



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V**



**Emisión de gases de efecto invernadero en unidades de producción
bovina en Chiapas, México**

TESIS

que para obtener el grado de
**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
TROPICAL**

Presenta

OLIVIA ADILENE HERNÁNDEZ CHACÓN

Director de tesis

M.C. LUIS FERNANDO MOLINA PANIAGUA

Villaflores, Chiapas, México, enero 2020



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V**



**Emisión de gases de efecto invernadero en unidades de producción
bovina en Chiapas, México**

TESIS

que para obtener el grado de
**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
TROPICAL**

Presenta

OLIVIA ADILENE HERNÁNDEZ CHACÓN

Director de tesis

M.C. LUIS FERNANDO MOLINA PANIAGUA

Asesores

DR. DEB RAJ ARYAL

M.Sc. JOSÉ ANTONIO JIMÉNEZ TRUJILLO

Villaflores, Chiapas, México, enero 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS, CAMPUS V.
DIRECCIÓN



VILLAFLORES, CHIAPAS
07 DE ENERO DE 2020
OFICIO N° D/01/20

C. OLIVIA ADILENE HERNÁNDEZ CHACÓN
MAESTRANTE EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado, designado para su evaluación de posgrado, de la tesis titulada: **“Emisión de gases de efecto invernadero en unidades de producción bovina en Chiapas, México”**, por este conducto le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo a los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”

M. C. ROBERTO REIMUNDO COUTIÑO RUIZ
DIRECTOR



C. c. p. Archivo

Carretera Ocozacoautla-Villaflores Km. 84,5 C.P. 30470 Villaflores, Chiapas. Teléfono y Fax 01 (965) 65 2 14 77, 65 5 32 72
Correo electrónico: fdireccion.cv@gmail.com

Villaflores, Chiapas, México, enero 2020



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V**



Esta tesis titulada "Emisión de gases de efecto invernadero en unidades de producción bovina en Chiapas, México", fue por realizada por la ING. Olivia Adilene Hernández Chacón, bajo la dirección y asesoría del Comité Tutorial indicado, como requisito parcial para obtener el grado de **Maestra en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical**.


COMITÉ TUTORIAL

Director



M.C. Luis Fernando Molina Paniagua

Asesores



Dr. Deb Raj Aryal



M.Sc. José Antonio Jiménez Trujillo

Villaflores, Chiapas, México, enero 2020



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V**



Esta tesis titulada "Emisión de gases de efecto invernadero en unidades de producción bovina en Chiapas, México", fue realizada por la ING. Olivia Adilene Hernández Chacón, y ha sido aprobada por la Comisión Revisora indicada, como requisito parcial para obtener el grado de **Maestra en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical**.

COMITÉ TUTORIAL

Director

M.C. Luis Fernando Molina Paniagua

Asesores

Dr. Deb Raj Aryal

M.Sc. José Antonio Jiménez Trujillo

Villaflores, Chiapas, México, enero 2020



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V**



Esta tesis titulada **“Emisión de gases de efecto invernadero en unidades de producción bovina en Chiapas, México”**, realizada por la **ING. Olivia Adilene Hernández Chacón**, forma parte del proyecto **“Biodiversidad y Paisajes Ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles (BioPaSOS)”**, bajo la coordinación del **M.Sc. José Antonio Jiménez Trujillo**

Se incluye en la Línea de Generación y Aplicación de Conocimiento (LGAC), del Cuerpo Académico Consolidado en Agroforestería Pecuaria.

Se incluye en la Línea de Generación y Aplicación de Conocimiento (LGAC), Innovación en los sistemas de producción pecuaria, del Programa de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical.

Villaflores, Chiapas, México, enero 2020

DEDICATORIA

A Dios, quien toda gloria y honor merece por ser mi amparo, mi refugio y por cada bendición que derrama en mi vida.

A mi madre, una maravillosa mujer quien toda mi vida ha sido un ejemplo de amor, fortaleza y que me ha enseñado a luchar para ser una mejor persona tanto profesional como personalmente.

A mis hermanas Claudia Gabriela Hernández Chacón y Roxana Cristel Hernández Chacón, por apoyarme en este proceso de formación.

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien me fortalece, bendice e ilumina mi camino en todo momento.

A la Dra. Pilar Ponce Díaz, por su apoyo incondicional, sus consejos y su profesionalismo en todo momento.

A la Dra. María Guadalupe Rodríguez Galván, por sus consejos, cariño y apoyo; pero principalmente por ser un ejemplo de humildad, amor y profesionalismo en su campo de trabajo.

Al Dr. Heriberto Gómez Castro por su apoyo en mi proceso de formación académica, por sus enseñanzas, su dedicación, y por creer en mí en todo momento.

Al M.C. Luis Fernando Molina Paniagua, por su apoyo incondicional, su tiempo, sus consejos, su paciencia y su amistad. Gracias por alentarme en todo momento y por creer en mí.

Al Dr. Deb Raj Aryal, por su paciencia, sus valiosos comentarios y su buena disposición en todo momento para la realización de este trabajo de tesis.

Al M.Sc. José Antonio Jiménez Trujillo, por permitirme trabajar el proyecto de tesis en el marco del proyecto BioPaSOS.

Al Dr. René Pinto Ruíz y al Cuerpo Académico de Agroforestería Pecuaria por brindarme apoyo incondicional en mi proceso de formación académica, por la confianza y apoyo brindado durante la realización de la maestría.

Al Dr. Francisco Guevara Hernández, por sus consejos y sus valiosos aportes para mejorar este trabajo de investigación.

Agradezco a la MCPAT y Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgar la beca para realizar mis estudios de posgrado.

Al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas (ICTIECH) por el apoyo económico otorgado para la obtención del grado académico con el propósito de fortalecer las vocaciones científicas y tecnológicas.

Al IKI del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) de Alemania.

Al proyecto: Promoviendo la conservación de la biodiversidad a través de prácticas agrosilvopastoriles climáticamente inteligentes en paisajes dominados por la ganadería de tres regiones de México.

A la Dirección de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, de la Comisión de Áreas Naturales Protegidas (REBISE-CONANP), por el apoyo brindado. A los productores de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, que me apoyaron y dieron la oportunidad de realizar el estudio en sus ranchos, por su tiempo e información brindada para sustentar el trabajo y su amistad brindada.

ÍNDICE

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ÍNDICE DE CUADROS | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS | x |
| RESUMEN | xi |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivo general..... | 2 |
| 1.1. 2. Objetivos específicos | 2 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2. 1. Cambio climático..... | 3 |
| 2.2. Gases de efecto invernadero..... | 3 |
| 2.3. Emisión de GEI en el sector agropecuario..... | 4 |
| 2.4. Tipos de sistemas de explotación bovina | 5 |
| 2.5. Estrategias para la mitigación de GEI en el sector ganadero | 7 |
| 2.6. Uso de biodigestores para la mitigación de gases de efecto invernadero | 8 |
| 2.7. Técnicas y metodologías empleadas en la medición de gases de efecto invernadero..... | 8 |
| 2.8. Modelo Global de Evaluación Ambiental de la Ganadería..... | 10 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 11 |
| 3.1. Localización del área de estudio..... | 11 |
| 3.2. Selección de la muestra..... | 11 |
| 3.3 Recolección de datos..... | 12 |
| 3.4 Estimación de GEI | 12 |
| 3.5. Relación de la alimentación sobre las emisiones de GEI | 14 |
| 3.6. Estimación de gas en el biodigestor | 14 |
| 3. 7 Análisis de información | 15 |
| 4. RESULTADOS..... | 17 |
| 4.1. Estimación de GEI por nivel de intensificación | 17 |
| 4. 1. 1. Emisión de metano entérico | 18 |
| 4.1. 2. Emisión de GEI por proteína producida..... | 19 |
| 4.1. 3. Emisión de GEI con relación a la alimentación..... | 20 |
| 4.1. 4. Fuentes de emisiones de GEI | 20 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.5. Correlación entre las emisiones y las variables | 22 |
| 4.2. Mitigación de GEI con implementación de un biodigestor | 23 |
| 5. DISCUSIÓN | 24 |
| 5.1. Estimación de gases de efecto invernadero en diferentes niveles de intensificación del uso del suelo | 24 |
| 5.1.1. Emisión de metano entérico | 24 |
| 5.1.2. Emisión de GEI por proteína producida..... | 27 |
| 5.1.3. Emisión de GEI con relación a la alimentación..... | 27 |
| 5.1.4. Fuentes de emisiones de GEI | 28 |
| 5.1.5. Correlación entre las emisiones y las variables | 30 |
| 5.2. Uso de biodigestores | 30 |
| 6. CONCLUSIONES | 33 |
| 7. LITERATURA CITADA..... | 33 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Variables para estimar la emisión de GEI de las UP | 13 |
| Cuadro 2. Indicadores relacionados con la emisión de GEI..... | 13 |
| Cuadro 3. Características del biodigestor semi-continuo | 15 |
| Cuadro 4. Estimación promedio de la emisión de GEI emitidos en unidades de producción en tres niveles de intensificación del uso de suelo. | 17 |
| Cuadro 5. Estimación promedio de la emisión CO ₂ , N ₂ O y CH ₄ emitidos en tres niveles de intensificación del uso de suelo. | 18 |
| Cuadro 6. Estimación promedio de metano entérico por animal con relación al nivel de intensificación del uso de suelo..... | 19 |
| Cuadro 7. Estimación de GEI por kg de proteína producida en relación al nivel de intensificación del uso del suelo..... | 19 |
| Cuadro 8. Estimación de GEI con relación a la alimentación por unidad de producción | 20 |
| Cuadro 9. Correlación entre variables..... | 22 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Localización de los municipios del estado de Chiapas. | 11 |
| Figura 2. Esquema de biodigestor de flujo semi-continuo..... | 14 |
| Figura 3. Fuentes de emisión de GEI en el nivel semi-extensivo..... | 21 |
| Figura 4. Fuentes de emisión de GEI en el nivel intensivo | 21 |
| Figura 5. Fuentes de emisión de GEI en el nivel extensivo | 22 |
| Figura 6. Regresión lineal de emisiones de CH ₄ y número de animales..... | 23 |

RESUMEN

La actividad ganadera es considerada una fuente de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), los cuales son liberados a la atmósfera a través de la fermentación entérica y deyecciones de los animales. La emisión de estos gases no sólo representa una pérdida energética para el animal y el sistema de producción sino que también contribuyen al calentamiento global y al cambio climático, es por ello que es importante cuantificar las emisiones y buscar alternativas que contribuyan a la mitigación.

Por lo anterior mencionado, el objetivo de este trabajo de investigación fue cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en relación con prácticas de manejo en unidades de producción bovina con diferentes niveles de intensificación del uso del suelo en el estado de Chiapas, se trabajó con 30 productores cuyas unidades de producción se encuentran clasificadas en tres diferentes niveles de intensificación del uso de suelo. Para conocer aspectos de las unidades de producción bovina tales como: inventario ganadero, parámetros productivos y reproductivos, alimentación y manejo de estiércol se realizaron entrevistas semi-estructuradas. La estimación de GEI se realizó por medio del Modelo Global de Evaluación Ambiental de la Ganadería (GLEAM-*i*). Para el análisis de la información, se aplicó un ANOVA de una vía y la comparación de medias por medio de la prueba de Duncan. Para determinar el grado de asociación lineal entre variables claves y las emisiones de GEI se realizó un análisis de correlación de Pearson. Los resultados muestran que existe diferencia significativa en la emisión de GEI anuales con relación al nivel de intensificación del uso del suelo, siendo el nivel semi-extensivo el que tiene una menor emisión de gases en comparación con los otros dos niveles (intensivo y extensivo). Se encontró una correlación positiva entre las emisiones de GEI y el número de animales, sin embargo, no se encontró diferencia significativa en la emisión de GEI por kg de proteína producida. Se evaluó la implementación de un biodigestor de flujo semi-continuo tipo bolsa de 2.3 m³ de capacidad en unidad de producción, esta tecnología generó una producción de biogás de 0.8 m³ diariamente, lo que sustituye 0.90 kg de leña al día y 331 kg anuales. Además, la cantidad de estiércol utilizado para el abastecimiento del biodigestor representó la mitigación de 2 % de las emisiones GEI anuales emitidos en la unidad de producción implementada.

Palabras claves: Biogás, Ganadería bovina, Intensificación del uso de suelo de metano, Mitigación de GEI.

1. INTRODUCCIÓN

En México el crecimiento de la actividad ganadera en los últimos años ha implicado efectos negativos en el ambiente como la pérdida de la biodiversidad debido a la expansión de los pastizales a costa de áreas de bosques y selvas, degradación de suelo y contaminación por agroquímicos. La baja productividad animal ha sido otro problema en la ganadería, por tal motivo las anteriores investigaciones en el ámbito ganadero estaban enfocadas a la mejora de la alimentación con el fin de contrarrestar la pérdida energética que sufre el ganado (2 % y 12 %), misma que se ve reflejada en una baja productividad. Aunque el tema de la alimentación sigue siendo importante, actualmente las investigaciones en el área de ganadería están enfocadas a la evaluación del impacto ambiental de los sistemas ganaderos, debido a la contribución de GEI, particularmente de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), alguno de estos debido a estos gases contribuyen al calentamiento global y al cambio climático.

En los diversos estudios sobre estimaciones de GEI existe cierta discrepancia en el porcentaje que se le atribuye a la ganadería con relación a su contribución a las emisiones de GEI, con cifras que oscilan entre 18% (Steinfeld *et al.*, 2006), 10-12 % (Smith *et al.* 2007) y 14.5 % (Gerber *et al.*, 2013). Esta variabilidad probablemente se debe a la diferencia de condiciones en las que se realizaron los estudios, debido principalmente a que la alimentación y el manejo varía en los sistemas de producción.

Para el caso de la ganadería en México, principalmente en las áreas tropicales, la alimentación está basada en el pastoreo extensivo con poca o nula adición de concentrados, lo que resulta en una baja productividad de los animales y una alta emisión de GEI, teniendo así sistemas poco eficientes. En Chiapas, el cambio de uso de suelo, la agricultura y la ganadería en Chiapas representan 77 % de las emisiones totales de GEI, sin embargo, la mayor parte de estas emisiones le es atribuible a la actividad ganadera (PACCCH¹, 2007).

Ante este escenario diversos autores mencionan que mediante las prácticas relacionadas a la mejora alimenticia y el manejo adecuado del sistema es donde se encuentra el mayor potencial de mitigación de GEI. Así también mediante la incorporación de tecnologías y prácticas de bajo costo como son los biodigestores y el compostaje, mediante los cuales se puede aprovechar el estiércol para obtener abonos orgánicos, disminuyendo el impacto ambiental por el uso excesivo de fertilizantes químicos.

¹ Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas

En relación con lo anterior, es importante realizar estimaciones de GEI en sistemas ganaderos con diferentes niveles de intensificación del uso de suelo y manejo alimenticio, de tal forma que se identifiquen las diferencias en las emisiones de GEI. También es importante la adopción de tecnologías que contribuyan a la mitigación de los mismos. Con base en esto la presente investigación plantea la estimación de GEI de las unidades de producción bovina en comunidades del estado de Chiapas, las cuales se encuentran ubicadas en la Reserva de la Biosfera de la Sepultura (REBISE). La estimación y comparación de los principales GEI asociados a la ganadería permitirá identificar relaciones entre el volumen de emisiones, el manejo alimenticio y la forma en que los productores utilizan sus terrenos en cuanto a la densidad de animales por hectárea de potreros en sistemas ganaderos con condiciones de trópico seco, en este contexto se plantearon los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Cuantificar las emisiones de GEI en relación con prácticas de manejo en unidades de producción bovina con diferentes niveles de intensificación del uso del suelo en el estado de Chiapas.

