

**Inventario de gases de efecto invernadero en  
la producción de ganado de carne en la  
Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**

**Lady Mishel Cisneros Gutiérrez**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2018

ZAMORANO  
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

# **Inventario de gases de efecto invernadero en la producción de ganado de carne en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**

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

**Lady Mishel Cisneros Gutiérrez**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2018

# **Inventario de Gases de Efecto Invernadero en la producción de ganado de carne en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**

**Lady Mishel Cisneros Gutiérrez**

**Resumen.** La ganadería es una actividad productiva que influye en el desarrollo rural y urbano de los países. Al ser parte de la dieta diaria, la demanda de carne aumenta conforme al incremento de la población. Esta dinámica influye estrictamente en el impacto ambiental que este genera por el aprovechamiento de los recursos naturales. Este estudio se enfoca en medir la huella de carbono de la producción de ganado de carne en la Escuela Agrícola Panamericana, y proponer estrategias de mitigación para contrarrestar el efecto. La cuantificación de gases de efecto invernadero se realizó aplicando el nivel 2 de la metodología del IPCC para fermentación entérica, gestión de estiércol y la fijación de carbono por manejo de las pasturas durante el periodo 2017-2018. Se realizó un balance de gases obteniendo que 31.52 Ton de CO<sub>2</sub> equivalente sobrepasan la neutralidad de esta unidad productiva. La mayor cantidad de GEI se emiten a través de la fermentación entérica de los animales (49.27%). Las emisiones por gestión de estiércol contribuyen en un 45.46%, en su mayoría la proporción de óxido nitroso liberado. Se estimó que la fijación de Carbono por mantenimiento de tres variedades de pasturas fue de 244.80 Toneladas de CO<sub>2</sub> por año.

**Palabras clave:** Cambio climático, ganadería, huella de carbono, metano.

**Abstract.** Livestock is a productive activity that influences the rural and urban development of the countries. Being part of the daily diet, the demand for meat increases as the population does. This dynamic strictly influences the environmental impact that this generates by the use of natural resources. This study focuses on measuring the foot print carbon of beef cattle production at the Panamerican Agricultural School, and proposing mitigation strategies to counteract the effect. The quantification of greenhouse gases was carried out applying level 2 of the IPCC methodology for enteric fermentation, manure management and carbon fixation through pasture management during the period 2017-2018. A gas balance was performed obtaining that 31.52 Ton of CO<sub>2</sub> equivalent surpasses the neutrality of this productive unit. The greatest amount of GHG is emitted through the enteric fermentation of animals (49.27%). Emissions from manure management contribute 45.46%, mostly the proportion of nitrous oxide released. It is estimated that the carbon fixation for maintenance of three pasture varieties was 244.80 tons of CO<sub>2</sub> per year.

**Key words:** Climate change, carbon footprint, livestock, methane.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros y Figuras .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>4</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>13</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>22</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>23</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>24</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Metodología usada para la caracterización de forrajes.....	6
2. Metodología para la caracterización de estiércol. ....	8
3. Caracterización de hato de ganado de carne, Zamorano. ....	13
4. Distribución del área de pasturas dentro de la Unidad de Ganado de Carne.....	13
5. Caracterización de los pastos tropicales. ....	14
6. Estimación de ingesta de materia seca diaria de pastos por Unidad Animal. ....	15
7. Ingesta diaria de alimento por animal y fuente (MJ/día).....	15
8. Caracterización del estiércol de Ganado de Carne. ....	16
9. Emisiones de CH <sub>4</sub> por fermentación entérica.....	16
10. Emisiones de metano y óxido nitroso por gestión de estiércol. ....	17
11. Rendimiento de pasturas y fijación de carbono en el periodo 2017.....	19
12. Balance de gases de efecto invernadero en la unidad de Ganado de Carne. ....	20
13. Resumen Estrategias de mitigación de emisiones de GEI.....	21

Figuras	Página
1. Mapa de ubicación de la Unidad de Ganado de Carne.....	4
2. Etapas de sistema productivo de Ganado de Carne. ....	5
3. Emisión anual por fermentación entérica por categoría de ganado.....	17
4. Emisiones de tCO <sub>2</sub> eq por gestión de estiércol.....	18
5. Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente de la Unidad de Ganado de Carne. ....	19

# 1. INTRODUCCIÓN

La ganadería es una actividad socio económica que influye en la seguridad alimentaria y el aprovechamiento de los recursos naturales. El incremento de la población en la última década repercute en la necesidad de proteína en la dieta diaria. Este cambio en la demanda muestra que para el 2050 el consumo de productos cárnicos sea el doble exigiendo eficiencia en la producción pecuaria. Por esta razón se introduce la temática de sostenibilidad económica dentro de la misma (Rodríguez y Mance, 2009).

De acuerdo con Murgueitio (s.f.), la producción de ganado bovino es un rubro representativo tanto en la zona rural y urbana. Este genera impactos ambientales significativos en sistemas bióticos y abióticos. El cambio de uso de suelo se ve afectado por la erosión a consecuencia de pastizales repletos de monocultivos (gramíneas) y la reducción de la infiltración por la compactación a causa del sobrepastoreo. La ganadería es responsable del 12% de los gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global. Es por eso que la intensificación de la ganadería para cumplir la futura demanda representa acciones de mitigación con respecto a los efectos del Cambio Climático (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016).

La investigación sobre el impacto ambiental generado por la ganadería se encuentra limitado, ya que las interacciones de la producción dificultan la misma. Existen varios indicadores que analizan la dinámica y plantean un estándar de entendimiento. Durante el 2009, las auditorías de producción ganadera se basaban en los rendimientos económicos y productivos. A partir del 2010, el interés por la sostenibilidad permite el desarrollo de metodologías de evaluación que usan indicadores ambientales como: cuentas verdes, puntos ecológicos, gestión ambiental para agricultura (EMA, por sus siglas en inglés), análisis de ciclo de vida, huella de carbono y huella ecológica (Fernández, 2010).

Las metodologías de evaluación dependen del interés y enfoque de la investigación. Las evaluaciones más detalladas son aquellas que describen el entorno con las características más exactas posibles. En la actualidad, los procesos que son más comunes para evaluar son: el análisis de ciclo de vida de productos, huella ecológica y huella de carbono. La metodología de ciclo de vida basada en las normas internacionales ISO 14040 y 14044 es usada en diferentes rubros, especialmente en la agricultura, detallando de manera esquemática los impactos derivados de un producto (Organización Internacional de Normalización [ISO 14067], 2013). Por otro lado, la huella ecológica evalúa la cantidad de recursos naturales que se requiere para satisfacer las necesidades de la población y asimilar la cantidad de residuos generados (Fernández, 2010).

La huella de carbono es una herramienta que permite la cuantificación de gases de efecto invernadero (GEI). Esta estima la emisión de gases contaminantes a lo largo del proceso productivo, incluyendo actividades directas o indirectas asociadas al ciclo de vida de un producto. La huella de carbono hace referencia al protocolo de cuantificación de gases de efecto invernadero en donde se categorizan los alcances de estudio. El primer alcance considera las emisiones directas del proceso de producción y aquellas generadas por el consumo de combustibles fósiles, principalmente transporte y fertilizantes. El segundo alcance se refiere a las emisiones indirectas generadas en relación al consumo energético. Por último, el tercer alcance expone las emisiones indirectas que son parte de la producción pero son independientes de la misma, como el transporte de los trabajadores hacia el lugar de producción (Frohmann y Olmos, 2013).

La variación climática es fundamental para la producción pecuaria, disturbios en la misma incrementan la incertidumbre en los estudios relacionados en huella de carbono para este ámbito. Para mayor entendimiento de la dinámica productiva el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC] (2006), desarrolló la metodología para el cálculo de emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol. Al ser más específico permite reconocer las fuentes de generación de metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) considerando características de dietas alimentarias y manejo del hato.

