



MITIGACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO ENTÉRICO EN RUMIANTES ALIMENTADOS CON PLANTAS QUE CONTIENEN METABOLITOS SECUNDARIOS

Juan Carlos Ku Vera

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Autónoma De Yucatán.

RESUMEN

El cambio climático es uno de los principales desafíos que enfrentan las sociedades contemporáneas como resultado de la constante búsqueda del hombre por satisfacer sus necesidades de bienestar económico y material. Las actividades antropogénicas tales como la agricultura y la ganadería han afectado los ecosistemas, incrementando las emisiones de dióxido de carbono, óxido nitroso y metano, los gases de efecto invernadero que son los causantes del calentamiento de la atmósfera terrestre. El cambio climático, que se manifiesta en la forma de sequías prolongadas, inundaciones, heladas y demás fenómenos ambientales extremos, está afectando severamente la producción agropecuaria, provocando pérdidas económicas considerables en prácticamente todos los estados del país. El Gobierno de la República y los gobiernos estatales han adquirido compromisos y diseñado planes y estrategias para enfrentar el cambio climático, pero para ponerlos en acción se requiere de investigación científica que cuantifique con precisión las emisiones provenientes de diversas fuentes (industria, sector agropecuario, servicios). Es necesario diseñar estrategias que incrementen la captura de carbono y de nitrógeno en los agroecosistemas, así como que se reduzcan las emisiones de metano y óxido nitroso de origen agropecuario. Por lo anterior, es necesario crear alternativas de mejoramiento de la producción de alimentos en los trópicos, encaminados al logro de la soberanía y seguridad alimentaria del país, e implementar innovaciones que contribuyan al incremento del valor agregado de los alimentos y a la generación de riqueza en el sector rural del país, que demanda la incorporación de tecnologías que lo revitalicen ante las presiones de la globalización de la economía en una sociedad planetaria dominada por el conocimiento. Ante esta inquietud y con el apoyo del CONACYT y la Fundación Produce Michoacán se iniciaron los trabajos en el Laboratorio de Cambio Climático y Ganadería (LACCLIGA) en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán. El LACCLIGA cuenta con instrumentación de precisión para cuantificar los impactos de los sistemas de producción ganadera sobre el ambiente; a través de la medición de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) tales como el metano [CH₄]; también se podrán evaluar las estrategias para la mitigación de éste, con el propósito de reducir su impacto en el ambiente, e incrementar la eficiencia energética de la producción ganadera en razón de los enormes retos que enfrenta el país para cubrir la creciente demanda de la población por alimentos de origen animal (carne y leche). El presente documento describe en forma sucinta el proceso de construcción de cámaras de respiración de circuito abierto para bovinos y los primeros resultados *in vivo* en México de reducción del metano eructado por bovinos alimentados con pasto tropical y forraje de *Leucaena leucocephala*. La información contenida podría servir de referencia para contribuir al establecimiento de políticas públicas que conduzcan a la determinación de los inventarios de metano provenientes de las especies rumiantes



en el país, que hoy día son estimados a través de las ecuaciones propuestas por el International Panel on Climate Change (IPCC).

INTRODUCCIÓN

La producción ganadera es una actividad económica importante que proporciona alimentos (carne y leche) y subproductos para el consumo humano. La demanda mundial de proteínas animales irá aumentando paralelamente al crecimiento de la población. Por consiguiente, la producción animal desempeña y seguirá desempeñando un papel clave en el suministro alimentario. Por otra parte, la ganadería en cualquiera de sus modelos (intensivo o extensivo) puede presionar la disponibilidad de los recursos naturales, puede provocar deterioro ambiental a través de la contaminación del agua (ríos, mares y lagos), la deforestación, la pérdida de la biodiversidad y la liberación a la atmósfera de gases potencialmente nocivos conocidos como gases de efecto invernadero (GEI) que están contribuyendo al calentamiento global. Los principales GEI son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), estos gases incrementan la temperatura de la atmósfera generando un aumento en la temperatura de la tierra, la cual se estima que será medio grado centígrado mayor para el año 2030 (Knapp *et al.*, 2014; Leng, 2014).

El paulatino aumento en la temperatura de la tierra, causado principalmente por la intensificación del efecto invernadero el cual es el resultado del aumento en las emisiones de gases provenientes de las actividades humanas (ganadería, agricultura, transporte y uso del petróleo). El incremento de la población tanto humana como de rumiantes traerá como consecuencia el aumento de las emisiones de GEI como el metano, en países como México el cual se ha comprometido ante la comunidad internacional a reducir sus emisiones (Acuerdo de Durban), instrumentando mecanismos nacionales como la Ley General de Cambio Climático y la Estrategia Nacional de Cambio Climático con el propósito de implementar mejores prácticas agropecuarias, reducir las emisiones de contaminantes climáticos y propiciar cobeneficios en la salud y el bienestar de la población, y mejorar los mecanismos de adaptación al cambio climático; por medio de la generación de información indispensable para atender el tema ambiental. Ante esta perspectiva se pretende contribuir a establecer las bases de una metodología estándar para la determinación de las emisiones de metano *in vivo* en rumiantes bajo las condiciones del trópico.

