

**CREACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE
METANO EN LA PRODUCCIÓN DE BÚFALOS EN EL TRÓPICO COLOMBIANO**

BRIAN GÓMEZ MONCADA



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA DE ZOOTECNIA

BOGOTÁ D.C., MAYO DEL AÑO 2017

**CREACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE
METANO EN LA PRODUCCIÓN DE BÚFALOS EN EL TRÓPICO COLOMBIANO**

BRIAN GÓMEZ MONCADA

13131006

Tutor/a:

DR. IVAN DARIO CALVACHE GARCIA



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA DE ZOOTECNIA

BOGOTÁ D.C., MAYO DEL AÑO 2017

DIRECTIVAS

HNO. ALBERTO PRADA SANMIGUEL

RECTOR

DRA. CARMEN AMALIA CAMACHO SANABRIA

VICERRECTORA ACADÉMICA

HNO. DIEGO ANDRÉS MORA ARENAS

VICERRECTOR DE PROMOCIÓN Y DESARROLLO HUMANO

DR. EDUARDO ÁNGEL REYES

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

DR. LUÍS FERNANDO RAMÍREZ HERNÁNDEZ

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA

HNO. ARIOSTO ARDILA SILVA

DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DR. ALEJANDRO TOBÓN GONZÁLEZ

SECRETARIO ACADÉMICO FACULTAD DE CIENCIAS AGRIPECUARIAS

DR. ABELARDO CONDE PULGARÍN

DIRECTOR PROGRAMA ZOOTECNIA

DRA. MARÍA CAMILA CORREDOR LONDOÑO

ASISTENTE ACADEMICA PROGRAMA ZOOTECNIA

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico principalmente a mi madre, que siempre ha estado conmigo guiándome con su incondicional amor, paciencia, y apoyo a pesar de las circunstancias, desafíos y constantes cambios. A mi padre, por su colaboración al estar pendiente y al tanto de las exigencias de la vida y la carrera. A mis hermanas, que han logrado ser un gran ejemplo para mí con su fortaleza, confianza, e incansable amor y voluntad acompañándome en el largo camino. Finalmente a mis familiares y amigos, que a pesar de la distancia han sido un gran apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Le doy las gracias al Doctor Ivan Calvache, por brindarme la oportunidad de participar en el proyecto, por sus grandes conocimientos como zootecnista que me permitieron cumplir a cabalidad el objetivo planteado y por ser una gran persona, con un excelente carisma y buen sentido del humor que me apporto en mi formación académica y profesional, innumerables valores resaltando la paciencia y constancia a pesar de sus ocupaciones y el lugar donde se encontraba.

Finalmente al programa de zootecnia, por su apoyo, colaboración y comprensión, teniendo en cuenta la particularidad en que se encontraba este proceso, permitiendo la finalidad de este.

TABLA DE CONTENIDO

1.1	Resumen.....	9
1.2	Línea de investigación.....	11
1.3	Planteamiento del problema y justificación.....	11
1.4	Objetivos.....	13
1.4.1	Objetivo general.....	13
1.4.2	Objetivos específicos.....	13
1.5	Metodología general de la investigación.....	14
1.6	Marco teórico.....	16
1.7	Aportes innovador de la investigación y/o la utilidad social de la propuesta.....	19
1.8	Resultados.....	20
1.9	Discusión.....	28
1.10	Conclusiones.....	29
1.11	Referencias Bibliográficas.....	30

INDICE DE GRÁFICAS

Descripción	Pág.
Gráfica 1. Producción de metano obtenido de la relación de DMI de la producción de leche de búfala.....	21
Gráfica 2. Producción de metano relacionado con el DMI del porcentaje de grasa en la leche de búfala.....	22
Gráfica 3. Relación entre la producción de metano y el consumo de energía metabolizable que aporta el pasto estrella africana (<i>cynodon plectostachium</i>) en prefloración.....	22
Gráfica 4. Relación entre la producción de metano con el consumo de energía metabolizable que aporta el pasto estrella africana (<i>cynodon plectostachium</i>) en floración.....	23
Gráfica 5. Relación entre la producción de metano y el consumo de energía metabolizable del pasto dulce (<i>Brachiaria Humidicola</i>) en prefloración.....	24
Gráfica 6. Relación entre la producción de metano y el consumo de energía metabolizable que aporta el pasto dulce (<i>Brachiaria Humidicola</i>) en floración.....	25
Gráfica 7. Producción de metano con base a la FDN que aporta el pasto estrella africana (<i>cynodon plectostachium</i>) en prefloración.....	25
Gráfica 8. Producción de metano con base a la FDN que aporta el pasto estrella africana (<i>cynodon plectostachium</i>) en floración.....	26
Gráfica 9. Estimación de la producción de metano relacionado con el contenido de FDN que aporta el pasto dulce (<i>Brachiaria Humidicola</i>) en prefloración.....	27
Gráfica 10. Estimación de la producción de metano relacionado con el contenido de FDN que aporta el pasto dulce (<i>Brachiaria Humidicola</i>) en floración.....	27

1.1 RESUMEN

La producción de metano, como gas contaminante residual de la fermentación ruminal, hace parte de una gran problemática mundial a tratar, es decir sobre los gases efecto invernadero. Colombia, como país productor agropecuario, tiene la responsabilidad de estar al tanto sobre la cantidad de metano que está proporcionando a la atmosfera gracias a la alta implementación de animales rumiantes en las productoras. Dentro de este grupo, se encuentran los búfalos, siendo uno de los rumiantes de mayor tamaño y que poco a poco empieza a tener una gran cabida por sus cualidades rusticas y de producción, haciendo que su número este en aumento.

El objetivo del presente estudio, es determinar un modelo matemático que simule la producción de metano en búfalos para el trópico Colombiano, teniendo en cuenta unos inputs como: la cantidad de alimento que el animal consume, refiriéndose al consumo de materia seca (Kg/d) , el consumo de energía metabolizable (Mj/d) y el consumo de fibra detergente neutra, a su vez, se tendrá en cuenta unos output en la producción de leche, semana de lactancia, % grasa en leche y el peso vivo del animal, que nos permitirán diseñar una ecuación de consumo de materia seca, y posteriormente la estimación de metano utilizando tres ecuaciones ya establecidas, pero con variables de consumo de materia seca, energía metabolizable y fibra detergente neutra.