El IPCC en su metodología de cuantificación de GEI provenientes de la gestión del ganado y estiércol comprende tres niveles de investigación. El primer nivel muestra datos generales de la producción donde se toma en cuenta factores de emisión previamente calculados por la sociedad científica. Para el nivel 2, los datos se recopilan de manera más específica, contando con diferentes variables como: épocas climáticas, dietas alimenticias, y manejo de pasturas y estiércol. Por último, el nivel 3 se basa netamente en generar información local, en los cuales se usan aparatos tecnológicos para mediciones como sensores de metano o cámaras de respiración calorimétricas (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2006).

El resultado de la cuantificación de los gases de efecto invernadero se expresa en toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>. El dióxido de carbono se considera el gas de referencia por su abundancia en la atmósfera. Los reportes internacionales muestran la proporción de cada gas y se manifiesta el poder de radiación y el tiempo en que la molécula se mantiene en la atmósfera, esta característica se conoce como Potencial de Calentamiento Global. (Espíndola y Valderrama, 2011). El IPCC en el 2013 estableció que el poder calorífico para el metano es 28 veces más poderoso que el dióxido de carbono y el óxido nitroso 310 veces.

En el 2013 Cederberg, Henriksson y Berglund indicaron que el gas de mayor importancia en el enfoque pecuario es el metano. La fermentación entérica que se genera en el interior de los rumiantes representa el 75% de las emisiones totales de un sistema ganadero. Por otra parte la gestión de estiércol es responsable de menos emisiones de metano pero se incluye la producción de óxido nitroso (Hrisotv et al., 2013).

Beltrán, Álvarez, Rodríguez y Contreras (2016), señalan que las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan en un hato ganadero dependen de la categoría animal y está estrechamente relacionada con la calidad de los forrajes que reciben como alimento.

Durante el estudio se reflejó que la mayor emisión se mantiene en categorías de ganado maduro con  $51.3 \pm 11.7$  CH<sub>4</sub> kg año/cabeza, relacionada con la ingesta diaria de materia seca. En el estudio de Stackhouse- Lawson, Rotz, Oltjen y Mitloehner (2015) se usó el sistema integrado Modelo de Sistema de Granja (ISFM) para estimar GEI y amonio en la producción, se encontró que las vacas y terneras poseen el 72% de las emisiones totales por la etapa de producción de leche, mientras que los novillos representaron el 7% de las mismas.

En el 2014 se realizó una investigación sobre la huella de carbono en el ciclo productivo de productos cárnicos. La metodología empleada reporta las emisiones de GEI por kilogramo de materia seca de carne disponible para consumo humano. Dentro de los objetivos se consideró la producción primaria, procesos de transformación, transporte, cambio de uso del suelo y la dinámica de carbono en el mismo. Los resultados de la investigación hacen referencia a la dinámica de cada tipo de producción pecuaria y la relevancia del suelo dentro de la misma (Mogensen, Kristensen, Nguyen, Knudsen y Heransen, 2014).

La producción ganadera en Zamorano se ramifica en el ámbito lechero y cárnico. Dentro de cada rama se ha demostrado la eficiencia productiva, obteniendo altos rendimientos. La producción de ganado de carne se enfoca en el mejoramiento genético, teniendo en consideración la venta de machos ejemplares provenientes de la raza Brahman. La investigación dentro de este campo se ha enfocado en el aumento de productividad, pero aún se desconoce a detalle de los impactos que este genera.

Zamorano con el objetivo de mejorar su desempeño ambiental, ha iniciado con la estimación de indicadores de desempeño que implusen la mejora continua. Se cuenta con dos estimaciones aplicando la metodología del nivel 1 para el cálculo de la huella de carbono corporativa. Los resultados obtenidos fueron de 632.99 y 608.22 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente para el 2015 y 2017, respectivamente.

Considerando que Zamorano ha estimado sus emisiones corporativas de GEI siguiendo la metodología del IPCC y que la unidad de ganado de carne se incluyó en ambas ocasiones, para el desarrollo de esta investigación se plantean los siguientes objetivos:

- Cuantificar las emisiones generadas por fermentación entérica y gestión de estiércol, comparando con resultados obtenidos en la huella de carbono calculada para Zamorano en el año 2015 y 2017.
- Estimar la captura de CO<sub>2</sub> en el cultivo de pastos
- Estimar el balance de gases de efecto invernadero dentro de la Unidad de ganado de carne.
- Proponer estrategias de mitigación al cambio climático con base a la emisión de GEI.

## 2. METODOLOGÍA

### Área de estudio.

El desarrollo del estudio se realizó en el área destinada para producción de ganado de carne de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano en San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras a 1,100 msnm (Figura 1). El área de pastoreo asignado a la producción de carne es de 157.49 ha. La temperatura promedio anual de 24 °C, con precipitación de 1,100 mm.

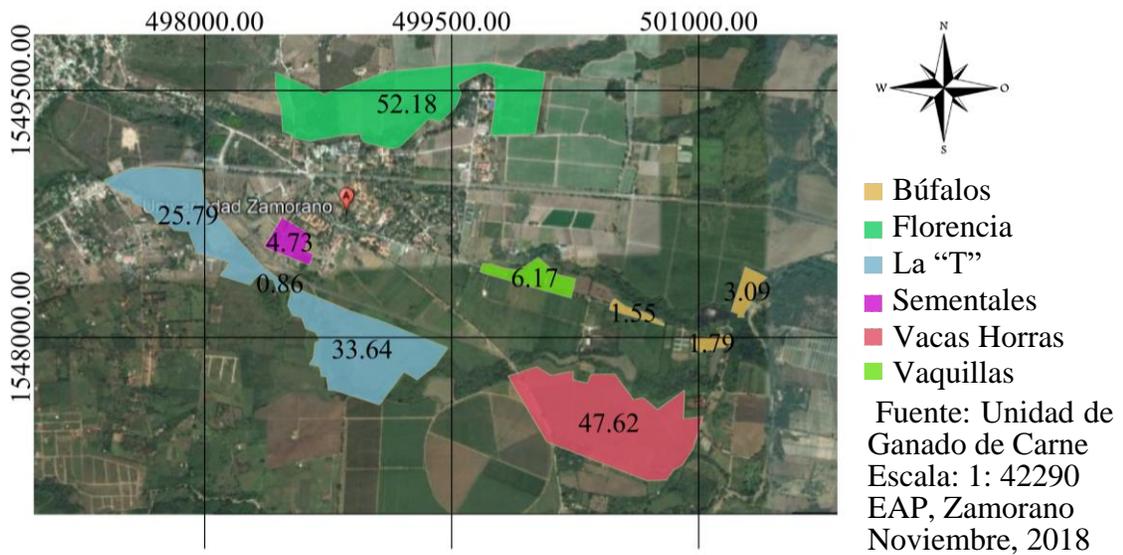


Figura 1. Mapa de ubicación de la Unidad de Ganado de Carne. Elaboración propia

### Identificación de fuentes de GEI.

Para la estimación de GEI se consideraron las emisiones directas e indirectas de la producción, como el hato y la cobertura superficial (Figura 2). El hato involucra el proceso de fermentación entérica y la gestión de residuos. Con respecto a la cobertura superficial se tomó en cuenta el área de pasturas 2017-2018.