Ganadería y medio ambiente

En la actualidad la ganadería es la actividad humana que mayor impacto tiene sobre el ambiente. La FAO indica que la ganadería ocupa casi el 30% de la superficie terrestre y el 70% de los suelos agrícolas están cubiertos por pastizales, de tal manera la ganadería ocupa una tercera parte de la superficie terrestre para la producción de forrajes. En México la superficie de praderas corresponde al 50% del territorio nacional y anualmente se deforestan 260 mil hectáreas de bosques y selvas que se convierten en praderas para la producción ganadera. El principal ejemplo a nivel mundial de la pérdida forestal, está en la Amazonía donde el 70% de los bosques talados han sido convertidos en praderas y cultivos forrajeros para la alimentación del ganado.



Además de la deforestación, la ganadería es responsable de la compactación y el sobre pastoreo de los suelos y pastizales a consecuencia del número excesivo de animales mantenidos por hectárea lo cual provoca una degradación del 20% de los pastizales, disminución del aire en el subsuelo, reducción del crecimiento de las raíces, disminución de la filtración del agua, erosión y desertificación. Adicionalmente, de manera directa o indirecta se contamina el agua por efecto de las aguas residuales que se generan en los establos y que se vierten directamente al subsuelo sin tratamiento previo.

La producción ganadera figura entre los sectores más perjudiciales para el recurso hídrico, contribuyendo a su contaminación (eutrofización, nitrificación, etc.). Los principales contaminantes son los antibióticos y antiparasitarios que se usan en los animales, específicamente los garrapaticidas como las ivermectinas las cuales son utilizadas en el tratamiento de los animales, otra fuente de contaminación son los fitoquímicos utilizados para el control de plagas y malezas en las pasturas.

La pérdida de la diversidad biológica por efecto de la ganadería es un problema alarmante a nivel mundial y es resultado de la utilización irracional y la destrucción de los hábitats de otras especies, un ejemplo de ello en México es la reducción de las poblaciones de jaguares y tapires, las cuales se encuentran amenazadas por la expansión ganadera.

Por otro lado, la producción agropecuaria, y especialmente la ganadería con rumiantes, está estrechamente relacionada con el calentamiento global del planeta porque es la actividad humana que más influye sobre el cambio climático después del sector energético, y de acuerdo con la FAO, aporta un 18% de los gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera, siendo los rumiantes los que más contribuyen sobre todo con dióxido de carbono y el metano (Figura 1). El incremento en las emisiones de metano provenientes de la ganadería con rumiantes se vincula con un aumento en la población de animales a consecuencia de una elevación en la demanda de alimentos de origen animal (carne y leche) debido al crecimiento de la población humana.

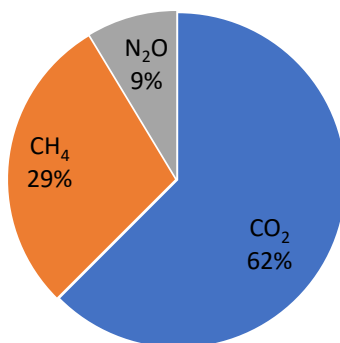


Figura 1. Contribución de los rumiantes a las emisiones de GEI.



El gas metano es uno de los subproductos de la fermentación anaeróbica de los alimentos en el rumen de las especies rumiantes, y junto con el dióxido de carbono y el óxido nitroso representan los principales GEI producidos por los rumiantes (Cuadro 1). Anualmente se producen en el mundo 80 millones de toneladas de metano, siendo los rumiantes responsables del 30% de estas emisiones con un potencial de calentamiento 25 veces superior al del dióxido de carbono y un periodo de vida de 12 años. Además de su efecto en el ambiente, el metano representa una pérdida de energía del alimento consumido por el animal y por lo tanto es una expresión de ineficiencia en la producción. Esta pérdida de energía debida a su conversión en metano puede fluctuar del 5 a 18 % de la energía total consumida por los rumiantes.

Cuadro 1. Potencial de calentamiento y concentración atmosférica de los principales gases de efecto invernadero por fuente de emisión.

Gas	Fuentes	Potencial de calentamiento	Concentración en la atmósfera
CO ₂	Combustibles fósiles, fábricas y deforestación	1	60
CH ₄	Rumiantes, cultivos de arroz y gas natural	23	23
N ₂ O	Suelos, fertilizantes, heces, orina	310	6

CO₂; dióxido de carbono; CH₄; metano; N₂O; óxido nitroso.

