de todas las emisiones antropogénicas (Smith et al., 2014).

En la actualidad, se ha determinado que la base de este fenómeno es la denominada "Gran Aceleración", que corresponde al aumento del consumo y la producción ganadera en los últimos 150 años (Steffen, Broadgate, Deutsch, Gaffney y Ludwig, 2015). Esta actividad es impulsada por el uso de carbón, petróleo y otros combustibles fósiles y la variación en las dietas de los consumidores. Además, el fenómeno contribuye al incremento de la deforestación, la expansión industrial y la agricultura intensiva que incrementan las emisiones de GEI hacia la atmósfera (Steffen et al., 2015). Lo cual refleja la compleja relación causa-efecto entre la agricultura y el cambio climático (Agovino, Casaccia, Ciommi, Ferrara y Marchesano, 2019).

Las granjas lecheras y sus productos derivados son consideradas un importante contribuyente al total de emisiones de GEI durante su ciclo de vida. Por ejemplo, la determinación de las emisiones de GEI de la cadena de suministro de leche líquida en Estados Unidos, evidenció que el 72% de estas ocurrieron en los procesos de producción en campo (Stocker et al., 2013). Por lo tanto, es necesario conocer las fuentes de emisión de la granja y comprender sus puntos críticos, lo cual conduce a importantes oportunidades para la mitigación de impactos negativos sobre los ecosistemas (Powell y Rotz, 2015).

En las fincas lecheras las emisiones de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) provienen principalmente, de la labranza de los suelos y el uso de fertilizantes nitrogenados, la fermentación entérica, la deposición y el manejo de estiércol. No obstante, al tener una óptima gestión, estas emisiones pueden reducirse. También, las emisiones de CO_2 se incrementan por uso de combustibles fósiles en maquinaria y transporte, la aplicación de cal en pastizales y las emisiones. Así mismo se deben considerar las emisiones indirectas

generadas por la volatilización de amoníaco y la lixiviación de nitratos que aportan significativamente al aumento de la temperatura del planeta, fenómeno denominado como cambio climático (Rotz, 2018).

En la búsqueda e implementación de estrategias de mitigación de emisiones de GEI, los esfuerzos internacionales durante la última década se dedican a la cuantificación e identificación de las fuentes (Vergé et al., 2013). Especialmente, en aquellas actividades ligadas a altas emisiones, como la ganadería, se prevé que la demanda de productos lácteos se duplique para 2050. Por lo tanto, reducir las emisiones de GEI se está convirtiendo en una necesidad para los productores de leche (O'Brien, Capper, Garnsworthy, Grainger, y Shalloo, 2014). Lo anterior, determina que el establecimiento de indicadores ambientales, como la huella de carbono, son elementos clave en la evaluación y ejecución de futuras acciones de mitigación. Esta herramienta cuantifica las emisiones totales directas e indirectas de GEI, a nivel de organización o ciclo de vida de un producto o servicios (Galli et al., 2012), para lo cual existen diferentes protocolos. El método establecido por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) por sus siglas en inglés, provee la guía de trabajo para las empresas interesadas en cuantificar sus emisiones. El objetivo del Protocolo de GEI es ofrecer los estándares internacionales para la contabilización y generación de reportes de inventarios de GEI, a fin de promover acciones para lograr una economía baja en emisiones a nivel mundial (WBCSD, 2015).

La mayoría de los estudios realizados en organizaciones en diferentes partes del mundo, se basan en las directrices del Protocolo de GEI. Sin embargo, existen estudios en donde el enfoque metodológico es la norma ISO 14067, la PAS 2050 o la combinación de metodologías. Independientemente del enfoque que se utilice para la consolidación de los inventarios de GEI, esta es una actividad en constante evolución y crecimiento en las diferentes regiones del mundo. Por ejemplo, en América Latina y el Caribe, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL, determinó que los países participantes en la “agenda positiva” del cambio climático, debían apuntar a estrategias empresariales que llevarán a afrontar el riesgo de posibles barreras y requisitos ambientales de los mercados de los países industrializados. Dentro de ellas se encuentra la cuantificación y comunicación de sus emisiones. De esta manera, en Ecuador, a través del Banco de Desarrollo de América Latina – CAF, se realizó el proyecto “Medición de huella de Carbono de las exportaciones de alimentos”. Mediante este programa se buscó propiciar el desarrollo sostenible y el fortalecimiento de la competitividad de productos en el mercado internacional, además de facilitar la transición hacia una economía baja en carbono y adaptada al cambio climático, con inclusión social e igualdad de oportunidades (Banco de Desarrollo de América Latina CAF, 2016).

Acorde con lo anterior, los objetivos de este estudio fueron:

- Determinar las entradas y salidas de energía y materia de los subsistemas y procesos en la finca María Verónica.
- Cuantificar las emisiones de GEI en los subsistemas y procesos.
- Identificar oportunidades de mejora y disminución de emisiones en los subsistemas y procesos inventariados con base a información secundaria.

2. METODOLOGÍA

Sitio de estudio.

La Finca María Verónica se encuentra ubicada en la provincia de Los Ríos, Cantón Quevedo de Ecuador, en las coordenadas 1°05'50.3''S y 79°28'41.1''W. El área de producción es 98 ha, con un total de 165 cabezas de ganado de raza Holstein, comprendido en 83 vacas de ordeño, 62 vaquillas, 19 terneros menores de dos meses y un reproductor. La finca se encuentra a 195 km de la planta procesadora de Industrias Lácteas Tonicorp en Guayaquil y tiene como actividad principal el suministro de leche a esta empresa. Provee aproximadamente 444 litros de leche al día en temporada de bajo rendimiento y 888 litros en temporada de alto rendimiento.