Palabras clave: Metano, búfalos, gas efecto invernadero, y producción animal.

ABSTRACT

The production of methane like pollutant residual gas of the fermentation ruminal, it does part of a great world problematics to treating and is on the gases greenhouse effect. Colombia as producing agricultural country has the responsibility of being to so much on the quantity of methane that it is providing to the atmosphere thanks to the high implementation of ruminant animals in the producers. Inside this group they find the buffaloes, being one of the ruminants of major size and that little by little starts having the great one fitted by his rustic qualities and of production, doing that his this number in increase.

The aim of the present study is to determine a mathematical model who simulates the production of methane in buffaloes for the Colombian tropic, bearing a few inputs in mind as the food quantity that the animal consumes, in consumption of dry matter, the energy consumption metabolizable and the consumption of detergent neutral fiber, and a few output production of milk will be born in mind, oily week of lactation, % in milk and the alive weight of the animal, which will allow us to design an equation of consumption of dry matter and later the estimation of methane using three already established equations but with variables of consumption of dry matter, energy metabolizable and detergent neutral fiber.

Key words: Methane, buffaloes, gas greenhouse effect, and animal production.

1.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Producción animal.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, una de las problemáticas que presenta la sociedad es la seguridad alimentaria, esta se encuentra representada por la necesidad de incrementar la producción de alimentos para la humanidad debido al incremento exponencial de seres humanos, por tal motivo, es necesario ampliar la cobertura para suplir esta necesidad de la cual dependen todos los seres vivos. A partir de esta problemática, es importante destacar los rumiantes, dado que son animales capaces de transformar el material vegetal en proteína de alto valor biológico, para el beneficio alimenticio de los seres humanos. (Gerbens-Leenes, 2010).

La producción intensiva de ganado bufalino, aparte de ayudar a solventar esta necesidad primaria, también está contribuyendo al calentamiento global por medio de la producción de gases de efecto invernadero, producto del desecho metabólico de estos animales como el metano, CO_2 y óxido nitroso. Dichos gases, aparte de afectar el clima también causan erosiones de tierra y contaminación de aguas, a su vez se le atribuye la participación en la deforestación (livestock's role in climate change an air pollution, 2005).

El metano, es producido principalmente por los procesos fermentativos que se llevan a cabo en el rumen, sin embargo su producción en rumiantes se ve influenciada

principalmente por diferentes factores como: el consumo de alimento, composición y digestibilidad de la dieta (Cárdenas & Lemus Flores , 2012). No obstante, la producción no depende solo de estos factores fisiológicos, sino que hay componentes como formulación, calidad, palatabilidad, presentación, acceso a la ración y disponibilidad de agua (Cooper R, 2015) los cuales son manejados como factores secundarios, pero así mismo, afectan la producción. A pesar de que los búfalos sean rumiantes rústicos capaces de soportar condiciones que otros animales de producción no, su desarrollo ruminal es capaz de aprovechar alimentos con un aporte bajo en nutrientes.

La construcción de la línea base de la producción de metano, inicialmente está dirigida a la producción de forraje producido y su calidad nutricional. esto se debe, a que en la fermentación ruminal hay un incremento en la producción de AGV como el acetato y butirato, que promueven la producción de hidrogeniones a nivel ruminal, donde pueden ser utilizados por las bacterias metanogénicas que junto con el CO₂ generan metano. (Ávila J et al, 2011). No obstante, la madurez del pasto es un determinante para la digestibilidad, el consumo y la producción de leche del animal, permiten que los porcentajes más elevados de fibra y almidón aumenten la fermentación y por ende haya más producción de metano (Young K, 2013).

En la determinación del metano, se implementan dos modelos básicos: en primer lugar, están los modelos estadísticos que se relacionan directamente con el consumo de nutrientes y una producción de metano; en segundo lugar, están los modelos mecanicistas

dinámicos que tratan de simular las emisiones de metano con base a una descripción matemática de la bioquímica fermentación ruminal, estos modelos mecanicistas se han aplicado con éxito, sin embargo no ofrecen soluciones rápidas basadas en la información limitada, en cambio los modelos estadísticos han proporcionado una mejor alternativa en circunstancias concretas. (Mills, 2003)

Ante la problemática descrita anteriormente, se plantea la siguiente pregunta de investigación que se irá desarrollando a lo largo de este documento: ¿Cuál sería el modelo matemático ideal en búfalos para determinar la producción de metano del trópico colombiano?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar un modelo matemático que simule la producción de metano en búfalos para el trópico colombiano.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elaborar una ecuación que determine el consumo de materia seca en búfalos.
2. Identificar las variables que afectan directamente la producción de metano.
3. Prescindir de los factores que generen menor impacto en la producción de metano.

1.5 METODOLOGIA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

Los datos que permiten realizar la elaboración de la ecuación, fueron recolectados en el Centro Internacional de Formación Agropecuaria (CIFA), ubicado en Puerto Salgar (Cundinamarca), a 170 msnm, con una temperatura promedio de 37°C. Se trabajó con búfalos de raza Murrah x mediterránea, que se encontraban pastoreando en dos tipos de praderas, la primera con: *cynodon plectostachium*, conocido comúnmente como pasto estrella africana que presenta características de gramínea con contenidos de proteína cruda entre 10-15% con digestibilidad del 60-70%, y la segunda pradera fue: *Brachiaria Humidicola* o pasto dulce con un contenido de proteína cruda entre 6-8% y digestibilidad del 50 – 60% (COORPOICA, 2015). Se realizaron 30 aforos en los potreros un día antes de que los animales entraran a

pastorear. La toma los datos se realizó con las normas y reglamentos establecidos en el CIFA y corroborados por la Universidad de la Salle en virtud del bienestar animal y con fines investigativos.