1.1.2. Objetivos específicos

- a) Estimar la emisión de gases de efecto invernadero de unidades de producción bovina en función de su nivel de intensificación del uso del suelo.
- b) Analizar las emisiones de GEI en las unidades de producción bovina en estudio, con relación al tipo de alimentación y manejo del estiércol.
- c) Evaluar el impacto del uso de biodigestores sobre la mitigación de GEI en una unidad de producción bovina en el área de estudio.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cambio climático

Es un proceso originado por las peculiaridades inherentes a los sistemas socio-económicos y por sus fuerzas motrices, los que de conjunto determinan los niveles de emisión a la atmósfera de gases naturales y artificiales que son consecuencia del desarrollo, y que tienen la capacidad de calentar la atmósfera en forma adicional al efecto invernadero (Álvarez, 2014).

El cambio climático es causado principalmente por la concentración creciente de gases de efecto invernadero (GEI), en especial, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) (Andrade-Castañeda *et al.*, 2017) y constituye la mayor amenaza para la seguridad alimentaria, superación de la pobreza y desarrollo sostenible. En un estudio realizado por Myers *et al.* (2014) mencionan que el grano de trigo cultivado bajo los altos niveles de CO₂ previstos para 2050 tendría un 9 % menos de zinc, un 5 % menos de hierro y un 6 % menos de proteínas, mientras que las pérdidas en el caso del arroz serían del 3 %, 5 % y 8 % respectivamente, en comparación con los rendimientos previstos en una situación sin cambio climático. Asimismo, estos autores mencionan que el maíz se vería afectado por unas pérdidas similares de nutrientes; la soja no perdería proteínas pero contendría una cantidad inferior de zinc y hierro.

Márquez-Ramos (2015) menciona que es importante contar con series de tiempos comparables y su análisis, a nivel regional, nacional e internacional, de manera que permitan evaluar el comportamiento de las emisiones; el uso de nuevas variables para el desarrollo de indicadores para la toma de decisiones y la clasificación de los países según su nivel de desempeño ambiental; así como también integrar políticas ambientales nacional e internacional más estrictas como un compromiso real hacia el mejoramiento del entorno global.

2.2 Gases de efecto invernadero

Se conoce como efecto invernadero a la absorción que realiza la atmósfera de la radiación térmica emitida, por el sol, por la tierra y por los océanos, la cual es irradiada nuevamente hacia la tierra incrementando la temperatura de la superficie de la misma, proceso natural que permite que en la tierra exista vida (Mendoza de Armas y Jiménez-Narváez, 2017).

El efecto invernadero es generado por un minoritario grupo de gases que hacen parte de la atmósfera, los cuales son conocidos como Gases de efecto invernadero (GEI). Los principales GEI son: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el

óxido nitroso (N₂O). La causa principal de estas emisiones son las actividades relacionadas con el sector energético que representa 26 % de las emisiones, seguido del sector industrial (19 %), forestal (17 %), agrícola(14 %), residencial y comercial (8 %) y manejo de desechos (3 %) (IPCC, 2013).

2.3 Emisión de GEI en el sector agropecuario

En México, en el sector agropecuario las emisiones de GEI son principalmente CH₄ y N₂O, a diferencia de sectores como el energético y *Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura* en los cuales el CO₂ representa la mayor parte de las emisiones de GEI (Saynes *et al.*, 2016). Las emisiones de CO₂ en el sector agropecuario representan únicamente del 3 al 4.5 % (Sauerbeck, 2001), por lo que no se considera un GEI importante en las actividades agrícolas. Al respecto, Paustian *et al.* (2000) mencionan que los efectos indirectos de las emisiones de CO₂ derivadas de las actividades agrícolas pueden ser significativos al reducir la fertilidad y productividad de los suelos cultivados. Un ejemplo de ello son las reducciones de carbono orgánico en el suelo (COS) que regresa a la atmósfera en forma de CO₂ lo cual tiene repercusiones negativas en la fertilidad de los suelos (Lal, 2004).

En el periodo de 1850 a 1998 se emitieron 270 ± 30 Pg de CO₂ debido a la quema de combustible fósil y a la producción de cemento y 136 ± 55 Pg como resultado del cambio en el uso del suelo. Por otra parte, la NOAA² (2016) menciona que el nivel de CO₂ atmosférico global promedio se situó en 402,59 ppm y que el aumento de la concentración parece estar afectado no sólo por el aumento de las emisiones de las actividades humanas sino también por el fenómeno El Niño y sus efectos en diversos elementos del clima y los ecosistemas.

El CH₄ es emitido por fuentes naturales como los humedales pero también por actividades humanas como fugas de los sistemas de gas natural y las crecientes actividades ganaderas (FAOSTAT³, 2014). En el sector ganadero los rumiantes son considerados como uno de los grandes contribuyentes a la emisión de gases de efecto invernadero, con 18 % de las emisiones netas de los principales gases: CO₂, N₂O y CH₄ (Indira y Srividya, 2012). El CH₄ tiene un potencial de calentamiento 28 veces mayor en comparación con el CO₂ y un tiempo de residencia en la atmósfera de 9 a 15 años (IPCC⁴, 2013).

Las emisiones de CH₄ del sector agropecuario provienen fundamentalmente de la fermentación entérica, los cultivos de arroz, la quema de biomasa y los desechos animales (Bousquet *et al.*, 2006). La fermentación entérica es un grave problema en el sector agropecuario principalmente por la alta producción de metano (CH₄) en el

² Administración Nacional Oceánica y Atmosférica.

³ Base de datos corporativos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

⁴ Panel Intergubernamental del Cambio Climático.

rumen. La producción de metano en rumiantes no solo contribuye al calentamiento global, sino que además representa una pérdida de energía para el sistema, la cual puede llegar a representar hasta el 7 % del total de la energía bruta ingerida por el animal en un día (Hristov *et al.*, 2013).

Respecto a las emisiones de N₂O, estas provienen de los suelos cultivados, de los desechos animales y de la quema de biomasa (Montzka *et al.*, 2011). Por otra parte, Snyder *et al.* (2009) mencionan que globalmente las actividades agrícolas son la fuente más importante de N₂O y está relacionado principalmente al uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en los suelos cultivados. Al respecto, Flückiger *et al.* (2004) mencionan que la concentración atmosférica de N₂O es 19% mayor en comparación con su concentración previa a la Revolución Industrial (Flückiger *et al.*, 2004). Además, la fijación antropogénica de nitrógeno para su uso en fertilizantes ha duplicado las tasas de fijación en los últimos 60 años (Sutton, 2011), por lo que 100 Tg de nitrógeno están siendo añadidos a los suelos cada año globalmente (Erisman *et al.*, 2008).

Las actividades humanas están cambiando la composición de la atmósfera y sus propiedades, por lo que desde el inicio de la revolución industrial a mediados del siglo XVIII el planeta ha venido experimentando un aumento constante en las concentraciones atmosféricas de GEI. El incremento de la concentración de estos gases está provocando alteraciones en el clima, y contribuyen en gran medida al cambio climático. Al respecto, el IPCC (2007) menciona que las concentraciones de GEI en la atmósfera aumentan cuando las emisiones son superiores en magnitud a los procesos de detracción. Entre las consecuencias que tiene el aumento de los GEI podemos mencionar el aumento de las inundaciones y las sequías, la reducción de la productividad agrícola en determinadas regiones o alteraciones en los sistemas naturales (Maqueda *et al.*, 2005).

2.4 Tipos de sistemas de explotación bovina

Martínez *et al.* (2011) mencionan que las unidades de producción o empresas agropecuarias están determinados por su tamaño, tipo de actividad, técnicas de manejo, entre otras. Por su parte, Gonzáles (1992) menciona que las unidades de producción agropecuarias predominan bajo los siguientes sistemas de explotación: a) Unidades de explotación intensiva: el área que utiliza la explotación es relativamente reducida en relación a la cantidad de animales y a la producción que se obtiene. b) unidades de explotación semi-intensiva: abarca superficies que van desde 300 a 400 has, con pastos cultivados y ganado mestizo (criollo, cebú, raza lechera). La monta es natural o controlada y se realizan prácticas sanitarias frecuentes; y c) unidades de explotación extensiva: estos sistemas de producción se practican en grandes superficies y se dedica fundamentalmente a la producción de carne, en su mayoría

con pastos naturales. Generalmente predomina la raza cebú y el ordeño se realiza estacionalmente de acuerdo a las condiciones climáticas.

Sánchez *et al.* (2005) mencionan que los sistemas ganaderos intensivos conforman un modelo natural de reciclaje en si mismos, donde se experimenta un flujo dinámico de material orgánico. Bajo condiciones de pastoreo intenso, más del 50 % de la materia seca producida por las pasturas se pierde por pisoteo y senescencia (Taboada, 2007), constituyendo un aporte constante al suelo de alimento para los organismos transformadores de humus, así como una fuente de material estable y rico en nutrientes (Winblad *et al.*, 1999).

Por otra parte, los sistemas extensivos de producción animal comparten tradicionalmente características comunes: número limitado de animales por unidad de superficie, uso limitado de los avances tecnológicos, baja productividad por animal y por hectárea de superficie, alimentación basada en pastoreo principalmente en el pastoreo natural, uso de subproductos de la agricultura de la explotación, y uso reducido de energía fósil (Boyazoglu, 1998). Los niveles de rentabilidad de los sistemas extensivos son bajos, lo que imposibilita en muchos casos que se aborden mejoras técnicas, así como de reposición y conservación del patrimonio natural, existiendo en la mayoría de los casos alternativas de desarrollo a esta actividad (Martín *et al.*, 1997).

Un sistema de producción bovina muy utilizado en México es la ganadería extensiva, este sistema consiste en un bajo manejo sin una intensificación de la producción, incluye el libre pastoreo del ganado dentro de los bosques subtropicales de montaña. El crecimiento de esta actividad se debe a que requiere de pocos insumos para su manutención y es una alternativa productiva viable para campesinos ganaderos en donde la agricultura ya no es redituable (Hernández *et al.*, 2000).

En Chiapas, casi toda la ganadería bovina se desarrolla en condiciones de pastoreo extensivo (Gómez *et al.*, 2002) y pudo extenderse a costa de la ampliación de la frontera agropecuaria sobre bosques y selvas. Esto último junto con otros factores como la extracción forestal, la agricultura y las migraciones, han propiciado altas tasas de deforestación y erosión (López *et al.*, 2001). La ganadería bovina se considera la base del sector primario y es una actividad importante en la economía del estado. Esta actividad concentra 90 % del valor total de la producción pecuaria, siendo el sistema de doble propósito el más representativo al ocupar 2.9 millones de hectáreas equivalente al 33 % del territorio estatal. En el sistema de producción bovino de doble propósito (DP) su alimentación se basa en el pastoreo, con un mínimo de suplemento y limitado a la estacionalidad de forrajes en época de seca, afectando peso y valor comercial del precio de leche y carne (Orantes *et al.*, 2010).

2.5 Estrategias para la mitigación de GEI en el sector ganadero

Gerber *et al.* (2013) mencionan que el potencial de mitigación más importante se encuentra en los sistemas de producción de rumiantes que tienen una baja productividad, donde gran parte del potencial de mitigación se puede lograr mediante prácticas relacionadas con la mejora de la alimentación, la sanidad animal y el manejo adecuado del hato.

Benaouda *et al.* (2017) mencionan que el desarrollo de estrategias para reducir la producción de metano en el rumen puede, por un lado, contribuir a mitigar los efectos del metano sobre el cambio climático, y de otro lado traer beneficios económicos a los ganaderos al hacer animales más eficientes en cuanto al uso de la energía de los alimentos.

La producción de grandes cantidades de estiércol es otro problema en el sector agropecuario, ya que mediante este se generan GEI, principalmente gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), una estrategia para el aprovechamiento del estiércol es el *compostaje*, esta es una tecnología de bajo costo, que permite transformar residuos y subproductos orgánicos en materiales biológicamente estables que pueden utilizarse como abonos del suelo y como sustratos para cultivo sin suelo, disminuyendo el impacto ambiental. Al respecto, Seefeldt (2015) menciona que el estiércol tiene potencial como fuentes de fertilizantes, siempre y cuando se use de manera adecuada.

Por otra parte, Pérez (2008) plantea las siguientes opciones de mitigación de los tres principales GEI:

a) Mitigación de CO_2 : i) Reducción de la deforestación intensificando la agricultura; ii) Restauración de la materia orgánica en suelos mediante diversas técnicas: agricultura orgánica, labranza de conservación, etc.; iii) Reversión de la pérdida de carbono orgánico en suelos con pastizales degradados; y iv) Secuestro de carbono por agroforestería (Aryal *et al.*, 2018).

b) Mitigación de CH_4 : i) Dietas más eficientes para reducir la fermentación entérica; y ii) Mejor manejo de excretas en los sistemas intensivos y producción de biogás.

c) Mitigación de N_2O y de NH_3 : al reducir el N contenido en las excretas con una mejor eficiencia en la asimilación animal del N y con un mejor manejo de excretas. Gran parte del reto de reducir las emisiones de N_2O y de NH_3 recae en los agricultores.

2.6 Uso de biodigestores para la mitigación de gases de efecto invernadero

En la actualidad la implementación de biodigestores se ha transformado en una alternativa energética sustentable, además de ser un tratamiento más de residuos orgánicos y contribuir a la disminución de la contaminación ambiental (IDAE⁵, 2007). El uso de esta tecnología no es nuevo, la primera planta de digestión anaerobia fue construida en una colonia de leproso en Bombay, India en 1859, desde entonces se han construido cientos de biodigestores (Días *et al.*, 2006).

El uso de biodigestores cobra mayor importancia principalmente porque la mitad de la población del mundo (la mayoría ubicada en los países en vías de desarrollo) utiliza biomasa para cocinar alimentos, así como para calefacción y para calentamiento de agua. Según WHO⁶ (2002), se estima que a escala internacional, más de 3,000 millones de personas no tienen acceso a fuentes modernas de energía para cocinar, dependiendo de combustibles como la biomasa (madera, estiércol y restos de cosecha), además de carbón. En la gran mayoría de los casos, la biomasa se quema en fogones, donde la combustión se da de manera incompleta, lo que genera grandes emisiones de partículas y gases contaminantes, que a su vez pueden provocar problemas de salud en la población expuesta. A nivel mundial la contaminación en interiores causa 4% del total de las enfermedades y excede un millón de muertes prematuras al año (WHO, 2002). En México, alrededor de 28 millones de personas usan leña y uno de cada cinco hogares, 80 % de ellos rurales, utiliza algún tipo de biomasa para cocinar y calentar la vivienda con fogones abiertos. La mayor parte de los usuarios de leña se concentra en localidades del centro y sur de país, específicamente en los estados de Chiapas, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán. (Díaz-Jiménez, 2000). Por lo que la adopción de biodigestores anaeróbicos en regiones tropicales como el sureste mexicano coadyuva al aprovechamiento de la gran cantidad de materia orgánica generada y manejada de manera inadecuada, produciendo energías renovables y subproducto de gran valor económico. (Laines y Sosa, 2013).

