

BITÁCORA ACADÉMICA  
USFQ



## CONSEJO EDITORIAL

### Editor

Alexis Hidrobo P, Ph.D.  
*Coordinador del Seminario Socrático Cosmos*

### Comité Editorial

Santiago Gangotena, Ph.D.  
*Rector, Universidad San Francisco de Quito*

Carlos Montúfar, Ph.D.  
*Vice-Rector, Universidad San Francisco de Quito*

César Zambrano, Ph.D.  
*Decano de la Escuela de Ciencias del Colegio de Ciencias e Ingenierías, Politécnico-USFQ.*

Stella de la Torre, Ph.D.  
*Decana del Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales, COCIBA-USFQ.*

María de Lourdes Torres, Ph.D.  
*Vice Decana del Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales, COCIBA-USFQ.*

Carmen Fernández-Salvador, Ph.D.  
*Decana del Colegio de Ciencias Sociales y Humanidades, COCISOH-USFQ.*

Diego F. Cisneros-Heredia, Ph.D.(c).  
*Coordinador de Biología, COCIBA-USFQ.*

### Editores Asociados USFQ

Jorge Gomez T, Ph.D.	COCISOH.
Gabriel Trueba, Ph.D.	COCIBA.
Esteban Suarez, Ph.D.	COCIBA.
Fabrizio Noboa, Ph.D.	CAD.
Nicolás Vásconez, M.A.	CAD.
Ximena Ferro, M.A.	COCOA.

### Editores Asociados Externos

Elizabeth Pabón, Ph.D.	<i>Universidad Nacional de Colombia</i>
Wilson Cardona, Ph.D.	<i>Universidad Andres Bello. Santiago de Chile</i>
Yadienka Martinez. Ph.D.	<i>National Research Council. Canadá</i>
Judith Venegas C. MSc.Tox.	<i>CIATOX. Ecuador</i>

### Web Master

Jaime Páez Vera

**Bitácora Académica USFQ** es un órgano de difusión de la Universidad San Francisco de Quito que refleja el espíritu reflexivo, crítico, plural y libre de su comunidad académica. El objetivo primordial es dar cuenta del trabajo científico, académico y humanista a través de revisiones actualizadas que se publican en forma electrónica, todo con el fin de acercar el conocimiento hacia la sociedad en su conjunto. Los artículos en Bitácora Académica USFQ refieren “el estado del arte” de una materia en específico. La publicación de los artículos busca fundamentalmente facilitar y promover la circulación del conocimiento, el intercambio de ideas, su discusión y posterior comentario, mostrándose como una herramienta esencial para entender acerca de un tema en particular.

## GUÍA DE AUTORES

### Envío del Artículo

Los manuscritos deben ser enviados al Editor, Alexis Hidrobo, vía correo electrónico a la dirección: [bitacora@usfq.edu.ec](mailto:bitacora@usfq.edu.ec) Al someter el manuscrito, los autores deben recordar que su trabajo no ha sido publicado o sometido para publicación en otro sitio, y que todos los autores han participado en su desarrollo, lo han leído cuidadosamente y están de acuerdo con su envío.

### Revisión del Artículo

Todos los trabajos serán manejados por el Editor, co-editor y los miembros del consejo editorial correspondientes a la respectiva área del conocimiento. Los editores enviarán el manuscrito para evaluación por parte de revisores externos reconocidos (nacionales e internacionales) en cada área. Los autores pueden sugerir revisores apropiados (no ligados directamente al desarrollo del estudio reportado). Los comentarios de los revisores serán enviados para la consideración del autor. Si hubiere correcciones mayores, se enviarán al autor para su aprobación. Los trabajos aceptados serán finalmente enviados a un editor de estilo, previo a su publicación. Los criterios más importantes para la aceptación de los artículos son: originalidad, contexto, relevancia y seguimiento del estilo y formato requerido para la revista. Nuestra misión es indicar a los autores la decisión tomada en un tiempo máximo de dos meses una vez que se ha recibido oficialmente el escrito.