En la elaboración de la ecuación para CMS (Consumo de Materia Seca), se tuvieron en cuenta unos inputs, que es la cantidad de alimento que el animal consume, refiriéndose al consumo de materia seca (Kg/d), el consumo de energía metabolizable (Mj/d) y el consumo de fibra detergente neutra, mientras que para el output se tuvo en cuenta la producción de leche, semana de lactancia, % grasa en leche y el peso vivo del animal. Con la finalidad de realizar un modelo estadístico que relacione directamente el consumo del animal con la producción de metano, se tuvo como base la ecuación desarrollada por Roseler et al, 1997; Holter y Hurban, 1992 y Rayburn y Fox; 1993 (Pardini, 2009). Ecuación [1].

$$\text{CMS} = (0,372 \text{ PLCG4\%} + 0,0968 \text{ PV} \wedge 0,75) \times (1 - e \wedge (-0,192 \times (\text{sem.lact} + 3,67)))$$

[1]

Con base a la ecuación [1], se tuvieron en cuenta las características del sistema productivo, el cual las variables iniciaban con peso vivo entre 500 - 650 kg, con producciones de 3-5 litros de leche, con un porcentaje de grasa en leche entre 7 - 7,5% entre las semanas de lactancia 5 y 10. En el desarrollo de la ecuación de CMS se utilizaron los softwares estadísticos Statgraphics y Modeluss.

Para determinar la ecuación de predicción de metano para el trópico colombiano, se tuvieron en cuenta las fórmulas presentadas a continuación, que relacionan el consumo de materia seca, energía metabolizable y fibra detergente neutra con la producción del gas efecto invernadero (Ellis, Kebread, Odongo, McBride, Okine, & France, 2007).

Producción de metano por consumo de materia seca.

$$\text{CH}_4 \text{ (MJ/d)} = 3,96 (\pm 1,18) + 0,561 (\pm 0,130) \times \text{DMI (kg/d)}$$

[2]

Producción de metano por consumo de energía metabolizable.

$$\text{CH}_4 \text{ (MJ/d)} = 4,38 (\pm 1,46) + 0,0586 (\pm 0,0175) \times \text{ME intake (MJ/d)}$$

[3]

Producción de metano por consumo de fibra detergente neutra.

$$\text{CH}_4 \text{ (MJ/d)} = 5,58 (\pm 1,12) + 0,848 (\pm 0,266) \times \text{NDF (kg/d)}$$

[4]

La energía metabolizable y la fibra detergente neutra que se utilizaron para predecir el metano, se obtuvo de los bromatológicos realizados a los pastos del CIFA, mencionados anteriormente.

1.6 MARCO TEORICO

El metano (CH₄), es un producto final de la fermentación que sufren los alimentos en el rumen, que en términos de energía constituye una pérdida, y en términos ambientales el calentamiento y el cambio climático global. No obstante la investigación en nutrición animal, se ha enfocado en gran parte a encontrar métodos para reducir las emisiones de CH₄, debido a la ineficiencia energética que ocurre en el rumen y no por el rol del CH₄ en el calentamiento global. Sin embargo, recientemente se ha prestado más atención a su contribución potencial al cambio climático. La producción de CH₄ en los rumiantes está influenciada por factores como: consumo de alimento, composición de la dieta, digestibilidad del alimento, procesamiento previo del alimento y frecuencia de alimentación. (Cárdenas & Lemus Flores , 2012)

Otro factor que se debe tener en cuenta y no se enfatiza mucho, es la ración con altos porcentajes de materia seca, por lo general > 55% se asocian frecuentemente con la reducción de la ingesta, esto se debe en primer lugar, a la deglución, solamente se inicia cuando el bocado alcanza un cierto nivel de consistencia y la humedad; y en segundo lugar, porque la función del rumen depende del agua adecuada que está presente dentro de los contenidos. No obstante el secado de la ración mayor, es la cantidad de mascar necesaria para producir la saliva requerida y la cantidad de agua necesaria, para ser consumidos y satisfacer el medio ambiente ruminal, en este sentido, las raciones muy altas en fibra pueden reducir el consumo de materia seca simplemente a través de su 'mayor' y más lenta fermentación ruminal, en donde se lleva a cabo y se requiere más rumiar.

El rumen, tiene un volumen finito y poca capacidad de expansión - más alimentos no se pueden añadir al sistema hasta que la comida vieja se mueva sucesivamente-. Para un alto rendimiento, un NDF dieta general de 55% o FDN del forraje de > 25% pueden causar reducción de la DMI, mientras que esto sería más que suficiente para su equivalente en seco. La composición de la ración independientemente de la calidad de los ingredientes, también tiene una incidencia en la palatabilidad y por lo tanto en el DMI. Los bajones de alimentación rápidamente fermentables o baja ingesta de fibra efectiva, pueden predisponer a la acidosis ruminal subaguda (SARA), SARA tiene un efecto adverso significativo sobre DMI. (Cooper R, 2015). Otro aspecto que se debe tener en cuenta, es que las bacterias metanógenas son sensibles a PH bajos, que la disminución en la relación acetato propionato dependiente del pH es posiblemente causada por una inhibición de la metanogénesis, y que la inhibición de la metanogénesis es causada por la toxicidad de los ácidos de la fermentación que se produce a un pH bajo (Carmona C et. al; 2005).

El punto de mayor impacto en la metanogénesis, es la relación ácido acético: ácido propiónico; si esta relación llega a 0.5 la pérdida energética puede ser de 0%, pero si todos los carbohidratos fueran fermentados a ácido acético y no se produciría propiónico, las pérdidas energéticas podrían llegar a ser del 33%. Por ende, la producción de metano en los búfalos normalmente representa entre 5.5-6.5% del total de energía consumida en la dieta, sin embargo valores entre 2-12% se reportan en condiciones de pastoreo en zonas templadas. Por el contrario cuando la alimentación es con forrajes de baja calidad nutritiva, la producción de metano puede representar entre el 15 y el 18% de la energía digestible. Se considera que la corrección de estas deficiencias nutricionales podría reducir estos valores hasta un 7%. La relación acético: propiónico puede variar entre 0.9 a 4, por lo tanto las pérdidas por metano

varían ampliamente. Por otra parte se ha encontrado que para la producción de metano por kilogramo de MS consumida es de 20.6 g, con una producción de 25 kg de leche y un consumo de 20,3 kg de MS por día, se esperaría una producción de 0,212 Mcal/Kg leche (Cárdenas & Lemus Flores , 2012) (de Bias, Garcia Rebollar, Cambra-Lopez, & Torres).