Mitigación de las emisiones de metano en rumiantes

En las regiones tropicales, la ganadería con rumiantes se basa en el pastoreo de gramíneas que se caracterizan por ser de baja calidad nutricional (bajo contenido de proteína y alta cantidad de fibra) en determinadas épocas del año (secas) lo cual provoca un aumento en la producción de metano en el rumen (Cuadro 2), a diferencia de los rumiantes alimentados con raciones altas en granos (concentrados) en los cuales la producción de metano ruminal es menor. Con el propósito de reducir estas emisiones de metano se han utilizado diversas estrategias en la alimentación, mediante la incorporación de aditivos, antibióticos y levaduras tales como la monensina sódica y lasolacida. No obstante, su empleo puede comprometer la salud animal, la inocuidad de los alimentos y la economía de los productores. Ante ello se han estado desarrollando recientemente investigaciones con el uso de recursos vegetales alternativos aprovechando la gran diversidad de árboles y arbustos tropicales tales como: *Leucaena leucocephala* (guaje), *Piscidia piscipula*, *Pithecellobium saman*, *Guazuma ulmifolia* (guácima), *Enterolobium cyclocarpum* (parota), *Gliricidia sepium*, *Sesbania sesban*, *Sapindus saponaria* (jaboncillo) y *Samanea saman*; entre otros, los cuales además de su potencial en la alimentación de los rumiantes, poseen en su follaje y frutos una amplia variedad de compuestos químicos llamados metabolitos secundarios entre los cuales se encuentran las: cumarinas, fenoles, taninos condensados y saponinas, los cuales podrían contribuir a reducir la producción de metano en el rumen de los animales rumiantes.



Cuadro 2. Producción de metano en rumiantes en pastoreo.

Especie	Peso (kg)	Metano (l/d)	Metano (l/año)	kg de metano/año
Ovino	48	44.1	16 100	11.5
Novillo	470	268.4	98 000	70.0
Vaca	550	454.5	165 900	118.5

Los taninos condensados forman enlaces con las proteínas y los carbohidratos de los alimentos, disminuyendo la fermentación en la panza y con ello la formación de hidrógeno (H₂) metabólico, que es usado como sustrato para la reducción del dióxido de carbono a metano por las arqueas. Además, los taninos condensados poseen la capacidad de reducir la población de protozoarios y bacterias de la panza, los cuales son los responsables de la formación del metano en este órgano. Por su parte, las saponinas son compuestos terpenoides abundantes en algunos follajes y frutos de árboles y arbustos tropicales, y actúan modificando la fermentación en el rumen al eliminar parcialmente la población de protozoarios que son los responsables de producir hasta un 39% del metano en la panza (Cuadro 3).

Cuadro 3. Potencial de los metabolitos secundarios presentes en el follaje y frutos de los árboles tropicales para la disminución de la producción de metano en la panza de rumiantes.

Árbol	Metabolito	Especie animal	Reducción del metano (%)
Jaboncillo	Saponinas	Ovinos	10
Quebracho	Taninos	Bovinos	27
Guaje	Taninos	Ovinos	37
Guaje	Taninos	Ovinos	26

En este sentido con la inclusión de *Leucaena leucocephala* a niveles de 35 % en la dieta de rumiantes se ha logrado reducir las emisiones de metano hasta en 14% (Soltan *et al.*, 2013). Sin embargo, en otro trabajo al incluir hasta el 27% de *L. leucocephala* no se encontraron diferencias significativas cuando se comparó al control, aunque se observó una reducción del 15.6% la producción de metano (Delgado *et al.*, 2014). Similarmente con la inclusión de *L. leucocephala* en 20 y 50% con bovinos mestizos se incrementó la producción de metano en 2% con el cambio de 20 a 50% (Possenti *et al.*, 2008).

RESULTADOS

Construcción de cámaras de respiración de circuito abierto para la medición de metano entérico en bovinos

Las cámaras de respiración se construyeron en los corrales del Departamento de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán. Se construyeron dos cámaras de respiración de tamaño suficiente para alojar confortablemente bovinos con rango entre 200 y 400 kg de peso. El diseño de las cámaras estuvo basado en modelos publicados en la literatura (Pinares-Patiño y Waghorn, 2012). La técnica de cámaras de respiración es considerada en la actualidad como la más precisa para la medición de la producción del metano



eructado por el ganado rumiante (Gardiner y Coleman, 2013). La cuantificación de las emisiones de metano entérico en la FMVZ-UADY se lleva a cabo por medio de la técnica de cámaras de respiración de circuito abierto (Figura 2).