Límites organizacionales.

El estudio considero un enfoque de control operacional, ya que la empresa Industrias Lácteas Tonicorp ejerce un control operacional sobre todas las acciones realizadas en la finca María Verónica, acorde lo establece el Protocolo de GEI.

Limites operacionales y temporales.

Están determinados por las fuentes de emisión directas e indirectas que fueron identificadas durante todo el proceso de producción a partir de los alcances descritos a continuación. El año base seleccionado fue 2018, ya que se contó con información completa. La empresa Industrias Lácteas Tonicorp proporcionó los datos necesarios para el cálculo.

Método de cuantificación.

Para la realización de este estudio se empleó el Protocolo de GEI del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte. Este protocolo considera la estimación de GEI mediante Alcances que comprenden diferentes tipos de emisiones directas e indirectas.

Alcance 1. Se consideran emisiones directas de GEI. Se determinaron las emisiones directas de fuentes propias o controladas por la finca María Verónica y dentro de ellas se evaluaron los aspectos descritos a continuación:

- Uso de combustibles
- Aplicación de fertilizantes nitrogenados
- Gestión de estiércol
- Fermentación entérica

Alcance 2. Se consideran emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad. Se incluyeron las emisiones por la energía eléctrica consumida en la finca María Verónica.

Alcance 3. Se consideran otras emisiones indirectas. Se tomó en cuenta emisiones indirectas por uso de combustible, fabricación y mantenimiento de bienes de capital e infraestructura, tales como:

- Materiales de construcción de infraestructura, pertenecientes al área de ordeño, enfriamiento y oficina.
- Materiales de fabricación de tractores, camiones y equipos de riego.
- Uso de combustible.

Flujo de proceso.

Para el cálculo de la huella de carbono, se partió de realizar un diagrama de flujo con el fin de identificar los procesos de la Finca María Verónica, en donde se incluyeron las entradas y salidas de energía, materia y emisiones. Luego se colectaron los datos a partir de la aplicación de un cuestionario a directivos y operarios de la finca. Los factores de emisión fueron determinados a través de información secundaria disponible en artículos científicos y los establecidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

Cálculo de emisiones de GEI.

Para el cálculo de las emisiones de GEI de la Finca María Verónica, se utilizaron las ecuaciones desarrolladas por el IPCC en 2006, como se describen a continuación.

Fertilizantes Sintéticos Nitrogenados. Para la cuantificación del uso de fertilizantes nitrogenados se utilizaron los datos provistos por la Finca en cuanto a dosis y aplicaciones correspondientes al año 2018 y se estimó su aporte mediante ecuación 1.

$$F_{SN} = N_{FERT} \times (1 - Frac_{GASF}) \quad [1]$$

Donde:

F_{SN} = Cantidad anual de nitrógeno procedente de fertilizantes sintéticos que se aplica en los suelos, teniendo en cuenta del volumen que se volatiliza.

N_{FERT} = Cantidad total de fertilizante sintético que se consume anualmente.

$Frac_{GASF}$ = Cantidad ajustada para la fracción que se volatiliza.

La conversión de las emisiones de (N₂O-N) en emisiones de N₂O_(mm) se realiza mediante la ecuación 2.

$$N_2O = (N_2O - N)_{(mm)} \times 44/28 \quad [2]$$

Emisiones por fermentación entérica. Para la cuantificación de estas emisiones se realizó una caracterización del hato ganadero, a partir de la composición por categorías y su número de cabezas de ganado, utilizando los factores de emisión propuestos por el IPCC (2006). Se estimó su aporte mediante la ecuación 3.

$$\text{Emisiones} = \text{FE} \times \text{población} / (10^6 \text{ kg/Gg}) \quad [3]$$

Donde:

Emisiones = Emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica (Gg de CH₄ × año)

FE = Factor de emisión correspondiente a una población específica, en kg × cabeza × año

Población = Número de animales (cabezas) en categorías.

Emisiones de CH₄ procedentes del manejo del estiércol. Para la cuantificación de estas emisiones se realizó una caracterización del hato ganadero para facilitar el análisis basado en las cantidades de estiércol producido por animal y la forma de manejo del estiércol. Se utilizaron los factores de emisión propuestos por el IPCC (2006). Se estimó su aporte mediante la ecuación 4.

$$\text{Emisiones de CH}_4 \text{ (mm)} = \text{Factor de emisión} \times \text{Población} / (10^6 \text{ kg} \times \text{Gg}) \quad [4]$$

Donde:

Emisiones de CH₄(mm) = Emisiones de CH₄ procedentes del manejo del estiércol para una población definida, en Gg × año

Factor de emisión = Factor de emisión correspondiente a la población de ganado definida, en kg × cabeza × año

Población = El número de cabezas que integra la población de ganado definida

Emisiones de N₂O procedentes del manejo del estiércol. Para la cuantificación de estas emisiones se realizó una caracterización del hato ganadero, para facilitar el análisis basado en las cantidades de estiércol producido por animal y la forma de manejo del estiércol, utilizando los factores de emisión propuestos por el IPCC (2006). Se estimó su aporte mediante la ecuación 5.

$$(\text{N}_2\text{O-N})_{(\text{mm})} = \Sigma(\text{S}) \{ [\Sigma(\text{T}) (\text{N}_{(\text{T})} \times \text{Nex}_{(\text{T})} \times \text{SM}_{(\text{T,S})})] \times \text{FE}_{3(\text{S})} \} \quad [5]$$

Donde:

(N₂O-N) (mm) = Emisiones de N₂O-N procedentes del manejo del estiércol (kg de N₂O-N × año)

N_(T) = Número de cabezas por especie o categoría T de ganado.