Entre las estrategias para mitigar las emisiones de CH₄ se ha propuesto: reducir el número de animales rumiantes, aumentar el número de animales no rumiantes, manipulación genética de los microorganismos ruminales metanogénicos, desarrollo de razas menos metanogénicas y manipulación dietética-nutricional, esta última parece ser la de mayor potencial en términos de simplicidad y factibilidad. La manipulación nutricional para suprimir la metanogénesis incluye uso de forrajes de alta calidad, alta proporción de granos en la dieta, uso de aditivos (compuestos químicos, ácidos orgánicos, ionóforos, probióticos), dietas ricas en ácidos grasos insaturados, adición de acetógenos, de bacteriocinas, de virus vs Archaea, y de extractos vegetales (aceites esenciales), modificación de las prácticas de alimentación y suplementación a dietas basadas en pajas. Dichas prácticas de alimentación, reducen las emisiones de CH₄ por la modificación de la fermentación ruminal, inhibiendo directamente los metanogénicos y protozoarios, o desviando los iones hidrógeno de los metanogénicos.

Para la comprobación de las estas estrategias antes descritas, se implementa los modelos matemáticos y estadísticos, para obtener una información más verídica y corroborar la efectividad que dichos métodos investigan. (Cárdenas & Lemus Flores , 2012). Los modelos que han sido implementados sobre los resultados de producción de metano en rumiantes, muestran que la producción diaria de metano varía linealmente en función a las

características del animal como: peso metabólico, la ración, la alteración de la flora microbiana, y la digestibilidad de la energía (de Bias, Garcia Rebollar, Cambra-Lopez, & Torres). A su vez, se encuentran modelos matemáticos lineales en donde se toman valores ambientales como la interacción planta-suelo, y climáticos como: la atmosfera, t° y precipitación. (Rosse T; Schnepf A. 2008).

1.7 APORTES INNOVADOR DE LA INVESTIGACION Y/O LA UTILIDAD SOCIAL DE LA PROPUESTA

La elaboración del modelo matemático que permitió evaluar la producción de metano en búfalos, repercute directamente en la sociedad, ya que brinda la información para encontrar el equilibrio entre litros de metano producido por kg de carne o litros de leche obtenida. Este aprovechamiento de la conversión del alimento disminuye los costos alimenticios, aumenta la capacidad de carga en el potrero y genera un aporte en la conservación del medio ambiente. Lo anterior con el fin de demostrar que no se justifica un aumento en la producción no significativo, aumentando los costos, sobre explotando los recursos y duplicando la producción de metano.

Las moderadas reducciones en las emisiones de metano son posibles con las tecnologías actuales, manteniendo o mejorando la productividad, de mayor uso general, pero con especial aplicación a los países en desarrollo optimizando la productividad mediante la mejora de calidad de la dieta, eliminando las deficiencias de nutrientes y el uso de promotores de crecimiento y genotipos adecuados. La Mejora del nivel de productividad disminuye la contribución al mantenimiento, ayudando a disminuir las emisiones de metano obligatorias de la fermentación en la alimentación asociados con el mantenimiento de los animales, la

producción de metano representa una pérdida de energía promedio de 6% de la GE ingerida. Otras estrategias adicionales están disponibles, incluyendo el aumento del uso de ionóforos que reducirá la alimentación total fermentado y la disminución de metano por unidad de producto. El metano, se puede reducir con dietas que contienen niveles más altos de carbohidratos no estructurales mediante la cosecha anterior de forrajes de mayor calidad o la inclusión de alimentaciones almidón, que actúan para mejorar ácido propiónico y diluir subvención de mantenimiento.

La producción de metano por unidad de producto de origen animal, también se puede reducir por cualquier método que disminuya el contenido de lípidos más de carne o productos lácteos. Tecnologías a largo plazo, pueden desarrollar métodos para alterar la población microbiana de una manera que proporcione hidrógenos de más utilidad para el animal y menos daños al medio ambiente. El desarrollo de estrategias de gestión para mitigar, son posibles y deseables en las emisiones de metano del ganado, no sólo va a mejorar la utilización de carbono en la dieta sino mejora la eficiencia alimenticia y la productividad animal, pero una disminución de las emisiones de metano reducirá la contribución de la ganadería de rumiantes para el inventario mundial de metano. (K. A. Johnson. et al. 1995.)

1.8 RESULTADOS

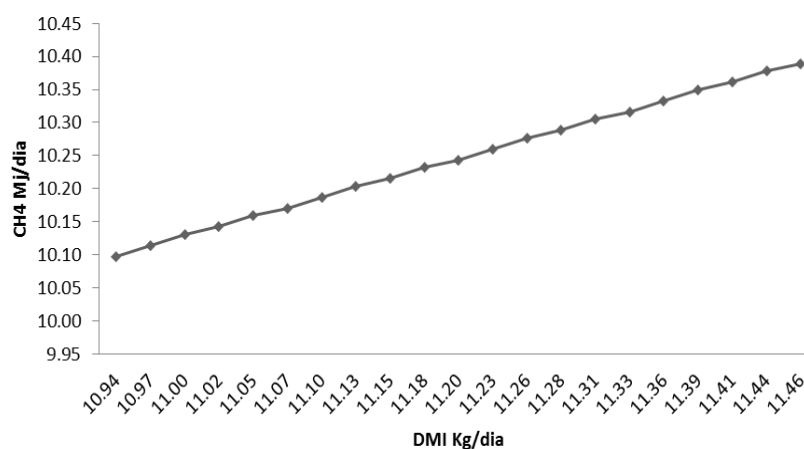
A partir de los datos recolectados y la ecuación [1]. Se utilizaron dos programas, en un primer momento Excel para igualar los consumos de materia seca representados en un diagrama de dispersión. Teniendo en cuenta los valores de peso vivo, litros de leche, % grasa, y semanas de lactancia, evidenciados en la línea de tendencia y el R cuadrado. Posteriormente esos valores fueron ingresados al programa Statgraphics y se tuvieron en cuenta los siguientes

estadísticos: A) coeficiente de correlación; b) el R-cuadrado; c) el R cuadrado ajustado; D) el error estándar del estimador; e) el error absoluto medio; f) estadístico Durbin-Watson y G) la auto correlación de los residuos. Los cuales arrojaron la siguiente ecuación corroborada en modellus. Ecuación [5]

$$\text{CMS} = 8,80939 + 0,00763314 \cdot \text{GRASA} + 0,259876 \cdot \text{L LECHE} - 0,0030811 \cdot \text{SEMANAS} + 0,00230065 \cdot \text{PV}$$

