



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**“DETERMINACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN DE METANO POR
FERMENTACIÓN
ENTÉRICA EN GANADO BOVINO EN LAS REGIONES DE CLIMA
SECO DE MÉXICO”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE MÉDICO
VETERINARIO ZOOTECNISTA**

P R E S E N T A

HUGO DANIEL MONTELONGO PÉREZ

ASESORES

**DR. OCTAVIO ALONSO CASTELÁN ORTEGA
DR. MANUEL GONZÁLEZ RONQUILLO
DR. JUAN CARLOS ANGELES HÉRNANDEZ**

Toluca, México, Mayo 2020

Contenido

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1. Efecto invernadero y cambio climático.	7
2.2 Principales Gases de Efecto Invernadero.	8
2.3. Metano como GEI.	8
2.4 Perspectiva del CH ₄ en el sector agropecuario.	9
2.5 Metano por fermentación entérica.....	12
2.6 Factor de partición de la energía.....	16
2.7. Población de ganado bovino en la región de clima seco de México	18
2.8. Determinación de factores de emisión de CH ₄	19
3. JUSTIFICACIÓN.....	20
4. HIPOTESIS	20
5. OBJETIVO	20
5.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS	21
6. MATERIALES Y MÉTODOS	22
6.1. Animales	22
6.3 Cámaras de respiración	22
6.4. Equipo de medición	25
6.5. Dieta tipo	28
6.5.1 Elaboración de dieta tipo	29
6.6 CÁLCULO DEL FACTOR DE PARTICIÓN DE LA ENERGÍA A METANO (Y _m).	30
6.7 CALCULO DE FACTORES DE EMISION ANUAL.	31
6.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS.	32
7. LIMITE DE TIEMPO Y ESPACIO	32
8. RESULTADOS.....	32
8.1. Regionalización Geo-espacial del clima seco de México	32
8.2 FACTORES DE EMISION PARA GANADO DE CARNE Y DE LECHE EN CLIMA SECO DE MÉXICO. .	33
9. DISCUSIÓN	37
8. Bibliografía	40

RESUMEN

La agricultura aporta alrededor del 13% de la emisión total de gases de efecto invernadero (GEI), de éste la ganadería es responsable del 53% del metano (CH₄) emitido. En México las emisiones de CH₄ por fermentación entérica son la segunda fuente de emisiones de este gas con el 20.1% emitido de origen antropogénico, solo después de las emisiones fugitivas en la producción de petróleo. El objetivo de este trabajo fue determinar los factores de emisión de metano y de partición de la energía (YM) por fermentación entérica para el ganado bovino productor de carne y leche de las regiones de clima seco de México con el fin de obtener factores que ajusten mejor a las condiciones ambientales y productivas de clima seco de México. La emisión promedio de CH₄ para el ganado productor de leche fue de 334.3 lt/día, mientras que el rendimiento de la emisión es de 23.1 Lt o de 16.4 g de CH₄/kg de MSI. Para el caso de la raza de ganado productor de carne la emisión de CH₄ promedio fue de 311 L/día, mientras que el rendimiento fue de 14.6 g/kg de MSI, es decir fue menor en comparación con el ganado productor de leche. Se concluye sobre la importancia de determinar factores de emisión locales pues los factores por defecto no toman en cuenta aspectos importantes que determinan la producción de metano por el animal, como son el consumo de materia seca, consumo de materia seca digestible y la digestibilidad de la dieta.

Palabras clave: metano entérico, bovinos, factores de emisión

1. INTRODUCCIÓN

A partir de la era denominada como antropogénica, las emisiones de todos los gases de efecto invernadero han ido en aumento generando calentamiento global, este es el resultado de los gases que tienen la capacidad de producir efecto invernadero, capturando la radiación solar e impidiendo su salida hacia el espacio exterior (Hernández, 2017). El cambio climático es una amenaza ampliamente reconocida cuyos impactos ya se están registrando en múltiples niveles. Los informes científicos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) señalan que el cambio climático tendrá fuertes impactos sobre el continente americano, y que esos impactos serán variables según regiones y ecosistemas (Oyhantçabal *et al.*, 2010).

Debido a las necesidades de regular las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en 1997 fue creado el protocolo de Kyoto, resultado del trabajo de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, por sus siglas en inglés) que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero un 5% por debajo de las emisiones reportadas, entre ellos, figura reducir las emisiones de Metano.

Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), siendo el CO_2 el más abundante y el que tiene un mayor aporte al calentamiento global, sin embargo, el CH_4 contribuye 28 veces más al efecto invernadero en comparación con el CO_2 si este se toma como base de medida de GEI (Solomon et al. 2017).

El metano es un componente químico con una energía de combustión muy alta pues contiene 55 MJ/kg (Crutzen, 1995), se estima que el CH_4 permanece en la atmosfera alrededor de 10 años, un periodo relativamente corto si se compara con otros gases de efecto invernadero que pueden durar cientos de años en la atmósfera (Imming, 1996), existen distintas fuentes biológicas de CH_4 donde figura el emitido por fermentación entérica del ganado en principal por el emitido por los rumiantes; dichas emisiones rebasan los sumideros naturales para biotransformar este gas en componentes no contaminantes, dichas emisiones sobrantes resultan en un excedente de CH_4 en la atmosfera, generando así efecto invernadero en la atmosfera y resultando en el incremento de la temperatura global (Ramin, 2013).

El aumento en la producción de ganado, y sus productos como la carne y leche, el uso y la extracción de combustibles fósiles y la producción de arroz son las

principales fuentes de CH₄ antropogénico. Dentro de este contexto, la agricultura aporta alrededor del 13% de la emisión total de gases de efecto invernadero (GEI) (IPCC, 2014), de este la ganadería es responsable del 53% de CH₄ emitido (Charmley *et al.*, 2016).

El CH₄ es producto de la fermentación de los alimentos por acción de microorganismos de la familia *Archea* en el rumen, existe una gran variedad de microorganismos metanogénicos que utilizan un pequeño número de componentes simples como sustrato, muchos de ellos contienen carbono en su estructura, los sustratos incluyen H₂ y CO₂, formiato, acetato, y alcoholes por mencionar algunos de ellos (Zinder 1993), dicha producción de metano representa una pérdida de energía para el animal que va del 0.02 al 0.12 del consumo de energía bruta (Johnson y Johnson 1995).

En México las emisiones de CH₄ por fermentación entérica es la segunda fuente de emisiones de este gas con el 20.1% emitido de origen antropogénico, solo después de las emisiones fugitivas (no se sabe de su existencia o no se pueden cuantificar) en la producción de petróleo (INE, 2006). Se sabe con certeza que la ganadería va en aumento dentro del territorio nacional debido a la demanda de productos de origen animal, por esta razón, la producción de CH₄ se incrementa conforme la demanda de carne y leche de bovino aumenta, dicho lo anterior, se ha prestado mayor atención a las emisiones de gases de efecto invernadero, en especial los emitidos por el sector agropecuario (Mohammed, 2017).

En la República Mexicana existe poca información sobre las emisiones de metano por el ganado bovino específicas para las diferentes regiones climáticas del país,

ello representa un problema debido a que está claramente establecido que las emisiones de metano dependen de la dieta consumida por el animal, la raza y su función zootécnica; por ejemplo el ganado productor de leche produce volúmenes más altos que el ganado productor de carne, de igual forma, el ganado en las regiones de clima tropical produce menos metano que el ganado de las regiones de clima templado (Castelán et al. 2014), es por ello que existe la necesidad de conocer los factores de emisión propios para el ganado mexicano localizado en las diferentes regiones climáticas del país.

La habilidad predictiva para las emisiones de metano por modelación es relativamente pobre, de igual forma el uso del método Tier 1 del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) IPCC (2006) que se usa en México para calcular el inventario de metano presenta problemas importantes por ser poco preciso debido a que utiliza factores de emisión por defecto; por lo tanto se necesita información de los sistemas productivos del ganado para el desarrollo de factores de emisión más detallados (FADEL, 2014), dentro de este contexto, el dividir el país en zonas Geo-climáticas, estratificar el hato en etapas productivas y emplear el modelo TIER II propuesto por el IPCC en 2006, se espera permitirá tener factores de emisión más exactos. En conjunto con esto, el uso de la prueba “estándar de oro” para medir la emisión de metano, llevada a cabo en cámaras de respiración de circuito abierto, el uso de dietas tipo para la región de clima seco, la estimación del consumo de materia seca (CMS) y digestibilidad, nos permitirá obtener un factor de emisión de metano y uno de partición de la energía

consumida hacia metano, conocido como factor “*Ym*”, más exacto y, por ende, un factor de emisión con menor error e incertidumbre.

El objetivo de este trabajo es determinar los factores de emisión de metano y de partición de la energía (YM) por fermentación entérica para el ganado bovino productor de carne de las regiones de clima seco de México con el fin de obtener factores que ajusten mejor a las condiciones ambientales y productivas de clima seco de México.

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Efecto invernadero y cambio climático.

El cambio climático a nivel mundial representa la mayor preocupación de diferentes organizaciones como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) pues se sabe con certeza que el cambio climático tendrá repercusiones cada vez más fuertes para el planeta y estilo de vida de los que lo habitamos, pues repercute directamente en el régimen de lluvias y los eventos climáticos extremos como tormentas, inundaciones, sequías y olas de calor se incrementarán en frecuencia e intensidad además de la temperatura, la cual se estima que será medio centígrado mayor para el año 2030 (Knapp *et al.*, 2014).