Nex_(T) = Excreción anual media de N por cabeza de cada especie o categoría T (kg de N × animal × año)

$SM_{(T, S)}$ = Fracción de la excreción total anual por cada especie o categoría T de ganado incluida en el sistema S de manejo del estiércol

$FE_{3(S)}$ = Factor de emisión de N_2O para el sistema S de manejo del estiércol (kg de N_2O-N × kg de N en el sistema S de manejo del estiércol)

S = Sistema de manejo del estiércol

T = Especie o categoría de ganado

La conversión de las emisiones de $(N_2O-N)_{(mm)}$ en emisiones de: $N_2O_{(mm)}$ se realiza mediante la ecuación 6.

$$N_2O_{(mm)} = (N_2O-N)_{(mm)} \times 44/28 \quad [6]$$

Emisiones por consumo de energía. Para la cuantificación de estas emisiones se utilizó el factor de emisión para consumo energético de la red eléctrica de Ecuador, se estimó su aporte mediante la ecuación 7.

$$ECE = \sum \text{consumo energético} \times FE \quad [7]$$

Donde:

ECE = toneladas de CO_2eq por año

Consumo energético = kWh × año

FE = Factor de emisión de energía en Ecuador

Emisiones por uso de combustibles fósiles. Para la cuantificación de emisiones por uso de combustibles, se tuvieron en cuenta los vehículos utilizados para transporte y maquinaria empleada en el proceso de producción, se estimó su aporte mediante la ecuación 8.

$$EC = \left(\sum \text{combustible} \times FE \right) / 1,000 \quad [8]$$

Donde:

EC= Toneladas de CO_2eq × año

Combustible= Consumo de combustibles (litros × año)

FE= Factor de emisión kg CO_2 de Ecuador

Propuesta de medidas de reducción de GEI.

Para evaluar alternativas de reducción de emisiones de metano por fermentación entérica se realizó una búsqueda de estudios previos a partir de dietas y manejo de forrajes para el hato ganadero.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio tomó en cuenta las siguientes etapas, para la producción de leche: (1) siembra de pastos, (2) manejo del hato ganadero, (3) ordeño, (4) enfriamiento y (5) transporte. Dentro de cada una de estas etapas se consideró los insumos utilizados, infraestructura, equipos y vehículos. En la Figura 1 se observa el diagrama de flujo de la Finca María Verónica con sus respectivas entradas y salidas.

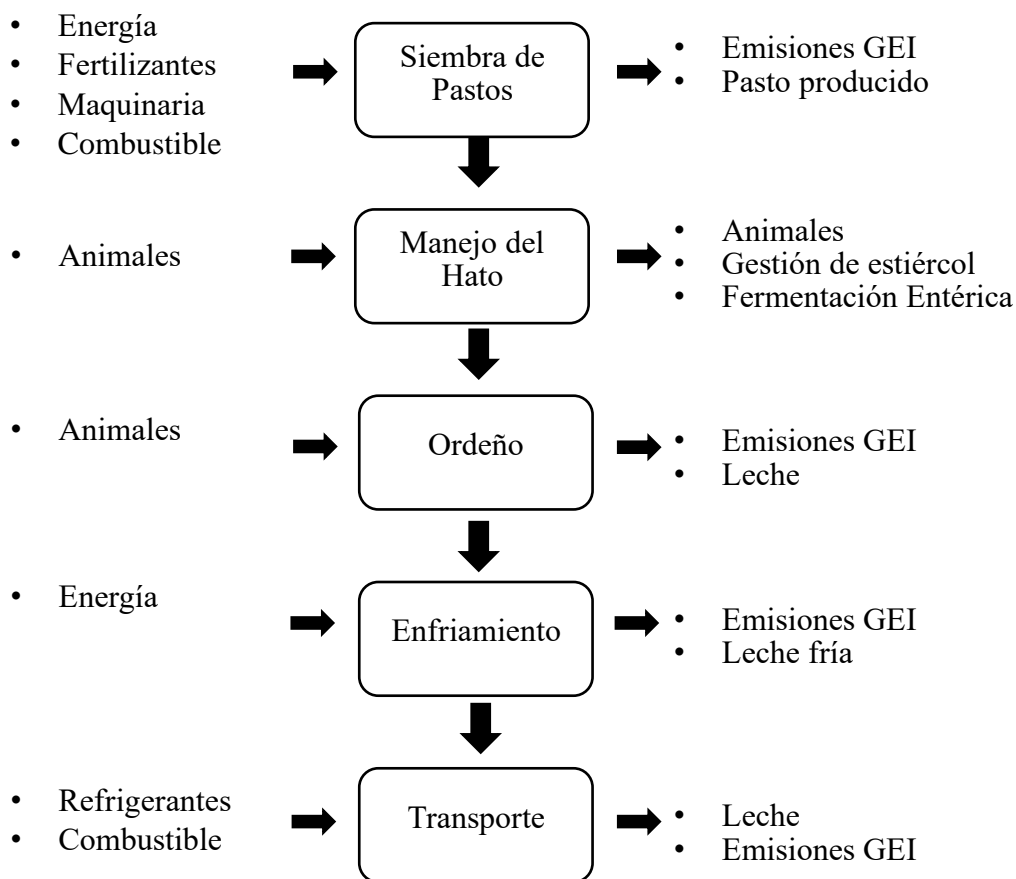


Figura 1. Flujo de proceso de la Finca María Verónica.