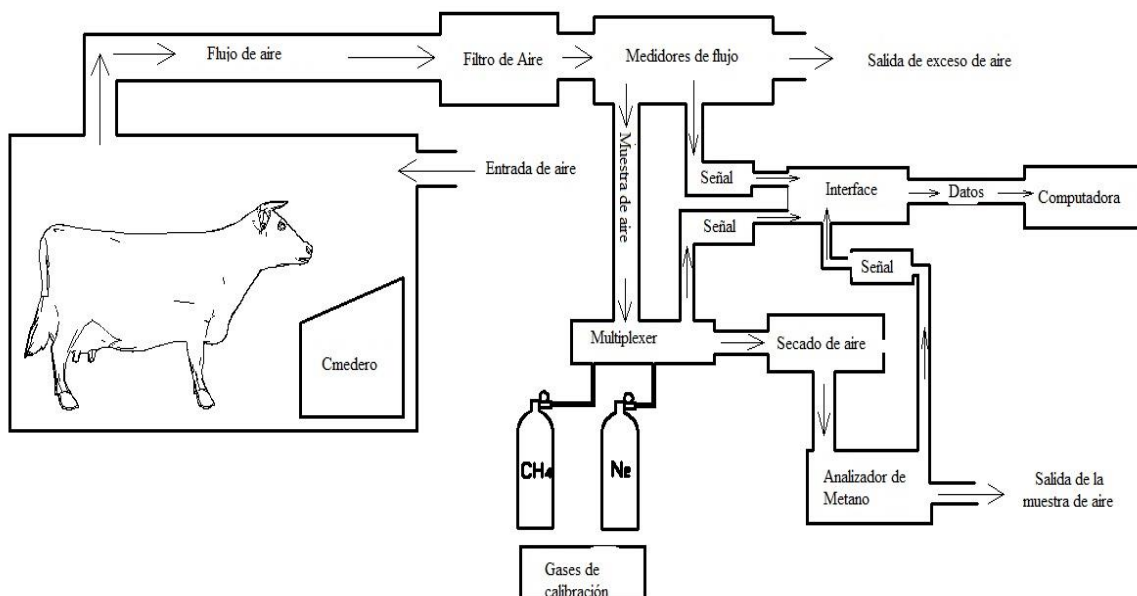


Figura 2. Esquema de las cámaras de circuito abierto para la medición de metano eructado por bovinos que fueron construidas en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán en Mérida.

Las cámaras de respiración de circuito abierto construidas consisten de tres partes: 1) cámaras de respiración, 2) unidad de muestreo y análisis de gas metano, y 3) unidad de captura y análisis de datos.

Las cámaras de respiración se diseñaron y construyeron de manera análoga a la de un calorímetro indirecto de circuito abierto (Blaxter, 1962). El calorímetro indirecto de circuito abierto permite el ingreso de aire del exterior a la cámara el cual se mezcla con los gases exhalados por el animal y luego son extraídos por acción de un generador de flujo de masas a través de una salida hasta el analizador de gas metano (infrarrojo) donde se cuantifica la concentración de metano emitido por el animal (McLean y Tobin, 1987). Las cámaras se diseñaron y construyeron alrededor de la base de unas jaulas construidas previamente para estudios de digestión y metabolismo en bovinos. En el diseño se consideró como parte importante el brindar bienestar al animal durante la estancia en el interior. Las cámaras se construyeron de 3.0 m de largo, 2.14 m de alto y 1.44 m de ancho (volumen de 9.97 m³). La base perimetral la cámara se elaboró en dos filas de bloques de concreto de 0.15 m x 0.20 m x 0.40 m. La estructura se construyó con PTR cuadrados de acero de 2" de ancho anclados en cada esquina de la base perimetral. Se utilizaron paños de panel térmico Zelma Kooler ® de 2" de espesor en las paredes laterales (2.0 m x 2.0 m, largo y alto, respectivamente). Los paneles de Zelma Kooler están contruidos con lámina galvanizada de calibre 14 en forma de tambor y rellenas de poliuretano (Zelma Kooler de México, S.A. de C.V). Para las paredes laterales frontales se colocaron ventanas de acrílico transparentes de 9 mm de espesor (1.0 m x 2.10 m de largo y alto, respectivamente). Las paredes laterales (derecha e



izquierda) frontal de las cámaras son transparentes para facilitar la visibilidad del animal y evitar el stress. Los paneles térmicos se fijaron con angulares de lámina galvanizada calibre 14; estos angulares fueron fijados a las paredes y estructura metálica de la cámara con tornillos de cabeza hexagonal de 3/8". Antes de unir los angulares a la estructura metálica esta fue protegida con pintura anticorrosiva.

Las puertas de la cámara se construyeron con panel térmico Zelma Kooler®. La puerta delantera mide 2.04 m de alto x 1.26 m de ancho; y la puerta trasera mide 2.74 m de alto x 1.54 m de ancho. Las puertas se fijaron a los marcos (madera cubierta de lámina galvanizada) con dos bisagras de la marca Calce-Laminite® de acero inoxidable. El techo de la cámara fue cubierto con una placa de panel Zelma Kooler®, fijado a la estructura de PTR con tornillos hexagonales de 3/8" y para formar un sellado hermético se aplicó previo a la colocación de la placa, pasta de Duretan® en todas las uniones. Al interior de cada cámara de respiración se cuenta con una jaula metabólica construida con tubo de acero galvanizado de 2" de diámetro de 3.20 m x 1.0 m x 1.80 m (largo, ancho y alto, respectivamente). La parte posterior de la jaula tiene una puerta de contención para protección del animal y del personal de operación. Los comederos de la cámara de respiración se diseñaron para minimizar el desperdicio de alimento; miden 0.90 m de largo, 0.70 m de alto y 0.50 m de ancho. Los comederos se construyeron con angulares de 1.0" y lamina de acero calibre 14. Al frente del comedero una estructura metálica ajustable fue instalada para contener al animal. Para facilitar la operación, las bases de los comederos fueron provistas de ruedas de 0.10 m de diámetro. Se instalaron bebederos tipo tazón (≈ 0.20 m de diámetro); para asegurar el continuo suministro de agua. El flujo continuo de agua se mantiene a través de una instalación hidráulica desde el tanque de almacenamiento en el techo del laboratorio hasta el bebedero de tazón dentro de las cámaras. La temperatura interna de la cámara se controla con un equipo de aire acondicionado con capacidad de 12,000 BTU. La iluminación interna se realiza con lámparas de 50 Watts. La homogenización del aire que ingresa a la cámara con los gases eliminados por el animal (CO_2 y CH_4) se realiza con un ventilador pequeño.