2.7 Técnicas y metodologías empleadas en la medición de gases de efecto invernadero.

Actualmente se cuenta con la técnica del trazador hexafluoruro de azufre (SF₆), originalmente desarrollada por Johnson y Johnson (1995). Esta técnica permite la cuantificación diaria de CH₄ por animal y es internacionalmente reconocida como la más apropiada para medir las emisiones de metano en sistemas de pastoreo en virtud que los equipos que se instalan sobre el animal no limitan sus movimientos ni

⁵ Instituto para la Diversificación y Ahorro de energía

⁶ Organización Mundial de la Salud

sus hábitos de pastoreo (INIA⁷, 2015).

Bárbaro *et al.* (2008) realizó un estudio en Argentina utilizando la técnica del SF₆, para medir la emisión de metano en un grupo de novillos de raza Aberdeen Angus de 14 meses de edad. La mitad de ellos estaban pastoreando un pasto nativo y la otra mitad un pasto cultivado, dominado por raigrás (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*). El estudio permitió conocer la producción metano producida por animal, la cual fue de 227 y 248 L de CH₄ cabeza⁻¹ día⁻¹, respectivamente y una ganancia media diaria de peso para ambos grupos de 1.3 kg día⁻¹.

En México los avances en la estimación de los factores de emisión y los inventarios han sido limitados, sin duda es el más rezagado de los grandes países ganaderos de la región, existen pocos trabajos sobre la estimación de los factores de emisión de GEI, estos trabajos realizados están basados en estudios in vitro y modelación (Benaouda, 2017). Respecto a esto, las dos primeras cámaras de la respiración se construyeron en la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), en el sur de México. Dichas cámaras permitían medir in vivo las emisiones de metano en ovinos y bovinos en las regiones de clima tropical del sur de México. Los resultados de los primeros experimentos llevados a cabo sugieren que la producción de metano de ganado Cebú alimentado con gramíneas tropicales oscila entre 74 L cabeza⁻¹ día⁻¹ en animales jóvenes con un consumo promedio de 4.4 kg MS día⁻¹ y 348 L cabeza⁻¹ día⁻¹ en vacas adultas. Los factores de emisión de las ovejas varían desde 21 hasta 34 L cabeza⁻¹ día⁻¹.

Cabe mencionar que también se han realizado estudios utilizando imágenes de satélite y modelos para la estimación de la emisión de GEI, y del efecto de las prácticas de manejo en las emisiones de GEI.

Ahrens *et al.* (2010) utilizaron el Water and Nitrogen Management Model para determinar las mejores prácticas de manejo que permitieran identificar el mejor momento y dosis de fertilizante nitrogenado que redujera costos y emisiones de GEI pero incrementara el rendimiento de los cultivos.

Lozada *et al.* (2010) utilizaron el modelo Long Range Energy Alternative Planning System (LEAP) para estimar las emisiones de cultivos destinados a la producción de biocombustible. Asimismo se han realizado otras investigaciones utilizando modelos como el NLOSS (Christensen *et al.*, 2006) y el Índice de Nitrógeno (Saynes *et al.*, 2014) para estimar la circulación de nitrógeno en los sistemas agrícolas y las emisiones derivadas del uso de fertilizantes.

⁷ Instituto de Investigaciones Agropecuarias

2.8 Modelo Global de Evaluación Ambiental de la Ganadería

El modelo GLEAM-*i* constituye una valiosa herramienta que contiene información por áreas geográficas y países para permitir realizar estimaciones relacionadas a la contaminación que generan las actividades ganaderas, ya que simula la interacción de los procesos y actividades de producción ganadera con el medio ambiente. Este modelo opera a escala tanto (sub)nacional como regional y global. El modelo elaborado sobre Excel posee los índices e indicadores determinados por la FAO para todo lo relacionado con la producción de emisiones de los tres principales gases de efecto invernadero relacionados con las actividades agrícolas: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), así como también las principales fuentes de emisión de cada uno de ellos. El objetivo de GLEAM-*i* es cuantificar la producción ganadera y el uso de recursos naturales del sector, así como identificar los impactos ambientales de la ganadería para contribuir a la evaluación de escenarios de mitigación para el desarrollo de un sector ganadero más sostenible (FAO, 2017).

GLEAM-*i* usa metodologías de Nivel 2 para realizar la mayoría de sus cálculos y consta de tres módulos para la entrada de datos, que representan las etapas principales de producción ganadera y un módulo de cálculo, tales como:

- El módulo de hato simula la dinámica del hato y las características promedio de los animales para cada cohorte.
- El módulo de alimentación determina las características nutricionales de las dietas y estima las emisiones asociadas.

El módulo de estiércol calcula la velocidad a la que se deposita el nitrógeno del estiércol y se aplica en los campos. Esto es necesario para calcular las emisiones asociadas con la producción de alimento. (FAO, 2017).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

Este proyecto de investigación se realizó en comunidades que se encuentran distribuidas en tres regiones del estado de Chiapas; Centro (I): en esta región la comunidad en estudio fue Tiltepec. Frailesca (IV) en esta región las comunidades en estudio fueron Los Ángeles, California, Ricardo Flores Magón, Josefa Ortiz de Domínguez, Tierra y Libertad y Villa hermosa; y finalmente la región Istmo-costa (IX) donde el estudio se realizó en las comunidades; Raymundo Flores, Ranchería Tiltepec, López Mateos, 05 de febrero (INEGI⁸, 2010).

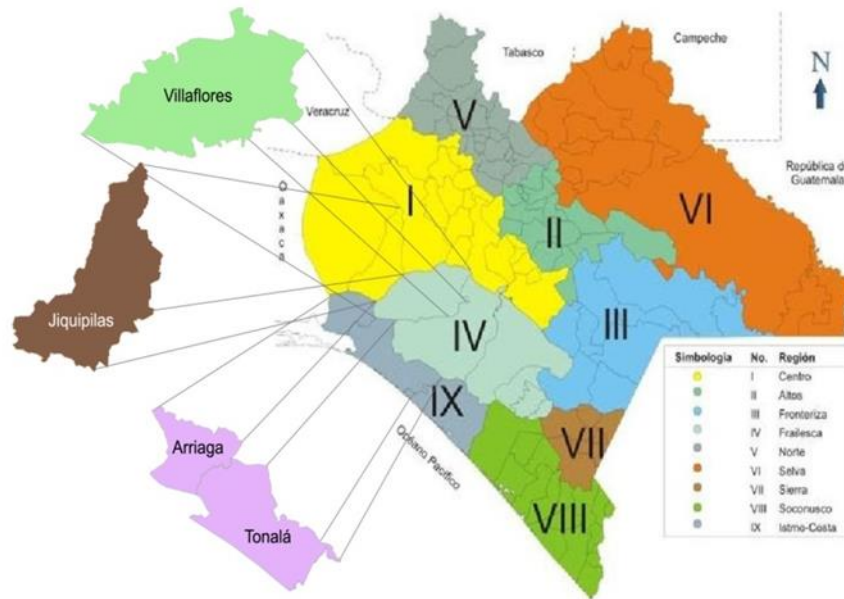


Figura 1. Localización de los municipios del estado de Chiapas.

3.2 Selección de la muestra

Se trabajó con 30 productores, los cuales están inscritos en el Proyecto Biodiversidad y Paisajes Ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles (BioPaSOS) y cuentan con unidades de producción clasificadas en tres niveles de intensificación del uso del suelo: semi-extensivas, intensivas y extensivas. Dicha clasificación fue realizada en función de las siguientes variables: 1) superficie total, 2) superficie dedicada a la ganadería, 3) número de potreros, 4) unidades animales, 5) carga animal; por lo que el nivel de intensificación del uso del suelo no está relacionado a una mejor alimentación (Lara, 2019).

⁸ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

3.3 Recolección de datos

La recolección de datos se realizó de julio hasta diciembre de 2018. Se utilizó la técnica de entrevistas semi-estructuradas, con ayuda de un cuestionario el cual contenía aspectos de información generales de las unidades de producción bovina tales como: inventario ganadero, parámetros, productivos y reproductivos, alimentación y manejo del estiércol (Cuadro 1). La información recabada se concentró en una base de datos, para ordenar la información y analizarla; y posteriormente se procedió a la estimación de los GEI.

3.4 Estimación de GEI

La estimación de GEI se realizó por medio del Modelo Global de Evaluación Ambiental de la Ganadería (GLEAM-*i*) el cual cubre tres gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido de nitrógeno (N₂O). La conversión de los dos últimos gases a emisiones equivalentes de CO₂ se realiza con el último índice de potencial de calentamiento del IPCC: 298 para N₂O y 34 para CH₄. Por otra parte, este modelo distingue las etapas de producción clave como, por ejemplo, la producción, el procesamiento y el transporte de pienso; las dinámicas poblacionales y de alimentación de la cabaña; la gestión del estiércol y el procesamiento y transporte de los productos como la carne y la leche. Además, captura los impactos específicos de cada etapa, proporcionando una visión amplia y detallada de la producción y el uso de los recursos naturales (FAO, 2017).

Este modelo está diseñado para evaluar el sector ganadero a escala global. No obstante, muchos de los procesos relacionados con la producción animal suceden a menor escala, y son el resultado de condiciones ambientales y sociales (sub)nacionales o locales. En consecuencia, los indicadores y promedios globales no son adecuados para comprender los problemas reales y cómo hacerles frente.

La estimación contempló: 1) Estimaciones de GEI por nivel de intensificación 2) Estimación de la producción de metano entérico por animal al año por nivel de intensificación 3) Emisión de GEI por kg de proteína producida por nivel de intensificación y 4) Emisión GEI con relación a la alimentación 5) Fuentes de emisión. Las estimaciones de las emisiones de GEI se presentan en kg de CO₂eq anuales en todos los cuadros.

Cuadro 1. Variables para estimar la emisión de GEI de las UP

| Tipo de sistema | Inventario Ganadero | Parámetros reproductivos y reproductivos | Alimentación | Estiércol |
|--------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| - Leche - Carne | -Números total de animales | - Edad al primer parto | -Tipos de forrajes | -Cantidad producida |
| - Doble propósito | - Hembras y machos reproductoras adultos | - Peso al nacer | - Cantidad de forraje | -Cantidad aprovechada |
| | - Vacas en producción | - Fertilidad de hembras adultas | -Tipos de concentrado | -Manejo del estiércol |
| | - Vacas secas o forras | - Mortalidad de hembras y machos jóvenes | -Cantidad de concentrados | de |
| | - Novillonas (o) | - Mortalidad de animales adultos | | |
| | - Becerras | - Reemplazo de hembras adultas | | |
| | - Sementales | - Peso de las hembras y machos adultas | | |
| | | - Peso de las hembras y machos de engorde | | |
| | | - Producción de leche | | |
| | | - Contenido de grasa de la leche | | |

Además de la estimación de los principales gases de efecto invernadero, mediante el GLEAM-*i*, también se estimó la producción de proteína de cada una de las unidades de producción en los tres niveles de intensificación del uso de suelo, así como también las emisiones de GEI emitidos por kilogramo de proteína producida (Cuadro 2).

Cuadro 2. Indicadores relacionados con la emisión de GEI

| Producción animal (kg) |
|----------------------------------------------|
| Leche – Producción |
| Carne - Peso vivo |
| Emisiones de GEI .(kg de CO ₂ eq) |
| Dióxido de Carbono (CO ₂) |
| Metano (CH ₄) |
| Óxido nitroso (N ₂ O) |
| Total de emisiones |
| Emisiones por kg de proteína producida |
| Fuentes de emisiones (%)* |
| Alimentación |
| Manejo de estiércol |
| Fermentación entérica |
| El % es del total de las emisiones de GEI* |

3.4 Relación de la alimentación sobre las emisiones de GEI

Con la finalidad de estimar las emisiones de GEI en relación con la alimentación que reciben se realizó una clasificación del alimento, esta clasificación fue independiente del nivel de intensificación al que pertenece cada unidad de producción. Es decir, las 30 unidades de producción se dividieron en tres grupos en función de la alimentación. Dicha clasificación incluyó animales alimentados a base de pastoreo, pastura seca y maíz; animales alimentados con pastoreo, silo y maíz y animales que tiene una alimentación basada únicamente en pastoreo.

3.5. Estimación de gas en el biodigestor

Con el fin de elegir a los productores idóneos para la implementación de un biodigestor en la unidad de producción, se realizó un sondeo a los 30 productores con los siguientes criterios de selección:

- Disponibilidad y fuente de energía
- Manejo del estiércol
- Disponibilidad de agua
- Disponibilidad del productor.

Se eligió a un productor en base a los criterios de selección y se construyó un biodigestor de flujo semi continuo tipo bolsa (Figura 2) basándonos en la metodología de CEDECAP⁹ en el predio del productor Lester Carrillo Cruz, ubicado en la colonia Ricardo Flores Magón en el municipio de Villaflores. La capacidad del biodigestor fue de 2.3 m³ y las características se describen en el Cuadro 3.

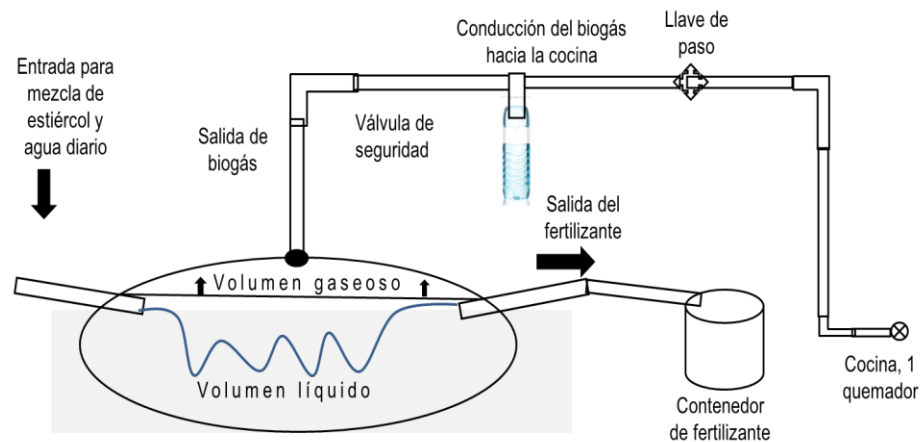


Figura 2. Esquema de biodigestor de flujo semi-continuo.

⁹ Centro de demostración y capacitación

Una vez instalados los biodigestores se estimó la producción de biogás en el sistema de digestión (reactor). La cantidad de estiércol utilizado se simuló en el GLEAM-*i* para conocer el porcentaje de GEI que se mitiga con el uso de esta tecnología. El subproducto obtenido. Así también se estimó la cantidad de leña (kg) que el productor deja de usar mediante la producción de biogás.