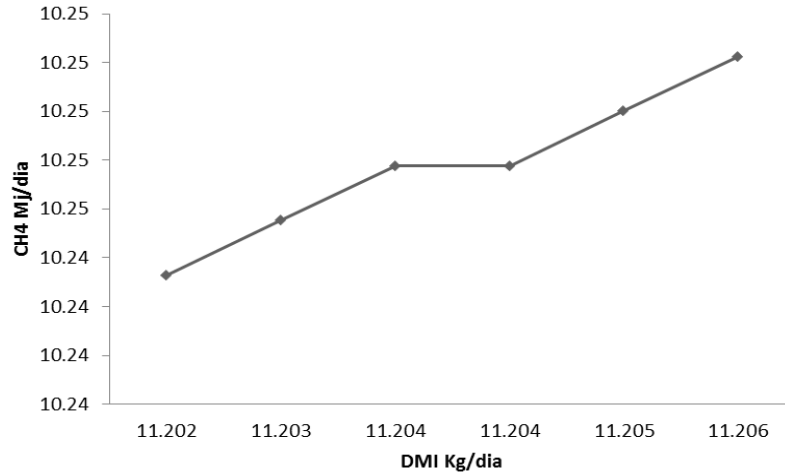
[5]

Grafica 1. Producción de metano obtenido de la relación de DMI de la producción de leche de búfala. Ecuación [2].



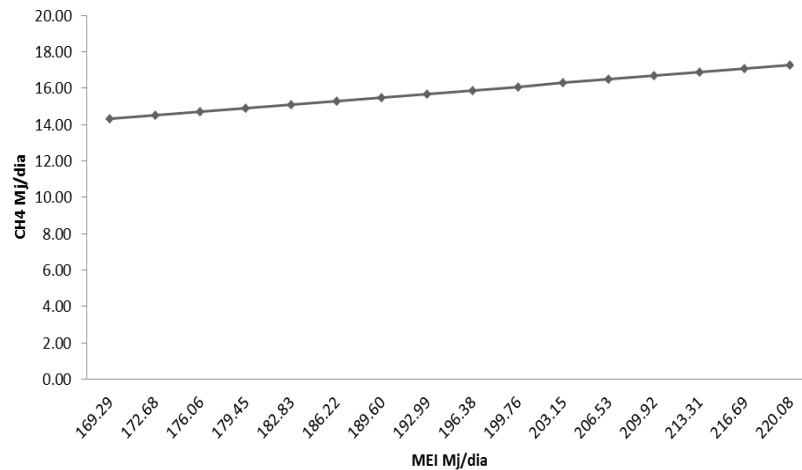
En la gráfica 1, se representa la relación positiva entre el consumo de materia seca sobre la producción de metano. A partir de los datos se evidencia que al aumentar el consumo de materia seca, la producción de litros de leche asciende y esto conlleva a mayores niveles en la producción de metano.

Grafica 2. Producción de metano relacionado con el DMI del porcentaje de grasa en la leche de búfala. Ecuación [2].



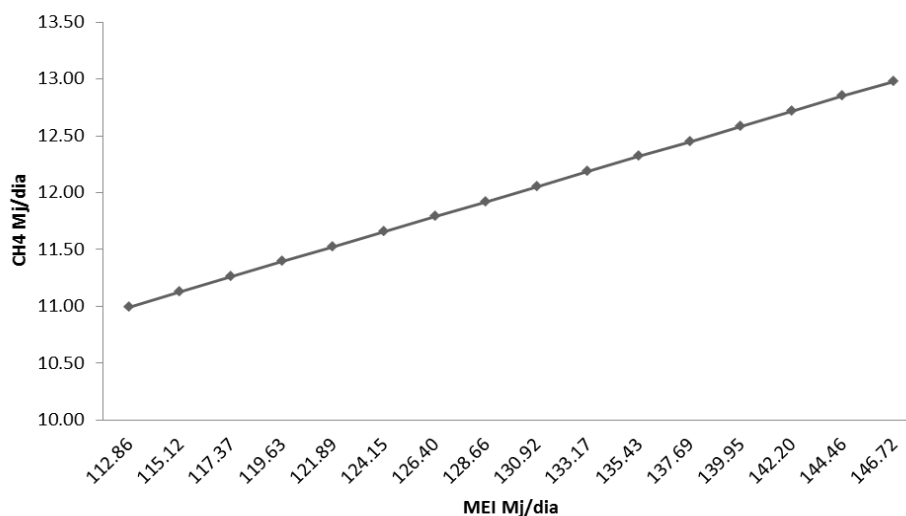
En la gráfica 2, se observa la relación existente entre la producción de metano con el DMI del porcentaje de grasa en la leche de búfala. En general se evidencia que el aumento en la producción de gas metano es influenciado directamente por el consumo de materia seca, al estar relacionado al aumento del porcentaje de grasa en la leche.

Grafica 3. Relación entre la producción de metano y el consumo de energía metabolizable que aporta el pasto estrella africana (*cynodon plectostachium*) en prefloración. Ecuación [3].



En la Gráfica 3, se reporta la medición de la producción de metano en relación al consumo de energía metabolizable que aporta el pasto estrella africana (*cynodon plectostachium*) en prefloración. Se encontró que la producción de metano tiende a presentar un aumento cuando hay mayor consumo de energía metabolizable del forraje. Lo anterior se puede explicar a partir del tiempo de vida del forraje, es decir, a medida que este es más joven contiene mayor energía al encontrarse en proceso de aumento de biomasa. En relación al pasto estrella africana (*cynodon plectostachium*) se tomó para la prefloración 2,7 Mcal/kg. (Quevedo M, 2014).

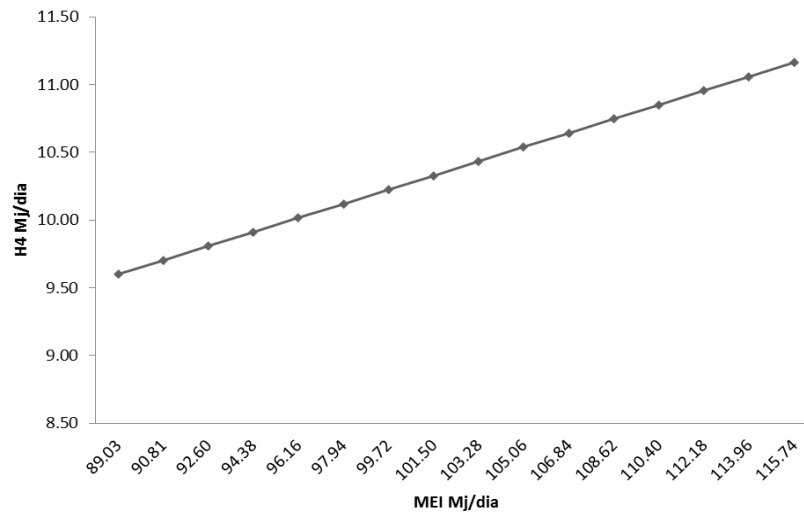
Grafica 4. Relación entre la producción de metano con el consumo de energía metabolizable que aporta el pasto estrella africana (*cynodon plectostachium*) en floración. Ecuación [3].