El efecto invernadero es el resultado de una serie de gases que capturan la radiación solar en la tierra e impiden su salida de estos hacia el espacio exterior. El calor retenido en la atmosfera es el causante del calentamiento global, la cantidad

de gas contenido en la atmosfera está estrechamente relacionado con el incremento de temperatura del planeta (Santillán et al., 2013).

2.2 Principales Gases de Efecto Invernadero.

Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) siendo el CO_2 el más abundante y el que tiene un mayor aporte al calentamiento global por tener emisiones y concentraciones mayores a los otros gases (Solomon et al. 2007), estos autores señalaron que las concentraciones atmosféricas del CH_4 son menores a las del CO_2 , sin embargo, el metano contribuye 28 veces más al efecto invernadero que el CO_2 .

2.3. Metano como GEI.

Durante siglos, las emisiones de CH_4 han ido en aumento junto con la actividad humana, donde su producción relacionada a actividades humanas se estima que ha incrementado 150% sus niveles de emisión desde la era industrial, entre estas actividades está la ganadería, donde se sabe ampliamente que contribuye con una parte significativa de las emisiones totales de CH_4 (Stenfeld *et.al.*, 2009)

El metano es un componente químico con una energía de combustión de 55 MJ/Kg, (Crutzen 1995) con un tiempo estancia en la atmosfera de 10 años (Imming 1996) y se origina de diferentes fuentes biológicas mostradas en la Figura 1 como los humedales, vertederos de basura, sembradíos de arroz, termitas y ganado por mencionar algunas de las fuentes. La producción global de CH_4 de origen antropogénico es estimada en 689 Tg/año, lo que rebasa la capacidad de los sumideros de este gas (reacciones en la atmosfera para la producción de CO_2 y la captación de metano por bacterias en el suelo) (Ramin, 2013).

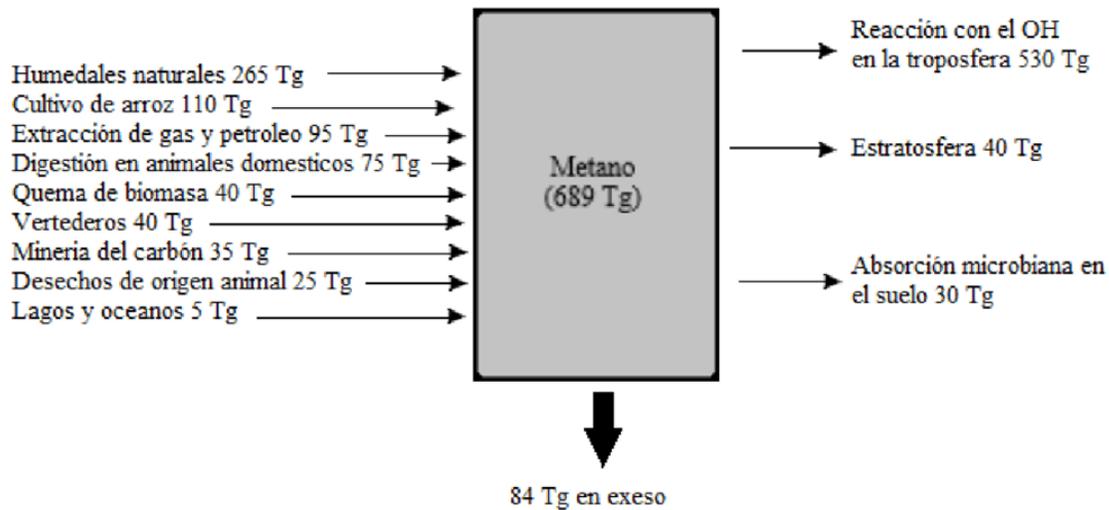


Figura 1.- Fuentes de metano y sumideros en la tierra y atmósfera (Mcbride, 2008).

El rango en las emisiones de metano por el ganado bovino depende de distintos factores como el nivel de consumo de alimento y la composición de la dieta (Benchaar *et. al.*, 2001).

2.4 Perspectiva del CH₄ en el sector agropecuario.

El sector agropecuario es responsable del 10% - 12% de las emisiones de gases de efecto invernadero (*GEI*) de origen antropogénico, excluyendo el uso de suelos (Smith, y Cumby, 2007), el sector de la producción bovina contribuye con un tercio de las emisiones de la agricultura 33% o 2.6 millones de toneladas de Co₂-eq al año.

En 1995, Jhonson *et. al.* obtuvieron como resultado emisiones de metano de 250 a 500 litros de CH₄ al día. Estas emisiones de CH₄ influyen en el calentamiento global debido a diversos factores como el tipo y niveles de consumo de alimento, tipo de n

Se calcula que en nuestro país entre el 1990-2002 las emisiones de CH₄ por fermentación enérica y manejo de estiércol fueron de 1.832 Gg, donde el ganado

de carne y doble proposito contribuyó con el 89%, el ganado lechero contribuyó con el 10% y el 1% restante es contribución de otros animales. (INECC-SEMANRNAT, 2006), para México, la emisión de CH₄ por fermentación enterica fue del 20.1% del CH₄ total, después de las emisiones fugitivas en la producción del petroleo(INE, 2006). El metano entérico y por excretas suman el 75% a 95% del total de las emisiones de CH₄ de las emisiones de GEI de las granjas de ganado bovino (Hagemann *et. al.* 2011)

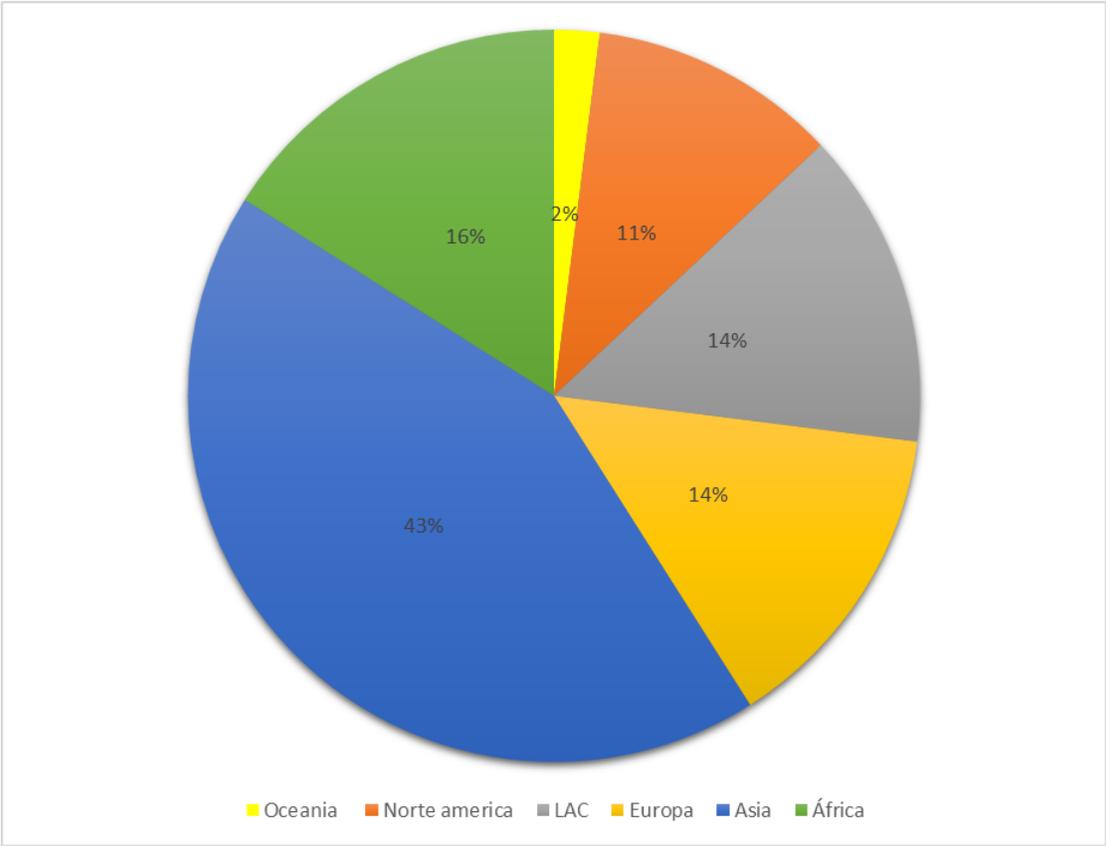


Figura 2: Contribución regional de emisiones de metano en 2011 (fuente CAIT, 2011)

En México, la ganadería es la tercera fuente más importante de CH₄ incluyendo el proveniente de fermentación enterica y manejo de estiercol, siendo una actividad que va en aumento, como se muestra en la Figura 3; por fermentación enterica,

aporta el 86% del total de las emisiones de metano, la concentración atmosférica global de metano (CH_4) tiende a incrementar conforme aumenta la demanda de productos provenientes del ganado bovino (Troy et al., 2016), por esta razón se ha tenido mayor atención a las emisiones de gases de efecto invernadero en especial a los emitidos por los rumiantes (EPA, 2011). Sin embargo, la gran variabilidad de emisiones de CH_4 entre animales incluso de la misma raza y sexo y de las unidades de producción requieren estimaciones más detalladas, Montenegro *et. al.* menciona que las diferencias entre emisiones de CH_4 se deben a las diferencias en el manejo del ganado, entre estos factores figuran la calidad de las pasturas, acceso a alimentos concentrados, potencial genético y número de animales por explotación.