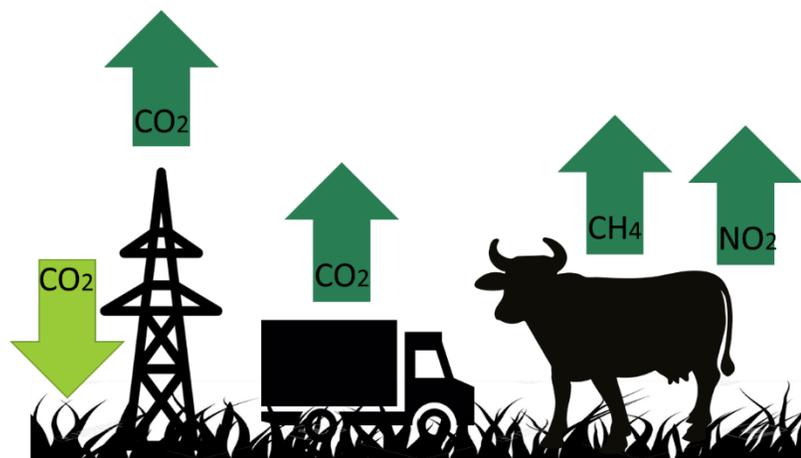


Figura 2. Etapas de sistema productivo de Ganado de Carne. Elaboración propia

### **Caracterización del hato ganadero.**

La recolección de información se realizó en la unidad de ganado de carne de Zamorano, la cual cuenta con inventarios del hato, actualizados de forma periódica mediante el software Vampp bovino<sup>®</sup>. Para fines de esta investigación se utilizó la cuantificación mensual de animales correspondiente al año 2017. La información dentro del software se encuentra organizada de acuerdo a la fecha de nacimiento y sexo de cada animal clasificándolo por lote de manejo. Para estandarizar la estimación se consideró el último pesaje actualizado del mes de septiembre del año 2018.

### **Caracterización del área de pastura.**

La producción de ganado de carne en Zamorano posee 157.49 hectáreas destinadas al pastoreo rotacional intensivo. Durante el año 2017 esta técnica permitió tener un manejo de pasturas disponibles para alimentación, en la cual los animales clasificados por edad productiva rotan cada 2 o 3 días en los diferentes pastos. El sistema consiste en alimentar el ganado, siempre y cuando la regeneración del pasto no se vea afectado. Para la medición del área se georeferenciaron los potreros y se analizaron con ayuda del software de Sistemas de información geográfica QGIS. Dentro del software se caracterizó las pasturas por medio de máscaras de polígonos, clasificando el uso de suelos por tipo de pasto y se determinó el área de cada potrero.

### **Caracterización de la dieta.**

**Caracterización de forrajes.** Las pasturas usadas en la alimentación de ganado de carne proporcionan los nutrientes necesarios para suplir la demanda requerida por cada animal. Para efecto del estudio se consideró la producción de biomasa forrajera, por lo cual se aforó un potrero por cada dieta de pasto suministrado. Se estimó la biomasa por peso de materia fresca en 5 muestras de un metro cuadrado por cada potrero en rotación. Los puntos de muestreo fueron georeferenciados y elegidos de manera aleatoria. El corte del pasto se realizó a 25 cm de altura considerando el consumo de los animales en potreros anteriores.

La cosecha se pesó en campo obteniendo las libras de materia fresca con la balanza Defender 3,000 de marca Ohaus. Posteriormente, se tomó una muestra compuesta del forraje a partir del peso de las muestras simples. Las muestras rotuladas se trasladaron en bolsas plásticas al laboratorio de Bioenergía del Departamento de Ambiente y Desarrollo de Zamorano.

Dentro del laboratorio (Cuadro 1) las muestras se cortaron de manera homogénea en pedazos de 1 cm aproximadamente. Se pesó 100 gramos de cada muestra triturada y se sometió a un pre secado durante 12 horas a 60 °C. Al terminar el pre secado, se registró el peso de la humedad removida. Para analizar la materia seca presente se colocó 5 gramos de la muestra anterior en crisoles para permanecer 12 horas a 105 °C. Por último, se estimó los sólidos volátiles a 600 °C durante dos horas. El valor de energía digerible de pastos se consultó en revisión bibliográfica de estudios previos de Ortega et al. (2015) y Villalobos y Arce (2014).

Cuadro 1. Metodología usada para la caracterización de forrajes.

<b>Análisis Proximal</b>	<b>Descripción</b>	<b>Norma</b>
Humedad Residual	60 °C por 12 horas y aplicación de ecuación 1	ASTM D3173
Material Volátil	540E. Fixed and Volatile Solids Ignite at 550 °C y Ecuación 2	ASTM D3175

A continuación, se muestran las ecuaciones 1 y 2 para los cálculos en el laboratorio:

$$HR = \frac{MH - MS}{MH} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

HR = Humedad residual (%)

MH = Masa Húmeda (g)

MS = Masa Seca (60°C por 12 h)

$$SV = \frac{(A - D)}{(A - B)} \times 100 \quad [2]$$

Donde:

SV = Sólidos Volátiles (%)

A = Peso del residuo seco (g) + Peso del recipiente (g)

B = Peso del recipiente (g)

C = Peso de la muestra fresca (g) + Peso del recipiente (g)

D = Peso del residuo (g) + peso del recipiente después de la ignición (g)

**Determinación de humedad.** La humedad se calculó en dos fases. La primera con el pre secado en el horno a 60 °C, donde se registró la pérdida de peso por la pérdida de agua (H1) con la ecuación 3. La segunda fase considera el análisis de humedad residual (Cuadro 1). La humedad total se calculó con la ecuación 4. Para la estimación de materia seca de cada pasto se utilizó la diferencia entre 100 y el porcentaje de agua determinado en la categorización anterior.

$$H1 = \frac{MH - MA}{MH} \times 100 \quad [3]$$

Donde:

H1 = Humedad calculada después del pre secado (%)

MH = Masa Húmeda (gr)

MA = Masa Seca (pre secado, 10 horas por 3 días)

$$H = H1 + HR \quad [4]$$

Donde:

H = Humedad total (%)

H1 = Humedad calculada después del pre secado (%)

HR = Humedad residual (%)

**Estimación de la ingesta diaria de alimento.** Se estimó la ingesta de materia seca por metro cuadrado a partir del aforo de pastos. Se realizó mediciones pre y pos pastoreo en cada potrero de rotación, respondiendo al consumo de cada tipo de pasto. El cálculo de la estimación se consideró de la resta entre el pasto disponible antes del pastoreo y el rechazo, considerando el área del potrero georeferenciado con anterioridad (ecuación 5).

$$IA = \frac{(MF_1 - MF_2) \times 10000 \times A}{UA \times D} \times MS \quad [5]$$

Donde:

IA = Ingesta diaria de pastos (kg de MS/UA\*día)

MF<sub>1</sub> = Materia fresca pre pastoreo (kg/m<sup>2</sup>)

MF<sub>2</sub> = Materia fresca pos pastoreo (kg/m<sup>2</sup>)

A = Área del potrero muestreado (ha)

UA = Número de unidades animales

D = Periodo de pastoreo (días)

MS = contenido de materia seca (%)

Dentro de la dieta alimenticia también se consideró el suministro de alimento concentrado y ensilaje de maíz. Los datos de ingesta diaria, porcentaje de proteína y aporte energético de cada alimento se obtuvieron de entrevistas especializadas con el personal encargado de la unidad.

Los cálculos de acuerdo a la metodología recomendada por el IPCC consideran la ingesta diaria de alimento para cada categoría para lo cual se consideró el contenido nutricional de los pastos, alimento concentrado y ensilaje. La ingesta diaria en (MJ/día) se obtuvo a partir de la ecuación 6:

$$\text{Ingesta diaria} = \text{ED} \times \text{IA} \quad [6]$$

Donde:

Ingesta diaria = MJ/día

ED = Energía digerible de cada alimento (MJ/kg de MS)

IA = kg de materia seca consumida por día

### **Estimación y caracterización de la producción diaria de estiércol.**

Se realizó un muestreo simple de estiércol fresco de los lotes representativos de ganado, recolectando 100 gramos de muestra en una bolsa con cierre hermético que posteriormente fue trasladada a laboratorio para analizar los sólidos totales y volátiles. En el Cuadro 2 se muestra los análisis que se realizaron para la caracterización del estiércol.

Cuadro 2. Metodología para la caracterización de estiércol.