Cuadro 3. Características del biodigestor semi-continuo

| Medida del biodigestor | |
|----------------------------------|----------------------------------------------|
| Largo | 3.20 metros |
| Radio | 0.4774 metros |
| Ancho del rollo | 1.5 metros |
| Capacidad del biodigestor | |
| Relación estiércol: agua | 1:3 |
| Estiércol | 20 kg |
| Agua | 60 litros |
| Carga total | 80 litros |
| Tiempo de retención | 20 días (considerando una T° media de 25 °C) |
| Volumen líquido | 1.6 m ³ |
| Volumen gaseoso | 0.7 m ³ |
| Volumen total | 2.3 m ³ |
| Producción diaria de gas | 0.7-0.8 m ³ |

2.7 Análisis de información

Para el análisis de datos se utilizó el paquete estadístico SAS. Se aplicaron análisis de varianza de una vía (ANOVA) mediante los siguientes modelos:

$$Y_{ij} = \mu + NI_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = *ij*-ésima variable de interés

μ = Medía general

NI_i = *i*-ésimo nivel de intensificación del uso de suelo

E_{ij} = *ij*-ésimo error aleatorio

$$Y_{ij} = \mu + TA_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = *ij*-ésima variable de interés

μ = Medía general

TA_i = *i*-ésimo tipo de alimentación

E_{ij} = *ij*-ésimo error aleatorio

En aquellos donde existió medias con diferencia significativa se realizó la comparación por medio de la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$).

Se realizó un análisis de correlación con el paquete estadístico de STATISTICA 8.0. para determinar el grado de asociación entre las emisiones de GEI y las variables clave: 1) superficie total, 2) superficie dedicada a la ganadería, 3) número de potreros, 4) unidades animales, 5) carga animal.

Aquellas variables que resultaron con una correlación significativa se incluyeron en un análisis de regresión lineal para conocer la magnitud de la asociación.

4. RESULTADOS

4.1. Estimación de GEI por nivel de intensificación

Las emisiones totales de GEI en los diferentes niveles de intensificación del uso del suelo se presentan en el Cuadro 4. Se observan tres niveles de intensificación del uso del suelo, semi-extensivo, intensivo y extensivo, mismos que están constituidos por 15, 8 y 7 unidades de producción, respectivamente. Se encontró diferencia en las emisiones totales de GEI en relación al nivel de intensificación del uso del suelo, siendo el semi-extensivo el que menor GEI emite al año con 110,195 kg de CO₂eq promedio por unidad de producción.

Se observa también, que el nivel extensivo es el que presenta mayor emisión de GEI anuales con 257,911 kg de CO₂eq, en comparación con el nivel intensivo con 190,510 kg de CO₂eq, aunque estadísticamente no existe diferencia entre ambos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estimación promedio de la emisión de GEI emitidos en unidades de producción en tres niveles de intensificación del uso de suelo.

| NI | UP | NPA | GEIt (kg de CO ₂ eq) | Error estándar |
|----------------|----|-----|------------------------------------|-------------------|
| Semi-extensivo | 15 | 23 | 101,195 ^a | 14309 |
| Intensivo | 8 | 41 | 190,510 ^b | 20688 |
| Extensivo | 7 | 64 | 257,911 ^b | 55625 |

Letras distintas en las filas son diferentes significativamente ($P \leq 0.05$, Duncan).

NI: Nivel de intensificación del uso del suelo

UP: Unidades de producción.

GEIt: Gases de efecto invernadero totales.

NAP: Número promedio de animales por unidad de producción en cada nivel de intensificación del uso del suelo.

Se estimó también la emisión por tipo de gas en cada nivel de intensificación del uso del suelo, en cuanto a las emisiones de CO₂ se encontró una diferencia significativa siendo el nivel semi-intensivo el que tiene una menor emisión anualmente (Cuadro 5).

En cuanto a las emisiones de N₂O, el cuadro 5 muestra que los niveles semi-extensivo e intensivo tienen una menor emisión de este gas, con 30,126 y 47,464 kg de CO₂eq, respectivamente, sin existir diferencia significativa entre estos dos niveles. La mayor emisión de este gas se da en el nivel extensivo donde las unidades de producción tienen en promedio 64 animales.

Cuadro 5. Estimación promedio de la emisión CO₂, N₂O y CH₄ emitidos en tres niveles de intensificación del uso de suelo

| NI | UP | NPA | CO ₂ | Error estándar | N ₂ O* | Error Estándar | CH ₄ * | Error estándar |
|----------------|----|-----|---------------------|----------------|---------------------|----------------|----------------------|----------------|
| Semi-extensivo | 15 | 23 | 14,264 ^a | 2099 | 30,126 ^a | 4276 | 56,806 ^a | 8046 |
| Intensivo | 8 | 41 | 30,542 ^b | 3328 | 47,464 ^a | 5140 | 112,503 ^b | 12230 |
| Extensivo | 7 | 64 | 36,894 ^b | 9571 | 75,572 ^b | 15513 | 145,444 ^b | 31513 |

Letras distintas en las filas son diferentes significativamente ($P \leq 0.05$, Duncan).

NPA: Número promedio de animales por unidad de producción en cada nivel de intensificación del uso del suelo.

UP: Unidades de producción

*kg de CO₂eq

4. 1. 1. Emisión de metano entérico

EL nivel semi-extensivo es el que en promedio genera menor emisión de metano entérico con 56,806 kg de CO₂eq anuales por unidad de producción, este nivel está integrado por 15 unidades de producción ganaderas las cuales tienen en promedio 23 animales (Cuadro 5). Por otra parte, el nivel intensivo tiene en promedio 41 animales y el extensivo cuenta con 64 respectivamente, sin embargo no existe diferencia en las emisiones de CH₄ anuales por unidad de producción entre estos dos niveles de intensificación.

Se estimó también la producción de metano entérico por animal en los diferentes niveles de intensificación del uso de suelo. En el cuadro 6 se muestra que la mayor emisión de metano fue en el nivel intensivo. Este nivel tiene 8 unidades de producción, las cuales tienen en promedio 41 animales. Asimismo se muestra que la menor emisión de metano entérico por animal al día se encontró en los niveles semi-extensivo y extensivo sin existir diferencia significativa entre ambos. El semi-extensivo cuenta con 15 unidades de producción, pero a diferencia del nivel intensivo estas unidades tienen un menor número de animales (23); mientras que el extensivo en comparación con el intensivo tiene en promedio mayor número de animales (64) pero únicamente cuenta con 7 unidades de producción.

Cuadro 6. Estimación promedio de metano entérico por animal con relación al nivel de intensificación del uso de suelo.

| NI | UP | NPA | CH ₄ a kg CO ₂ eq año ⁻¹ | CH ₄ por animal día ⁻¹ (g) | Error Estándar |
|----------------|----|-----|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------|
| Intensivo | 8 | 41 | 2,725.9 ^a | 219 | 61.48 |
| Semi-extensivo | 15 | 23 | 2,357 ^b | 189 | 76.72 |
| Extensivo | 7 | 64 | 2,316.7 ^b | 186 | 91.90 |

Letras distintas en las filas son diferentes significativamente ($P \leq 0.05$, Duncan).

NI: Nivel de intensificación del uso de suelo

UP: Unidades de producción

CH₄a: Emisión de metano por animal

NPA: Número promedio de animales por unidad de producción en cada nivel de intensificación del uso del suelo

4.1. 2 Emisión de GEI por proteína producida

Se estimó la cantidad promedio anual de proteína producida en los diferentes niveles de intensificación del uso del suelo, con la finalidad de estimar la cantidad de GEI invernadero que se emiten por kg de proteína. Para ello en el nivel semi-extensivo produce en promedio 599, el intensivo 1,348 y el extensivo 1,137 kg de proteína año⁻¹. En el Cuadro 7 se muestra que no existe diferencia ($P \leq 0.05$, Duncan) en las emisiones de GEI por kg de proteína producida, por lo que se considera que la eficiencia es similar en los tres niveles de intensificación. En este estudio se calculó que para producir 1 kg de proteína se produce entre 343 y 453 kg CO₂eq.

Cuadro 7. Estimación de GEI por kg de proteína producida en relación al nivel de intensificación del uso del suelo.

| Tipo de alimentación | PPP (kg) | GEIp kg CO ₂ eq | Error Estándar |
|----------------------|-------------|-------------------------------|-------------------|
| Semi-extensivo | 599 | 451 ^a | 62.55 |
| Intensivo | 1,348 | 343 ^a | 29.89 |
| Extensivo | 1,137 | 453 ^a | 47.66 |

Letras distintas en las filas son diferentes significativamente ($P \leq 0.05$, Duncan).

GEIp: gases de efecto invernadero por kg de proteína producida

PPP: Producción promedio de proteína por unidad de producción por nivel de intensificación

4.1. 3 Emisión de GEI con relación a la alimentación

De acuerdo a los resultados obtenidos no se encontró diferencia significativa en las emisiones de GEI en relación a la alimentación (Cuadro 7). Las emisiones de GEI son similares en los animales que tiene una alimentación basada solamente en pastoreo y aquellos que tienen alimentación basada en pastoreo más concentrado, esto es debido a que la cantidad de concentrado es mínima y por lo tanto no existe impacto sobre las emisiones de GEI.

Cuadro 8 .Estimación de GEI con relación a la alimentación por unidad de producción

| Tipo de alimentación | GEIt kg CO ₂ eq año ⁻¹ | GEIa kg CO ₂ eq año ⁻¹ | Error estándar |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|
| Pastoreo, pastura seca y maíz | 183,268 ^a | 7,968 | 31147 |
| Pastoreo, silo y maíz | 132,916 ^a | 2,461 | 18486 |
| Pastoreo | 160,053 ^a | 3,078 | 18178 |

Letras distintas en las filas son diferentes significativamente ($P \leq 0.05$, Duncan).

GEIt: Gases de Efecto Invernadero totales

GEIa: Gases de Efecto invernadero por animal.

4.1. 4 Fuentes de emisiones de GEI

Mediante el GLEAM-*i* se estimaron las fuentes de emisiones de los tres principales gases que se emiten por medio de la actividad ganadera que realizan las unidades de producción en sus diferentes niveles de intensificación del uso del suelo. En las Figuras 3, 4 y 5 se muestran las principales fuentes de cada gas de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O). Así mismo se observa que en promedio del 55 - 58 % del total de las emisiones de GEI en CO₂eq en los tres niveles de intensificación del uso del suelo procede de fermentación entérica (CH₄); 20 % de la aplicación y deposición del estiércol (N₂O); 12 % de la producción, transporte y procesamiento de piensos; 10 % procede de la fertilización y residuos de cultivos(N₂O) y el 3 % de restante, de manera equitativa procede del manejo del estiércol (CH₄), uso directo de la energía(CO₂) y uso indirecto de la energía (CO₂), respectivamente.