La humedad del interior de la cámara se controla con un deshumidificador. La presión atmosférica interna de las cámaras es medida con un medidor de presión diferencial. Las uniones de las paredes y techo de la cámara fueron selladas con tres capas de Duretan®. Las puertas sellan herméticamente por la acción de hules de refrigeración colocados en los cuatro márgenes internos de cada puerta; y en el marco de cada puerta se colocó poliflex como aislante. El ingreso de las líneas de alimentación de energía, agua y aire acondicionado, y la salida de línea de lectura de presión diferencial de la cámara ingresan por el techo por un orificio de 2" de diámetro realizado para este fin; el orificio se selló con pasta de Duretan®. Las líneas de desagüe del deshumidificador (PVC de 3/4" de diámetro) y el aire acondicionado salen por un orificio en la base de la cámara a través de un tubo (PVC de 3/4").

Unidades de muestreo y análisis de gas

La línea de conducción de la muestra de aire hacia el analizador de metano sale en la parte posterior del techo por medio de una manguera industrial roscada de 2" de diámetro. La línea de conducción no tiene empates para prevenir posibles fugas; para evitar la condensación en el interior de la



manguera se aisló de la temperatura y humedad ambiental con una cubierta de Aislaflex® y como protección esta línea fue cubierta con tubo de PVC de 4” de diámetro. Las líneas de conducción de aire hacia los analizadores cuentan con 2 filtros de polvo para prevenir el ingreso de partículas de alimentos y polvo a las líneas, el extremo inicial cuenta con un filtro de fabricación casera (2 capas de malla de 1mm de poro) y al extremo final se une a un filtro de aire (Sable Systems Inc). La unión de los tubos de conducción de aire se sellan en la unión del techo y con el filtro con pasta de Duretan®. La línea de conducción de aire se dirige hasta el interior del laboratorio y se une a una manguera en espiral que ingresa al filtro de aire y este envía la muestra al medidor de flujo (MF) de 50-500 L/min (Flow kit 500, Sable Systems Inc). Inmediatamente la muestra pasa al multiplexer (Sable Systems Inc) el cual envía una muestra de aire al analizador de metano (MA-10 Sable Systems Inc), previo secado del aire en una columna de desecación (sílica gel) y el aire excedente se envía a través de otra manguera al exterior del laboratorio. Antes de realizar mediciones el analizador de metano se calibra en un rango de 0 a 1000 ppm de metano. La calibración del MA-10 se realiza con N₂ (99.99% de pureza) y con una mezcla de N₂ y CH₄ (1000 ppm de metano en la mezcla). Los datos registrados por el MA-10 son enviados a través de señales de voltaje por medio de una interfase a la computadora

Unidad de captura y análisis de datos

Los datos de voltaje son procesados en la computadora a través del software Expedata (Sable Systems Inc.). Expedata registra la tasa de flujo de aire en el sistema y la concentración de metano registrado por el MA-10 durante el tiempo de registro de información. Los registros de datos se realizan alternadamente entre la cámara uno, un periodo de 5 minutos de pausa y la cámara dos. El tiempo de medición en cada cámara es de 5 minutos, con toma de muestras cada 10 segundos. La emisión de metano se calcula en base a la producción media de metano por minuto y la tasa de flujo por unidad de tiempo.

El sistema de medición de metano instalado mide de manera simultánea las dos cámaras. La cantidad de metano presente en el ambiente teóricamente en los cálculos los datos se deben corregir; sin embargo, mediciones del nivel de metano en background en nuestras condiciones se determinó que el nivel de metano es insignificante, por lo que esta corrección no se realiza. De manera similar, los datos se corrigen de acuerdo al flujo de salida de aire corregido a temperatura y presión estándar. Similarmente un factor de corrección en el flujo de aire por unidad de tiempo es calculado para corregir los datos. Los periodos de medición, dentro de las cámaras, son de tres días, al finalizar este periodo lo animales son retirados de las cámaras para ingresar nuevos animales.