<b>Parámetros</b>	<b>Método</b>	<b>Referencias</b>
Sólidos Totales (ST)	2540. Total solids dried at 103-105 °C	APHA, 2005
Sólidos Volátiles (SV)	2540E. Fixed and Volatile Solids Ignite at 550 °C	APHA, 2005

La estimación de la cantidad de estiércol producido por día se basa en el estudio de Nennich et al. (2005) en la que se considera la ingesta de materia seca consumida por los animales en un día (ecuación 7).

$$\text{ME} = [\text{DMI} \times 2.63] + 9.4 \quad [7]$$

Donde:

ME = excreción total de estiércol (kg/día)

DMI = ingesta de materia seca (kg MS/día)

### **Emisiones por fermentación entérica.**

Las emisiones son específicas para cada categoría de ganado dentro de la producción, considerando dieta en pasturas. Las emisiones totales se calculan a partir de la ecuación 8.

$$FE_{CH_4} = \left( \sum FE_T \times N_T \right) \times \frac{21}{1000} \quad [8]$$

Donde:

$FE_{CH_4}$  = Emisiones de CO<sub>2</sub> por fermentación entérica (Ton CO<sub>2</sub> equivalente/año)

$FE_{(T)}$  = Factor de emisión para la población de ganado definida (kg CH<sub>4</sub>/cabeza × año)

$N_{(T)}$  = Cantidad de cabezas de ganado

T = Categoría de ganado

El cálculo del factor de emisión considera la conversión de la energía del alimento en metano (Y<sub>m</sub>) dentro del organismo animal. Para la investigación se adoptó a partir del coeficiente predeterminado del IPCC, el cual tiene un valor de 5.5 por la calidad del alimento suministrado en Zamorano.

$$FE = \left[ \frac{\text{Ingesta diaria} \times \frac{Y_m}{100} \times 365}{55.65} \right] \quad [9]$$

Donde:

Ingesta diaria = Consumo de pasto por día (MJ/día)

Y<sub>m</sub> = Conversión de metano (IPCC, 2006)

### **Emisiones por gestión de estiércol de GEI.**

**Emisiones de metano (CH<sub>4</sub>).** A partir de los valores de excreción diaria, sólidos totales, sólidos volátiles y la caracterización del hato, es posible calcular las emisiones de CH<sub>4</sub> del manejo de estiércol. Para esto se consideró la ecuación 10.

$$GR_{CH_4} = \left( \sum FE_T \times N_T \right) \times \frac{21}{1,000} \quad [10]$$

Donde:

$GR_{CH_4}$  = Emisiones de CO<sub>2</sub> por gestión de residuos (Ton CO<sub>2</sub> equivalente/año)

$EF_{(T)}$  = Factor de emisión para la población de ganado definida, kg CH<sub>4</sub>/cabeza × año

$N_{(T)}$  = Cantidad de cabezas de ganado

T = Categoría de ganado

21 = Poder calorífico del metano

El factor de emisión para gestión de estiércol se consideró a partir de la metodología del IPCC (2006). A continuación, se detalla la ecuación 11 que se usó para el cálculo.

$$EF = (DM_E \times 365) \times \left[ Bo \times 0.67 \times \sum \frac{MCF}{100} \times MS \right] \quad [11]$$

Donde:

EF = Factor de emisión anual de CH<sub>4</sub> para la población de ganado (kg CH<sub>4</sub>/animal\*año)

DM<sub>E</sub> = Materia Seca Excretada (kg/día)

Bo = Capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg de VS excretados) (América Latina: 0.1)

0,67 = factor de conversión de m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> a kilogramos de CH<sub>4</sub> (kg/m<sup>3</sup>)

MCF = factores de conversión de metano para cada sistema de gestión del estiércol por región climática. (Pastura: 1.5%)

MS = Fracción del estiércol del ganado de la categoría manejado usando el sistema de gestión de desechos en la región climática, sin dimensión

La materia seca que se excreta por día por animal se calculó con la regresión de Nennich et al. (2005), donde se considera la ingesta de materia seca (kg de MS/día) (ecuación 12).

$$DM_E = [DMI \times 0.393] \quad [12]$$

Donde:

DME = tasa de excreción por día

DMI = Ingesta de Materia seca kg MS/día

**Emisiones de Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) directa.** Las emisiones de N<sub>2</sub>O están relacionadas al volumen de heces y orina producidos por los animales. Para el estudio se consideró que no se tiene ningún manejo de estiércol y todo se suministra en los pastizales. El factor de emisión de N<sub>2</sub>O de la unidad se estimó a partir de la ecuación 13, donde se considera la tasa anual de excreción de cada animal en el año de estudio (IPCC, 2006).

$$GR_{N_2O} = \left( [(N_t \times Nex_T \times MS_{(T,S)}) \times EF_s] \times \frac{44}{28} \right) \times \frac{310}{1000} \quad [13]$$

Donde:

GR<sub>N<sub>2</sub>O</sub> = Emisiones directas de CO<sub>2</sub> equivalente debidas al manejo del estiércol Ton CO<sub>2</sub> equivalente/año

N<sub>t</sub> = Número de animales

N<sub>ex</sub> = Valor promedio de excreción de N por animal (kg N/animal),

MS = Fracción de la excreción total de nitrógeno de los animales

FE<sub>(s)</sub> = Factor de emisión para emisiones directas de N<sub>2</sub>O del sistema de manejo del estiércol (kg N<sub>2</sub>O-N/ kg N). Sin tratamiento, solo pasturas (0.02).

44/28 = es la conversión de emisiones de N<sub>2</sub>O-N (me) a emisiones de N<sub>2</sub>O (me)

310 = Poder calorífico del óxido nitroso

$$N_{exT} = N_{ingesta} \times (1 - N_{retención}) \quad [14]$$

Donde:

N ingesta = ingesta anual de nitrógeno por cabeza animal (kg N/animal × año)

N retención = fracción de la ingesta anual de nitrógeno retenida por el animal  
(Valor por defecto: 0.07)

$$N_{Ingesta} = \frac{N}{UA} \quad [15]$$

Donde:

N ingesta = ingesta anual N por cabeza animal (kg N/animal × año)

N = kilogramos de Nitrógeno anual suministrado en la dieta

UA = Unidades animales durante el año 2017

Las emisiones de CO<sub>2</sub> se calcularon considerando el poder de calentamiento respectivo a cada gas contaminante y estimando en Toneladas para un mejor entendimiento.

#### **Emisiones por consumo de combustibles fósiles.**

La estimación de las emisiones por consumo de combustibles fósiles se concentra en la utilización de medios de transporte dentro de la unidad. Para determinar el consumo de combustible de los vehículos se consideró el inventario de consumo de gasolina de Planta Física de Zamorano, obteniendo los galones totales de los vehículos registrados para la unidad. Para la cuantificación (ecuación 16) se usó el factor de emisión del IPCC (2006) 2.33 kg CO<sub>2</sub>/ L de gasolina.

$$EC = \left( \frac{\sum \text{combustible} \times FE}{1000} \right) \quad [16]$$

Donde:

EC = Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por año

Combustible = Consumo de combustibles (litros/año)

FE = Factor de emisión (2.33 kg CO<sub>2</sub>/ L)

#### **Emisiones por consumo energético.**

El factor de emisión para el consumo energético se consideró a partir de la red eléctrica de Honduras. Para la cuantificación (ecuación 17) del consumo se estimó los aparatos electrónicos dentro de la unidad y se recabó información técnica de los mismos.

$$ECE = \sum \text{consumo energético} \times FE \quad [17]$$

Donde:

ECE = toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por año

Consumo energético = kWh/año

FE = 0,63 ton CO<sub>2</sub>/MWh.