Las emisiones totales de GEI en el año 2018 para la Finca María Verónica fueron 485,870.85 kg CO₂eq y estuvieron asociadas a los diferentes procesos y subprocesos de producción y transporte. Acorde con el Protocolo de GEI, su cuantificación estuvo limitada a los tres alcances reglamentarios y la adición de emisiones críticas en estos sistemas, las cuales se muestran en los cuadros 1, 2 y 3, respectivamente. Mediante esta delimitación se incluyeron todas las fuentes de emisión, desde la siembra de los pastos, el manejo del hato, el ordeño, el enfriamiento y el transporte de la leche hasta Industrias Lácteas Toni Corp (Guayaquil). Además, se calcularon las emisiones de GEI en fabricación y mantenimiento de bienes de capital e infraestructura.

En la Figura 2 se observa la distribución de las emisiones de GEI de la Finca María Verónica en cada uno de los alcances. El Alcance 1 tiene una mayor contribución en el total de emisiones. En este se cuantificaron los procesos de fermentación entérica del total de cabezas de ganado que conforman el hato, ya que es uno de los puntos críticos en estos sistemas productivos. Los rumiantes son responsables de la mayor parte de la fermentación entérica y la producción de estiércol, que son procesos importantes en emisiones de GEI (Buratti et al., 2017).

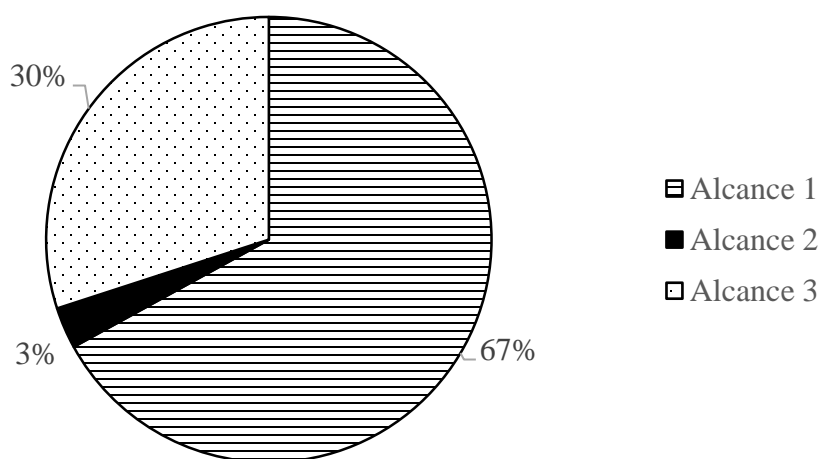


Figura 2. Emisiones de GEI de la Finca María Verónica.

En el Cuadro 1, se muestra que el 84.07% de las emisiones del alcance corresponden a la fermentación entérica, de las cuales el mayor aporte proviene de vacas en etapa de ordeño (53%), seguido del grupo de vaquillas (35%), terneros (11%) y un 1% de toros. La base de la alimentación del ganado en la Finca María Verónica está compuesta de pasto, principalmente Tanzania (*Penicum maximum*) 90% y 10% de concentrados, con un manejo extensivo. Estos resultados son similares a los de O'Brien et al. (2014) en Irlanda y Rotz, et al. (2010) en Estados Unidos, donde las emisiones por fermentación entérica representan el mayor aporte a la huella de carbono en la cadena de producción de leche, con 47% y 76% respectivamente. Estos estudios coinciden en que las vacas en producción generan mayores

emisiones, lo cual es atribuido a los procesos metabólicos digestivos y a la dieta consumida por los animales. Las características de dietas alimenticias basadas en el contenido de energía bruta y digerible y cantidades de hemicelulosa, celulosa y almidón representan un factor importante para las emisiones de CH₄ por fermentación entérica (Rotz, 2018).

Cuadro 1. Alcance 1 Emisiones Directas.

Categorías	Emisiones (kg CO₂eq)	%
Fertilizantes	675.75	0.21
Combustible	42,344.80	12.95
Fermentación entérica	274,988.00	84.07
Gestión de estiércol	7,521.70	2.30
Refrigerante	1,568.80	0.48
Total Alcance 1	327,099.05	100.00

Dentro del Alcance 1, se determinó que el uso de diésel en tractores y camión de transporte de leche, fue el segundo contribuyente de emisiones directas (12.92%). Los tractores se utilizan para la preparación de los suelos, el transporte del estiércol de los establos a los sitios de compostaje y además, para movilizar el alimento desde los sitios de almacenamiento hasta los establos. Un camión de transporte con capacidad de carga de 8 toneladas se emplea para el transporte de la leche desde la Finca María Verónica hasta Industrias Lácteas Toni que se encuentra a 195 km de distancia. Estos resultados son comparables con Hörtenhuber, Lindenthal y Zollitsch (2011), quienes muestran que el aporte del uso de diésel a la huella de carbono de la leche fue del 16%. Las diferencias radican en la cantidad de kilómetros recorridos desde las granjas de producción a la planta de procesamiento de la leche, que para el caso se encontraba 80 km más distante que la del presente estudio.

El menor aporte de emisiones proviene del uso de fertilizantes sintéticos con 0.21%. Los fertilizantes usados en los pastizales de la Finca María Verónica son 500 kg de fosfato diamónico y 500 kg urea por hectárea al año, los cuales tienen un aporte de nitrógeno de 18% y 46%, correspondientemente. Lo anterior significa que el total de N aportado fue 320 kg por hectárea. Las emisiones por aplicación de N en los suelos están relacionadas principalmente, con los mecanismos de denitrificación que liberan óxido nitroso (N₂O), el cual tiene un potencial de calentamiento global 265 veces mayor que el CO₂ (IPCC, 2014). Para el estudio, el bajo aporte del uso de fertilizantes nitrogenados en este alcance, está relacionado al cálculo realizado con el factor de emisión del IPCC, el cual determina que el 1.25% del total de N utilizado se pierde por emisiones de N₂O.