En la gráfica 4, se presenta la medición de la producción de metano relacionada con el consumo de energía metabolizable que aporta el pasto estrella africana (*cynodon plectostachium*) en floración. En esta ocasión la producción de metano sigue influenciado por la energía metabolizable consumida, sin embargo a medida que esta disminuye también se ve afectado el metano. Lo anterior es generado principalmente por el aumento en la edad

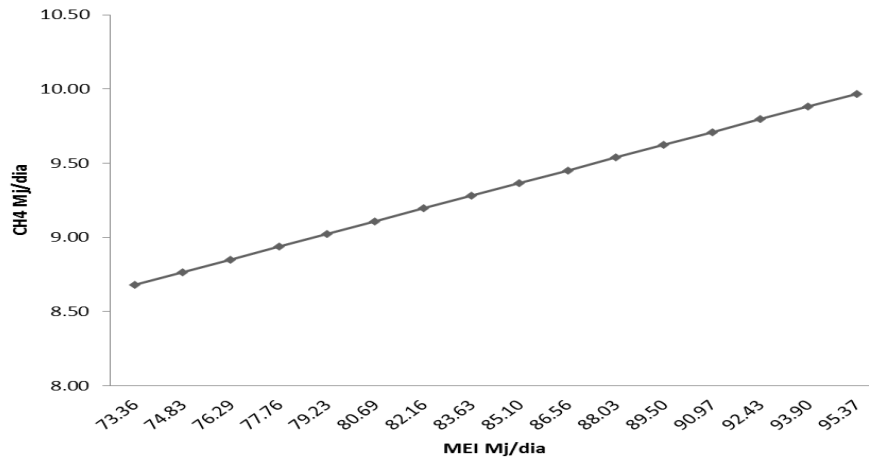
del forraje. El pasto estrella africana (*cynodon plectostachium*) se tomó para la floración 1,8 Mcal/kg. (Quevedo M, 2014).

Grafica 5. Relación entre la producción de metano y el consumo de energía metabolizable del pasto dulce (*Brachiaria Humidicola*) en prefloración. Ecuación [3].



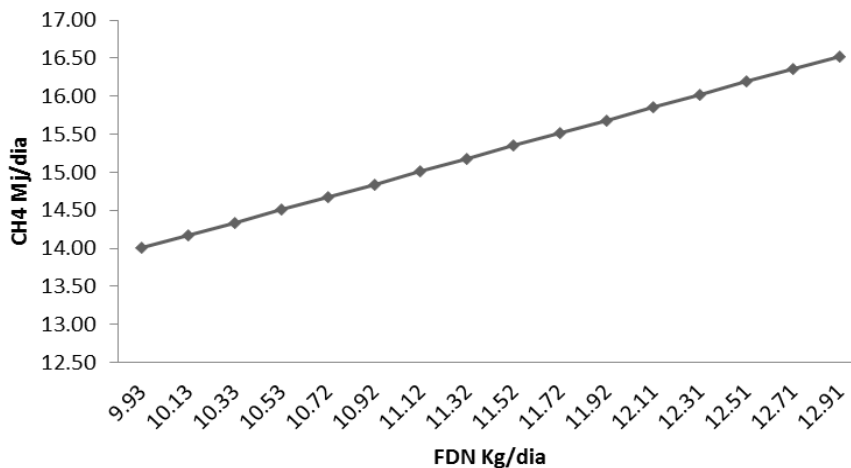
En la gráfica 5, se muestra la medición de la producción de metano relacionada con el consumo de energía metabolizable que aporta el pasto dulce (*Brachiaria Humidicola*) en prefloración. Se encontró que la producción de metano tiende a presentar un aumento cuando hay mayor consumo de energía metabolizable del forraje. Lo cual está relacionado al tiempo de vida del forraje, es decir, a medida que este es más joven contiene mayor energía al encontrarse en proceso de aumento de biomasa. Para el pasto dulce (*Brachiaria Humidicola*) en prefloración se tomó 1,42 EM Kg/día. (Estrada J, 2002).

Grafica 6. Relación entre la producción de metano y el consumo de energía metabolizable que aporta el pasto dulce (*Brachiaria Humidicola*) en floración. Ecuación [3].



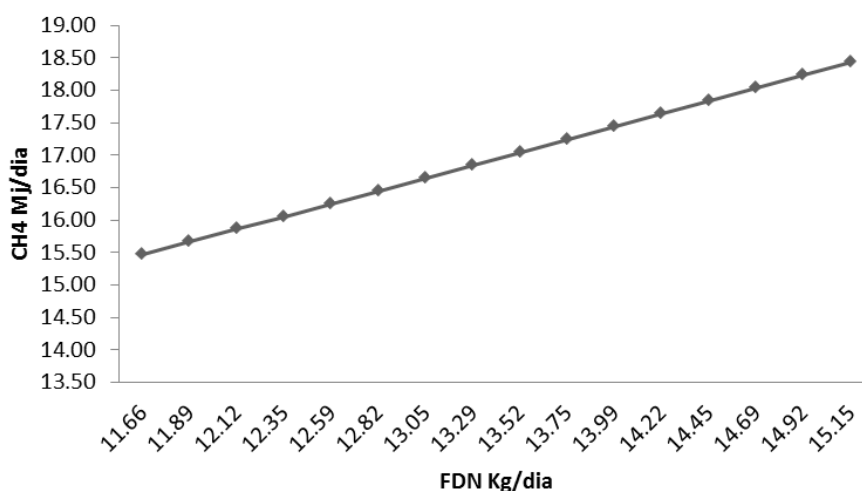
En la gráfica 6, se observa la medición de la producción de metano relacionada con el consumo de energía metabolizable que aporta el pasto dulce (*Brachiaria Humidicola*) en floración. La producción de metano es influenciado por la energía metabolizable consumida, no obstante a medida que esta disminuye también se va afectado el metano, al estar influenciado principalmente por el aumento en la edad del forraje. Para el pasto dulce (*Brachiaria Humidicola*) en floración se tomó 1,17 EM Kg/día. (Estrada J, 2002).