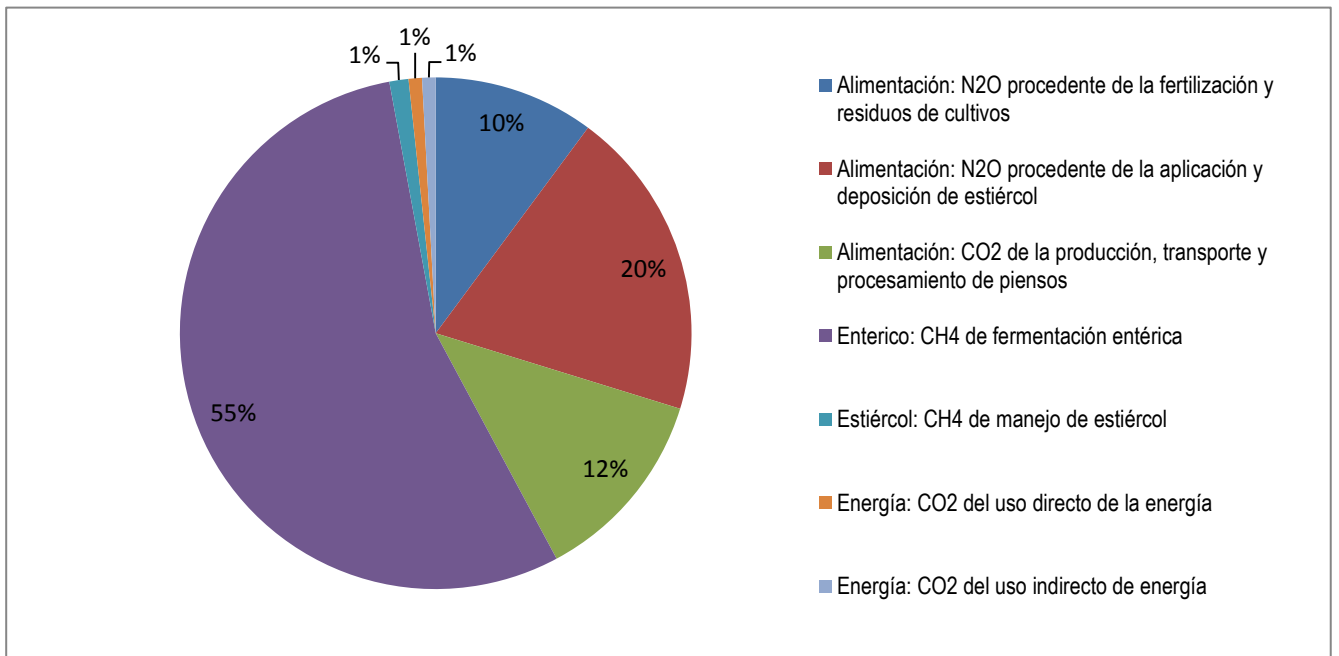


Figura 3. Fuentes de emisión de GEI en el nivel semi-extensivo

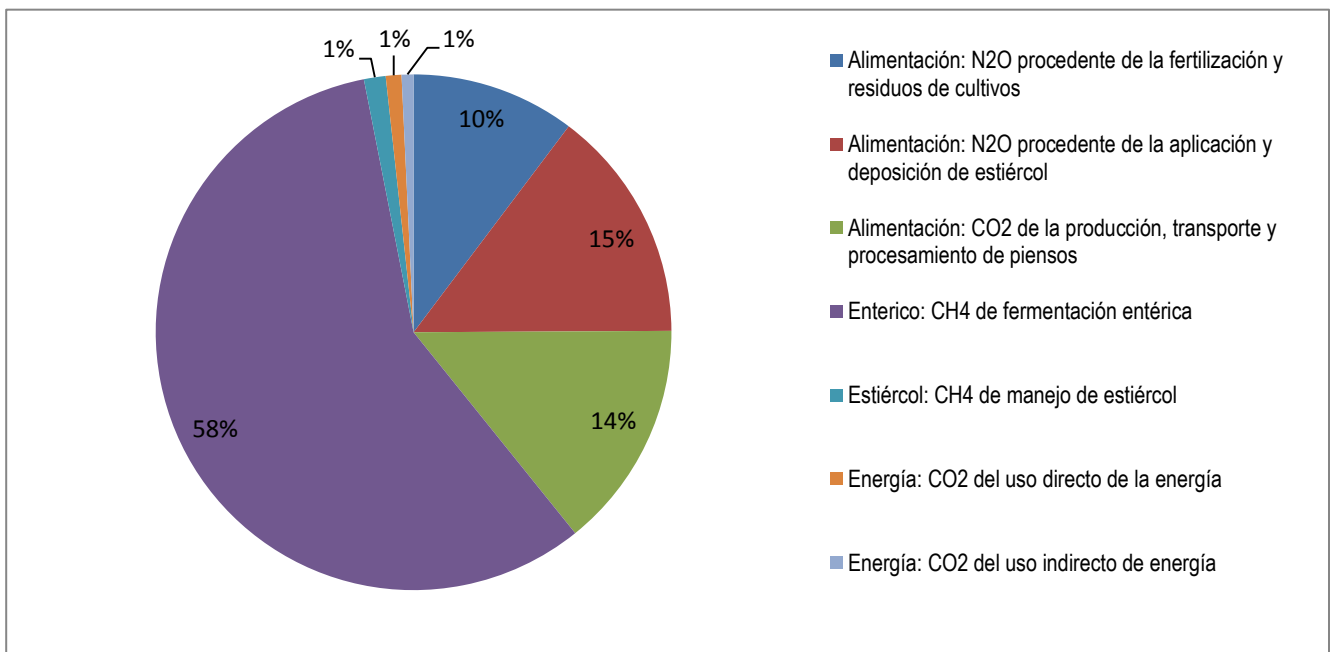


Figura 4. Fuentes de emisión de GEI en el nivel intensivo

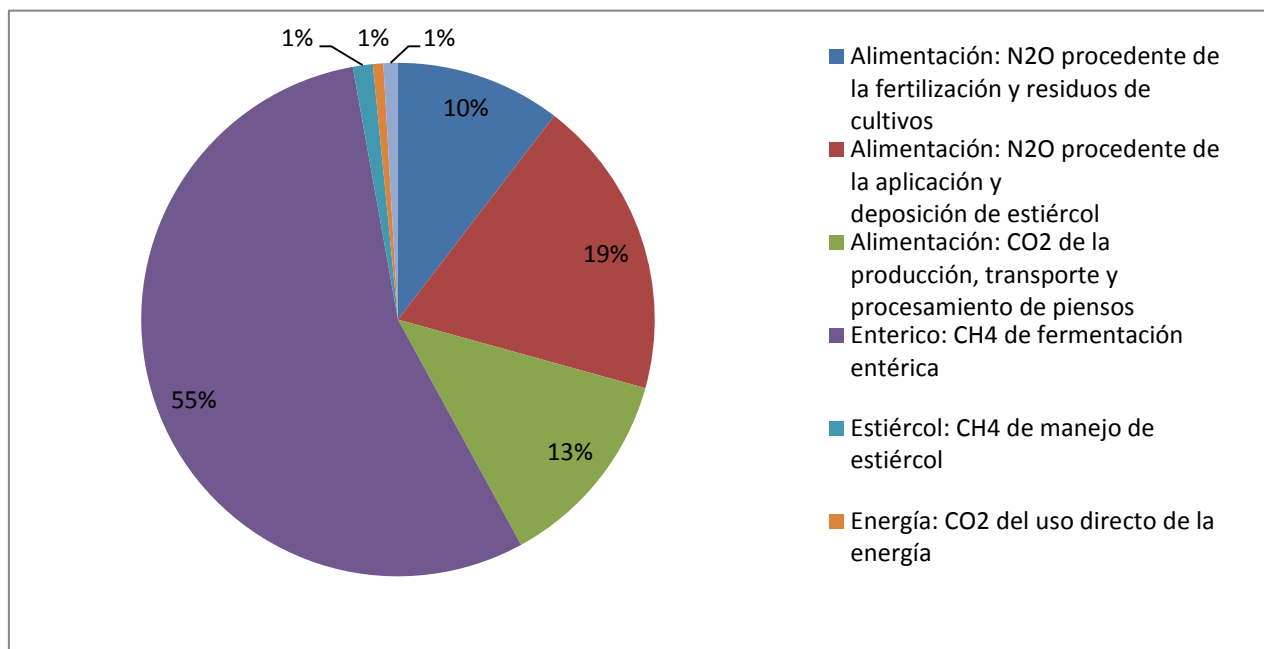


Figura 5. Fuentes de emisión de GEI en el nivel extensivo

4.1.5 Correlación entre las emisiones y las variables

El cuadro 9 se muestra que las emisiones de GEI se encuentran positivamente relacionadas con el número de animales ($r=0.97$), es decir entre mayor sea el número de animales mayor será la emisión de GEI, lo que concuerda con que el nivel semi-extensivo tenga una menor emisión de GEI ya que es en este nivel en el que las unidades de producción cuentan con menor número de animales. Así mismo se muestra que las unidades animales también se encuentran positivamente relacionadas las emisiones de GEI.

Cuadro 9. Correlación entre variables

| Variables | CO ₂ | N ₂ O | | CH ₄ |
|-------------------------------------|-----------------|--------------------------------|----|-----------------|
| | | Coeficiente de correlación (r) | | |
| Sup total (ha) | 0.21NS | 0.28 | NS | 0.23 NS |
| Sup gan (ha) | 0.41* | 0.56* | | 0.46* |
| Unidades animales | 0.64* | 0.76* | | 0.71* |
| Carga animal (UA ha ⁻¹) | 0.37* | 0.23 | NS | 0.36* |
| Número de animales | 0.97* | 0.94* | | 0.97* |

*= correlación significativa

NS= correlación no significativa

En la Figura 6 se observa que por cada unida animal que ingresa al sistema se emiten 2,126.8 kg CO₂eq año⁻¹ y que el número de animales con las emisiones de CH₄ están correlacionadas con ($R^2 = 0.95$).

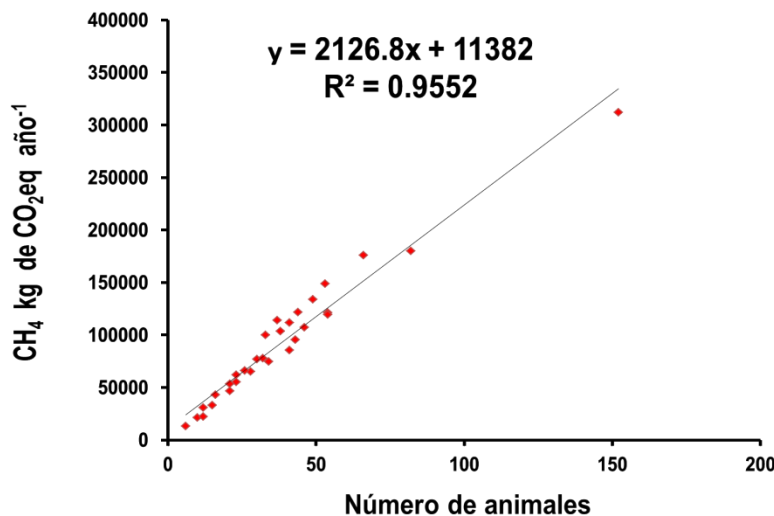


Figura 6. Regresión lineal de emisiones de CH₄ y número de animales.

4.2 Mitigación de GEI con implementación de un biodigestor

Mediante los escenarios de mitigación que proporciona el GLEAM-*i* se estimó que mediante el aprovechamiento de 20 kg de estiércol para abastecer el biodigestor se mitigó 2% del total de las emisiones de GEI que emite la unidad de producción propiedad del productor Lester Carrillo Cruz. Cabe mencionar que esta unidad de producción está clasificada en el nivel intensivo y tiene una emisión anual de 105,805 kg de CO₂eq, por lo que el 2 % representa 2,116.1 kg de CO₂eq.

Por otro lado, se estimó la producción de biogás la cual fue de 0.8 m³, esto se estimó indirectamente a partir de las horas de cocción diarias indicadas por el usuario, la cual fue de 1.5 h de biogás y 80 litros de biol por día.

Por último, se estimó la cantidad de leña que se deja de usar diariamente a través del aprovechamiento del biogás, para ello nos basamos en los datos de Eaton (2010) quien reporta que 1 m³ de biogás contiene 23 MJ de energía y 1 kg de leña contiene 19 MJ de energía, por lo cual, con los 0.8 m³ de biogás sustituye 17.25 MJ, lo que equivale a 0.9078 kg de leña diariamente en la unidad de producción, por lo que en un año se estaría sustituyendo 331.34 kg de leña, respectivamente.

5. DISCUSIÓN

5.1. Estimación de gases de efecto invernadero en diferentes niveles de intensificación del uso del suelo

La estimación de GEI permitió conocer que existe una diferencia en las emisiones de GEI anuales por unidad de producción entre los niveles de intensificación del uso del suelo. La menor emisión se observa en las unidades de producción pertenecientes al nivel semi-extensivo, esto se debe a que en este nivel de intensificación se tienen en promedio menor número de animales por unidad de producción, además de que en este nivel las unidades de producción mantiene un equilibrio entre la superficie ganadera y las unidades animales (21%), lo cual permite menor presión del ganado en pastoreo, para ello se destaca que este nivel tiene 27% de la superficie dedicada a la ganadería con respecto a los otros los niveles de intensificación 10.2% y 61.8%.

Cuttle, (2008) menciona que la productividad de la vegetación y el impacto ambiental depende de la calidad de suelo y que este a la vez, depende de la intensidad del manejo del pastoreo, es decir, a mayor intensidad de pastoreo, el impacto sobre la calidad del suelo y la producción de la vegetación tiende a ser negativo.

Bellido *et al.* (2001) mencionan que los sistemas ganaderos extensivos manejados adecuadamente tienden a conseguir el equilibrio entre producción y conservación, todo ello mediante la adecuación de los niveles de carga ganadera a la disponibilidad de recursos. Asimismo mencionan que el pastoreo de las zonas de monte y las prácticas trasterminantes y trashumantes constituyen elementos eficaces para la prevención de los incendios forestales. Sosa *et al.* (2007) señalan que cuando se utilizan sistemas intensivos de alimentación, se produce menores cantidades de metano al compararlo con los sistemas extensivos.

Thomassen *et al.* (2008) mencionan que los sistemas de producción de leche de tipo orgánico impactan menos al agua y al suelo, pero emiten más gases de efecto invernadero comparado con los sistemas de producción convencionales.

5.1.1. Emisión de metano entérico

El aumento de las emisiones de GEI en los niveles intensivo y extensivo se debe a que las unidades de producción tiene en promedio mayor número de animales (41 y 64 respectivamente), además de que existe un desequilibrio entre la superficie ganadera y las unidades animales, teniendo así una carga animal de 2.94 UA ha¹ en el nivel intensivo y 1.11 UA ha⁻¹ en el nivel extensivo en comparación con el nivel semi-extensivo que cuenta con 0.93 UA ha⁻¹.

Guevara *et al.* (2013) mencionan que el manejo inadecuado de la carga animal, provoca sobrepastoreo y por consecuencia se recurre a la compra de concentrado,

teniendo de esta manera una mayor emisión de GEI. Es por ello la importancia de ajustar la carga animal de acuerdo a las características ambientales que posea el campo y realizar descansos en el momento adecuado (Eckard *et al.*, 2010).

Chávez *et al.* (2000) mencionan que la carga animal, la disponibilidad de forraje, la nutrición y la regulación del consumo voluntario de forraje son considerados como los factores más importantes en la producción animal, (Woodward *et al.*, 1995), por lo que una carga animal lo más cercana a la capacidad de carga de la pastura, así como el uso eficiente de ésta mediante el pastoreo rotacional es una alternativa para la mejora de la producción animal (Mouse *et al.*, 2005).

A nivel de intensificación de uso del suelo, el gas de mayor importancia fue el metano, derivado básicamente de la fermentación entérica. En este estudio la emisión de metano entérico promedio por animal fue de 198 g CH₄ día⁻¹. Los resultados de esta investigación difieren con Faverin *et al.* (2014) quienes mencionan que según el inventario nacional de Argentina la producción de CH₄ es de 170 g por animal día⁻¹.

Carmona *et al.* (2005) mencionan una alternativa viable para aminorar la producción de metano y a la par disminuir las pérdidas energéticas del ganado es la manipulación de la dieta. Asimismo mencionan que esta alternativa toma mayor fuerza en las condiciones de trópico, donde la mayoría de los sistemas de producción ganadera tienen bajos rendimientos debido a las dietas de baja calidad, por el alto contenido de fibra y poca digestibilidad, por ello cuando las dietas están basadas en forrajes, la producción de CH₄ está positivamente correlacionada con la digestibilidad de la materia orgánica y la proporción de FDN (fibra detergente neutro) (Archimède *et al.*, 2011). Por ejemplo, Blaxter y Clapperton (1965) reportaron que al incrementar el nivel de alimentación desde el mantenimiento a dos veces este valor, el porcentaje de EB (energía bruta), que se pierde como CH₄ se reduce cuando se incrementa la digestibilidad, por lo que se podría esperar que la mejora en la digestibilidad del forraje permita disminuir la emisión en animales en pastoreo.

En un trabajo realizado por Kurihara *et al.* (1995) se muestra que la alta producción de metano en forrajes tropicales está relacionada con los altos niveles de fibra y de lignina, a los bajos niveles de carbohidratos solubles y a su baja digestibilidad. Así mismo, Molina *et al.* (2016) resaltan que la importancia de los forrajes de buena calidad ya que gran parte de la eficiencia en el uso de forrajes se debe a las diferencias en el contenido y digestibilidad de la fibra.

Otro factor importante cuando se relaciona la producción de metano con el metabolismo ruminal, es el efecto del pH. Dietas con forrajes de baja calidad no causan una significativa disminución en el pH ruminal y están asociadas a una alta producción de metano. Mientras que dietas con altos contenidos de alimentos concentrados, generalmente disminuyen la producción de metano, pero sólo si el

consumo es lo suficientemente alto para causar una reducción en el pH ruminal (Carmona *et al.*, 2005). Esto concuerda con lo reportado por Moss *et al.* (2002) quienes indican que, en dietas basadas en forrajes, pero con bajo pH, se disminuye la metanogénesis, independiente de la formación de propionato.

En un estudio realizado sobre la producción de metano entérico de ganado lechero en pastoreo realizado por Muñoz *et al.* (2015) observaron que el aumento del nivel de suplementación con concentrado de 1 kg a 5 kg vaca⁻¹ día⁻¹, resultó en un incremento en la producción de leche y la producción total de metano al pasar de 452 a 500 L CH₄ vaca⁻¹ día⁻¹, respectivamente, sin afectar la producción de metano por unidad de leche producida. Sauvant y GigerReverin (2009) mencionan que el aumento en la proporción de concentrado resulta una alternativa para lograr reducciones en la producción de metano. Estos autores reportan que la relación entre la producción de CH₄ por unidad de energía consumida y la proporción de concentrado en la dieta es curvilínea, con pérdidas de CH₄ de 6-7 % relativamente constantes cuando el nivel de concentrado es de 30-40 %, y que decrecen a 2-3% de la energía consumida cuando el nivel de concentrado es de 80-90 %. Por otra parte Hristov *et al.* (2013) mencionan que aunque los concentrados puede visualizarse inicialmente como una forma de mitigación de CH₄ con respecto a los forrajes, el impacto de estos disminuye de forma significativa si se le incluye la emisión de GEI que está asociada a la producción del concentrado (Gerber *et al.*, 2013).

En Brasil, Primavesi *et al.* (2004) encontraron emisiones de metano entre 1.7 a 3.09 t CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹ en praderas fertilizadas de *Megathyrsus maximus* y *Brachiaria decumbens* y de 1.38 a 1.52 t CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹ en praderas sin fertilizar. Broucek (2014) mencionó que las emisiones de este gas en ganado lechero varían dependiendo de la raza, la dieta, el estado fisiológico de animal, mientras que Johnson y Johnson (1995) mencionaron que el consumo y valor nutritivo del alimento, tipo de carbohidratos y la manipulación de la microflora ruminal son factores que determinan la producción de CH₄. Al respecto, IPCC (2006) menciona que entre los factores que afectan la emisión de metano son el tipo de animal y las características nutricionales de la dieta, así como el consumo y la disponibilidad

Benaouda *et al.* (2017) mencionan que es importante desarrollar estrategias para reducir la producción de metano en el rumen puede, ya que por un lado, contribuir a mitigar los efectos del metano sobre el cambio climático, y de otro lado traer beneficios económicos a los ganaderos al hacer animales más eficientes en cuanto al uso de la energía de los alimentos, debido principalmente a que la producción de CH₄ representa una pérdida de la energía de la dieta para el rumiante (Eckard *et al.*, 2010; De Klein *et al.*, 2008), que pueden variar entre 2 y 12% de la energía bruta (EB) ingerida (Johnson y Johnson, 1995).