### Formato del Artículo

Siendo que el espíritu de “Bitácora Académica USFQ” es recoger trabajos que reflejen el estado del arte en un área determinada del conocimiento, los artículos enviados contendrán sobre 6000 palabras, y deben dividirse tomando en cuenta las siguientes secciones: (a) Título, nombres de los autores, afiliación institucional y direcciones postales; (b) Resumen y Abstract; (c) Texto - sin divisiones adicionales - , excepto subtítulos ; (d) Agradecimientos (si es pertinente); (e) Referencias bibliográficas y (f) Leyendas de figuras y tablas en caso necesario.

Los autores deben presentar sus manuscritos en Microsoft Word, tomando en cuenta cuidadosamente las siguientes recomendaciones:

- El manuscrito deberá ser escrito usando un tipo de letra Times New Roman con un tamaño de letra de 11 puntos y a espacio seguido. Los márgenes deben ser de 30 mm a la izquierda y 25 mm a la derecha.
- La numeración de las páginas debe ser consecutiva en todas las páginas.
- El título debe ser conciso y directo, indicando los elementos claves. Debe ser escrito con un tamaño de letra de 12 puntos, resaltado (bold), centrado y sólo la primera palabra debe estar capitalizada.
- Debajo del título del manuscrito y separados por dos espacios van los nombres de los autores, usando comas (,) entre los autores, con un tamaño de letra de 12 puntos y resaltado.
- La afiliación completa de cada investigador debe ir asociada con su nombre por medio de superíndices y colocarse separada por un espacio debajo de los nombres con un tamaño de letra de 10 puntos y sin resaltar. El autor para correspondencia debe ir claramente identificado por un asterisco y se debe incluir al menos un correo electrónico de contacto.

Ejemplo:

### **Las colecciones científicas: percepciones y verdades sobre su valor y necesidad**

**Kelly Swing<sup>1\*</sup>, Judith Denkinger<sup>1</sup>, Vladimir Carvajal L.<sup>2</sup>, Andrea Encalada<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales. Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica, Campus Cumbayá. Casilla Postal 17-1200-841, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Sección Invertebrados, Instituto de Ciencias Biológicas, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

\* Autor para correspondencia, correo electrónico: [kswing@usfq.edu.ec](mailto:kswing@usfq.edu.ec)

- Se debe utilizar el Sistema Internacional de Unidades.
- Todo artículo deberá incluir como mínimo un resumen detallado en Español y un abstract detallado en Inglés (en caso de ser necesario se puede incluir un tercer resumen en un idioma diferente). Cada uno será redactado como un párrafo continuo, y debe contener información detallada de los objetivos, discusiones y conclusiones principales del manuscrito.
- Las referencias en el texto deben ir numeradas secuencialmente y se colocarán al final de la oración correspondiente dentro de un corchete, ejemplo: [5,6].
- Debe cuidar el uso de abreviaciones, las cuales deberán usarse lo menos posible y sin permitir ambigüedad alguna. El significado de todas las abreviaciones deberá ser indicado la primera vez que se use dicha abreviación.
- Siendo una publicación electrónica, Bitácora Académica USFQ publica figuras o fotografías a color siempre y cuando tengan relación directa al manuscrito, sean de buena calidad y en formato JPG o PNG.

Las tablas y figuras deberán estar citadas con numerales Arábigos en el orden que aparezcan en el texto; ejemplos: Tabla 1; Tablas 1–3; Fig. 1; Figs. 1,4; Figs. 1–3. Cada tabla o figura debe tener su leyenda explicativa propia, y que será colocada debajo de la tabla o figura respectiva.