Grafica 7. Producción de metano con base a la FDN que aporta el pasto estrella africana (*cynodon plectostachium*) en prefloración. Ecuación [4].



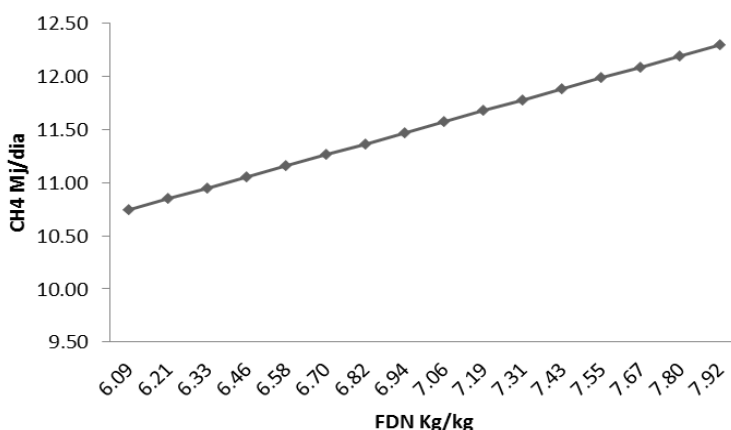
Se evidencia en la gráfica 7, que el aumento de FDN en los forrajes es característico en pastos lignificados y que la producción de metano está relacionada con el aumento de FDN. En consecuencia este pasto en prefloración a medida que va aumentando la biomasa y va ingresando paulatinamente a su estado de floración los contenidos de fibras, la FDN también aumenta. Se tuvo en cuenta para el pasto estrella africana (*cynodon plectostachium*) una prefloración 66,2% de FDN. (Quevedo M, 2014).

Grafica 8. Producción de metano con base a la FDN que aporta el pasto estrella africana (*cynodon plectostachium*) en floración. Ecuación [4].



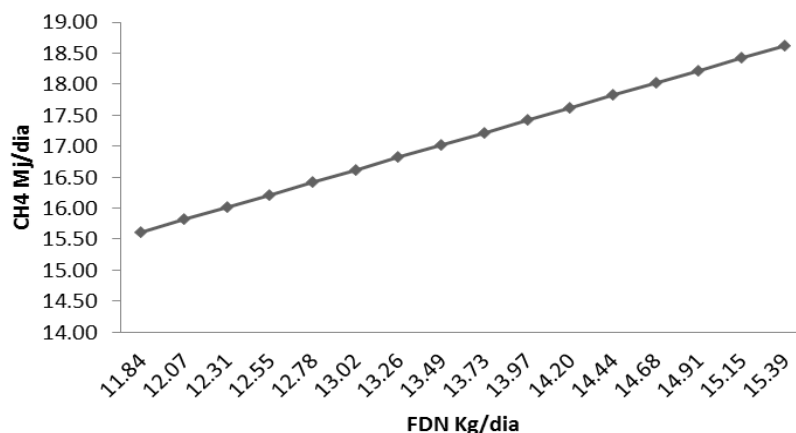
En la gráfica 8, se puede evidenciar que a medida que el forraje llega a su etapa de floración este tiende a seguir aumentando sus contenidos de FDN. Este incremento en la producción de metano es caracterizado por la creciente en el contenido de FDN en el pasto. Para el pasto estrella africana (*cynodon plectostachium*) se tomó para la floración 77.7% de FDN. (Quevedo M, 2014).

Grafica 9. Estimación de la producción de metano relacionado con el contenido de FDN que aporta el pasto dulce (*Brachiaria Humidicola*) en prefloración. Ecuación [4].



Se puede concluir a partir de los datos expuestos en la gráfica 9, que el aumento de FDN en los forrajes es característico en pastos lignificados, a su vez la producción de metano está relacionada con el aumento de FDN, por tal motivo este pasto en prefloración a medida que va aumentando la biomasa y va ingresando a su estado de floración los contenidos de fibras, el FDN aumenta. Se tuvo en cuenta para el pasto dulce (*Brachiaria Humidicola*) en prefloración se tomó 40.6% de FDN. (Estrada J, 2002).

Grafica 10. Estimación de la producción de metano relacionado con el contenido de FDN que aporta el pasto dulce (*Brachiaria Humidicola*) en floración. Ecuación [4].



De la gráfica 10, se puede reflejar que el forraje al llegar a su etapa de floración este tiende a seguir aumentando sus contenidos de FDN. Este incremento en la producción de metano es caracterizado por la creciente en el contenido de FDN en el pasto. Para el pasto dulce (*Brachiaria Humidicola*) en floración se tomó 78.9% de FDN. (Estrada J, 2002).

1.9 DISCUSION

El presente estudio, tenía como finalidad establecer las variables que determinaban un mayor impacto en la producción de metano, en este sentido uno de los hallazgos más importantes encontrados es que la producción de metano está estrechamente relacionada con el consumo de materia seca, lo cual se relaciona con lo expuesto por los autores Muñoz, Hube, Morales, Yan, & Ungerfeld, (2015) al coincidir en que al elevar la producción en litros de leche o en materia grasa, el animal incrementa el metano. Este aumento puede ser debido principalmente al consumo de alimento que permite un equilibrio entre los requerimientos y la producción.

En consecuencia otro factor importante en la producción del metano es el forraje, el cual ha sido mencionado también en otras investigaciones en la literatura, por ejemplo los autores Kurihara, Magner, Hunter, & McCrabb, (1999), encontraron en su estudio que a medida que aumenta la energía metabolizable de los forrajes, también incrementa la producción de metano. Sin embargo en este caso el pasto utilizado fue *Chloris gayana*, presentando respectivamente un mayor aumento de EM, caracterizado por la estructura del pasto. Kulivand & Kafilzadeh, (2015) demostraron que a mayor fibra detergente neutra es mayor la producción de metano. A su vez los investigadores Kurihara, Magner, Hunter, &

McCrabb, (1999) determinaron que en el trópico bajo se da una alta producción de metano por los altos niveles de fibra y de lignina, los bajos niveles de carbohidratos solubles y la baja digestibilidad. Lo cual tiene relación con las características de manejo del recurso forrajero que se implementan en estos lugares.