Ya con las dos cámaras en operación midiendo la producción de metano en forma alternada, se obtuvo una presión barométrica de -370 Pa a los 3 segundos de iniciada la corrida y se mantuvo aproximadamente en ese valor durante toda la prueba con el medidor de flujo de masas graduado a 300 L min⁻¹, por lo consiguiente el registro de la concentración de CH₄ y el volumen recuperado fue considerado satisfactorio, en la segunda cámara se obtuvieron resultados similares con el mismo alimento y toro, se ha mencionado que la producción de metano varía durante el periodo de medición (23 horas) habiendo picos máximos de producción lo cual obedece a la cinética de la



fermentación del carbohidrato consumido en el rumen. Se realizó una serie de mediciones entre la cámara dos (la más distante del laboratorio y del medidor de flujo de masas) y el aire ambiental y se determinó que el tiempo de purga entre el multiplexer y analizador de CH₄ para el registro de las concentraciones de cada cámara era de 8 minutos. Con las mediciones anteriores, se estableció que el tiempo de medición de la producción de CH₄ realizado en los toros de la raza Nelore sería de 23 horas con el registro de las muestras de cada cámara de 25 minutos con 150 muestras y 10 minutos de pausa para la purga del aire en las líneas. El aire del ambiente (background), no se registra por ser insignificante y no se consideró en los cálculos. Los resultados de producción de metano en las cámaras de respiración recién construidas son comparables a los reportados por otros autores con una producción de CH₄ de 151.9 L/día o 29.3 L CH₄/kg de MS con pastos tropicales. Kurihara *et al.* (1999) encontraron una producción de 363.9 L CH₄/día y 50 L CH₄/kg de MS, mientras que Hales *et al.* (2014) encontraron una producción de 68.5 L CH₄/día o 10.9 L CH₄/kg de MS, en novillos de 322 kg de peso alimentados con granos.

Producción de metano entérico en bovinos alimentados con proporciones crecientes de forraje de *Leucaena leucocephala* mezclado con pasto *Pennisetum purpureum*.

En las regiones tropicales de México existen una gran variedad de árboles y arbustos entre ellos: *Leucaena leucocephala*, *Lysiloma latisiliquum*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Acacia pennatula* y *Guazuma ulmifolia* entre otras. Esta gran diversidad de especies arbóreas y arbustivas tienen un alto potencial en la alimentación de rumiantes (Ku *et al.*, 2000) debido a su buen contenido de proteína cruda y su aceptable digestibilidad (PC, 16-26% de la MS y digestibilidad promedio de 650 g/kg de MS). Adicionalmente a su alto valor nutricional los árboles tropicales contienen una variedad de metabolitos secundarios (Goel *et al.*, 2008; Soliva *et al.*, 2008) tales como los taninos condensados y las saponinas.

En este sentido la *L. leucocephala* es una arbórea multipropósito con alto contenido de proteína cruda, una concentración de 1.5-4.0% de taninos condensados y una digestibilidad superior al 60%.

En toros en crecimiento pastoreando un sistema silvopastoril con una densidad de siembra superior a 25,000 plantas ha⁻¹, y con un consumo estimado del 40% de la ración, se ha logrado una ganancia diaria de peso de 760 g/cabeza/día (Mayo-Eusebio, 2013), a diferencia de animales alimentados con solo pasto en los cuales se obtiene ganancias promedios de 300-400 g/cabeza/día bajo condiciones de pastoreo de monocultivos en sistemas ganaderos extensivos (Molina *et al.*, 1976).

Este aumento en la ganancia de peso puede deberse a la alta concentración de proteína cruda y a la concentración de taninos condensados los cuales crean complejos tanino-proteína, favoreciendo el paso de proteína alimentaria al duodeno donde son absorbidos los amino ácidos y a la reducción en las pérdidas de energía como gas metano.

Algunos autores han mencionado que la *Leucaena leucocephala* tiene efecto en la reducción en las emisiones de metano entérico. Dias-Moreira *et al.* (2013) observaron que al incluir 40 g/kg de taninos condensados de *L. leucocephala* en la ración de ovinos Santa Inés se logró disminuir en un



26% las emisiones de metano en comparación de animales alimentados con sorgo, pasto y otra leguminosa, por otra parte, Soltan *et al* (2013) indicaron que con la inclusión de 35% de *Leucaena leucocephala* en la ración las emisiones de metano se reducen en un 14%.