Por otra parte, DeRamus *et al.* (2003) mencionan que la opción de reducción de

metano consiste en la sustitución de tecnologías convencionales por alternativas concomitantes con una adecuada producción y mínimos efectos a los ambientales. Así como la implementación de prácticas de manejo en las pasturas que contribuyan a incrementar la productividad y disminuyan las emisiones de metano.

En trabajos como el reportado por Hess *et al.* (2002) se indica que la liberación de metano se puede reducir con el uso de frutos del árbol tropical *Sapindus saponaria* cuando se suministra en dietas con pastos de baja calidad con o sin suplementación de leguminosa. Abreu *et al.* (2003) mencionan que el uso del mismo árbol (8% de fruto, 5% de pericarpio o 1.2% de extracto de saponinas semipurificadas, en base seca de la dieta basal) en una dieta compuesta por *Brachiaria dictyoneura* (60%) y *Cratylia argentea* (40%) no mostró efectos sobre la disminución de las emisiones de metano.

5.1.2. Emisión de GEI por proteína producida

Las emisiones de GEI por kilogramo proteína (carne y leche) fueron entre 343 y 453 kg CO₂eq, en contraste a Molina (2014) quien reportó que por kg de proteína de leche se emite 65.26 kg de CO₂eq en un sistema de bovinos convencional en Villaflores, Chiapas.

Hagemann *et al.* (2012) mencionan que para sistemas de lechería alrededor del mundo el rango de emisión es de 0.98 y 2.69 kg de CO₂eq por kg de leche, asimismo mencionan que esto depende de manejo que reciben los sistemas de producción, los cuales son variables dependiendo el lugar donde se encuentren.

5.1.3. Emisión de GEI con relación a la alimentación

No se encontró diferencia significativa en las emisiones de GEI debido a que la alimentación en los tres niveles de intensificación del uso del suelo está basado en el pastoreo con pasturas naturales o degradadas; aunado a ello el mal manejo de la dieta con limitado o nulo uso de suplemento para la época de seca donde el pastoreo (el alimento es de menor calidad) y no alcanza a compensar el requerimiento de nutrientes que demandan los animales, es por ello que la alimentación no impacta de manera positiva en las emisiones de GEI. Al respecto, Steinfeld *et al.* (2006); Murgueitio *et al.* (2011) mencionan que la ganadería bovina bajo pastoreo extensivo está asociada con una alta generación de GEI, bajos parámetros reproductivos y la degradación general de los recursos naturales. Esta dinámica ganadera a escala global ha contribuido a la deforestación, degradación de los recursos naturales y medioambiente, y la baja productividad, lo que ha despertado el interés por la búsqueda una ganadería más sustentable nivel global (FAO, 2012).

Por lo anterior mencionado, se requiere generar ecotecnologías viables que permitan transitar de la ganadería extensiva a sistemas intensivo, integrados y sostenibles

(SEMARNAT¹⁰, 2014). Por ello, en los últimos 15 años, diversas agencias de desarrollo e investigación han unido esfuerzos para promover una ganadería alternativa a la extensiva, la cuales son conocidas bajo diferentes nombres: silvopastoriles (SSP), sustentable, biodiversa, holística, agroforestería pecuaria, de baja emisiones y climáticamente inteligentes, (Marinidou *et al.*, 2018). Estos tipos de ganadería comúnmente llamada silvopastoril implican la adopción de árboles en las unidades de producción ganaderas (UPG), ya sea de forma pasiva por regeneración natural (RN) o por siembra.

Los SSP contribuyen a la reducción de GEI generados por la actividad ganadera a través de la captura de carbono en árboles y suelos debido al aumento de cobertura vegetal y a la disminución de los procesos de deforestación; adicionalmente, al contar con pastos y forrajes de mejor calidad nutricional se reduce las emisiones de metano a la atmósfera debido al proceso fermentativo a nivel ruminal (Barahona y Sánchez, 2005), ya que la emisión de metano está influenciada por factores tales como: tipo de animal, características de la dieta, consumo y la digestibilidad (IPCC, 2006). De manera indirecta los SSP contribuyen a la reducción del uso de fertilizantes nitrogenados, pesticidas y otros insumos (Murgueitio *et al.*, 2011).

Por otra parte, los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) incrementan la productividad ganadera a través de la oferta de biomasa forrajera que a su vez incrementa la carga animal y la producción de carne y /o leche, pero además se convierte en sumidero de CO₂ al mismo tiempo que reduce las emisiones de metano por unidad de producto, teniendo así un balance de GEI positivo (Murgueitio *et al.*, 2014). En algunas regiones de Chiapas se ha difundido la ganadería silvopastoril, sin embargo aún prevalecen los sistemas ganaderos extensivos con escasa presencia de árboles (Ruiz-González y Victorino-Ramírez 2014). Jarvis *et al.* (2010) mencionan que es necesario aumentar la adopción de sistemas productivos con menor impacto ambiental sin afectar los aspectos productivos, sociales y económicos

5.1.4. Fuentes de emisiones de GEI

Respecto a las emisiones de metano, la mayor fuente de emisión fue la fermentación entérica y en menor proporción el manejo del estiércol, lo que coincide con Pinares-Patiño *et al.* (2009), quienes mencionan que las heces depositadas en el campo son otra fuente de emisión de CH₄, sin embargo, esta fuente se considera relativamente pequeña cuando es comparada con la fermentación entérica. Por ejemplo, en Argentina, según el inventario nacional, de las emisiones de CH₄ atribuidas a la ganadería sólo el 2 % proceden de la materia fecal (SayDS¹¹, 2007).

¹⁰ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

¹¹ Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

Por otra parte, FAO (2006) reporta que en el sector agrícola, la producción de metano por la fermentación entérica de los animales y el manejo de excretas genera entre el 35-40% de las emisiones antropogénicas totales de este gas. De manera similar, Wiedemann, (2015), O' Brien *et al.* (2014) mencionan que las dos principales fuentes de emisión de sector ganadero de leche, carne y doble propósito, son la fermentación entérica y el manejo del estiércol.

Maqueda *et al.* (2005) mencionan que a nivel mundial las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero consideradas en la agricultura son: fermentación entérica, gestión de estiércol, cultivo de arroz, suelos agrícolas, quemas planificadas de sabanas, quema en campo de residuos agrícolas. Además mencionan que en la mayoría de los países existe un alto grado de intensificación del ganado, pero reducir el número de cabezas para disminuir la emisión de metano por la fermentación entérica iría en contra del concepto de agricultura sostenible. Por ello, los autores mencionan que la única alternativa viable sería incidir en la calidad de los alimentos consumidos por la ganadería intensiva y un correcto manejo de los residuos y estiércoles de la ganadería intensiva para favorecer la disminución de licuados y de los procesos anaeróbicos, permitiría reducir las emisiones debidas al tratamiento de estiércoles y purines.

Por otra parte, EPA¹², (2006); Anders, (2007) mencionan que el uso de los biodigestores contribuye a la reducción de la emisión de GEI, principalmente de CH₄, el cual posee un potencial de calentamiento global 23 veces más alto que el CO₂. Además, el uso de biodigestores permite contar con una fuente alternativa de energía y a la par disminuir la emisión de gases de efecto invernadero al ambiente (Alonso-Estrada *et al.*, 2014).

La mayor emisión de N₂O procedió del estiércol y la menor emisión fue de fertilización, esto es debido a que los productores no realizan ninguna práctica para el aprovechamiento del estiércol, por lo que el 100 % de este permanece en los potreros, además de que no cuentan con programas de fertilización de sus pasturas por lo que éstas se fertilizan de manera natural mediante el estiércol que provee el ganado durante el pastoreo, esto concuerda con Faverin, *et al.* (2014) mencionan que dos fuentes principales de N₂O en los sistemas pastoriles que derivan tanto del nitrógeno diario excretado como de los fertilizantes sintéticos aplicados (Figura 4).

Respecto a las emisiones de CO₂, Steinfeld *et al.* (2006) mencionan que pueden ser emisiones directas e indirectas. Dentro de las directas se encuentra la utilización de combustibles fósiles para las distintas actividades realizadas en el predio, mientras que entre las indirectas se cuentan las emisiones externas al establecimiento, pero que tienen su impacto en el proceso de producción; por lo que la liberación indirecta sería mucho mayor que la directa, lo cual concuerda con

¹² Agencia de Protección Ambiental

los resultados ya que emisión directa de CO₂ procedente del proceso de producción fue mayor con respecto a las emisiones de CO₂ procedentes de manera indirecta por el uso de combustibles fósiles. Esto se debió principalmente a que en las unidades de producción hacen poco uso de combustibles fósiles ya las actividades en los predios se realizan de manera manual y también por el mínimo uso de insumos externos al sistema de producción.

5.1.5. Correlación entre las emisiones y las variables

Las emisiones promedio de gases de efecto invernadero emitidos por las unidades de producción en los diferentes niveles de intensificación del uso del suelo, estuvieron ligados en mayor proporción al número de animales con que se cuentan. Al respecto, Nieto *et al.* (2014) mencionan que la diferencia promedio de GEI en diferentes subsistemas puede atribuirse, por un lado, a la diferencia en el número de animales y por otro, a la calidad de alimentación en las diferentes etapas de producción.

5.2. Uso de biodigestores

La mitigación de GEI fue mínima debido a que sólo se implementó un biodigestor, el cual tuvo una capacidad de 2.3 m³ y que está siendo alimentado con 20 kg de estiércol diariamente. El aumento en la mitigación de GEI está en función de la cantidad de estiércol que se utilice, misma que se verá reflejada en una mayor producción de biogás y biol. Vidal (2013) menciona que esta tecnología de digestión anaeróbica para la producción de biogás contribuye a disminuir la contaminación del medio ambiente, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, disminuyendo el uso de combustibles fósiles y fertilizantes químicos, y contribuyendo a la mejora de la vida de los pobladores de zonas rurales y suburbanas.

En este estudio se recalca la importancia que tiene de los biodigestores, ya que tecnología puede aplicarse tanto en sistemas de ganadería intensiva como en explotaciones a pequeña escala en zonas rurales, sea a nivel colectivo o individual (Poggio *et al.*, 2009), principalmente por la producción de biogás, lo cual contribuye al desapego de leña en los hogares.

Martí-Herrero *et al.* (2014) indicaron que los sistemas de biodigestión involucran aspectos como energía, mediante la generación de biogás; ambiente, a través de la reducción en la deforestación y tratamiento de residuos; salud, por la reducción enfermedades respiratorias debido al uso de leña para la elaboración de alimentos y producción por el uso de fertilizante natural (biol). La implementación de los biodigestores es importante principalmente porque a nivel mundial se estima que se

consume entre 0.7 y 1 kg de leña por persona⁻¹ día⁻¹ mientras que en varias comunidades de Chiapas el consumo de leña diario oscila entre 3 y 5 kg por persona (Burgos, 2010), lo cual tiene impacto tanto en la salud como en ambiente, ya que según datos de la Organización mundial de la Salud señalan que el humo es causante de la muerte de dos millones de personas anualmente en el mundo (Martin *et al.*, 2011).

Santos *et al.* (2012) menciona que la recolección de leña tiene sus beneficios, ya que la extracción de madera en los bosques y selvas evita que, en épocas de secas, los incendios forestales consuman los bosques. Una iniciativa de la Comisión Nacional Forestal, luego del paso del huracán Stan en el estado de Chiapas, fue la recolección y poda de los materiales vegetales acumulados, así como el aprovechamiento energético por parte de las comunidades participantes (Santos *et al.*, 2012). Por ello, el impacto del uso de leña sobre la cobertura vegetal depende de la intensidad de la colecta y la abundancia del recurso, que puede darse de distintas formas: a) cuando se colectan ramas caídas de los árboles, b) si se incluye el corte de las ramas verdes de los árboles, c) si se utiliza el árbol completo (Quiroz-Carranza y Orellana, 2010). Las dos primeras opciones mantienen las condiciones de estructura y función del bosque debido a su mínimo efecto, mientras que la última irremediablemente alterará de forma considerable, e incluso con efectos contrarios para quienes requieren la leña, ya que tras el desmonte el lugar deja de ser una opción como fuente de leña (Santos *et al.*, 2012).

Por otra parte, los desechos agropecuarios y agroalimentarios constituyen una fuente renovable para obtener energía (Mofokeng *et al.*, 2016), esto es importante ya que representan una alternativa económica y ambiental para suministro a las unidades productivas y a los asentamientos poblacionales. Por ello los biodigestores han cobrado mayor importancia, principalmente en países en desarrollo, como México, donde se produce una gran cantidad de Residuos Sólidos Urbanos la cual podría ser usada en la producción de biogás y este como fuente de energía. Respecto a lo anterior, México tiene una producción primaria basada principalmente en combustibles fósiles (91.31%), en tanto que las fuentes renovables tiene una participación de 7.56 %, donde el biogás cuenta con la menor participación dentro del rubro con 0.02%. Esto refleja el poco aprovechamiento de las energías renovables, principalmente de biogás como fuente energética primaria en la generación de energía (Vera-Romero *et al.*, 2017).

López-Savran y Suárez-Hernández (2018) implementaron dos biodigestores de 45 m³ en un centro de producción porcina en el municipio de Cabaiguán, Cuba, mediante el uso de esta tecnología se dejaron de usar 11 t de leña por año para la cocción de alimentos y otros usos domésticos, además que se disminuyó entre 40 % y 60 % el consumo de energía eléctrica, con ello, estos autores demostraron que la producción de biogás a partir de la excreta de los animales es factible como fomento

de la agroenergía. Asimismo mencionan que la red de distribución de biogás tuvo efecto positivo en el ahorro de leña, electricidad y diésel; en la mejora de la calidad de vida y medio ambiente.

En el presente estudio la reducción de la incertidumbre se basó en la aplicación de la metodología Tier II del IPCC. Esto se traduce en una estimación más precisa del consumo de alimento y la calidad para el cálculo de las emisiones de la fermentación entérica y el manejo del estiércol. Por otra parte, para el factor de conversión de metano (Y_m), digestibilidad y composición de alimento GLEAM-*i* se basa valores reportados en la literatura de inventarios de regiones y países, por lo que la disponibilidad, la calidad y la resolución de los datos varían según los parámetros y los países considerados. Por ejemplo, en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), donde la agricultura tiende a ser más regulada y monitoreada, a menudo hay conjuntos de datos nacionales o regionales completos. Por el contrario, en países no pertenecientes a la OCDE los datos a menudo no están disponibles, lo que requiere el uso de valores regionales predeterminados.

Por lo anterior mencionado, los factores de emisión e intensidades reportados en la literatura deben contrastarse considerando las condiciones ambientales, sistemas productivos, manejo de los animales, base de datos disponibles, así como la profundidad de alcancé del estudio.