1.10 CONCLUSIONES

En términos generales se puede concluir que la producción de metano está estrechamente relacionada con el consumo de materia seca debido a que existe una mayor fermentación ruminal. Causado posiblemente como factor principal la mala calidad o lignificados de los forrajes. Lo anterior se logró evidenciar por un alto % FDN. Sin embargo, la producción también se ve afectada por la ingesta del animal, debido a que mientras más come más metano produce. Siendo el aumento de energía que va obteniendo el animal a medida que consume el forraje un factor importante. No obstante una vez llega a su límite de llenado esta producción se mantiene constante.

Por último, al ser Colombia un país tropical existen problemas referentes a las pasturas que posiblemente influyan en la producción del metano. Uno de los primeros aspectos está relacionado a su composición, es decir, al tener un alto contenido de fibra genera una baja digestibilidad en el animal y el segundo aspecto radica en el manejo inadecuado que se le da a las pasturas, lo cual influye en la producción de gases con efecto invernadero.

1.11 BIBLIOGRAFIA

Ávila, J., Gómez, F., Garzón, J., & Vélez, M. (2011). Desarrollo de un modelo para presidir la emisión de metano en bovinos bajo pastoreo usando dinámica de sistemas.

Universidad Nacional.

Benchaar, C., Rivest, J., Pomar, C., & Chiquette, J. (1998). Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations. Vol, 76. No. 2. Access, 617627.

Cárdenas, J. A., & Lemus Flores, C. (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 215- 246.

Carmona, J.C., Bolivar, D,M,. Giraldo, L,A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Rev Col Cienc Pec Vol. 18:1. Universidad de Antioquia.

Cooper, R. (2015). Nutrition of Dairy Herds. Part 1 - Maximising Dry Matter Intake.

CORPOICA. (2015). Braquipara. Recuperado el 15 de agosto de 2016, de STDF: http://www.corpoica.org.co/NetCorpoicaMVC/STDF/Content/fichas/pdf/Ficha_19.pdf

CORPOICA. (2015). Pasto estrella, tumbaviejos. Recuperado el 15 de agosto de 2016, de STDF:

http://www.corpoica.org.co/NetCorpoicaMVC/STDF/Content/fichas/pdf/Ficha_35.pdf

De blas, C., Garcia, P., Cambra López, M., & Torres, A. (23 y 24 de Marzo de 2008). Contribución de los rumiantesa las emisiones de gases con efecto invernadero. XXIV Curso de especialización FEDNA, 121- 150.

Estrada, J. (2001). Pastos y forrajes para el trópico colombiano. Universidad de Caldas.

FAO. (2006). Livestock's long shadow. Recuperado el 15 de 09 de 2015, de FAO corporate document. Repository: <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>

FAO. (24 de 11 de 2014). Agriculture and consumer protection department. Animal production and health. Recuperado el 15 de 09 de 2015, de meat consumption: <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/meat/background.html>

FAO. (2015). Dairy production and products. Recuperado el 15 de 09 de 2015, de milk and milk products: <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/milk-and-milk-products/en/#.VgGeNCBViko>

Ellis, J.L., Kebreab, E., Odongo, N.E. McBride, B,W,. Okine, E,K,. & France, J. (25 de marzo de 2007). Prediction of Methane Production from Dairy and Beef Cattle. Vol, 90. Journal of dairy science, 90:3456-3467.

Garzón, J., Vélez, M., Ávila, J., & Gómez, F. (2011). Desarrollo de un modelo para predecir la emisión de metano en bovinos bajo pastoreo usando dinámica de sistemas. Bogota.

Johnson, K., & Johnson , D. (1995). Methane emissions from cattle. Alliance of Crop, soll, and Enviromental Science societies. Vol. 73 No. 8, 2483 - 2492.

Kurihara, M., Magner, T., Hunter, R., & McCrabb, J. (1999). Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition*.

Leenes, G. (2010). Food consumption patterns and economic growth. Increasing affluence and the use of natural resources. *Appetite*, 1- 20.

Legesse, G., Small, J.A., Scott S,L., Crow, G,H., Block, H,C., Alemu, A,L., Robins C,D., & Kebreab, E. 2011. Predictions of enteric methane emissions for various summer pasture and Winter feeding strategies for cow calf production. *Animal Feed Science and Technology*. 166 – 167, 678– 687. Elsevier B.V.

Livestock's role in climate change an air pollution. (2005).

Mazzetto, A. M., Feigl, B. J., Schils, R., Pelegriño Cerri, C. E., & Cerri, C. C. (2015). Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system . *Livestock science*, 175, 101-112.

Mills, J.A.N., Kebreab, E., Yates, C.M., Crompton L.A., Cammell, S.B., Dhanoa, M.S., Agnew R.E., & France J. (2003). Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. *Journal of animal science*. *J anim sci*, 81:3141-3150.

Muñoz, C., Hube, S., Morales, J., Yan, T., & Ungerfeld, E. (2015). Effects of concentrate supplementation on enteric methane emissions and milk production of grazing dairy cows. *Livestock Science*, 175, 37-46

Pendini, C. (2009). Sistemas de producción lechera de argentina y cuba alimentación de la vaca lechera.

Quevedo , M. (2014). Efecto de un sistema silvoparostil sobre la calidad de la leche, comparado con un sistema de producción convencional. Universidad Nacional de Colombia.

Roose, T., & Schnepf, A. (2008). Mathematical models of plant–soil interaction. Phil. Trans. R. Soc. A 366, 4597–4611

Statgraphics . (25 de abril de 2007). Regresión Simple . Recuperado el 15 de agosto de 2016, de

STATGRAPHICS:<http://www.statgraphics.net/wpcontent/uploads/2011/12/tutoriales/Regresion%20Simple.pdf>

Steinfeld, H. (2006). Livestock's role in climate change an air pollution.

Vila, A., Sedano, M., Lopez, A., & Juan, A. (s.f.). Correlación lineal y análisis de regresión. Obtenido de UOC: <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/RegresionLineal.pdf>

Young, K. (2013). Methane Prediction by Nutrient Profiles in Ruminant Continuous Cultures Fed an All Forage Diet of Bermudagrass or Annual Ryegrass . All Theses. Paper 1829. Clemson, South Carolina, United states.