En el Cuadro 2, se presentan las emisiones indirectas ligadas al uso de energía eléctrica, lo cual representa el aporte más bajo al total de emisiones, con tan solo el 3%. El consumo para el año de análisis fue 30,000 kWh. Este valor difiere del obtenido por O'Brien et al. (2014) en Irlanda, en donde las emisiones asociadas al consumo de energía fueron del 8% y el de Vergé et al. (2013) en Canadá, en donde fue del 28.5%. El total de emisiones en este

alcance son diferentes con respecto a los estudios referidos, debido a la cantidad de energía utilizada y los factores de emisión empleados para el cálculo de cada país en donde la matriz energética está compuesta de diferente forma. En Ecuador la energía eléctrica se genera a partir de una matriz que provee el 57.9% de energía hidráulica, 39.8% de energía térmica, 0.084% de energía eólica y 0.05% de energía de biogás y 0.0387% de energía fotovoltaica (Aguirre, 2018).

Cuadro 2. Alcance 2. Emisiones Indirectas asociadas a la electricidad.

Categorías	Emisiones (kg CO₂eq)	%
Energía	14,400	100
Total Alcance 2	14,400	100

En el Cuadro 3, se observa que la infraestructura de la sala de ordeño, el área de enfriamiento y las oficinas de la Finca María Verónica, contribuye con el 99.97% del total correspondiente al Alcance 3. Los materiales de fabricación de los tanques fríos representan el 0.023% y el material de construcción del equipo de ordeño representó la menor cantidad de emisiones dentro del cálculo de la huella de carbono 0.0000001%. Las bajas emisiones de infraestructura están relacionadas con la vida útil que se estima para los bienes de capital. En estudios como el de Flysjö, Henriksson, Cederberg, Ledgard, y Englund (2011), realizado en Nueva Zelanda y Suecia no se contabilizó debido a que los bienes de capital tienen una pequeña influencia en las emisiones de GEI de la producción de leche.

Cuadro 3. Alcance 3. Otras Emisiones Indirectas.

Categorías	Emisiones (kg CO₂)	%
Materiales de fabricación de los tractores	0.43	0.0002
Materiales de fabricación del equipo de ordeño	0.00	0.0000
Materiales de fabricación del tanque de frío	33.26	0.0230
Infraestructura	144,338.10	99.9766
Total Alcance 3	144,371.80	100.0000

Estrategias de mejora.

El sector ganadero, además de tener una influencia importante en el cambio climático, tiene efectos directos sobre la pérdida de biodiversidad y la degradación de los suelos y el agua dulce debido a las emisiones al aire, al agua y al suelo (Gerber et al., 2013). Los bovinos poseen un sistema digestivo que convierte el material fibroso con altos contenidos de carbohidratos, en alimentos de calidad nutritiva como la leche. Sin embargo, en este proceso el sistema digestivo del animal produce entre 150 a 420 L/día de CH₄, por lo cual se atribuye

que el metano derivado de la fermentación entérica representa el 18% de las emisiones globales (Nazly, Rojas, Arenas y Herrera, 2019). La fermentación en el rumen del bovino se produce como resultado de la variedad de microorganismos presentes, lo cual genera alrededor del 87% de metano, mientras que en el intestino grueso se produce el 13% restante (Boadi, Benchaar, Chiquette y Massé, 2004). La generación de CH₄ depende de la calidad (energía bruta y energía digerible), composición, digestibilidad del alimento, además del procesamiento previo e ingesta de este (Nazly et al., 2019) y este procesos metabólico representa una pérdida energética para el rumiante entre el 2 y el 12% (Vargas, 2015). Entender estos aspectos puede ayudar a gestionar los sistemas productivos y disminuir sus emisiones. Dentro de los aspectos que se pueden considerar se encuentran los siguientes.

Inclusión de especies forrajeras. De acuerdo a Gallego et al. (2014), el uso de especies forrajeras arbustivas influye positivamente sobre la actividad ruminal del animal y por tanto, se disminuyen las emisiones de metano, aumentando el paso de nutrientes hacia el duodeno y el aporte de energía al rumiante. Además, algunas especies forrajeras tienen tendencia a disminuir la producción de CH₄ derivado de la alimentación de los bovinos por, presencia de metabolitos secundarios que tienen un efecto antimetanogénico (Cardona, Mahecha y Angulo 2016). Esta actividad puede ser utilizada en la Finca María Verónica o bien agregar los metabolitos a partir de extractos fitoquímicos en las dietas de los animales

Con base a los estudios mencionados se propone la inclusión de *Tithonia diversifolia* en la dieta del hato ganadero, la cual es comúnmente conocida como “Botón de Oro”. Esta es una planta forrajera originaria de América Central, la cual está siendo usada para la alimentación de bovinos debido a su alto valor nutricional, contenido de proteínas y carbohidratos solubles. Además, contiene taninos que ayudan a mejorar el balance ruminal por el aporte de energía, proteína y la digestibilidad (Medina et al., 2009). Una inclusión entre el 10% y el 20% de esta planta en la dieta alimenticia puede reducir la población de metanógenos ruminales, lo cual puede ser atribuido a la presencia de taninos (Galindo et al., 2011). Los taninos de las plantas reducen la metanogénesis ruminal por la disminución de la formación de hidrógeno que inhibe los procesos metanogénicos (Cardenas y Flores, 2012).