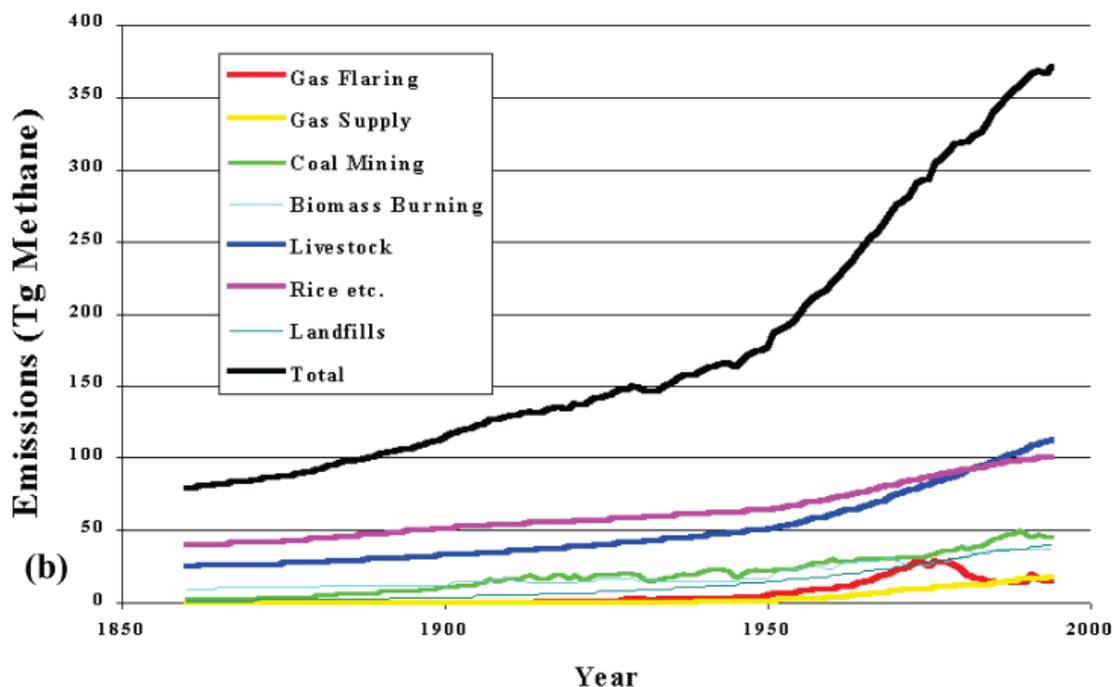


Figura 3: Emisiones de metano por distintos sectores antropogénicos (fuente: Moss *et.al.* 2000).

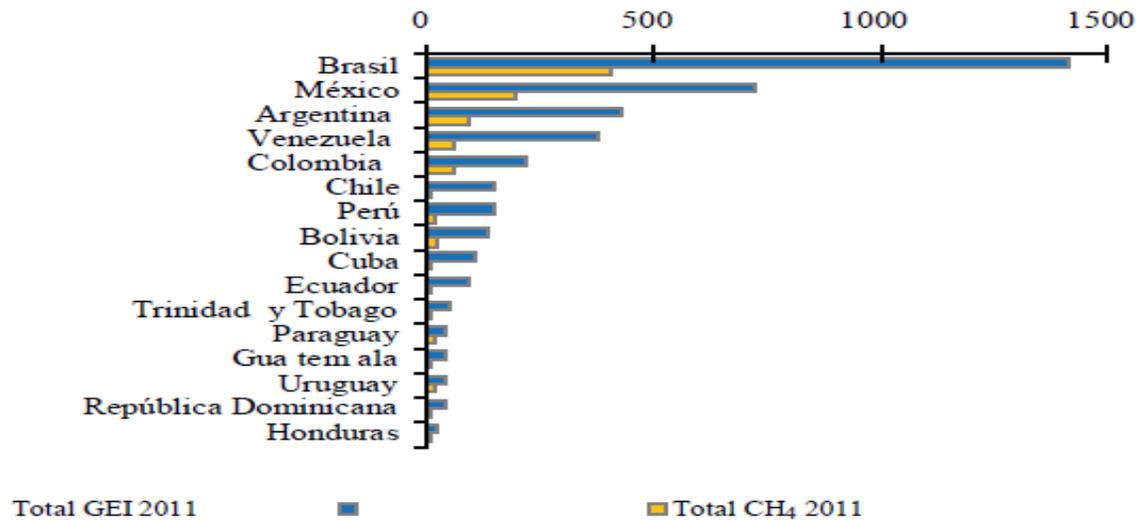


Figura 4. Emisiones de metano en relación con la emisión total de gases de efecto invernadero en los principales países de América Latina y el Caribe (CAIT, 2011). Mt CO₂e= Megatoneladas de Co₂ equivalente.

En la figura anterior se observa que México está posicionado como el segundo mayor emisor de CH₄ en América Latina y el Caribe, esto debido al número de cabezas de ganado con las que cuenta el país.

2.5 Metano por fermentación entérica.

El CH₄ es producido por la fermentación ruminal de los alimentos en un proceso complejo donde los microorganismos procesan el material orgánico de los alimentos dentro del rumen (Herd et al., 2014; Donoghue et al., 2016), siendo más específicos, la fermentación ruminal de carbohidratos de la dieta, resulta en la producción de ácidos grasos volátiles (AGV), con un incremento proporcional de acetato, y consecuentemente de metano cuando los carbohidratos estructurales son fermentados (Moe y Tyrrell, 1979), sin embargo, existen otros sustratos de

fermentación que pueden desencadenar en metanogénesis como el etanol, succinato y otras cadenas de ácidos grasos presentes en la fermentación.

Esta fermentación es llevada a cabo por microorganismos de la familia *Archae* que proliferan en ambientes estrictamente anaerobios y se encuentran en el tracto digestivo de los rumiantes, la producción de CH₄ genera la energía necesaria para la supervivencia de los metanógenos y mantiene una presión baja de H₂, aunque estos microorganismos constituyen una fracción muy pequeña de la población microbiana total, cumplen una función muy importante, al proveer un mecanismo para eliminar el hidrógeno producido en el rumen (Berra y Finster, 2002). Existen varios sustratos y factores propios del animal que promueven o disminuyen su propagación dentro del rumen, por lo tanto el consumo de energía, fibra en la dieta, lípidos proporcionados, peso corporal y grasa presente en la leche han sido identificadas como variables clave a la hora de predecir las emisiones de metano por fermentación entérica del ganado bovino (MORAES , 2014).

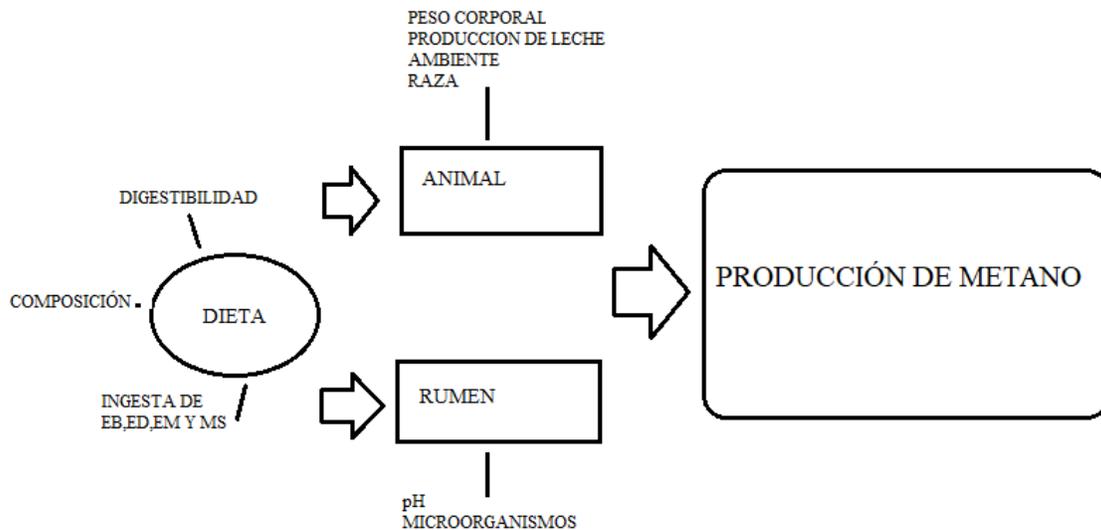


Figura 5. Factores que afectan a la metanogénesis ruminal (Fuente: Kebreab, 2012).

Como resultado de la fermentación de dichos sustratos, se genera CO_2 y H_2 , estos gases no son usados por el rumiante, pero sirven como sustrato para la comunidad *Archae* que utilizan el CO_2 y H_2 como fuente de energía (Schäfer, 1999).

La actividad metanogénica contribuye a la fermentación ruminal, ya que mantiene una baja concentración de H_2 que favorece la oxidación del cofactor reducido nicotinamida adenina dinucleotido (NAD), producido durante el glucolisis (Kim, 2008).

En el rumen existen principalmente tres sustratos para la metanogénesis: el CO_2 , compuestos con grupos metilo y acetato. Sin embargo, los metanógenos ruminales utilizan principalmente H_2 para reducir el CO_2 a CH_4 (Leahy, 2010), donde el CO_2 es usado como fuente de carbono y el H_2 como el principal donador de electrones. El formato también es un donador importante de electrones y puede llegar a contribuir con el 18% del CH_4 producido en el rumen (Hungate, 1970). También se puede

producir CH₄ a partir de Acetato, a través de la vía acetoclastoclástica, pero al igual que la reducción del grupo metilo, esta ruta metabólica solo es usada por el orden *Metanosarcinal* (Janssen, 2008).