### **Fijación de carbono en las pasturas.**

Con base a la metodología de Adams et al. (1951) (ecuación 18) el contenido de carbono de un ingrediente se estima con el porcentaje de sólidos volátiles (ecuación 2).

$$\text{Carbono (\%)} = \frac{\%SV}{1.8} \quad [18]$$

Donde:

%SV = Sólidos volátiles de las pasturas

La producción de biomasa aérea y la fijación de carbono (Ecuación 19) se estima con el aforo pre y pos pastoreo dentro de las parcelas de cada pasto y se extrapola para una hectárea.

$$FC = (MF_1 - MF_2) \times 10 \times \% \text{ Carbono} \times 3.66 \quad [19]$$

Donde:

FC = Toneladas de Carbono fijado por hectárea

MF<sub>1</sub> = Pasto ofrecido (kg/m<sup>2</sup>)

MF<sub>2</sub> = Pasto rechazado (kg/m<sup>2</sup>)

### **Balance de Gases de Efecto Invernadero GEI.**

Después de haber analizado las fuentes de GEI y la fijación de carbono en el área de producción el balance de GEI representa la diferencia entre las emisiones totales de CO<sub>2</sub> equivalente y la cantidad de Carbono fijado en las pasturas. Este valor puede ser referencia para establecer estrategias de mitigación al cambio climático.

$$GEI = (FE_{CH_4} + GR_{CH_4} + GR_{N_2O} + EC + ECE) - FC \quad [20]$$

Donde:

FE<sub>CH<sub>4</sub></sub> = tCO<sub>2</sub>eq de la fermentación entérica

GR<sub>CH<sub>4</sub></sub> = tCO<sub>2</sub>eq del metano de la gestión de residuos

GR<sub>N<sub>2</sub>O</sub> = tCO<sub>2</sub>eq del óxido nitroso de la gestión de residuos

EC = tCO<sub>2</sub>eq del consumo de combustibles fósiles

ECE = tCO<sub>2</sub>eq del consumo energético

FC = tCO<sub>2</sub>eq de la fijación de carbono en la biomasa aérea de pasturas

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Características del hato ganadero.

Las características de la finca se concentran en la dieta alimentaria y el manejo del ganado que se mantuvo durante el año 2017. Los animales durante este periodo se alimentaron con pastos, alimento balanceado y ensilaje. El manejo del hato se categorizó en gran parte por edad productiva. En el Cuadro 3 se muestra cada lote de manejo, peso vivo promedio, número promedio de animales, y Unidades Animales, respectivamente. Las unidades animales dentro de la unidad para planificación de dieta y manejo son de 450 kg de peso vivo.

Cuadro 3. Caracterización de hato de ganado de carne, Zamorano.

Categoría	Peso Promedio	Población promedio anual	Unidad animal
Vaca	536.72	136	162
Semental	396.55	13	11
Vaquilla	409.05	43	39
Vaquilla de remplazo	409.05	49	44
Toretas	187.19	38	16
Becerro lactante	92.47	58	12
Becerra lactante	100.03	47	10
Total			295

#### Caracterización del área de pasturas.

La unidad de Ganado de Carne posee 157.49 hectáreas de pasturas bajo rotación de potreros intensivo. Estos pertenecen a la familia Poaceae del género *Panicum* y *Cynodon*. En el Cuadro 4 se muestra la proporción de cada pasto en el área total de cobertura superficial, estableciendo que la mayor es correspondiente a *Panicum maximun cv. Mombaza* (62.28%) seguido del pasto *Cynodon nlemfuensis* (32.80%) y por último la especie mejorada *Tobiatá* (4.90%).

Cuadro 4. Distribución del área de pasturas dentro de la Unidad de Ganado de Carne.

Tipo de pasto	Área (ha)	Porcentaje (%)
<i>Panicum maximun cv. Tobiatá</i>	7.72	4.90
<i>Panicum maximun cv. Mombaza</i>	98.10	62.28
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	51.67	32.80

La alimentación del ganado se basó en las pasturas disponibles para el periodo en estudio, alimento balanceado y ensilaje. Las características de los pastos se evaluaron en laboratorio evidenciando el contenido de materia seca, material volátil y carbono fijo, respectivamente. El contenido de materia seca es la base para establecer la dieta alimenticia del ganado, y en pasturas tropicales se encuentra en un rango de 20 a 30%.

En la caracterización del estudio (Cuadro 5) se muestra que el pasto Estrella (*Cynodon n.*) posee mayor cantidad de materia seca, seguido de los pastos de especie *Panicum*. El contenido de materia seca se encuentra dentro del rango estándar (Muñoz, Huerta, Lara, Rangel y de la Rosa, 2016), aunque es mayor al reportado por Torres (2015), que relaciona la influencia de la temperatura atmosférica durante los muestreos. Además se considera que la maduración de los pastos incide en el aumento de lignina en las paredes celulares, e influye en el aumento de materia seca (Francesa, 2017). En el caso de los pastos *Panicum* se encuentran dentro del rango de producción siendo especies mejoradas que se implementaron para alimentación del ganado.

El material volátil esta relacionado con el contenido de cenizas que se encuentra en la biomasa y el porcentaje de carbono que se mantiene dentro de la misma. La energía digerible de cada pasto se consideró apartir de estudios recientes, estableciendo que el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) posee mayor cantidad de energía por kilogramo de materia seca, en comparación con la variedad *Panicum*.

Cuadro 5. Caracterización de los pastos tropicales.

Tipo de Pasto	Análisis Proximal			
	Materia seca (%)	Material volátil (%MS)	Carbono fijo (%MS)	Energía digestible (MJ/kg MS)
<i>Panicum maximun cv. Tobiata</i>	19.77	88.09	48.94	8.67
<i>Panicum maximun cv. Mombaza</i>	20.10	88.24	49.02	8.67
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	24.23	92.13	51.19	11.35

Ortega et al. (2015) y Villalobos y Arce (2014)

**Estimación de ingesta diaria:** La ingesta diaria de materia seca (MS) de alimentos se consideró a partir del aforo realizado en los pastos y la entrevista a los encargados de la unidad sobre la dieta complementaria (balanceado y ensilaje). El consumo de pasto se tomó apartir del área, días de uso, y la unidades animales presentes en cada potrero durante el muestreo (Cuadro 6). Además, el consumo se categorizó por lote donde se asignó la dieta con pasto Tobiata a las vaquillas, Mombaza para vacas maduras y *Cynodon* para los machos, sementales y toretes. La ingesta de alimento balanceado se suministró a la población con mayor edad (vacas, sementales, vaquillas y toretes). Se dota de ensilaje al lote de vaquillas y vaquillas de reemplazo (3 kg/día × UA) junto a sementales y toretes (4.5 kg/día × UA).

El consumo de materia seca recomendado es 2.5% del peso vivo de cada animal e indica el potencial nutricional de la dieta y su repercusión en la ganancia de peso de cada animal. (Programa de Extensión Agrícola y Ganadera, 2017). Durante el estudio se asumió que los becerros machos y hembras ingieren el 1.8% de su peso vivo en materia seca de pastos, sin contar el consumo de leche materna.

En el Cuadro 6 se muestra que el pasto con mayor consumo de MS fue el Mombaza, ya que su área es mayor, tuvo un periodo de días de uso mayor, y el número de unidades animales durante el muestreo fue menor al promedio diario en el 2017 (106 UA). La disponibilidad de estos pastos es mayor ya que la rotación dentro de los potreros se encuentra variante en cuanto a los días de ocupación y área para cada lote. Por otro lado, el pasto *Tobiatá* y *Cynodon* cumplen con la rotación de potreros ya que estos se encuentran divididos con cercas fijas, evitando la incertidumbre de las cercas móviles como es el caso del pasto *Mombanza*.

Cuadro 6. Estimación de ingesta de materia seca diaria de pastos por Unidad Animal.

Tipo de Pasto	Área (ha)	UA	Días de uso	Consumo de MS*
<i>Panicum maximun cv. Tobiatá</i>	0.17	32	2	1.22
<i>Panicum maximun cv. Mombaza</i>	1.39	57	4	6.58
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	0.51	75	2	2.02

\*Materia seca (kg de MS/día)

Para la estimación de la emisión de los gases de efecto invernadero se usó el factor de emisión con base en la ingesta diaria considerando el aporte energético (MJ/día). Este contenido se obtuvo del consumo de materia seca y la energía digestible de cada pasto y dieta complementaria. Como se muestra en el Cuadro 7 la mayor ingesta de energía se da en los animales maduros como vacas y sementales. El lote de vacas tiene mayor contenido de ingesta ya que la mayoría de su dieta se basa en pasto, al contrario del lote de sementales que mantienen una ingesta mayor en la dieta complementaria.

Cuadro 7. Ingesta diaria de alimento por animal y fuente (MJ/día).