Adicionalmente, esta especie tiene una gran aceptabilidad por parte de los animales. Osuga et al. (2012), mencionan que los rumiantes pueden consumir toda la planta, sin embargo, tienen preferencia por las hojas y flores. Esta propuesta de mejora disminuiría también la dependencia de pastos que no poseen un alto aporte energético debido a que la energía digerible es más baja que la aportada por el botón de oro. Así mismo, la introducción de especies arbóreas y ricas en proteína ayudarían a mejorar la eficiencia alimenticia, disminuyendo las emisiones de metano.

Tamaño de picado de forraje para alimento de los rumiantes. La molienda del forraje puede reducir los flujos de metano a nivel del rumen, ya que limita la fermentación de la fibra y la disponibilidad de CO₂ e hidrógeno para que tenga lugar la metanogénesis (Aguilar y Rojas, 2014). Por esto, se podría esperar menores emisiones de metano entérico cuando los forrajes de alimentación son picados de manera fina.

Temperatura ambiental. El estrés por calor tiende a causar efectos negativos en la salud y el funcionamiento de los animales, lo cual se nota en la producción de leche y el bajo rendimiento reproductivo (Polsky y Keyserlingk, 2017). Además, la producción de metano está relacionada con la temperatura ambiental, debido a que la digestibilidad de los alimentos disminuye con el aumento de la temperatura, provocando una pérdida de energía y generando una mayor cantidad de CH₄ (Nonaka et al., 2008). Para disminuir las emisiones de metano producidas por el estrés calórico se propone:

1. Disponer de fuentes de agua. En climas cálidos se recomienda la implementación de fuentes de agua limpia cerca del área de alimentación (Renaudeau et al., 2012). El consumo de agua reduce la temperatura corporal y en época de verano el animal puede consumir 32 litros por día (Arias, Mader y Escobar 2008).

2. Implementar sistemas silvopastoriles. Proveer sombra a los animales en pastoreo puede mitigar los efectos de estrés calórico (Tucker, Rogers y Schütz, 2008) y pueden pastorear por más tiempo al reducir la temperatura corporal en un 22.15% como efecto de la cobertura arbórea, en comparación de una reducción del 17.5%, cuando no hay sombra (Betancourt, Ibrahim, Villanueva y Vargas, 2005). Además, el proveer sombra incrementa la producción de leche en un rango de 10% a 22% en comparación a potreros sin árboles (Villanueva et al., 2009).

4. CONCLUSIONES

- La evaluación de la huella de carbono a nivel organizacional de empresas agroindustriales incluyendo parámetros del proceso productivo, permitió la evaluación del sistema de manera integral, lo que llevó a postular propuestas de mejora sobre los puntos críticos encontrados en los procesos y subprocesos inventariados.
- Los resultados obtenidos corroboran que la fermentación entérica es responsable de la mayor cantidad de emisiones de GEI dentro del proceso de producción de leche, lo cual es un componente importante en el cálculo de la huella organizacional de la Finca María Verónica.
- La demanda de productos derivados de la leche es creciente, lo que aumenta la cantidad de rumiantes causando un mayor aporte de emisiones de GEI. Por tanto, la revisión de estrategias e implementación de dietas alimenticias con plantas forrajeras como el botón de oro, pueden mejorar el proceso de digestibilidad e incrementar la producción de leche y generar menos emisiones de metano a la atmósfera.

5. RECOMENDACIONES

- Calcular las emisiones de metano por fermentación entérica con base en mediciones directas o factores de emisión más ajustados para obtener datos de aporte a la huella de carbono con un mayor de certidumbre, es recomendable.
- Mantener un control detallado de la información correspondiente a la producción ganadera, mediante el empleo de registros y bitácoras, facilita el cálculo y actualización anual de la huella de carbono de la organización.
- Implementar las oportunidades de mejora identificadas en este estudio con el fin de reducir las emisiones de GEI.

6. LITERATURA CITADA

- Agovino, M., Casaccia, M., Ciommi, M., Ferrara, M. y Marchesano, K. (2019). Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28. *Ecological Indicators*, 105, 525–543.
- Aguiar Zalzano, E., y Rojas Bourrillón, A. (2014). Métodos utilizados para reducir la producción de metano endógeno en rumiantes. *Nutrición Animal Tropical*, 8(2), 72–90.
- Aguirre, P. J. (2018). Análisis de la matriz energética ecuatoriana y plan de desarrollo energético sostenible para la ciudad de Machala. Recuperado https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106306/P070408412_TFM_15304976095031077995400793855203.pdf?sequence=2
- Banco de Desarrollo de América Latina CAF. (2016, agosto 19). Los mercados internacionales analizan a sus proveedores según su carga contaminante.se abrirá una nueva convocatoria para que empresas de los sectores de flores, plástico, madera y semillas midan la huella de carbono de sus procesos de producción. Recuperada de <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2016/08/empresas-ecuatorianas-mediran-su-huella-de-carbono-para-ser-mas-competitivas-en-el-exterior/>
- Betancourt, K., Ibrahim, M., Villanueva, C., y Vargas, B. (2005). Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Investigación ganadera para el desarrollo rural*, 17 (7).
- Boadi, D., Benchaar, C., Chiquette, J.,y Massé, D. (2004). Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Revisión. *Canadian Journal of Animal Science. Agricultural Institute of Canada*. 84 (3), 319-335
- Buratti, C., Fantozzi, F., Barbanera, M., Lascaro, E., Chiorri, M., y Cecchini, L. (2017). Carbon footprint of conventional and organic beef production systems: An Italian case study. *Science of the Total Environment*, 576, 129–137.
- Cárdenas, J.A.B y Flores, C.L. (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuaria*, 3(2), 215-246
- Cardona-Iglesias, J. L., Mahecha-Ledesma, L. y Angulo-Arizala, J. (2016). Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 273.