El alimento dentro del rumen es principalmente digerido por los microorganismos ruminales como bacterias, hongos y protozoarios conocidos como fermentadores primarios, ellos digieren los alimentos a monómeros simples los cuales son usados por fermentadores secundarios para producir productos finales como los ácidos grasos volátiles (AGV), hidrogeno (H) y CO₂ (McAllister *et. al* 1996). El metano es producido en la etapa final de la metanogénesis, usando H₂ o formato (HCOO⁻) como principales substratos como se muestra en la Figura 6.

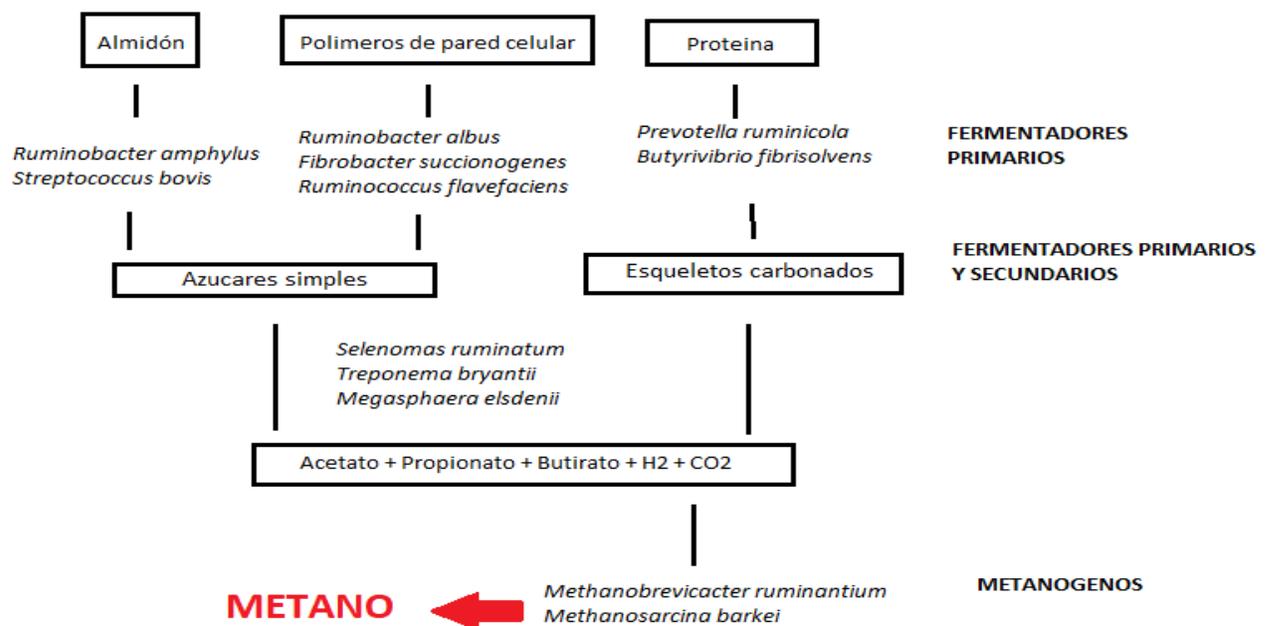


Figura 6: Fermentación microbiana en rumen

El CH₄ representa una pérdida significativa de energía del animal que puede estar entre 0.02% a 0.12% de la energía bruta consumida (Mcbride, 2008). Las

predicciones de emisiones de metano por fermentación entérica son necesarias para la examinación de estrategias de mitigación, políticas ambientales y el desarrollo de decisiones que den soporte a nuevos modelos predictivos. El factor “ Y_m ” de emisiones es el porcentaje del consumo de energía bruta que se pierde en forma de metano, en este contexto el uso de “ Y_m ” es para la determinación de emisiones de CH_4 por fermentación entérica dentro del modelo propuesto por el IPCC (Moraes *et al.*, 2012; McBride, 2008).

La producción diaria de metano (en l/día o g/día) incrementa con el aumento del consumo de materia seca (CMS), además ya se ha comprobado que los factores animales como la masticación, salivación y cinética de la digesta afectan la tasa y el tipo de fermentación del rumen (Mohammed, 2017).

El metano es producido predominantemente en el rumen (0.87) y una pequeña parte en el intestino (0.13) (Murray *et al.* 1976)

2.6 Factor de partición de la energía.

El porcentaje de la energía bruta (EB) consumida por el ganado bovino que es convertido a metano tiene el nombre de (Y_m) según el IPCC (2006), propone un factor por defecto de 6.5% de la EB ingerida perdida en forma de metano, dicho valor es usado para calcular las emisiones de metano por fermentación entérica para los rumiantes a nivel mundial. Se sabe que el valor “ Y_m ” varía desde un 2 a un 12%, usando un promedio del 6% por default, estos rangos de variabilidad se atribuyen a distintos factores de la dieta, animal y medio ambiente, la necesidad de obtener un valor “ Y_m ” que se ajuste mejor a las características de la región, alimentación, función zootécnica y condiciones ambientales, este último punto

puede darnos un panorama más certero a la hora de predecir emisiones de CH₄ por fermentación entérica, en especial en países con múltiples climas dentro de su territorio como es el caso de México, donde se han establecido cinco climas base para el país.

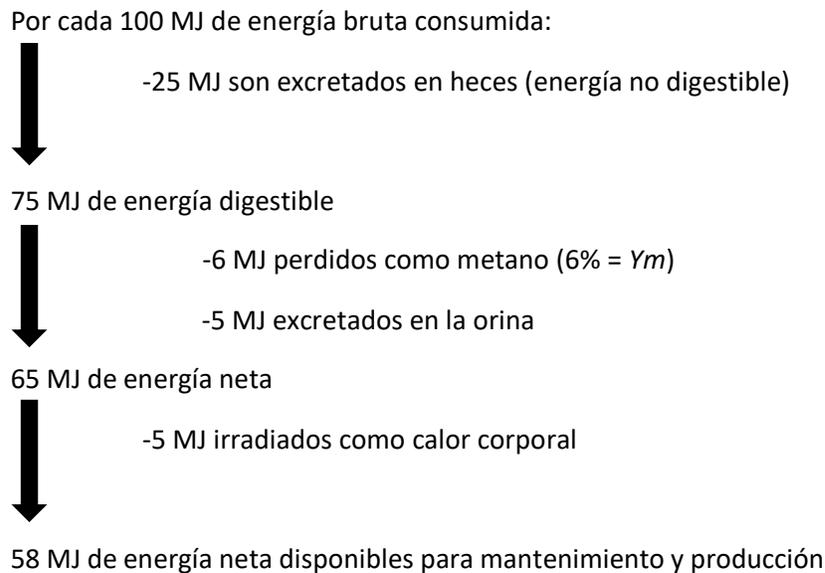


Figura 7: Pérdida de energía durante la digestión ruminal con una dieta de forrajes de alta calidad (fuente: Lassey, 2007).

Se sabe que el valor “*Y_m*” varía desde un 2 a un 12%, usando un promedio del 6% por default, estos rangos de variabilidad se atribuyen a distintos factores de la dieta, animal y medio ambiente, la necesidad de obtener un valor “*Y_m*” que se ajuste mejor a las características de la región, alimentación, función zootécnica y condiciones ambientales, este último punto puede darnos un panorama más certero a la hora de predecir emisiones de CH₄ por fermentación entérica, en especial en países con

múltiples climas dentro de su territorio como es el caso de México, donde se han establecido cinco climas base para el país.

Es conocido que el ganado de carne en sistemas intensivos emite menos CH₄ por unidad de carne producida comparada con sistemas en pastoreo (Clements & Ahlgrimm 2001). Debido a estas variantes resulta una necesidad obtener un factor *Y_m* para cada etapa productiva presente en el clima seco de México.

2.7. Población de ganado bovino en la región de clima seco de México

México cuenta con cinco regiones Geo-climáticas dentro de su territorio, donde hay un total aproximado de 33 millones de cabezas de ganado bovino (Padrón Ganadero Nacional 2018), de este número, 7,318,218 corresponden a el número de cabezas de ganado bovino que están dentro de la región Geo-climática de clima seco, los estados correspondientes a esta región son: Aguascalientes, Guanajuato y Querétaro (INEGI). En general, los sistemas productivos de las regiones secas del país dedicadas a la producción de carne se basan en sistemas intensivos donde la alimentación se basa en concentrado con un promedio de inclusión que va de 50% hasta el 90% en algunos casos, el maíz y el concentrado son los ingredientes más prevalentes en dietas de engorda, en contraste, el ensilado de maíz y la alfalfa juegan un papel muy importante en las dietas usadas para sistemas productivos especializados en la producción de leche, dichos sistemas son mayoritariamente intensivos en las regiones a estudiar sin embargo, existe una afluencia de producción familiar donde los animales aún obtienen una porción de sus requerimientos del pastoreo donde figuran praderas medianas con presencia de pastos nativos, gramíneas y arbustivas. Dicho lo anterior, los sistemas productivos

de carne y leche bovino en las regiones de clima seco del país, son de carácter intensivo y semi-intensivo, en estabulación y con dietas altamente digestibles en comparación con los sistemas productivos presentes en el trópico mexicano.

2.8. Determinación de factores de emisión de CH₄

El crecimiento en la producción de carne y leche de bovino representa un incremento de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica, por ello, es de suma importancia realizar la determinación de factores de emisión para ganado bovino en clima seco por etapa fisiológica y fin zootécnico, sin embargo, los inventarios y datos nacionales de emisiones de CH₄ no ofrecen una perspectiva clara de factores de emisión ni por región ni por cabeza, por esta razón, se requiere usar modelos más específicos que permitan reducir el nivel de incertidumbre y ofrezca valores específicos para cada región Geo-climática.