Categoría hato	Fuente de alimentación			Total
	Pasto	Concentrado	Ensilaje	
Vaca	57.01	4.52	0.00	61.52
Semental	22.96	6.02	6.30	35.29
Vaquilla	10.61	4.52	4.20	19.33
Vaquilla de remplazo	10.61	4.52	4.20	19.33
Toretas	22.96	6.02	6.30	35.29
Becerro lactante	14.38	0.00	0.00	14.39
Becerra lactante	15.60	0.00	0.00	15.60

### Caracterización del estiércol.

La caracterización de estiércol se realizó para calcular el factor de emisión de metano en la gestión del mismo. Los resultados de sólidos volátiles y tasa de excreción se muestran en el Cuadro 8. La tasa de excreción se basa en la tasa de ingesta diaria por lo que en el caso de vaquillas y sementales se encuentran en el rango reportado por Koelsch (2015). Por otro lado el porcentaje de sólidos volátiles en vacas y sementales se asemeja al estudio realizado por Carlín (2015) donde se analizó el estiércol de vacas maduras productoras de leche.

Cuadro 8. Caracterización del estiércol de Ganado de Carne.

Categoría de ganado	Tasa de Excreción (kg/día)	Sólidos Totales (%)	Sólidos volátiles (%)
Vaquillas	23.90	21.18	82.62
Vacas	30.09	13.97	82.07
Sementales	31.08	13.74	82.19

### Emisiones por fermentación entérica.

En el Cuadro 9 se muestra las emisiones de metano por día de las unidades animales presentes en cada lote de manejo. Las emisiones reportadas en esta investigación fueron menores a las reportadas por Hassán (2011), ya que la dieta alimenticia que asume el autor complementa el 2.5% del peso vivo de cada animal.

Cuadro 9. Emisiones de CH<sub>4</sub> por fermentación entérica.

Categoría de ganado	kg CH <sub>4</sub> /año
Vaca	3,016
Semental	165
Vaquilla	300
Vaquilla de remplazo	339
Toretas	478
Becerro lactante	301
Becerra lactante	263
Total	4,862

Las emisiones más altas fueron por el ganado maduro (Figura 3), como las vacas (100.74 Ton CO<sub>2</sub>/año) y vaquillas de reemplazo (8.62 Ton CO<sub>2</sub>/año); esto coincide con el estudio de Mora (2001) en el que se relaciona el consumo de materia seca. A mayor cantidad de materia seca consumida por parte del ganado mayor son las emisiones de metano que se expulsan a la atmósfera.

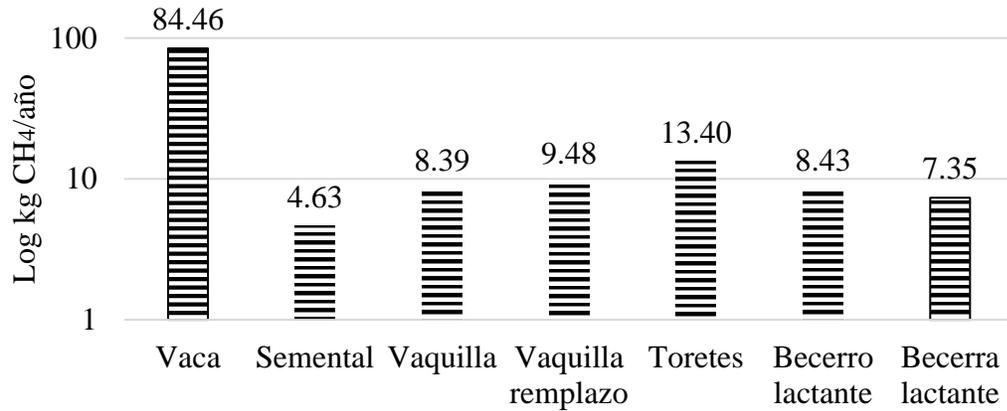


Figura 3. Emisión anual por fermentación entérica por categoría de ganado.

### Emisiones por gestión de estiércol.

La estimación de las emisiones de la gestión de estiércol considera el manejo que se le da al mismo. Para este caso las emisiones fueron reducidas (Cuadro 10) en cuanto a metano y óxido nitroso, ya que el estiércol no tiene un manejo considerado, sino que es parte de la atmósfera desde que es depositado en las pasturas. El comportamiento de la emisión de metano por categoría es similar al de la fermentación entérica, ya que el cálculo se realiza con base a la ingesta diaria de materia seca y la tasa de excreción. De esta manera los valores son altos en la categoría vaca y vaquilla de remplazo.

Las menores emisiones de GEI son producidas por los terneros ya que su dieta se basa en leche materna y el 1.8% de pasto hasta llegar a los 8 meses. En la estimación del óxido nitroso se consideró la ingesta de nitrógeno en cada dieta, contando con el contenido de proteína de cada tipo de pasto, alimento balanceado y ensilaje. Además, para este cálculo se tomó en cuenta, la cantidad de urea que entra en la unidad para elaborar bloques nutricionales.

Cuadro 10. Emisiones de metano y óxido nitroso por gestión de estiércol.

Categoría de Ganado	Total kg CH <sub>4</sub> /año	Total kg NO <sub>2</sub> /año
Vaca	29.71	197.27
Semental	2.93	18.96
Vaquilla	7.47	43.56
Vaquilla de remplazo	8.43	49.21
Toretos	8.48	54.80
Becerro lactante	5.80	18.98
Becerra lactante	4.79	16.30
Total	67.62	399.07

En la Figura 4 se reportan las emisiones anuales del ganado por gestión de residuos en Toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>. El mayor rango de emisiones se concentra en el ganado maduro semejante al reportado por (Mora, 2001). En la gráfica se puede observar que el manejo de estiércol se debe concentrar en el contenido de nitrógeno que este tenga, ya que es el más perjudicial, no por cantidad sino por el poder de calentamiento que contiene.

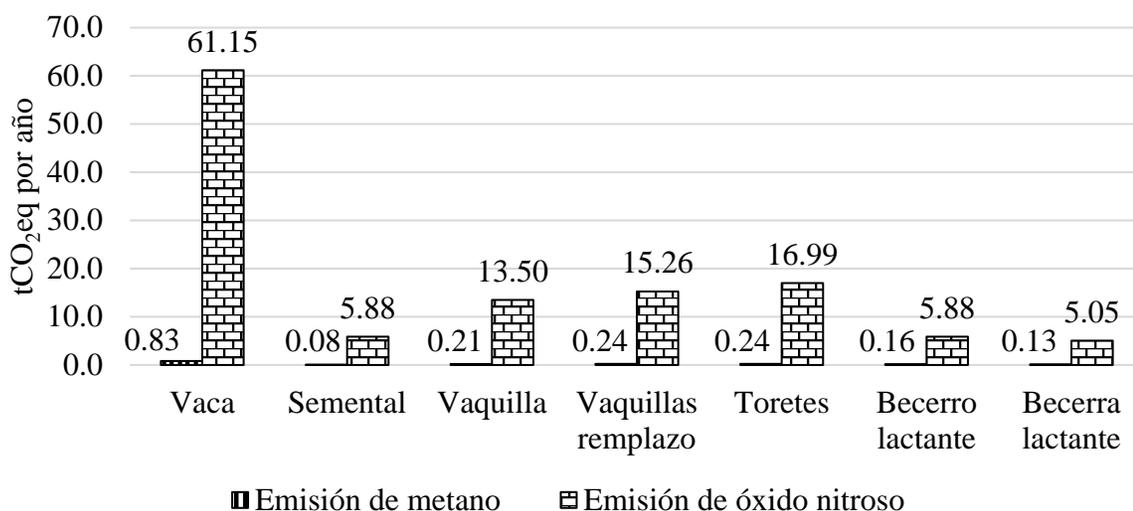


Figura 4. Emisiones de tCO<sub>2</sub>eq por gestión de estiércol.