Se llevó a cabo un experimento con cinco vaquillas de alrededor de 350 kg de peso que fueron alojadas secuencialmente en cámaras de respiración de circuito abierto para la medición cuantitativa del metano eructado. Los bovinos fueron alimentados con mezclas de pasto *Pennisetum purpureum* y porcentajes crecientes (0, 20, 40, 60 y 80%; base seca) de forraje picado de *Leucaena leucocephala*. El Cuadro 4 resume los resultados principales referentes a la reducción de la producción de metano en el rumen. El Cuadro 4 indica que la tasa de emisión de metano cuando las vaquillas fueron alimentadas con solo pasto fue de 14.9 g kg⁻¹ de materia seca, pero cuando se incluyó 20% de follaje de leucaena en la ración, esta tasa se redujo a 10.5 g kg⁻¹ de materia seca (equivalente a un 29.5% de reducción). Cuando se incluyó 40% de follaje de leucaena en la ración, la tasa se redujo aún más hasta 8.7 g kg⁻¹ de materia seca, equivalente a un 41.6% de reducción. El Cuadro 4 muestra también las pérdidas de metano en base diaria o en base anual, así como los porcentajes de reducción. La incorporación de porcentajes crecientes (0, 20, 40, 60 y 80 %) de *L. leucocephala* en la ración no afectó negativamente el consumo total de materia seca consumida (6.88, 7.16, 7.08, 6.99 y 6.91 kg de materia seca por día; Cuadro 4) de las vacas. Esto pudo haber sido influenciado por el menor consumo de FDN (fibra detergente neutro) en la *L. leucocephala* (571 g kg⁻¹ de MS) en comparación con el pasto *Pennisetum purpureum* (698 g kg⁻¹ de MS). Se observa que los niveles de inclusión de *L. leucocephala* (20, 40, 60 y 80 % de la MS ofrecida) tienen la capacidad de reducir las emisiones de CH₄ entérico (Cuadro 4) con una tendencia lineal al nivel de incorporación de la leguminosa en la ración (Figura 3), observándose una reducción de 63.10% con el nivel máximo (80%) de *L. leucocephala* con respecto al tratamiento con sólo pasto (100% de pasto *P. purpureum*).

Cuadro 4. Efecto del porcentaje de inclusión de *Leucaena leucocephala* mezclada con pasto de *Pennisetum purpureum* sobre las emisiones de metano en bovinos medidas en cámaras de respiración de circuito abierto.

Variables	Porcentaje de incorporación de <i>Leucaena leucocephala</i> en la mezcla con pasto de <i>Pennisetum purpureum</i> (base seca)					
	0	20	40	60	80	EE
Consumo de materia seca (kg/día)	6.88	7.16	7.08	6.99	6.91	0.12
Consumo de materia seac (% del peso vivo)	2.34	2.40	2.42	2.37	2.32	0.04
Producción de CH ₄ (g/día)	98.10	72.30	62.40	53.50	38.20	22.39
Producción de CH ₄ (g/kg de MS)	14.90	10.50	8.70	7.50	5.50	3.56
Producción de CH ₄ (kg/año)	35.80	26.40	22.80	19.50	13.90	8.19
Energía perdida como CH ₄ (MJ/día)*	5.4	4.0	3.4	3.0	2.1	1.2
Energía perdida como CH ₄ por año (MJ)	1976.9	1457.8	1259.0	1076.8	767.6	452.14
Porcentaje de reducción del metano	0.00	29.50	41.60	49.70	63.10	23.92

Asumiendo que un kg de CH₄ tiene un calor de combustión de 55.22 MJ (Brouwer, 1965).

Estos resultados evidencian el potencial de los sistemas silvopastoriles para contribuir hacia el desarrollo de una ganadería tropical menos agresiva con el ambiente y enfatiza los servicios



ambientales que el silvopastoralismo ofrece. La reducción observada en la producción de metano entérico puede estar influenciada por el aumento en el consumo de taninos condensados los cuales crean complejos con las proteínas y los carbohidratos estructurales reduciendo la digestibilidad o bien debido al menor contenido de fibra detergente neutra consumida conforme se incrementa el nivel de *L. leucocephala* en la ración.

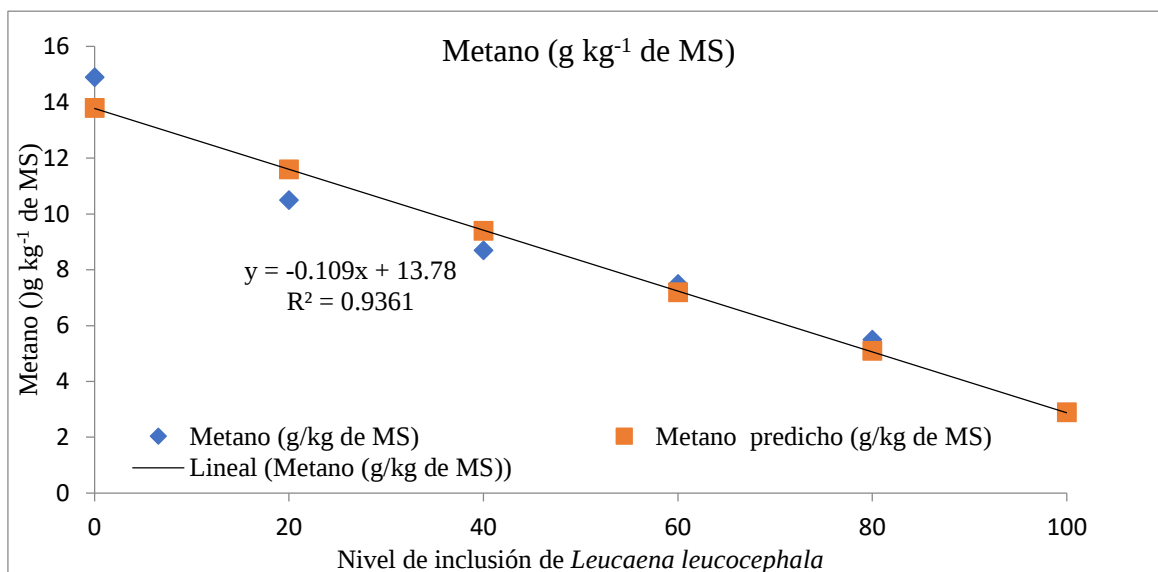


Figura 3. Efecto de cantidades crecientes de follaje de *L. leucocephala* mezclado con pasto picado de *Pennisetum purpureum* en la ración sobre las emisiones de metano entérico en bovinos en México.