El nivel de emisión de CH₄ resulta de la multiplicación del nivel de actividad por el factor de emisión (FE) (cantidad en litros de metano emitidos por un animal), en la metodología TIER II el FE se calcula a partir del consumo de la energía neta para mantenimiento, actividad, crecimiento, gestación y lactación y el Ym.

La habilidad predictiva para las emisiones de metano por modelación es relativamente poco precisa, por lo tanto se necesita información de los sistemas productivos del ganado para el desarrollo de predicciones más detalladas de las emisiones de metano (FADE, 2014). La habilidad para predecir las emisiones de metano necesita ser más exacta, dicha exactitud puede ser alcanzada disminuyendo la variabilidad, por ejemplo, dividiendo el país en zonas Geo-

climáticas, estratificar el hato del país en etapas productivas, obteniendo una “dieta tipo” y mejorando el modelo TIER II propuesto por el IPCC en 2006.

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad no existen factores de emisión de metano por fermentación entérica para el ganado bovino productor de carne y leche del clima seco de México.

La necesidad de conocer qué sistema productivo tiene mayores emisiones en el clima seco permitirá desarrollar políticas ambientales mejor dirigidas a cada sector productivo de bovinos, además, el obtener la cantidad de emisiones de metano por fermentación entérica emitido en dichos estados nos da un mejor panorama de la cantidad de emisiones de metano del sector pecuario y los datos podrán ser empleados en la elaboración del inventario nacional de emisiones de este gas.

4. HIPOTESIS

Los factores de emisión de metano y de partición de la energía para las regiones de clima seco de México difieren de los factores del IPCC 2006.

5. OBJETIVO

Determinar factores de emisión de metano por fermentación entérica para el ganado bovino productor de carne en las regiones de clima seco de México con el fin de obtener los factores de emisión y partición de la energía (Y_m) que se ajuste mejor a las condiciones alimenticias y fisiológicas del ganado en las regiones de clima

seco de los estados de Aguas Calientes, Guanajuato y Querétaro basándose en una “dieta tipo” para la región.

5.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

5.1.1 Realizar mediciones “*in vivo*” de la emisión de metano usando las “dietas tipo” para las categorías de carne y leche en el laboratorio de ganadería, medio ambiente y energías renovables de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UAEMex.

5.1.2 Determinar el consumo de materia seca, consumo de energía bruta y digestibilidad de la materia seca (MS) y la energía bruta (MJ/ kg MS) con base en los datos obtenidos con el modelo TIER II.

5.1.3 Obtener un factor de partición de la energía consumida hacia metano (Y_m) para la región Geo-climática de clima seco por etapa productiva.

5.1.4 Obtener el factor de emisión de metano por fermentación entérica para ganado bovino de clima seco del país para ganado de carne y leche.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Animales

Se utilizaron cinco bovinos machos de la raza Holstein con un peso vivo (*PV*) promedio de 499 ± 73.2 kg. como muestra representativa del ganado productor de leche y dos bovinos machos de la raza Charoláis con un *PV* de 425.5 ± 16.2 como muestra representativa de ganado productor de carne.

Se utilizaron dos “dietas tipo” de clima seco distintas, una para ganado bovino productor de carne que se implementó a la raza Charoláis y una para ganado bovino productor de leche que se implementó en la raza Holstein. Las dietas tipo fueron determinadas de acuerdo con el procedimiento establecido por Castelán et al. (2017). Los animales recibieron la dieta tipo por un período de 20 días en donde 19 días fueron de adaptación y un día de medición.

6.3 Cámaras de respiración

Las mediciones de la emisión de metano por fermentación entérica se llevaron a cabo con dos cámaras de respiración de circuito abierto (Figura 8) que cuentan con un comedero semicilíndrico con dimensiones de 1.0m x 0.75 x 0.50 con capacidad de 20kg de MS y un bebedero con capacidad de 90 litros, tapetes antiderrapantes para confort del animal, así como aire acondicionado programado a una temperatura de 20°C y una charola recolectora de heces y orina para estudios de digestibilidad y calorimetría.

Figura 8. Cámaras de respiración de circuito abierto con bovino Charoláis en su interior.



Los gases exhalados por el bovino son recuperados gracias a un generador de flujo de masas que succiona el aire dentro de la cámara a una tasa de 500 L/min asegurando una presión negativa dentro de la cámara y que así el 100% del aire contenido dentro de ella sea recuperado. Posteriormente y antes de llegar al analizador de metano, el aire proveniente de las cámaras pasa por filtros y disecadores para no dañar el equipo con humedad, este proceso de medición dura 24 horas.

Previo al inicio de la medición se administró una cantidad conocida de la “dieta tipo” y al final se midieron los rechazos para así obtener el consumo de materia seca (CMS), también se recolectaron las heces, y se les determinó su contenido de

materia seca (MS) y se pesaron para obtener la digestibilidad de la dieta (Figura 9), posterior a esto, la energía bruta (EB) fué calculada en las heces y la dieta tipo para estimar el valor de Y_m .

Figura 9. Bovino de raza Charolais en periodo de medición.



Antes de cada experimento el analizador de metano debe ser calibrado mediante dos tipos de gases: Uno libre de metano (Nitrógeno puro) para calibrar a el punto “cero” y una mezcla de gases que contiene una cantidad conocida de metano (0.099%). Dicha calibración debe ser realizada 24 horas antes de cada periodo experimental.

6.4. Equipo de medición

Se utilizó un analizador de metano modelo MA-10 con sensor óptico de infrarrojo con una resolución de 0.0001 a 0.01%, fabricado por Sable Systems International, Las Vegas, Estados Unidos (Figura 10), el cual procesa una muestra por segundo de la submuestra proveniente de las cámaras.

Figura 10. Analizador de metano MA-10.



Las mediciones de metano son enviadas a una computadora de escritorio vía una interface modelo UI2 del mismo fabricante (Figura 11), el cual tiene un “input” y un “output” para cada cámara. Los datos obtenidos fueron procesados en Excel.

Figura 11. Interface modelo UI-2



También se utilizaron dos generadores de flujo de masas modelo FK2K y FK500 (Sable Systems International, las Vegas USA) (Figura 11) ajustados a un flujo de 500 litros por minuto con los cuales se obtiene una presión negativa dentro de las cámaras y se puede obtener una muestra representativa del aire proveniente de las cámaras, cada 30 minutos, el aire es reemplazado por totalidad dentro de las cámaras debido a la presión negativa dentro de ellas.

Imagen 11: Generador de flujo de masa



Se usó un flow multiplexer RM-8 (Sable Systems International, las Vegas USA) (Figura 12) para alternar cada 30 minutos las mediciones de cada cámara, dando como resultado 12 horas de medición por cámara alternadas por 24 horas. Es decir, este equipo permite medir la emisión de metano en ambas cámaras en forma alternada.

Imagen 12. Multiplexer de flujo modelo RM-8



Los datos obtenidos del analizador se procesaron con el programa EXPEDATA (Figura 13) de el fabricante Sable systems international el cual es capaz de graficar los datos de medición.

Figura 13. Imagen de programa EXPEDATA



SABLE SYSTEMS INTERNATIONAL
EXPEDATA
DATA ACQUISITION & ANALYSIS

Release 1.7.2

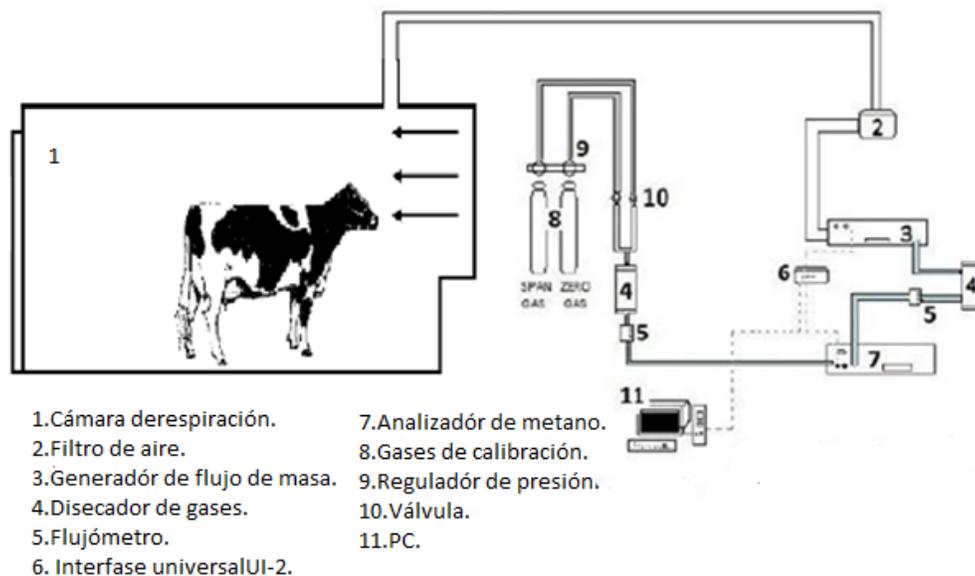
Version: STANDARD (16 channels, 32000 samples, 4 macros, 100 lines/macro)

Copyright 2002-2009 Sable Systems International
ALL RIGHTS RESERVED

Warning: Distribution of this program outside of the laboratory of the licensee is a violation of the End User License Agreement and is a violation of applicable international copyright laws

En la Figura 14 se observa la totalidad de el sistema utilizado en la medición de emisiones de metano por fermentación entérica mostrando todos los componentes necesarios para llevarse a cabo.