Se recomienda usar las tablas con moderación (en caso realmente necesario). Las tablas deberán tener únicamente los datos imprescindibles, con el propósito de que el lector las comprenda con facilidad. Referencias Bibliográficas. Guía de autores

### Referencias Bibliográficas

Las publicaciones a citar se ordenarán de acuerdo al orden numérico secuencial con el cual aparecen en el texto del manuscrito y su formato debe tomar en cuenta los siguientes ejemplos:

- Artículo de una revista impresa:  
Romo, R. (1999). "Sensing and deciding in the somatosensory system", *Current Opinion in Neurobiology*, 9, 487-493.  
Cervantes, P.; J. Flores.; L. Montes. (1997). "La crítica literaria en México", *Revista de Literatura Iberoamericana*, México, 7, 123-145.
- Artículo de una revista en línea:  
Bass, M.S.; Finer, M.; Jenkins, C.N.; Krefit, H.; Cisneros-Heredia, D.F.; McCracken, S.F.; Pitman, N.C.A.; English, P.H.; Swing, K.; Villa, G.; Di Fiore, A.; Voigt, C.C.; Kunz, T.H. (2010). "Global conservation Significance of Ecuador's Yasuní National Park", *PLoS ONE*, 5(1): e8767. doi:10.1371/journal.pone.0008767
- Libro:  
López Austin, A. (1971). "Textos de Medicina Náhuatl, México, SEPsetentas", núm. 6, México: Secretaría de Educación Pública.
- Capítulo de un libro:  
Pires, J.M.; Prance, G.T. 1985. "The vegetation types of the Brazilian Amazon", en: "Amazonia, Key Environments", G.T. Prance, T.E. Lovejoy (Eds.), Pergamon Press: Oxford, pp. 109–145.
- Recursos en línea:  
Frost, D. 2009. "Amphibian Species of the World 5.3, an Online Reference",  
Enlace: <http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/index.php>, American Museum of Natural History: New York, Fecha de Consulta: 28 Febrero 2010.

IMPORTANTE: Note que cada autor va separado por un punto-y-coma; no hay espacios entre las iniciales de los nombres; no se incluye "y", "&" o "and" antes del último autor; se deben indicar todos los autores de la publicación y no usar "et al."; si es necesario diferenciar dos o más trabajos del mismo autor publicados en un mismo año, se utilizarán letras minúsculas consecutivas al lado del año, en letra cursiva, como en: Fernández (2000a), Fernández (2000b). El año de publicación va entre paréntesis. El título de la publicación va entre comillas, seguido de una coma; el nombre de la revista va separada del número de la revista por una coma y el rango de páginas va separado por un guión n (–).

**Bitácora Académica USFQ ~ ISSN: XXXXXXXX**

Revista académica de publicación continua de la Universidad San Francisco de Quito USFQ

Vía Interoceánica, Campus Cumbayá, Casilla Postal 17-1200-841, Quito, Ecuador

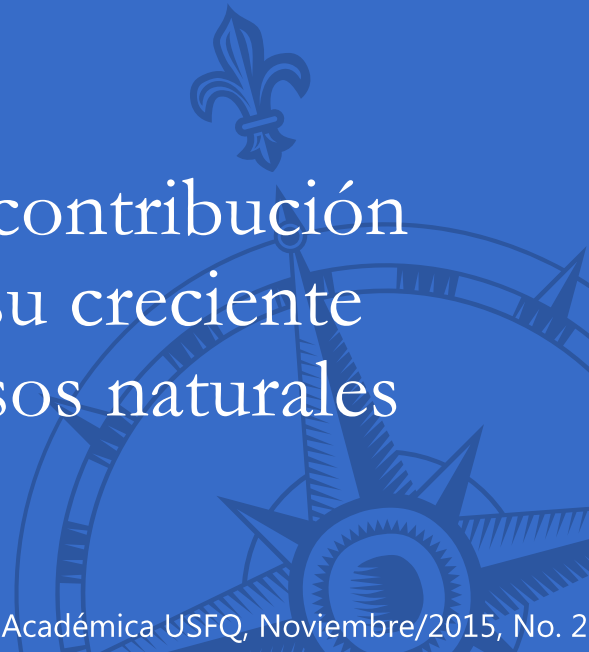
Telf Ed. 593 2 297 1700. Ext. 1425

Email: [bitacora@usfq.edu.ec](mailto:bitacora@usfq.edu.ec)