#### Emisiones por consumo de combustibles fósiles.

El consumo de combustibles fósiles es relativamente alto, pero siempre menor al de fermentación entérica, ya que dentro de la unidad se registraron 3 vehículos. El de mayor consumo se refiere al camión que traslada estudiantes, alimento durante todos los días en dos jornadas. El combustible fósil utilizado en la unidad fue gasolina.

#### Emisiones por consumo energético.

Con relación al consumo energético y el uso de combustible, las emisiones fueron bajas ya que se consideró el nivel 1 de huella de carbono para su estimación. Además, los valores son bajos en consumo energético ya que la unidad de producción solo cuenta con cercas eléctricas para control del ganado. El uso de estas es constante durante todo el año y aun así la aportación de gases es mínima. Las cercas eléctricas se caracterizan por tener eficiencia en el consumo de energía y la potencia que poseen es solo de 7 o 5 W. Este consumo se estimó en 2,017.36 KWh por año y se utilizó el factor de emisión de consumo eléctrico para Honduras que es 0.63 toneladas de CO<sub>2</sub>/ MWh, por lo que, se emiten por año son 0.13 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

En la Figura 5 se puede observar la gráfica pastel de las emisiones en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes para un año de producción en ganado de carne. Se corrobora la investigación de Hassán (2011) que establece que el mayor factor de emisión es la fermentación entérica, en este caso con 49.27% de las emisiones totales.

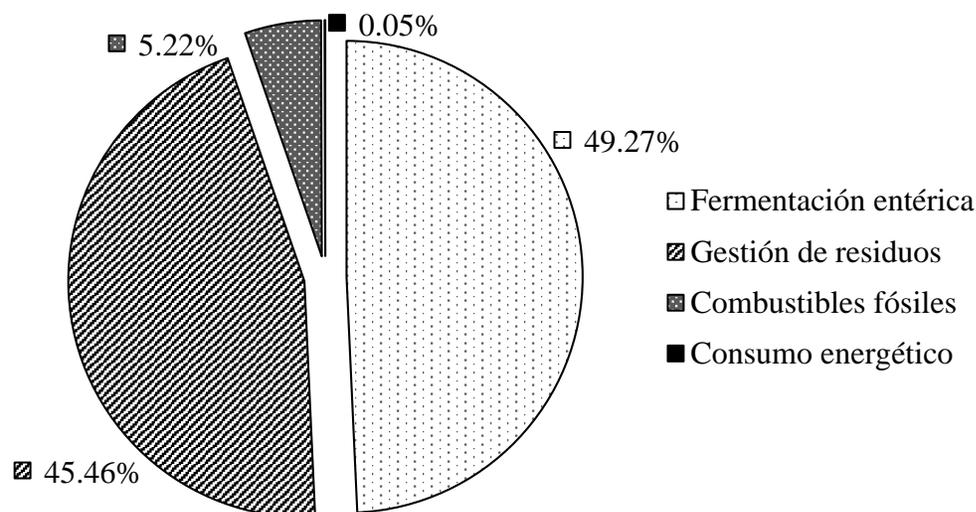


Figura 5. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente de la Unidad de Ganado de Carne.

### Fijación de Carbono en las pasturas.

En el Cuadro 11 se observa la cantidad de carbono fijado por las pasturas durante el año de estudio. La producción de biomasa fresca se mantiene dentro del rango estimado, por lo tanto la fijación se estableció con los datos de material volátil y carbono fijo de Adams et al. (1951) en la Universidad de Cornell. La fijación de carbono se realiza a partir de la producción de biomasa, hojarasca y suelos. Para el estudio se consideró la producción de biomasa con 10 ciclos de corta cada 23 días. La producción de pasto y el suelo, según la investigación de Herrera (2017) poseen el mayor porcentaje de carbono en el suelo por la fijación en la dinámica de raíces y hojarasca que se mantiene durante el cultivo.

Cuadro 11. Rendimiento de pasturas y fijación de carbono en el periodo 2017.

Pasto	Área (ha)	Materia seca (%)	MS <sup>&amp;</sup>	Material volátil (%)	Carbono fijo (%)	Carbono fijado (Ton)
<i>Panicum maximum</i> cv. Tobiata	7.72	19.77	6,376.33	88.09	48.94	21.22
<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaza	9.00	20.10	5,663.49	88.24	49.02	22.05
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	9.61	24.23	5,170.78	92.13	51.19	23.43

<sup>&</sup> kilogramos de materia seca producida por año en una hectárea.

Cada potrero que se mantiene en la rotación fija un porcentaje de carbono durante el año, para la estimación general de los tres pastos en toneladas de CO<sub>2</sub> se multiplicó por el factor de emisión. Este factor es 3.66 kg CO<sub>2</sub>/ kg de C, el cual proviene del peso molecular del dióxido de carbono.

### **Balance de Gases de Efecto Invernadero GEI.**

Mediante los resultados obtenidos en las emisiones de GEI y la fijación de carbono en las pasturas, se estableció que la unidad de ganado de carne responde a más emisiones que fijación durante un año. La diferencia entre emisiones y captura fue de 31.52 tCO<sub>2</sub>eq. (Cuadro 12)

Cuadro 12. Balance de gases de efecto invernadero en la unidad de Ganado de Carne.

<b>Parámetro</b>	<b>Ton CO<sub>2</sub> equivalente/año</b>	<b>%</b>
Fermentación entérica	136.15	49.27
Gestión de residuos	125.61	45.46
Combustibles fósiles	14.43	5.22
Energía eléctrica	0.13	0.05
Fijación en pasturas	244.80	

La huella de carbono estimada para el año 2015 en cuanto a fermentación entérica y gestión de residuos (579.35 Ton CO<sub>2</sub> equivalente/año) fue menor comparada con la del año 2017 (608.22 Ton CO<sub>2</sub> equivalente/año). Esto se debe al número de unidades animales que se consideraron en el cálculo siendo 281 y 295, respectivamente. Las huellas mencionadas anteriormente son más altas ya que consideran el factor de emisión de 56 kg de metano por día es decir incluyen todos los factores de producción. Para este estudio los factores de emisión se construyeron solo a partir de la dieta suministrada.

Las estrategias de mitigación dentro de la ganadería se encaminan a la mayor emisión de gases de efecto invernadero (Cuadro 13). Estas se dividen en aquellas que influyen directamente en el ganado como la modificación de dietas o aquellas que son parte del sistema como el manejo de las praderas o estiércol. Con base a los resultados, la fermentación entérica equivale el 49.27% de las emisiones de GEI, así que la manipulación de las dietas para mejorar la sostenibilidad dentro del sistema es elemental.

La producción de carne en América Latina se encuentra limitada por el potencial genético y la poca disponibilidad de alimentos de calidad por lo que se requiere eficiencia en la dieta animal para alcanzar la mayor ganancia de peso de los animales. En cuanto a esto la modificación de la dieta se recomienda añadir la cantidad de concentrado suministrado para incrementar grasas, hormonas o promotores de crecimiento que reducen los iones hidrógeno dentro del rumen, aumentando el consumo y disminuyendo la producción de metano.

La emisión de metano por fermentación entérica se liga al desdoblamiento de azúcares, mientras se aumenta la producción de ácido propiónico, dentro del rumen se evita la liberación de iones hidrógeno dentro del mismo. Además, es importante resaltar que en la actualidad se promueve la producción ganadera de precisión en la que se cumplen con los requerimientos nutricionales de cada animal en una finca, evitando el desperdicio de alimento y aumentando productividad (Alayón et al., 2018).

En cuanto al manejo de praderas dentro de la Unidad se requiere la implementación del sistema rotatorio intensivo de potreros en toda el área de pasturas, ya que al mantener la irregularidad de los mismos no permite tener un manejo de la ingesta diaria de pasto para los animales. Por otro lado, el manejo de estiércol se debe concentrar en las bostas, para esto se ha realizado investigaciones sobre el escarabajo estercolero y la implementación de nuevas poblaciones en el área de producción. El escarabajo tiene un papel importante dentro de la pradera ya que su ciclo de vida permite la incorporación de las bostas, fuente de nitrógeno, dentro del suelo, evitando de manera porcentual la emisión de óxido nitroso y fertilizando los suelos (de la Vega, Elizalde, González y Reyes, 2014).