Por otra parte, es importante mencionar que los cálculos en GLEAM-*i* involucran cientos de parámetros, cuyos valores están sujetos a cierto grado de incertidumbre y pueden tener un impacto significativo en los resultados. Se han realizado análisis de incertidumbre parcial, para países y sistemas seleccionados, para ilustrar los posibles rangos de incertidumbre en los resultados y para resaltar los parámetros que hacen la mayor contribución a la incertidumbre (MacLeod *et al.*, 2013, y Opio *et al.*, 2013). Dichos enfoques son parte del desarrollo continuo de GLEAM-*i*.

Para ayudar al sector a contribuir al esfuerzo general de la mitigación es necesario una mejor comprensión del surgimiento de las emisiones en las cadenas de suministro del ganado. La mayoría de los estudios han contemplado emisiones globales de las unidades de producción, lo cual proporciona una base limitada para la cuantificación y mitigación las emisiones de GEI. Por lo tanto, GLEAM-*i* está diseñado para complementar los estudios existentes al proporcionar una forma espacial y temporal consistente e integral de cuantificar las emisiones de GEI que surgen de la producción ganadera mundial, esto a través de la mejora de la calidad de los datos para países no pertenecientes a la OCDE y validar los resultados, será una prioridad para GLEAM. Al respecto, esto es importante dado que gran parte del potencial de mitigación agrícola se encuentra en regiones no pertenecientes a la OCDE (Smith *et al.*, 2007.)

6. CONCLUSIONES

La emisión anual de GEI en relación al nivel de intensificación es atribuible principalmente al número de animales. Respecto a la emisión por tipo de gas, en los tres niveles de intensificación del uso de suelo, la mayor emisión fue de metano el cual tuvo como principal fuente la fermentación entérica.

En estas condiciones de estudio, no existió diferencia significativa en las emisiones de GEI con relación a la alimentación, lo que sugiere que el aporte de nutrientes es similar en el ganado que sólo pastorea y aquellos que son suplementan con granos o ensilado. Se sugiere el manejo adecuado de la carga animal, la cual debe estar en función de la calidad y cantidad de pastos, esto con el fin de que los animales no sólo satisfagan las necesidades de sostenimiento sino también de producción y reproducción.

La implementación del biodigestor contribuyó a la mitigación mediante la reducción de las emisiones de GEI, y ha generado interés por la adopción de esta tecnología con el resto de los productores. La mitigación de GEI estará en función de la cantidad de biodigestores instalados, así como la cantidad de estiércol a utilizar en cada uno de ellos. Por otra parte, representa un impacto económico, mediante el ahorro de la compra de gas LP; saludable, al no estar expuesto al humo; y ambiental, mediante la mitigación de GEI.

7. LITERATURA CITADA

- Abreu A., Carulla JE., Kreuzer M., Lascano C., Díaz TE., Cano A y Hess, HD. Efecto del fruto, del pericarpio y del extracto semipurificadas de saponinas de *Sapindus saponaria* sobre la fermentación ruminal y la metanogénesis in vitro en un sistema RUSITEC. *Rev Col Cienc Pec.*16: 147-154.
- Ahrens, T. D., D. B. Lobell, J. I. Ortiz-Monasterio., Y. Li, y P. A. Matson. 2010. Narrowing the agronomic yield gap with improved nitrogen use efficiency: a modeling approach. *Ecol. App.* 20: 91-100.
- Alonso-Estrada, D., Lorenzo-Acosta, Y., Díaz-Capdesuñer, Y., Sosa-Cáceres, R., Angulo-Zamora, Y. 2014. Tratamiento de residuales porcinos para la producción de biogás. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 48 (3), 16-21.
- Álvarez, A. 2014. El cambio climático y la producción animal. La Habana, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 48(1). 7-10. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1930301122004>
- Amézquita, M. C., Ibrahim, M., Llanderal, T., Buurman, P., y Amézquita, E. 2004. Carbon sequestration in pastures, silvo-pastoral systems and forests in four regions of the Latin American Tropics. *Journal of Sustainable Forestry*, 21, 31-49.
- Ander S. J. 2007. Biogas production and use in California's dairy farms. A survey of Regulatory Challenge. Epic. Disponible en http://lib.sandiego.edu/law/documents/centers/epic/BiogasRegulatoryPaper_FINAL_001.pdf
- Andrade-Castaneda HJ, Arteaga-Cespedes CC, Segura-Madrigal MA. 2017. Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia). *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*. 18(1):103-112 DOI: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:561.
- Archimède, H., Eugène, M., Magdeleine, M., Boval, M., Martin, C., Morgavi, D.P., Lecomte, P. and Doreau, M. 2001. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 59-64
- Aryal, DR; Castro, HG; García, NDC; Ruiz, O de JJ; Paniagua, LFM; Trujillo, JAJ; Venegas, JAV; Ruiz, RP; Coss, AL de; Hernández, FG. 2018. Potencial de almacenamiento de carbono en áreas forestales en un sistema ganadero. (en línea). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(48) Disponible en <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/184>

- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2011. Metodología MDL para sistemas de manejo de excretas animales. Disponible en: http://finanzascarbono.org/comunidad/mod/file/download.php?file_guid=3628
- Barahona, R; Sánchez, S. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista Corpoica* 6 (1): 69-82.
- Bárbaro, N., Gere, R., Gratton, R., Rubio, R. and Williams, K. 2008. First measurements of methane emitted by grazing cattle of the Argentinean beef system. New Zealand. *J. Agric. Res.* 51(2):209-219.
- Bellido M., M., Escribano Sánchez, M., Mesías Díaz, F., Rodríguez de Ledesma, A., & Pulido García, F. 2001. Sistemas extensivos de producción animal. *Archivos de Zootecnia*, 50 (192), 465-489.
- Benaouda, M., González Ronquillo, M., Molina, L., Castelán Ortega, O. 2017. Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8 (4): 965-974.
- Blaxter, K.L. and Clapperton, J.L. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition* 19:511–521.
- Bousquet, P., P. Ciais, J. B. Miller, E. J. Dlugokencky, D. A. Hauglustaine, C. Prigent, G. R. Van der Werf, P. Peylin, E. G. Brunke, C. Carouge, R. L. Langenfelds, J. Lathière, F. Papa, M. Ramonet, M. Schmidt, L. P. Steele, S. C. Tyler, and J. White. 2006. Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability. *Nature* 443, 439-443.
- Boyazoglu, J. 1998. Livestock farming as a factor of environmental, social and economic stability with special reference to research. *Livestock Production Science*, 57: 1-14
- Broucek, J. 2014. Production of Methane Emissions from Ruminant Husbandry: A Review. *Journal of Environmental Protection*. 5: 1482-1493. http://file.scirp.org/pdf/JEP_2014112614380_312.pdf. Consulta: 26-de octubre de 2018.
- Burgos, D.E. 2010. Uso de la leña: normatividad, consumo y contaminación intramuros en Rincon Chamula, Chiapas, México. Tesis de Maestría, Ecosur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, 62 p.
- Campero, R. O. 2008. Analysis of Factors Influencing Biogas. *Release Geliotekhnika*, 3: 109-112-
- Carmona, J., Bolívar, D., 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.
- Carreras, Nely. El biogás.2103. Brasilia: ONUDI, Observatorio de energía renovable y América y El Caribe.
- Cuttle, S. P. 2008. Impacts of pastoral grazing on soil quality. En: *Environment Impacts of pasture-based farming*. McDowell, R. W (ed.).

- Chávez Silva, A., Pérez García, A., Sánchez Granillo, E. 2000. Intensidad de pastoreo y esquema de utilización en la selección de la dieta del ganado bovino durante la sequía. *Técnica Pecuaria en México*, 38 (1), 19-34.
- Christensen, L., W. J. Riley, and I. Ortiz-Monasterio. 2006. Nitrogen cycling in an irrigated wheat system in Sonora, Mexico: measurements and modeling. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 75: 175-186.
- Clark, H., Kelliher, F. y Pinares-Patiño, C. 2011. Reducing CH₄ emissions from grazing ruminants in New Zealand: Challenges and opportunities. *Asian-Australian. J. Anim. Sci.* 24 (2): 295 – 302.
- Denman, K. L., G. Brasseur, A. Chidthaisong, P. Ciais, P. M. Cox, R. E. Dickinson, D. Hauglustaine, C. Heinze, E. Holland, D. Jacob, U. Lohmann, S. Ramachandran, P. L. da Silva Díaz, S. C. Wofsy, and X. Zhang. 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. pp. 499-587. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller (eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- DeRamus HA, Clement TC, Giampola DD, Dickison PC. 2003. Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. *Journal Environ Qual.* 32: 269-277
- Díaz-Jiménez, R. 2000. Consumo de leña en el sector residencial de México. Evolución Histórica y Emisiones de CO₂. Tesis de Maestría en Ingeniería (Energética), División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, p. 113, México, D.F.
- Eaton, A. 2010. Mexico Biodigester Development Program: Sustainable Agriculture, Renewable Energy, and Emissions Reductions in the Lerma-Chapala Watershed. International Renewable Resources Institute. En línea: Consultado octubre de 2019, Disponible en <http://www.irrimexico.org/pdf/MexicoDigesterDevelopmentProgram.pdf>
- Eckard, R.J., Grainger, C. and De Klein, C.A.M. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science* 130: 47- 56.
- Environmental protection Agency (EPA). 2006. Global Anthropogenic Non-CO₂ Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020. <http://www.epa.gov/methane/pdfs/-GreenhouseGasReport.pdf>.
- Espinosa, G. J.A., Matus, G. J.A., Martínez, D. M. A., Santiago, C. M. J., Román, P. H. y Bucio, A. L. 2000. Análisis económico de la tecnología bovina de doble propósito en Tabasco y Veracruz. *Agrociencia* 34:651
- Erismann, J. W., M. A. Sutton, J. Galloway, Z. Klimont, and W. Winiwarter. 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geosci.* 1: 636-639.

- FAO. 2017. Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM). Disponible en: <http://www.fao.org/gleam/es/> (Consulta: octubre 10, 2017).
- FAOSTAT (The Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database). 2014. <http://faostat3.fao.org/home/E>. 2014. (Consulta: junio 10, 2019).
- FAVERIN, C.; GRATTON, R.; MACHADO, C.F. 2014. Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de producción de carne vacuna de base pastoril. Revisión bibliográfica. *Revista Argentina de Producción Animal*, 34(1), 1–22.
- Flamenco-Saldoval, A., M. Martínez R. and O. R. Masera. 2007. Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. *Biological Conservation* 138(1-2):131-145
- Flückiger, J. T. Blunier, B. Stauffer, J. Chappellaz, R. Spahni, K. Kawamura, J. Schwander, T. F. Stocker, and D. Dahl-Jensen. 2004. N₂O and CH₄ variations during the last glacial epoch: insight into global processes. *Glob. Biochem. Cycles* 18.
- Garduño, R. 2004. ¿Qué es el efecto invernadero? En: Cambio climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología. En línea: Consultado 15 de abril de 2018, Disponible en <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/download/437.pdf>
- Gerber, P.J., Hristov, A. N., Henderson, B., Makkar H., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A. T., Yang, W.Z., Tricarico, J. M., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J., Oosting, S. 2013. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal*, 7 (2): 220–234.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G. 2013. Hacer frente al cambio climático a través de la ganadería. Evaluación global de las emisiones y las oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma. pp 154. <http://www.fao.org/3/a-i3437s.pdf>. (Consulta: 20 de octubre de 2018.)
- Guevara, F., Rodríguez, L.A., Saraoz, V., La O, M., Gómez, H., Pinto, R., Fonseca, María., Ruiz, B., Nahed, J. 2013. Balance energético del sistema local de la producción de bovinos de engorde en Tecpatán, Chiapas, México. *Revista Cubana Ciencia Agrícola*. 47 (4): 359- 365.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. y Tempio, G. 2013. Hacer frente al cambio climático a través de la ganadería. Evaluación global de las emisiones y las oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma. 129 p.
- Greenwood, K.L., McKenzie, B.M. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41:1231–1250.

- González, S. 1992. Ganadería mestiza de doble propósito. Facultad de Agronomía. Universidad del Zulia (Luz). Maracaibo. Venezuela.
- González-Espinosa, M., N. Ramírez-Marcial, L. Galindo-Jaimes, A. Camacho-Cruz, D. Golicher, L. Cayuela y J. M. Rey-Benayas. 2009. Tendencias y proyecciones del uso del suelo y la diversidad florística en Los Altos de Chiapas, México. *Investigación Ambiental Ciencia y Políticas Públicas* 1(1):40-53.
- Goodland, R. and J. Anhang. 2009. Livestock and Climate Change. What if the key actors in climate change were pigs, chickens and cows? pp. 10-19. *In: World Watch Magazine*. Worldwatch Institute. Washington, DC, USA.
- Hernández Vargas, G., & Sánchez Velásquez, L., & Carmona Valdovinos, T., & Pineda López, M., & Cuevas Guzman, R. (2000). Efecto de la ganadería extensiva sobre la regeneración arbórea de los bosques de la Sierra de Manantlán. *Madera y Bosques*, 6 (2), 13-28.
- Herrera, D.; Hube, S.; Morales, J.; Ungerfeld, E. y Muñoz, C. 2014. Efecto de la suplementación con concentrado sobre las emisiones de metano y desempeño productivo de vacas lecheras en lactancia tardía. In: proceeding of primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica. Alfaro, M. V.; González, S. M.; Hube, S. S.; Muñoz, C. M.; Pinares-Patiño, C. y Ungerfeld, E. Núm. 54. INIA. Chile. 89-90 pp.
- Hess, H. D, Monsalve LM, Carulla JE, Lascano CE, Díaz TE, Kreuzer M. 2002. Invitro evaluation of the effect of *Sapindus saponaria* on methane release and microbial populations Disponible en:http://www.ciat.cgiar.org/forrajes/pdf/output1_2002.pdf.
- Holz, S. y Ramírez-Marcial, N. 2011. La leña: principal recurso energético en las comunidades rurales. Metodologías para la estimación del consumo doméstico y producción de leña a partir de árboles nativos. El colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, 34 p.
- Hristov, A. N.; Oh, J.; Firkins, J. L.; Dijkstra, J.; Kebreab, E.; Waghorn, G.; Makkar, H. P.; Adesogan, A. T.; Yang, W.; Lee, C.; Gerber, P. J.; Henderson, B. and Tricarico, J. M. 2013. Special topics mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J. Animal Sci.* 91(11):5045-5069
- Hristov, A.N., Ott, T., Tricarico, J., Rrotz, A., waghorn, G., Adesogan, A., Dijkstra, J., Montes, F., Oh, J., Kebreab, E., Oosting, S.J., Gerber, P.J., Henderson, B., Makkar, H.P. and Firkins, J.L. 2013. Special topics-Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science.* 91(11):5095-5113.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Principales resultados por localidad. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Villaflores_\(Chiapas\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Villaflores_(Chiapas))

- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). 2007. Biomasa: Digestores anaerobios. Depósito Legal: M-45366-2007 ISBN-13: 978-84-96680-21-0.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). 2015. Protocolo para Determinación de Emisión de Metano en Rumiantes: Técnica del Trazador SF6 para Períodos de Medición Prolongados. Uruguay Núm. 54. INIA. Chile. 103 -104 pp.
- Indira, D y Srividya 2012. Reducing the Livestock related Greenhouse gases emission, *Vet.World*.5: 244
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación), Ginebra, Suiza. 104 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, UK
- Jarvis, A., Touval, J.L., Castro, M., Sotomayor, L., Graham, G. 2010. Assessment of threats to ecosystems in South America. *Journal for Nature Conservation*. 18: 180–188. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnc.2009.08.003>.
- Johnson K, Johnson D. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal Animal Science*. 73: 2483-2492.
- Kaiser F., Bas, F., Gronauer A. 2002. Producción de Biogás a partir de guano animal: el caso de Alemania. *Agronomía y Forestal UC*, 16(4), 4-8.
- Kinsman R, Sauer FD, Jackson HA, Wolynetz, MS. 1995. Methane and carbon dioxide emissions from cows in full lactation monitored over a six-month period. *J Dairy Sci*. 78 (12): 2760-2766.
- Kumar, M; Humar, S y Poonia, M. P. 2000. Methane, carbon dioxide and nitrous oxide reduction through the application of biogas technology. *Indian Journal of Environmental health*, 42 (3): 117-120.
- Kurihara M, Magner T, McCrabb H, McCrabb G. 1998. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition*. 81: 227-234
- Carmona, Juan C., Bolívar, Diana M., Giraldo, Luis A. 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* [en línea]. 18(1), 49-63 [fecha de Consulta 15 de Septiembre de 2019]. ISSN: 0120-0690. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=295022952006>

- Laines Canepa, José Ramón y Sosa Olivier, José Aurelio. 2013. Degradación anaerobia del contenido gástrico ruminal bovino para la obtención de biogás, en un biodigestor tipo cúpula. *Ingeniería*, 17(1), undefined-undefined. [Fecha de Consulta 17 de octubre de 2019]. ISSN: 1665-529X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467/46729718005>
- Lal, R. 2000. Soil management in the developing countries. *Soil Science*. 165(1):57-72.
- Lal, R. 2004. Agricultural activities and the global carbon cycle. *Nutr. Cycl. Agroecosystems*. 70: 103-116.
- Le Treut H., Somerville R., Cubasch U., Ding Y., Mauritzen C., Mokssit A, Peterson T y Prather, M. 2007. Historical Overview of Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M and Miller HL (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- López- Savran, A. y Suárez- Hernández, J. 2018. Experiencia de suministros de biogás en una comunidad rural, en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 4(1). Disponible en: [http:// www. Redalyc.org/articulo.oa?id=269158212010](http://www.Redalyc.org/articulo.oa?id=269158212010)
- López Carmona, M., Jiménez Ferrer, G., Jong, B., Ochoa Gaona, S y Nahed Toral, J. 2001. El sistema ganadero de montaña en la región norte-tzotzil de Chiapas, México. *Veterinaria México*, 32 (2), 93-102.
- Lazos C., E. 1996. El encuentro de subjetividades en la ganadería campesina. *Ciencias* 44:36-45.
- Lozada, I., J. Islas, and G. Grande. 2010. Environmental and economic feasibility of palm oil biodiesel in the Mexican transportation sector. *Renew. Sust. Energy. Rev.* 14: 486-492.
- Llyasn S. Z. 2006. A case study to bottle the biogas in cylinders as a source of power for rural industries developmente in Pakistan. *World Applied Sciences Journal*. 1(2), 127-130.
- Mantilla Gonzáles J, M. Duque Daza C, A y Galeano Ureña, C.H. 2007. Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. *Ingeniería e Investigación* 27 (3): 133-142.
- Maqueda González, María Rosario., Carbonell Padrino, María Victoria., Martínez Ramírez, Elvira., Flórez García, Mercedes. 2005. Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* [en línea]. 4: 14-18 [fecha de Consulta 15 de septiembre de 2019]. ISSN: 1692-9918. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231117588003>
- Marinidou, Eleni, Jiménez-Ferrer, Guillermo, Soto-Pinto, Lorena, Ferguson, Bruce G., & Saldívar-Moreno, Antonio. 2018. Proceso de adopción de árboles en áreas ganaderas: estudio de casos en Chiapas, México. *Sociedad y ambiente*, (18),

201-230. Recuperado en 16 de junio de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-65762018000300201&lng=es&tlng=es.

- Martin, W.J., Glass, R.L., Balbus, J.M y Collins, F.S. 2011. A major environment cause of death. *Science*. 334: 180-181.
- Marquez-Ramos, L. 2015. The relationship between trade and sustainable transport: A quantitative assessment with indicators of the importance of environmental performance and agglomeration externalities. *Ecological Indicators* 52, 170-183.
- Martí-Herrero J., Chipana M., Cuevas C., Paco G., Serrano V., Zymla B y Gamarra A. 2014. Low cost tubular digesters as appropriate technology for widespread application: Results and lessons learned from Bolivia. *Renewable Energy* 71: 156-165.
- Martín, M., F. Pulido y M. Escribano. 1997. Ganadería extensiva y producciones compatibles. In: La ganadería extensiva en los países mediterráneos de la Unión Europea. Editado por Junta de Extremadura y Consejo Regional de Colegios Oficiales de Veterinarios, p. 13-41
- Martínez-Prado, M.A. 2016. Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero para el estado de Durango, México. *Revista mexicana de Ingeniería Química*, 15 (2): 575-601.
- Mendoza de Armas, C., Jiménez Narváez, G. 2017. Relación entre el efecto invernadero y el cambio climático desde la perspectiva del sector agrario. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 70 (2).
- Mofokeng, D. S., Adeleke, R y Aiyegoro, O. A. 2016. The analysis of physicochemical characteristics of pig farm seepage and its possible impact on the receiving natural environment. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.* 10 (8): 242- 252.
- Molina, I., Angarita, E.A., Mayorga, O.L., Chará, J., Barahona, R. 2016. Effect of *Leucaena leucocephala* on methane production of *Lucerna* heifers fed a diet based on *Cynodon plectostachyus*. *Livestock Science*. 185: 24– 29. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2016.01.009>
- Mousel, E.M., Schacht, W.H., Moser, L.E., Zanner, C.W. 2005. Root and Vigor Response of Big Bluestem to Summer Grazing Strategies. Grassland Congress 2005. June 26-July 1, 2005. Dublin, Ireland, UK. 524.
- Montzka, S. A., E. J. Dlugokencky y J. H. Butler. 2011. Non CO₂ greenhouse gases and climate change. *Nature* 476: 43-50.
- Moss AR, Givens DI. 2002. The effect of supplementing grass silage with soya bean meal on digestibility, in sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 97: 127- 143
- Muñoz, C., Hube, S., Morales, J., Yan, T. y Ungerfeld, E. M. 2015. Effects of concentrate supplementation on enteric methane emissions and milk production of grazing dairy cows. *Livestock Sci.* 175:37-46.

- Murgueitio R., Enrique., Chará O., Julián., Barahona R., Rolando., Cuartas C., César y Naranjo R., Juan. 2014. Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3), undefined-undefined. [fecha de Consulta 23 de octubre de 2019]. ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=939/93935728001>
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A., Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*. 261 (10): 1654–1663. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>
- Myers, S.S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A.D.B., Bloom, A.J., Carlisle, E., Dietterich, H.L., Fitzgerald, G., Hasegawa, T., Holbrook, N.M., Nelson, R.L., Ottman, M.J., Raboy, V., Sakai, H., Sartor, K.A., Schwartz, J., Seneweera, S., Tausz, M. y Usui, Y. 2014. Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature*. 510: 139-142.
- Nieto, M.I., Guzmán, M.L., Steinaker, D. Emisiones de gases de efecto invernadero: simulación de un sistema ganadero de carne típico de la región central Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 4 (1): 92-101.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2016. El gas que está cambiando el clima bate un nuevo récord histórico. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/natural/20160311/40361263861/noaa-aumento-concentracion-co2-mauna-loa.html>
- O'Brien D., Brennam P., Humphreys J., Ruane E y Shallo, L. 2014. An appraisal of carbon footprint of milk from commercial grass-based dairy farms in Ireland according to a certified life cycle assessment methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment* 19 (8): 1469-1481.
- Orantes, Z M, A., Vilaboa A, J., Ortega J E., Córdova A, V. 2010. Comportamiento de los comercializadores de ganado bovino en la región centro del estado de Chiapas. *Revista Quehacer Científico* 1(9): 51-56.
- Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas (PACCCH). 2007. Inventario estatal de gases de efecto invernadero., México. Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural. Tuxtla Gutiérrez, Chis, México. 137 p.
- Paustian, K., J. Six, E. T. Elliott, and H. W. Hunt. 2000. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry* 48: 147-163
- Pérez Espejo, Rosario. 2008. El lado oscuro de la ganadería. *Problemas del desarrollo*, 39(154), 217-227. Recuperado en 04 de junio de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362008000300011&lng=es&tlng=es.
- Pinares-Patiño, C.S., Waghorn G.C., Hegarty, R.S. and Hoskin, S.O. 2009. Effects of intensification of pastoral farming on greenhouse gas emissions in New Zealand (Review Article). *New Zealand Veterinary Journal* 57: 252–261

- Quiroz-Carranza, J y Orellana, R. 2010. Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México”, en *Maderas y Bosques*, núm 16, vol. 2, pp 47-67.
- Rivera, J., Chará, J., Barahona, R. (2016). Análisis del ciclo de vida para la producción de leche bovina en un sistema silvopastoril intensivo y un sistema convencional en Colombia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19 (3), 237-251.
- Ruiz-González, Rosey Obet y Victorino-Ramírez, Liberio. 2014. “Respuesta a la crisis del campo: prácticas agropecuarias alternativas en el municipio de Villaflores, Chiapas”. *Universidad Autónoma Indígena de México Ra Ximhai*, 10(6), pp. 83-95
- Robinson, T. P., P. K. Thornton, G. Franceschini, R. L. Kruska, F. Chiozza, A. Notenbaert, G. Cecchi, M. Herrero, M. Epprecht, S. Fritz, L. You, G. Conchedda, and L. See. 2011. Global livestock production systems. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and International Livestock Research Institute. Rome, Italy. ISBN 978-92-5-107033-8.
- Rota, A. y Sehgal, K. 2015. How to mainstream portable biogás systems into IFAD-supported projects. Rome: IFAD .
- Santos, G. A., Estrada L. E. y Rivas L.G. 2012. Uso de la leña y conservación del bosque en el volcán Huitepec, Chiapas, México. *LiminaR. Estudios Sociales y Humanísticos*.10 (1), pp. 138-158.
- Sauerbeck, D. R. 2001. CO₂ emissions and C sequestration by agriculture—perspectives and limitations. *Nutr. Cycl. Agroecosys*. 60: 253-266.
- Sauvant, D. and Giger Rever-din, S. 2009. Modélisation des interactions digestives et de la production de méthane chez les ruminants. *INRA Prod. Anim.* 22:375–384.
- SAyDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de La Nación). 2007. Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Buenos Aires. 201 p. <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/Segunda%20Comunicacion%20Nacional.pdf>.
- Saynes, V., J. A. Delgado, C. Tebbe, J. D. Etchevers, D. Lapidus y A. Otero-Arnaiz. 2014. Use of the new nitrogen index tier zero to assess the effects of nitrogen fertilizer on N₂O emissions from cropping systems in Mexico. *Ecol. Eng.* 73: 778-785.
- Saynes Santillán, V., J. D. Etchevers Barra., F. Paz Pellat y L. O. Alvarado Cárdenas. 2016. Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana* 34: 83-96.
- Seefeldt, S. 2015. Animal Manure as Fertilizer. Cooperative Extension Service in cooperation with the United States Department of Agriculture. University of Alaska Fairbanks (No. LPM-00340). Alaska. Recuperado de <http://www.uaf.edu/files/ces/publications-db/catalog/anr/LPM-00340.pdf>

- SENER (SECRETARÍA DE ENERGÍA). 2002. Balance Nacional de Energía. SE, México D.F.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2014. Programa Nacional Hídrico 2014-2018. México, D.F. Disponible en: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/PROG RAMA_Nacional_Hidrico_2014_2018_esp%C3%B1ol.pdf
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) .2014. *Anuario estadístico de la producción forestal 2013*. México, D.F.: Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos, Dirección del Registro y del Sistema Nacional de Gestión Forestal.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. y Haan Cees, D.E. 2006. La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, 493 p.
- Sosa O, José Aurelio y Laines C, José Ramón.2014 Digestores anaerobios: una alternativa para el tratamiento de residuos orgánicos y producción de biogás. . Disponible en: <http://www.revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/252>>. Fecha de acceso: agosto 2019 doi:<https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a18n35.252>
- Sosa, A., Galindo, J. y Bocourt, R. 2007. Metanogénesis ruminal: aspectos generales y manipulación para su control. *Rev. Cubana Cienc, Agric.* 41 (2): 105-114
- Stern, N. 2007. Stern Review: The Economics of Climate Change. Cambridge. En línea: Consultado 15 de abril de 2018, Disponible en http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf
- Snyder, C. S., T. W. Bruulsema, T. L. Jensen, and P. E. Fixen. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agric. Ecosyst. Environ.* 133: 247-266
- Sutton, M. 2011. Too much of a good thing. *Nature* 472: 159-161.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. Estadística de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. Ciudad de México, México.
- Tee, N, T., Ancha, P.U. y Asue, J. 2009. Evaluation of fuelwood consumption and implications on the environment: Case study of Makurdi area in Benue State, Nigeria. *Journal of Applied Biosciences.* 19: 1041.1048.
- Tchobanoglous G., Theisen H., A. Vigil S. 1998. Gestión integral de residuos sólidos. Volumen II. 1ª Edición, Editorial Mc Graw Hill.España. 1105 pp.
- Thomassen, M.A., Van Calster, K.J., Smits, M.C. J., Iepema, G.L. y De Boer, I.J. 2008. Life cycle Assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agric. Systems* 96 (1-3): 95-107.

- Laines Canepa J.R., Sosa Olivier J. A. 2013. Degradación anaeróbica del contenido gástrico ruminal bovino para la obtención de biogás, en un biodigestor tipo cúpula. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 17-1, PP 57-65, ISSN 1665-529 –X.
- Van Kessel JS, Russell JB. The effect of pH in vitro methane production from ruminal bacteria.1995. In: 23rd Biennial Conference on Rumen Function. Chicago, Illinois, E.U. November 23: 14-16
- Vera-Romero, I., Estrada-Jaramillo, M., González-Vera, C., Tejeda-Martínez, M., López-Andrade, X., Ortiz-Soriano, A. 2017. Biogás como una fuente alternativa de energía primaria para el estado de Jalisco, México. *Ingeniería Investigación y Tecnología XVIII (3)*
- Vidal, Laura. 2013. Qué es un biodigestor y cómo implementarlo en casa. La Bioguía. Disponible en: <http://www.Labioguia.com/notas/biodigestores>.
- WHO (World Health Organization). 2002. Addressing The Links Between Indoor Air Pollution, Household Energy and Human Health.
- Woodward, S.J.R., Wake, G.C., McCall, D.G., 1995. Optimal grazing of a multi-paddock system using a discrete time model. *Agric. Syst.* 48, 119–139
- Winblad, U; Esrey, S; Gough, J; Rapaport, D; Sawyer, R; Simpson, M; Vargas, J.1999. Saneamiento ecológico. Agencia sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo. Fundación Friedrich Ebert, Representación en México. 93 p.
- Wiedemann S, Henry B, McGahan E., Grant T, Murphy C y Niethe G. 2015. Resource use and greenhouse gas intensity of Australian beef production: 1981-2010. *Agricultural Systems* 133: 109-118. [http:// www.Sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X14001565](http://www.Sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X14001565).