Esta información coincide con aquella reportada la literatura científica actual en la cual en diversos trabajos se ha encontrado una reducción en las emisiones de CH₄ entérico cuando la *Leucaena leucocephala* es incluida en la ración. En este sentido Delgado et al. (2012) determinaron que al incluir 27% de *L. leucocephala* en la ración de ovinos, la producción de CH₄ disminuyó en un 15.6%. Possenti et al. (2008) mencionaron que la inclusión de 50% de *leucaena* redujo en un 13% las emisiones de CH₄ en bovinos alimentados con *Cynodon dactylon*.

En Australia, Kennedy y Charmley (2012) encontraron que al incluir 22 y 44% de *L. leucocephala* en la ración de bovinos, las emisiones de CH₄ entérico se redujeron en 13.39 y 20.53% respectivamente en relación a bovinos alimentados con pastos de mediana calidad como el *Cenchrus ciliaris* (Buffel).

CONCLUSIONES

La incorporación de cantidades crecientes del follaje de *Leucaena leucocephala* a una ración basal de pasto *Pennisetum purpureum* en ganado bovino, tiene la capacidad de disminuir gradualmente la producción de CH₄ entérico sin afectar el consumo de materia seca de la ración total. Con base en los resultados obtenidos a la fecha en experimentos *in vivo* en cámaras de respiración de circuito abierto en la FMVZ-UADY (Mérida, Yucatán) con bovinos, se puede concluir que es posible que las mezclas de pastos tropicales con *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles resulten en



una menor tasa de producción de metano por kg de materia seca consumida comparados con aquella obtenida en sistemas extensivos de producción bovina (pastos en monocultivo) en las regiones tropicales de México.

LITERATURA CITADA

- Delgado, D. C., J. Galindo, R. González, N. González and I. L. Dihigo. 2012. Feeding of tropical trees and shrub foliages as a strategy to reduce ruminal methanogenesis: studies conducted in Cuba. *Tropical Animal Health and Production* 44: 1097.
- Dias-Moreira, G., P. M. Tavares-Lima, B. Oliveira-Borge, O. Primavesi, C. Longo, C. McManu, A. Abdalla and H. Louvandini. 2013. Tropical tanniniferous legumes used as an option to mitigate sheep enteric methane emission. *Tropical Animal Health and Production* 45: 879-882.
- Gardiner, T. D. and M. D. Coleman. 2013. Metrological assessment of the absolute accuracy of methane emission measurements from livestock chambers in the UK. *Proceedings of the 5th Greenhouse Gases and Animal Agriculture Conference (GGAA 2013)* held in Dublin, Ireland. June 2013. *Advances in Animal Biosciences*. 4: 480.
- Goel, G. and H. P. S. Makkar. 2012. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical Animal Health and Production* 4: 729-739.
- Kennedy, P. M. and E. Charmley. 2012. Methane yields from Brahman cattle fed tropical grasses and legumes. *Animal Production Science* 52: 225-239.
- Knapp, J. R., G. L. Laur, P. A. Vadas, W. P. Weiss and J. M. Tricarico. 2014. Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science* 97: 3231-3261.
- Ku-Vera, J. C., C. Ramírez, G. Jiménez, J. Alayón y L. Ramírez. 2000. Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico mexicano. Conferencia electrónica. FAO. Disponible: <http://www.fao.org/wa/su/02apr>.
- Possenti, R. A., R. Franzolin, E. A. Schammas, J. J. A. A. Demarchi, R. T. S. Frighetto & M. A. Lima. 2008. Efeitos de dietas contendo *Leucaena leucocephala* e *Saccharomyces cerevisiae* sobre a fermentação ruminal e a emissão de gás metano em bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37: 1509-1516.
- Soliva, C. R., A. B. Zeleke, C. Clement, H. D. Hess, V. Fievez and M. Kreuzer. 2008. *In vitro* screening of various tropical foliages, seeds, fruits and medicinal plants for low methane and high ammonia generating potentials in the rumen. *Animal Feed Science and Technology* 147: 53-71.
- Soltan, Y. A., A. S. Morsy, S. M. A. R. Sallam, C. Lucas, H. Louvandini, M. Kreuzer and A. L. Abdalla. 2013. Contribution of condensed tannins and mimosine to the methane mitigation caused by feeding *Leucaena leucocephala*. *Archives of Animal Nutrition* 63: 169-184.
- Steinfeld, H., T. Wassenaar and S. Jutzi. 2006. Livestock production systems in developing countries: status, drivers and trends. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.* 25: 505-516.