Cuadro 13. Resumen Estrategias de mitigación de emisiones de GEI.

<b>Impacto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medida de mitigación</b>	<b>Referencia</b>
Fermentación entérica	Asociado al consumo de materia seca	Cambio de dieta	(Alayón et al.,2018)
Fermentación entérica	Optimización de los recursos en cuanto a nutrientes de la dieta	Ganadería de precisión	(Herrero et al., 2018)
Fermentación entérica	Manejo de praderas	Rotación intensiva de potreros	(Pérez, 2017)
Gestión de residuos	Dispersión de leguminosa por excreción animal	Leguminosas en bostas	(Rubio, 2016)
Gestión de residuos	Reducción del nitrógeno volátil en la atmosfera	Escarabajos en bostas	(de la Vega, Elizalde, González y Reyes, 2014)

## 4. CONCLUSIONES

- La Huella de Carbono establecida bajo el nivel 2 estima 276.32 Ton CO<sub>2</sub> equivalente por el periodo 2017-2018, la cual es menor a la estimada durante el año 2015 y 2017. Las mayores emisiones se relacionan a la ingesta de alimento en el ganado maduro.
- La producción de biomasa forrajera en el sistema de rotación de potreros intensivo suple la necesidad de pastos a los animales. Además, durante el año 2017 se estima que 244.8 tCO<sub>2</sub>eq fueron fijados a partir del proceso fotosintético. Las pasturas favorecen la captura de carbono, sin embargo, combinar con sistemas silvopastoriles contribuirá al balance global de la huella de carbono corporativa.
- Las propuestas de mitigación al cambio climático indican la disminución de emisiones de GEI hacia la atmósfera. Estas involucran la eficiencia en la dieta, manejo de pasturas y el manejo de estiércol.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Mantener un control detallado y actualizado de la información en la producción ganadera (número de animales, lote de manejo, y pesos) y proporcionar una dieta regulada que permita la reducción de GEI.
- Sistematizar la metodología de muestreo de pastos, así como su caracterización en diferentes temporadas para incrementar la precisión en el cálculo de fijación de carbono por biomasa.
- Evaluar el impacto del establecimiento de sistemas silvopastoriles en el balance de carbono dentro de la unidad de Ganado de Carne.
- Implementar las estrategias de mitigación propuestas para lograr la reducción de emisiones de GEI.

## 6. LITERATURA CITADA

- Adams, R., MacLean, F., Dixon, J., Bennett, F., Martin, G. y Lough, R. (1951). Cornell Composting. Recuperado de <http://compost.css.cornell.edu/calc/carbon.html>
- Alayón, J., Jimenez, G., Piñeiro, A., Canul, J., Albores, S., Villanueva, G. y Ku, J. (2018). Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería. *Agroproductividad*, 9-15.
- Beltrán, M., Álvarez, G., Rodríguez, J. y Contreras, C. (2016). Emisión de metano en los sistemas de producción de leche bovina en el valle de San Luis Potosí, Mexico. *Agrociencia*, 297-304.
- Carlín, R. (2015). Evaluación del potencial energético a partir de metano producido por codigestión de residuos de alimentos y estiércol vacuno (Tesis Pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Cederberg, C., Henriksson, M. y Berglund, M. (2013). An LCA researcher's wish list - data and emission model needed to improve LCA studies of animal production. *The Animal Consortium*, 212.
- de la Vega, C., Elizalde, H., González, M. y Reyes, C. (2014). Escarabajos estercoleros para la ganadería de la región de Aysén. *Boletín INIA*.
- Espíndola, C., & Valderrama, J. (2011). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de estimación y Complejidades Metodológicas. La Serena.
- Fernández, E. (2010). Metodologías para la evaluación y mejora del impacto ambiental de los sistemas ganaderos: Análisis comparado y posibilidades de aplicación en el sector de los pequeños rumiantes de Andalucía. Córdoba.
- Francesa, U. (2017). La fibra en forrajes tropicales. -Factores que afectan su Digestibilidad. Recuperado de <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/fibra-forrajes-tropicales-parte-t40551.htm>
- Frohmann, A. y Olmos, X. (2013). Huella de Carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al Cambio Climático. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto

invernadero. Recuperado de Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol:[https://www.ipccggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4\\_Volume4/V4\\_10\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipccggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf)

Hassán , J. (2011). El ciclo de vida en la producción de leche y la dinámica de las emisiones de gases de efecto invernadero en fincas doble propósito de la península de Azuero, República de Panamá. (Tesis de Posgrado). CATIE.

Herrero, M., Thornton, P., Notenbaert , A., Wood , S., Msangi, S., Freeman , A. y Rosegrant, M. (2018). Smart investments in sustainable food production: Revisiting mixed crop- livestock systems. *American Association for the advancement of Science*, 822-825.

Hrisotv, A., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T. y Oosting , S. (2013). FAO. Recuperado de Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera: <http://www.fao.org/3/a-i3288s.pdf>

Koelsch, R. (2015). eXtension. Recuperado de Estimating manure nutrient excretion : <https://articles.extension.org/pages/10997/estimating-manure-nutrient-excretion>

Mogensen, L., Kristensen , T., Nguyen, T., Knudsen , M. T. y Heransen , J. (2014). Method for calculating carbon footprint of cattle feeds- including contribution from soil carbon changes and use of cattle manure. *Cleaner Production*, 1-12.

Mora, V. (2001). Fijación, emisión balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensas de las zonas altas de costa rica. Turrialba: CATIE.

Muñoz, J., Huerta , M., Lara , A., Rangel , R. y de la Rosa, J. (2016). Producción de materia seca de forrajes en condiciones de Trópico húmedo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3329-3341.

Murgueitio, E. (sf). Impacto de la Ganadería de Leche y Alternativas de Solución . Colombia: Seminario Internacional Competitividad en leche y carne .

Nennich, T., Harrison, J., VanWieringen, L., Meyer, D., Heinrichs, A., Weiss, W. y Block, E. (2005). Prediction of manure and Nutrient Excretion from Dairy Cattle. *American Dairy Science Association*, 3721- 3733.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2016). El estado mundial de la Agricultura y la Alimentación. Roma: Departamento de Comunicación de FAO.

Organización Internacional de Normalización [ISO 14067]. (2013). Online Browsing Platform. Recuperado de Gases de efecto invernadero- huella de carbono de productos- Requisitos y directrices para cuantificación y comunicación: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:ts:14067:ed-1:v1:es:sec:7>

- Ortega , C., Lemus , C., Bugarín , J., Alejo, G., Ramos , A., Grageola , O. y Bonilla, J. (2015). Características agronómicas, composición bromatológica, digestibilidad y consumo animal en cuatro especies de pastos de los géneros *Brachiaria* y *Panicum*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 291-301.
- Pérez, E. (2017). Manual de manejo sistemas intensivos sostenibles de ganadería de cría. San José, Costa Rica: INTA.
- Programa de Extensión Agrícola y Ganadera. (2017). Nutrición ganado de engorde: Importancia de la materia seca. Honduras.
- Rodríguez, M. y Mance, H. (2009). Library Bibliothek der Friedrich Ebert Stiftung. Recuperado el Septiembre de 2017, de Cambio climático: lo que está en juego : <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/07216.pdf>
- Rubio, L. A. (2016). Recuperado de Las leguminosas en alimentación animal : <http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/2119/2780>
- Stackhouse- Lawson, K., Rotz, C., Oltjen, J. y Mitloehner , F. (2015). Carbon footprint and ammonia emissions of California beef production systems. *American Society of Animal Science*, 4641- 4654.
- Torres, D. P. (2015). Caracterización de un sistema Silvo-pastoril con *Inga edulis* y pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), en la época seca de la Hacienda Santa Elisa. (Tesis de Pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Villalobos, L. y Arce, J. (2014). Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntaneras, Costa Rica. II. Valor nutricional . *Agronomía Costarricense*, 133-145.