Figura 14. Esquema de la totalidad del sistema para medir las emisiones de CH₄ por fermentación entérica en bovinos.



6.5. Dieta tipo

Se utilizaron dos “dietas tipo” de clima seco distintas, una para ganado bovino productor de carne que se implementaron a la raza Charoláis y una para ganado bovino productor de leche que se implementó en la raza Holstein. Las dietas tipo fueron determinadas de acuerdo con el procedimiento establecido por Castelán et al. (2017). Los animales recibieron la dieta tipo por un período de 20 días en donde 19 días fueron de adaptación y un día de medición, si la dieta no cambia, se usan los animales varias veces por semana sin pasar por el periodo de adaptación.

6.5.1 Elaboración de dieta tipo

a) La “dieta tipo” para la región geo-climática seco se obtuvo de una base de datos (Castelán et al. 2017), los cuales fueron recabados con las encuestas llevadas a cabo en los estados de Aguas Calientes, Querétaro y Guanajuato. Dicha encuesta muestra que los ganaderos en esta región utilizan más de 30 ingredientes aproximadamente. De igual forma, en esta encuesta se obtuvo el porcentaje de inclusión de cada ingrediente en las dietas; La selección de los ingredientes que forman parte de la dieta tipo se determinó con el uso de una aproximación multivariada para su análisis (Castelán et al. 2017). El cuadro 1 muestra los ingredientes más comúnmente empleados y su porcentaje de inclusión en la dieta tipo para ganado productor de leche y en el Cuadro 2 se muestran los ingredientes usados en dietas tipo para ganado de carne y su análisis químico.

Cuadro 1. Dieta “Tipo” para ganado lechero de clima seco de México y su composición química

INGREDIENTE	% de MS/ton	APORTE DE LA DIETA
Ensilado de Maíz	40	Energía metabolizable (MJ/Kg/Ms) 10.01
Heno de alfalfa	16.2	Energía neta lactación (MJ/Kg/Ms) 6.28
Maíz molido	18.5	FDN% 32.5
Pasta de soya	10.8	Proteína Cruda (%) 15.6
Salvado de trigo	12	Ca (%) 0.53
Bicarbonato de Na	1.5	P (%) 0.44
Vitaminas y minerales	1	Materia Seca (%) 64.02

FDN= Fibra Detergente Neutro, Ca= Calcio, P= Fosforo

Cuadro 2. Dieta “Tipo” para ganado de carne de clima seco de México y su composición química.

FDN= Fibra Detergente Neutro; Ca= Calcio; P=Fosforo

INGREDIENTE	% de MS/ton	APORTE DE LA DIETA	
Ensilado de Maíz	40	Energía metabolizable (MJ/Kg/Ms)	10.01
Heno de alfalfa	16.2	Energía neta lactación (MJ/Kg/Ms)	6.28
Maíz molido	18.5	FDN%	32.5
Pasta de soya	10.8	Proteína Cruda (%)	15.6
Salvado de trigo	12	Ca (%)	0.53
Bicarbonato de Na	1.5	P (%)	0.44
Vitaminas y minerales	1	Materia Seca (%)	64.02

6.6 CÁLCULO DEL FACTOR DE PARTICIÓN DE LA ENERGÍA A METANO (Y_m).

El porcentaje de la energía bruta (EB) consumida por el ganado bovino que es convertido a metano tiene el nombre de (Y_m) según el IPCC (2006), propone un factor por defecto de 6.5% de la EB ingerida perdida en forma de metano, dicho valor es usado para calcular las emisiones de metano por fermentación entérica para los rumiantes a nivel mundial, sin embargo, se ha observado que este valor en algunos casos, subestima o bien sobreestima la pérdida de energía en forma de metano.

Dicho lo anterior, se necesita un valor Y_m para cada región del país, el valor de Y_m que se propuso en este trabajo fué obtenido con cámaras de respiración de circuito abierto, esta metodología es la prueba de oro, lo que la hace la mejor técnica para obtener dicho factor (Machado, *et. al.*).

Para el cálculo de este factor, es indispensable la determinación del contenido de la EB de la dieta, las heces y la perdida por la emisión de metano. El cálculo de Y_m se llevó a cabo de la siguiente manera:

$$Y_m (\%) = (\text{EB en perdida como metano} / \text{EB consumida}) * 100$$

6.7 CALCULO DE FACTORES DE EMISION ANUAL.

Para el cálculo de la emisión de CH₄ por fermentación entérica, el modelo TIER I considera niveles de actividad y factores de emisión por cabeza (FE); los primeros provienen de inventarios nacionales y los segundos de valores por defecto especificados por regiones continentales y sistemas productivos. La emisión de CH₄ resulta de la multiplicación del nivel de actividad por el FE, para la estimación que se realizó, al ser TIER II, el FE se calcula a partir del consumo de energía neta para mantenimiento.

El metano se deriva de la energía ingerida, dicho lo anterior, la emisión de CH₄ se considera proporcional a la ingesta de energía bruta (EB) de la dieta (Cóndor 2008). Siguiendo la metodología del modelo TIER II, los factores de emisión que se obtuvieron de cada fin zootécnico se determinaron sobre la base de la ingesta de EB y el factor de conversión de metano “*Y_m*”, por un periodo de un año (365 días), usando la ecuación (2) del IPCC (2006).

El cálculo del FE se calcula como:

$$FE = (EB \cdot Y_m \cdot 365 \text{ d}) / (55.65 \text{ MJ} / \text{Kg CH}_4)$$

Dónde: *Y_m* es la tasa de conversión del CH₄ a partir de la energía bruta y 55.65 son los MJ contenidos en un kilogramo de metano. La absorción de la EB en MJ bovino⁻¹ d⁻¹ se deriva de la suma de las necesidades de energía neta y las características de la digestibilidad de la dieta (IPCC, 2006).

6.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los resultados fueron analizados mediante medidas de tendencia central y de dispersión como promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, intervalo de confianza y fueron presentados en cuadros y gráficas.

7. LIMITE DE TIEMPO Y ESPACIO

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de “Ganadería, Medio Ambiente y Energías Renovables” que está ubicado en la posta zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia ubicada en el Cerrillo Piedras Blancas, municipio de Toluca, Estado de México, con coordenadas 19°27' N y 98°38', a una altitud de 2,600 msnm, temperatura promedio de 14°C y precipitación anual de 900 mm (INEGI, 2016).

8. RESULTADOS

8.1. Regionalización Geo-espacial del clima seco de México

Castelán *et.al.* (2017) realizó una regionalización geoespacial favoreciendo la segregación territorial de fuentes de incertidumbre para generar factores específicos de partición para cada etapa fisiológica del ganado bovino permitiendo una mejor interpretación de las emisiones de datos por región, los datos presentados de la regionalización han sido obtenidos de dicho trabajo.

Existen diversos estados de la republica con zonas geo-climáticas secas ubicadas no solo en el norte si no a lo largo de toda la República mexicana, como se muestra en el cuadro 2 presentado a continuación:

Cuadro 3. Estados de la República Mexicana con presencia de clima seco.

Aguas Calientes	Oaxaca
Chihuahua	Puebla
Durango	Querétaro
Estado de México	Sinaloa
Guerrero	San Luis Potosí
Guanajuato	Sonora
Hidalgo	Tamaulipas
Jalisco	Yucatán
Michoacán	Zacatecas
Nuevo León	

Al analizar los resultados de la segregación Geo-espacial, se puede observar que el clima seco está ampliamente distribuido a lo largo de la república, de ahí la gran importancia de realizar factores de emisión para el ganado presente en dicha zona, estados como Durango cuenta con la mayoría de extensión de su territorio con la presencia del clima seco, en contraste con el estado de Yucatán donde el clima está presente solo en las zonas costeras.

Los datos obtenidos de las encuestas, son una muestra representativa de estos estados donde se tomaron al azar los estados de Aguas Calientes, Querétaro y Guanajuato, donde el 73.6% de las unidades de producción pecuaria analizadas eran de leche y el resto de las explotaciones pecuarias fueron de carne, Castelán *et. al.* 2017 menciona que los datos utilizados en este trabajo se obtuvieron con 67 encuestas.

8.2 FACTORES DE EMISION PARA GANADO DE CARNE Y DE LECHE EN CLIMA SECO DE MÉXICO.

Como ya se mencionó antes, los factores de emisión de metano por fermentación entérica incluyen un factor de conversión de la energía bruta (EB) transformada a

metano conocido como factor “ Y_m ” y un factor de emisión diaria de metano por animal en kilogramos. Los factores de emisión de metano se generaron a partir de experimentos con bovinos de la raza Holstein y Charoláis que se realizaron en el Laboratorio de Ganadería, Medio Ambiente y Energías Renovables, con la metodología descrita en Benaouda (2017).

Los resultados han sido obtenidos de mediciones “*in vivo*” en el laboratorio de Ganadería, Medio Ambiente y Energías Renovables ubicado en la Posta zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México con Cámaras de respiración de circuito abierto, para ganado lechero se realizaron seis repeticiones y para ganado de carne se realizaron diez repeticiones, es decir mediciones individuales en animales diferente. Los resultados obtenidos en estos experimentos son presentados a continuación. Así mismo, el factor de emisión (FE) específico para cada tipo de ganado, se ha calculado con la fórmula propuesta por el IPCC 2006, utilizada en el modelo principal del método TIER II.