- Carmona, J., Bolívar, D., y Giraldo, L. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 49–63.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2012. Huella de carbono, fuente de oportunidades competitivas para América Latina y el Caribe. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/noticias/huella-carbono-fuente-oportunidades-competitivas-América-Latina-Caribe>
- Galindo, J.N., González, A., Ruíz, V., Torres, A., Díaz, A., O, Moreira., L, Sarduy, y A. Noda. (2011). Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones in vitro. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(1), 33–37.
- Gallego-Castro, L. A., Machena-Ledesma, L., y Angulo-Arizala, J. (2014). Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*, 393–403.
- Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B. and Giljum, S. (2012). Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a “footprint Family” of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological Indicators*, 16, 100–112.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G. (2013). Tackling Climate Change through Livestock-a Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities, first ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Beerling, D., Berner, R., Masson, V. y Zachos, J. (2008). Target Atmospheric CO₂: Where Should Humanity Aim? Cornell University.
- Hörtenhuber, S. J., Lindenthal, T., y Zollitsch, W. (2011). Reduction of greenhouse gas emissions from feed supply chains by utilizing regionally produced protein sources: The case of Austrian dairy production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(6), 1118–1127.
- IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios de gases de efecto Invernadero. Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- Leyva-Corona, J. C., Thomas, M. G., Rincón, G., Medrano, J. F., Correa-Calderón, A., Avendaño-Reyes, L., Luna-Nevárez, P. (2016). Enfriamiento al inicio de verano para mitigar el estrés por calor en vacas Holstein del noroeste de México. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 7(4), 415–429.
- Medina, M., D. García, E. González, L. Cova L, y P. Morantinos. 2009. Variables morfoestructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Trop.* 27(2), 121-131

- Nazly, M., Rojas, G., Arenas, N., y Herrera, V. (2019). Alternativas nutricionales para disminuir emisiones de gas metano por bovinos y su efecto en el calentamiento global. *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias*.
- Nonaka, I., Takusari, N., Tajima, K., Suzuki, T., Higuchi, K., y Kurihara, M. (2008). Effects of high environmental temperatures on physiological and nutritional status of prepubertal Holstein heifers. *Livestock Science*, 113(1), 14–23.
- O’Brien, D., Capper, J. L., Garnsworthy, P. C., Grainger, 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(3), 1835–1851.
- Onodera, R., Itabashi, H., Ushida, K., Yano, H., y Sasaki, Y. (1997). Rumen Microbes and digestive physiology in ruminants. Japan Scientific Societies Press.
- Osuga, I. M., Abdulrazak, S. A., Muleke, C. I., y Fujihara, T. (2012). VPotential nutritive value of various parts of wild sunflower (*Tithonia diversifolia*) as source of feed for ruminants in Kenya. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10(2), 632–635.
- Polsky, L. y von Keyserlingk, MAG (2017). Revisión invitada: Efectos del estrés por calor en el bienestar del ganado lechero. *Journal of Dairy Science*, 100 (11), 8645–8657.
- Powell, J. M., y Rotz, C. A. (2015). Measures of nitrogen use efficiency and nitrogen loss from dairy production systems. *Journal of Environmental Quality*, 44(2), 336–344.
- Protocolo de Gases Efecto Invernadero (WBCSD). Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte.
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Basilio, V., Gourdine, JL y Collier, RJ (2012). Adaptación al clima cálido y estrategias para aliviar el estrés por calor en la producción ganadera. *En Animal*. 6(1), 707–728.
- Rotz, C. A. (2018). Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 101(7), 6675–6690.
- Rotz, C. A. Montes y F. Chianese, D. S. (2010). The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. *Journal of Dairy Science*, 93(3), 1266–1282.
- Sánchez Mora, F. D., Garcés Fiallos, F. R., Vásconez Montúfar, G. H., Vera Chang, J. F., Zambrano Montufar, J., y Ramos Remache, R. (2014). Productividad de clones de cacao tipo nacional en una zona del bosque húmedo tropical de la provincia de los ríos, ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 7(1), 33–41.
- Scripps Institution of Oceanography. (2018). La Curva de Keeling. Recuperado de 2018: <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/2019/06/04/animation-of-keeling-curve-history-updated-to-include-2019-milestone/>
- Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E. A., Bolwig, S. (2014). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 811-922). Cambridge University Press.

- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., y Ludwig, C. (2015). The trajectory of the anthropocene: The great acceleration. *Anthropocene Revision*. SAGE Publications Inc.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., y de Haan, C. (2006). Livestock's long shadow: Environmental issues and options. *Renewable Resources Journal*, 24(4), 15–17
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M. M. B., Allen, S. K., Boschung, J., Midgley, P. M. (2013). Climate change 2013 the physical science basis: Working Group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Vol. 9781107057999, pp. 1–1535). Cambridge University Press.
- Tubiello, F., Córdor-Golec, R., Salvatore, M., Piersante, A., Federici, S., Ferrara, A., Proserpi, P. (2015). Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura. Un manual para abordar los requisitos de los datos para los países en desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura pp.193.
- Tucker, C. B., Rogers, A. R., y Schütz, K. E. (2008). Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Applied Animal Behaviour Science*, 109(2–4), 141–154.
- Vargas, J. (2015). Emisión de metano entérico en sistemas pastoriles: estrategias de reducción con potencial práctico. *Revista U.D.C.A Actualidad Divulgación Científica*, 18(2), 417–424.
- Vergé, X. P. C., Maxime, D., Dyer, J. A., Desjardins, R. L., Arcand, Y., y Vanderzaag, A. (2013). Carbon footprint of Canadian dairy products: Calculations and issues. *Journal of Dairy Science*, 96(9), 6091–6104.
- Villanueva, C., Ibrahim, M., Casasola, F., Ríos, N., y Sepúlveda, C. J. (2009). Sistemas silvopastoriles : una herramienta para la adaptación al cambio climático de las fincas ganaderas en América Central. *Buenas Prácticas Agrícolas Para La Adaptación Al Cambio Climático*, 103–125.
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), y World Resources Institute (WRI). (2004). *A Corporate Accounting and Reporting Standard. Greenhouse Gas Protocol*, 1–116.