El Cuadro 4 presenta los resultados para peso vivo, consumo de materia seca, emisiones de metano e intensidad de emisión. Se puede observar que el requerimiento energético del ganado lechero es alto con una relación de forraje/concentrado de 55/45 sin embargo, el factor de partición de la energía (Y_m) es bajo para la cantidad de energía contenida en la dieta (17 MJ/kg MS) con un promedio de 5.37 % de la energía bruta perdida en forma de metano, dicho de otra forma, el ganado lechero presente en clima seco pierde en promedio 13.2 MJ/d con un consumo de materia seca de 15.85 Kg, la emisión promedio de 334.3 lt/día,

mientras que la intensidad de la emisión es de 23.1 Lt o de 16.4 g de CH₄/kg de MS.

Cuadro 4. Variables derivadas de la medición en ganado lechero de la región clima seco con la dieta tipo.

OBSERVACIÓN	1	2	3	4	5	6	MEDIA	DESV ²
PV¹, kg	404	425	413	555	440	538	462.5	66.4
CMS, kg	15.86	15.5	7.9	21.19	8.41	19.84	14.7	5.6
CH₄, L/d	399.0	389.6	192.1	425.6	191.3	408	334.3	111.1
CH₄, Lt/kg MSI	25.2	25.7	24.3	20.1	22.7	20.6	23.1	2.4
CH₄, g/kg MSI	18	18.4	17.3	14.3	16.2	14.4	16.4	1.6
GE, MJ/kg MS	17	17	17	17	17	17	17.0	0
GEI, MJ/d	269.6	257.6	134.2	360.2	143.0	337.2	250.3	94.9
CH₄, MJ/d	15.8	15.4	7.6	16.8	7.6	16.1	13.2	4.4
Y_m, %	5.85	5.98	5.7	4.67	5.29	4.78	5.37	0.6
DIG de la MS, %	71.2	74.0	50.9	77.1	53.9	75.5	67.1	11.6

¹PV = Peso Vivo; CMS = Consumo de Materia Seca; CH₄ L/d = Litros de metano producidos por día; CH₄ L/kg MSI = Litros de metano producidos por kg de materia seca consumida; GE MJ/kg MS = Megajulios de energía bruta por kg de materia seca; EBI MJ/d = Megajulios de energía bruta consumida por día; CH₄ MJ/d = Megajulios de metano emitidos por día; Y_m = factor de conversión a metano; DIG = Digestibilidad de la materia seca. ²DESV = Desviación estándar.

El Cuadro 5 muestra el resultado de las mediciones para bovinos de la raza cárnica donde se utilizaron animales de la raza charoláis todos machos con una dieta con relación forraje concentrado: 25/75.

Se puede observar que la emisión de metano en litros por día por cabeza es prácticamente la misma que en el ganado lechero, para un consumo también muy parecido al del ganado de leche (14.7 vs. 15.2 kg MS/d), sin embargo la intensidad

promedio de la emisión de CH₄, 14.6 g/kg de MSI, es menor en comparación con la dieta para ganado de leche. De igual forma, el factor Y_m para es también menor para el caso del ganado productor de carne (4.4 vs. 5.3), lo cual está asociado a una mayor digestibilidad de la dieta; y por lo tanto un mayor aprovechamiento de la EB consumida pues una menor cantidad de ésta se particiona hacia la producción de metano. Al igual que en la tabla anterior, la dieta utilizada es la reportada por Castelán *et.al.* (2017), dicha dieta es representativa de los mismos estados que la dieta de carne.

Cuadro 5. Variables derivadas de la medición en ganado productor de carne de la región clima seco con la dieta tipo.

OBSERVACIÓN	1	2	3	4	5	6	MEDIA	DESV ²
PV¹, kg	552	583	552	583	478	494	540.3	44.6
CMS, kg	14.76	15.39	15.3	15.48	13.86	16.29	15.2	0.8
CH₄, L/d	308	309.2	297	325	247.1	381.2	311.3	43.4
CH₄, L/kg MSI	20.9	20.1	19.4	21	17.8	23.4	20.4	1.9
CH₄, g/kg MSI	14.96	14.39	13.9	15.03	12.74	16.35	14.63	1.33
GE, MJ/kg MS	18.45	18.45	18.45	18.45	18.45	18.45	18.45	0
GEI, MJ/d	272.3	283.9	282.3	285.6	255.7	300.6	280.1	15.0
CH₄, MJ/d	12.2	12.2	11.7	12.9	9.8	15.1	12.3	1.7
Y_m,%	4.47	4.31	4.16	4.5	3.82	5.02	4.4	0.4
DIG de la MS, %	78.32	76.61	73.86	79.97	74.75	79.13	77.1	2.5

¹PV = Peso Vivo; CMS = Consumo de Materia Seca; CH₄ L/d = Litros de metano producidos por día; CH₄ L/kg MSI = Litros de metano producidos por kg de materia seca consumida; EB MJ/kg MS = Megajulios de energía bruta por kg de materia seca; EBI MJ/d = Megajulios de energía bruta consumida por día; CH₄ MJ/d = Megajulios de metano emitidos por día; Y_m = factor de conversión a metano; DIG = Digestibilidad. ²DESV = Desviación estándar.

En el Cuadro 6 se muestran los factores de emisión anual para el ganado de carne y leche calculados utilizando el valor promedio del factor Y_m para ambas categorías de ganado. Como se mencionó en la metodología, el cálculo del factor de emisión se realizó utilizando la ecuación propuesta por el IPCC (2006) para obtener los kilogramos de metano emitido por una cabeza promedio de la categoría de ganado por año, dicho lo anterior, en el Cuadro 6 se observa que el ganado de leche tiene un factor de emisión anual mayor al de carne con una emisión de CH_4 de 88.29 Kg/cabeza/año en comparación con el factor de emisión del ganado de carne de 74.68 Kg/cabeza/año, dicha diferencia representa que el ganado lechero emite 13.71 kg de metano más por cabeza por año que el ganado de carne.

Cuadro 6. Factores de emisión para ganado de carne y leche presente en la región Geo-Climática seca de México utilizando fórmula propuesta por IPCC 2006.

Factor de emisión de metano Kg CH_4/año	
Ganado de carne	74.68 Kg de CH_4 /Cabeza/Año
Ganado de leche	88.29 Kg de CH_4 /Cabeza/Año

$$FE = \left[EB \times \left(\frac{Y_m}{100} \right) \times 365 \right] / 55.65$$

FE = factor de emisión, kg CH_4 cabeza/año

EB = ingesta de energía bruta, MJ/cabeza/día

Y_m = porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano

El factor 55,65 (MJ/kg CH_4) es el contenido de energía del metano

9. DISCUSIÓN

Autores como Beauchemin *et. al.* () reportan emisiones de metano de 9.2 g/kg de MS con dietas típicas de Canadá para ganado de carne, dicha dieta tenía un 74.9% de digestibilidad, en contraste, la digestibilidad obtenida en este trabajo fue de

77.1% con una emisión de 14.63 g/kg/MS, las diferencias entre emisiones puede ser atribuida a la digestibilidad, siendo más alta en este trabajo y, por ende, la emisión de metano es mayor en este caso, Mohammed *et al.* (2017) reporta que, a mayor digestibilidad y calidad de la fibra presente en la dieta, la emisión de metano es mayor debido a la cantidad de substratos disponibles para los microorganismos metanógenos, mientras que en los estudios realizados por Beauchemin *et al.* () se reporta un CMS de 6.69 kg menos que en este estudio (15.2 kg/d⁻¹). En términos de la intensidad de la emisión, el valor observado se encuentra dentro del rango reportado por Benaouda (2017), el cual es de 20.6±6.5 g/kg de MS consumida, dicho valor se obtuvo de promediar 122 observaciones individuales llevadas a cabo en América Latina. También es similar al valor de 18 g/kg de MS consumida para ganado productor de carne de las regiones tropicales de México, obtenido por Ku-Vera *et al.* (2017)

El factor de emisión anual para el ganado de carne obtenido es de 2,901 Kg CO₂e cabeza⁻¹ año⁻¹, muy similar al reportado por Pelletier *et al.* 2010 con un factor de emisión de metano para ganado productor de carne de Estados Unidos de 2,466 Kg CO₂e cabeza⁻¹ año⁻¹ con animales estabulados y alimentados con dietas basadas en maíz, ambos factores de emisión son similares debido a que las dietas utilizadas son basadas en maíz y en sistemas de producción estabulados.

En el caso del ganado de razas productoras de leche, se observó que la intensidad de la emisión fue menor a los 27.7 g de CH₄/kg de MS consumida reportados por Hammond *et al.* (2015) para novillas de raza Holstein. La diferencia se puede atribuir que la dieta empleada por los autores anteriores estuvo basada mayormente en ensilado de maíz y pasto, mientras que en el presente estudio la dieta estuvo compuesta de cantidades iguales de forraje y concentrado. Está bien establecido que dietas altas en forrajes conllevan a una mayor producción de metano. El factor de emisión anual obtenido en el presente estudio es más alto que el que propone el IPCC (2006) para fines de inventario, el cual es de 53 kg/cabeza/año.

10. CONCLUSIÓN

Los resultados del presente estudio demuestran la importancia de determinar factores de emisión locales pues los factores por defecto no toman en cuenta aspectos importantes que determinan la producción de metano por el animal, como son el consumo de materia seca, consumo de materia seca digestible y la digestibilidad de la dieta. Por lo tanto, al usar cámaras de respiración de circuito abierto nos otorga una mejor aproximación a las emisiones reales de emisiones de metano por fermentación entérica, los cuales al ser más precisos pueden ser empleados en la elaboración de inventarios nacionales de este gas.

8. Bibliografía

- Beauchemin & Mc.Ginn 2017. Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets. *Journal of Animal Science* 2005. 83:653-661.
- Berra G, Valtorta SE, Finster L, Mangano E, Barrera F, Fraigi L. 2007. A simple technique for measuring enteric methane emissions in cows. *GGAAC. New Zeland.* 2007: xxvii-xxviii.
- Charmley E, Williams R, Moate P, Hegarty R, Herd R, Oddy H, Reyenga P, Staunton K, Anderson A, Hannah M. A universal equation to predict methane production of forage-fed cattle in Australia. *Animal Production Science.*2016; 56: 2-3.
- CMNUCC. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 2005. sexta recopilación y síntesis de las comunicaciones nacionales iniciales de las partes no incluidas en el anexo I de la convención.
- Condor, R. D., Valli, L., De Rosa, G., Di Francia, A. and De Lauretis, R. 2008. Estimation of the methane emission factor for the italian Mediterranean buffalo. *The Animal Consortium. Animal* (2008), 2:8, pp 1247-1253.
- Crutzen, P.J. (1995). Ruminant physiology: digestion, metabolism, growth and reproduction. In: *The Role of Methane in Atmospheric Chemistry and Climate.* Engelhardt, W.V. et al. (eds).
- Donoghue, K. A., T. Bird-Gardiner, P. F. Arthur, R. M. Herd, and R. S. Hegarty. 2016. Genetic and phenotypic variance and co-variance components for methane emission and postweaning traits in Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 94:1438–1445. doi:10.2527/jas.2015-0065.

Hammond K.J., D.J. Humphries, L.A. Crompton, C. Green, C.K. Reynolds, 2015. Methane emissions from cattle: Estimates from short-term measurements using a GreenFeed system compared with measurements obtained using respiration chambers or Sulphur hexafluoride tracer. *Anim. Feed Sci. Tech.* **203**, 41-52.

- Immig, I. (1996). The rumen and hindgut as source of ruminant methanogenesis. *Environmental. Monitoring and Assessment* 42, 57-72.
- INE. Instituto Nacional de Ecología. México cuarta comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. México, DF, México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología. 2009.
- INEGI (2016). Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Summary for Policymakers. En: *Climate Change. Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* 2014.
- JAMES G. FADEL¹, D. P. C. and E. K. D. P. E. M. 1 A. B. S. (2014). Prediction of enteric methane emissions from cattle. *Global Change Biology*, 20(7), 9.

<https://doi.org/10.1111/gcb.12471>

- JOHNSON, K.A. & JOHNSON, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73, 2483–2492.
- Kim BH, Gadd GM. *Bacterial physiology and metabolism* 1^a ed. Cambridge University Press; 2008.

Ku-Vera J. C. (2018). Determination of methane yield in cattle fed tropical grasses as measured in open-circuit respiration chambers. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume 258, 3-7

- Lassey, K.R. (2007). Livestock methane emission: From the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle. *Agricultural and Forest Meteorology* 142, 120-132.
- Leahy SC, Kelly WJ, Altermann E, Ronimus, RS, Yeoman CJ, *et. al.* The genome sequence of the rumen metanogen *Metanobrevacter ruminantium* reveals new possibilities for controlling ruminant methane emissions. *Plos One* 2010;5(1):1-17.
- McAllister, T.A., Okine, E.K., Mathison, G.W. & Cheng, K.-J. (1996). Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science* 76, 231-243.
- McBride, B. (2008). Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle. *Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle*, (August 2014). <https://doi.org/10.1017/S0021859608007752>
- Moss, A.R., Jouany, J.P. & Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annals of Zootechnology* 49, 231-253.
- Oyhantçabal W, Vitale E, Lagarmilla P. (2010): El cambio climático y su relación con las enfermedades animales y la producción animal. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay. Conf. OIE 2010, 169-177.
- Panorama Agroalimentario | Carne de bovino 2017 Portada 0. (2017).
- Pelletier.N., Tyedmers, P., 2010. Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000-2050. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107, 18371-18374.
- Ramin, M. (2013). *Predicting methane production in dairy cows*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31396.37761>
- SAGARPA. (2016). Boletín de Leche abril-junio 2016, 67.
- Troy, S. M., Duthie, C., Ross, D. W., Hyslop, J. J., Roehe, R., Waterhouse, A., & Rooke, J. A. (2016). A comparison of methane emissions from beef cattle measured using methane hoods with those measured using respiration chambers, *211*, 227–240.
- Herd, R. M., K. A. Donoghue, P. F. Arthur, S. H. Bird, T. Bird- Gardiner, and R. S. JAMES G. FADEL1, D. P. C. and E. K. D. P. E. M. 1 A. B. S. (2014). Prediction of enteric methane emissions from cattle. *Global Change Biology*, 20(7), 9. <https://doi.org/10.1111/gcb.12471>
- McBride, B. (2008). Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle. *Aspects of rumen microbiology central to*

mechanistic modelling of methane production in cattle, (August 2014).
<https://doi.org/10.1017/S0021859608007752>

- Panorama Agroalimentario | Carne de bovino 2017 Portada 0. (2017).
- Ramin, M. (2013). *Predicting methane production in dairy cows*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31396.37761>
- SAGARPA. (2016). Boletín de Leche abril-junio 2016, 67.
- Troy, S. M., Duthie, C., Ross, D. W., Hyslop, J. J., Roehe, R., Waterhouse, A., & Rooke, J. A. (2016). A comparison of methane emissions from beef cattle chambers, 211, 227–240.
- Hagemann M, Hemme T, Ddambi A, Alqaisi O, Sultana MN. Benchmarking of greenhouse gass emissions of bovine milk production systems of 38 countries. *Animal feed scienceTechnology* 2011;(166-167):46-58.
- Herd, R. M., K. A. Donoghue, P. F. Arthur, S. H. Bird, T. Bird- Gardiner, and R. S. JAMES G. FADEL1, D. P. C. and E. K. D. P. E. M. 1 A. B. S. (2014). Prediction of enteric methane emissions from cattle. *Global Change Biology*, 20(7), 9.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12471>
- McBride, B. (2008). Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle, (August 2014).
<https://doi.org/10.1017/S0021859608007752>
- Panorama Agroalimentario | Carne de bovino 2017 Portada 0. (2017).
- Ramin, M. (2013). *Predicting methane production in dairy cows*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31396.37761>
- SAGARPA. (2016). Boletín de Leche abril-junio 2016, 67.
- Troy, S. M., Duthie, C., Ross, D. W., Hyslop, J. J., Roehe, R., Waterhouse, A., & Rooke, J. A. (2016). A comparison of methane emissions from beef cattle chambers, 211, 227–240.
- Hagemann M, Hemme T, Ddambi A, Alqaisi O, Sultana MN. Benchmarking of greenhouse gass emissions of bovine milk production systems of 38 countries. *Animal feed scienceTechnology* 2011;(166-167):46-58.

- Hegarty. 2014. Measures of methane production and their phenotypic relationships with growth and body composition traits in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 92:5267–5274. doi:10.2527/jas.2014-8273.
- Hungate RE, Smith W, Bauchop T, Yu I, Rabinowitz JC. Formate as an intermediate in the bovine rumen fermentation. *J Bacteriol* 1970:102(2):389-397.
- INEGI (2016). Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- JAMES G. FADEL1, D. P. C. and E. K. D. P. E. M. 1 A. B. S. (2014). Prediction of enteric methane emissions from cattle. *Global Change Biology*, 20(7), 9.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12471>
- McBride, B. (2008). Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle, (August 2014).
<https://doi.org/10.1017/S0021859608007752>
- Panorama Agroalimentario | Carne de bovino 2017 Portada 0. (2017).
- Ramin, M. (2013). *Predicting methane production in dairy cows*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31396.37761>

- SAGARPA. (2016). Boletín de Leche abril-junio 2016, 67.
- Schäfer G, Engelhard M, Müller V. Bioenergetics of the Archea. *Microbiol Mol Biol Rev* 1999; 63(3):570-620.
- Steinfeld H., Pierre G., Tom W., Vincent C., Rosales M., Haan C. La larga sombra del ganado. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. Informe técnico. 2009. 87-139.
- Troy, S. M., Duthie, C., Ross, D. W., Hyslop, J. J., Roehe, R., Waterhouse, A., & Rooke, J. A. (2016). A comparison of methane emissions from beef cattle measured using methane hoods with those measured using respiration chambers, *211*, 227–240.
- JAMES G. FADEL1, D. P. C. and E. K. D. P. E. M. 1 A. B. S. (2014). Prediction of enteric methane emissions from cattle. *Global Change Biology*, *20*(7), 9. <https://doi.org/10.1111/gcb.12471>
- Janssen PH, Kirs M. Structure of the arccheal community of the rumen. *Appl Environ Microbiol* 2008;74(12):3619-3625.
- McBride, B. (2008). Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle, (August 2014). <https://doi.org/10.1017/S0021859608007752>
- Panorama Agroalimentario | Carne de bovino 2017 Portada 0. (2017).
- Ramin, M. (2013). *Predicting methane production in dairy cows*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31396.37761>
- ZINDER, S. H. (1993). Physiological ecology of methanogens. In *Methanogens, Ecology, Physiology, Biochemistry and Genetics* (Ed. J. G. Ferry), pp. 128–206. New York: Chapman & Hall.