7. ANEXOS

Anexo 1. Inventario de GEI.

Finca María Verónica																										
Ubicación	Provincia los Rios, Cantón Quevedo																									
Proceso / subproceso	Equipo/Insumo	Material	Número de animales	kg	Litros	Vida útil (años)	Horas de uso a la semana	Kg de Nitrógeno para fertilizantes	UF	Factor de emision Kg CO ₂ /kWh	Factor de emision kg CO ₂ /L	Factor de emision CO ₂ eq/kg	Factor de Emision Fermentacion Enterica kg CH ₄ cabeza por año	Factor de emision por Gestion de Estiercol kgCH ₄ por cabeza al año	Factor de Emision N ₂ O Gestion de estiercol	Tasa de excrecion N	Potencial de calentamiento Metano	Potencial de calentamiento Nitrogeno	Kg CH ₄ fermentacion enterica	Kg CH ₄ Gestion de estiercol	kg N ₂ O Gestion de estiercol	Emissiones (kg CO ₂)	Unidad			
ENTRADAS																										
Siembra de pastos	Fertilizantes	DAP		500				90				0.01						28	265			1,767857	468.482	kg		
		UREA		500				230				0.01											3,614286	957.79	kg	
	Tractor	Hierro		460			40	10	0.022				1.35										5,382143	0.03	kg	
		Hierro		440			30	10	0.028				1.35												0.04	kg
	Tractor	Hierro		500			30	10	0.032				1.35												0.04	kg
	Combustible	Diesel				2912						2.54													7396	l
Manejo del hato	Animales	Vacas	83	408									65	2	0.02	0.48		166			4648	331.8	4979.8	u/a		
		Vaquillas	62	272										56	1	0.02	0.36				1736	185.9	1921.9	u/a		
		Terneros	19	113										56	1	0.02	0.36				532	57.0	589.0	u/a		
		Toros	1	181										56	1	0.02	0.36					28	3.00	31.0	u/a	
		Vacas	83	408										63	2	0.02	0.48				5229		146412	u/a		
Ordeño	Animales	Vaquillas	62	272									56	1	0.02	0.36				3472		97216	u/a			
		Terneros	19	113										56	1	0.02	0.36				1064		29792	u/a		
		Toros	1	181										56	1	0.02	0.36				56		1568	u/a		
		Vacas	83	408										63	2	0.02	0.48				5229		146412	u/a		
	Equipo de ordeño	Acero inoxidable 15%		0.411			30	21	#####				1.26											0.0000158	kg	
		Plastico 85%		2.32			30	21	#####				2.9											0.0002054	kg	
		Refrigerante 2Kg cada 10 años	404 A		2		10		0.2				3921.9											784.38	kg	
3 Tanques ordeño (1000 litros)	Acero inoxidable		792			30		26.4			1.26											33.26	kg			
Transporte	Camion	Hierro		10400			30	28	0.24			1.35											0.32	kg		
	Combustible	Diesel				3.78			13759.2		2.54												34948.4	l		

Continuación Anexo 1.

Finca María Verónica																							
Ubicación	Provincia los Rios, Cantón Quevedo																						
Proceso/ subproceso	Equipoinsumo	Material	Número de animales	kg	Litros	Vida útil (años)	Horas de uso a la semana	Kg de Nitrógeno para fertilizantes	UF	Factor de emision Kg CO ₂ /kWh	Factor de emision kg CO ₂ /L	Factor de emision CO ₂ eq/kg	Factor de Emision Fermentacion Enterica kg CH ₄ cabeza por año	Factor de emision por Gestion de Estiercol kgCH ₄ por cabeza al año	Factor de Emision N ₂ O Gestion de estiérc	Tasa de excrecion N	Potencial de calentamiento Metano	Potencial de calentamiento Nitrogeno	Kg CH ₄ fermentacion enterica	Kg CH ₄ Gestion de estiércol	kg N ₂ O Gestion de estiércol	Emissiones (kg CO ₂)	Unidad
ENTRADAS																							
Transporte	Camion	Hierro		10400		30	28		0.24			1.35										0.32	kg
	Combustible	Diesel			3.78				13759.2		2.54											34948.4	l
	Refrigerante 2Kg cada 10 años	404 A		2		10			0.2			3921.9										784.4	kg
Infraestructura	Pisos (ordeño) 100m ²	Concreto		47500		80			593.75			0.098										58.2	kg
	Pisos (enfriamiento y oficina) 72m ²	Baldoza		222		30			7.400			13000										96200.0	kg
	Techo (enfriamiento, ordeño, oficina)	Láminas de Zinc		279.5		10			27.95			1720										48074	kg
	Oficina Paredes 12m	Bloques		4860		80			60.75			0.098										6.0	kg
Energía	Energía Total			3000					36000	0.4												14400.0	kg