<http://bitacora.usfq.edu.ec>







# Ganadería de carne: su contribución al cambio climático y su creciente presión sobre los recursos naturales

Revista Bitácora Académica USFQ, Noviembre/2015, No. 2

## **Livestock: its contribution to climate change and its growing pressure on natural resources**

**Raúl de la Torre F.\***

Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingenierías- El Politécnico. Escuela de Ingeniería en Agroempresas.  
Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica, Quito, Ecuador

\* Para correspondencia, correo electrónico: [rdelatorre@usfq.edu.ec](mailto:rdelatorre@usfq.edu.ec)

Recibido: 09/06/2015

Aceptado: 09/11/2015

## RESUMEN

Impulsado por la fuerte demanda de una emergente clase media global, se predice que, continuando la actual tendencia, la dieta de los seres humanos será cada vez más diversificada, y con una mayor participación de alimentos de origen animal. Como resultado, la oferta de estos productos, principalmente de carne de res, tendrá que crecer significativamente para satisfacer la demanda hacia el futuro. Frente a esta realidad surge la duda sobre la disponibilidad de recursos, incluidos tierra y agua, para soportar un crecimiento de la ganadería de tal magnitud, sin perjudicar a los demás sectores de la agricultura. Dada la presión del mercado el sector ganadero se ha visto impulsado a crecer rápidamente y ahora compite por recursos naturales con otras actividades, al tiempo que ocasiona graves impactos ambientales. En el uso del suelo la ganadería ocupa más superficie que ninguna otra actividad y representa el 26% de la extensión del planeta y un 70% del área agrícola destinada a la producción de alimentos. Adicionalmente, sobre todo en los países industrializados, una superficie apreciable de terreno se destina a la producción de cultivos (principalmente granos/maíz) destinados a la alimentación del ganado. La agricultura (con la ganadería incluida) es uno de los mayores emisores de los gases causantes del efecto invernadero (GEI) responsables del calentamiento de nuestro planeta y de la alteración climática global. Del total de estas emisiones de GEI, 14.5 a 18% se estima que son producidos por la ganadería, 44% de los cuales corresponden al gas metano. Los animales herbívoros son los mayores agentes emisores de metano antrópico, en particular los rumiantes, dentro de los que los bovinos domésticos ocupan lugar preponderante en la generación y expulsión al ambiente de este GEI resultante de la fermentación del alimento en el rumen (y en menor magnitud, de fermentación entérica). La cría de ganado de carne, sobre todo en los trópicos, ha estado, además, ligada a la depredación de los bosques naturales para la siembra de pastizales, con el consecuente incremento de las emisiones de GEI. Dado que el ganado de carne ha promovido la mayor parte de la deforestación en el mundo, con todas sus secuelas y efectos negativos y siendo los bovinos los mayores emisores de metano de origen antrópico, la solución al grave problema ambiental debería apuntar a disminuir el número de animales. Sin embargo, contraer rápidamente los inventarios del ganado de carne a nivel planetario sería una meta difícil, si no imposible, de cumplir en la actualidad. Lo que sí debería hacerse de inmediato es adoptar un nuevo paradigma global que conjugue la conservación del ambiente y los beneficios para la salud humana, replanteando nuestras preferencias y hábitos alimentarios a fin de reducir gradualmente del consumo de carne de res hasta llegar algún día a prescindir casi por completo de este bien. Hay razones de peso para ello: de las especies de animales de granja, los bovinos de carne son los menos eficientes por su alta demanda de recursos, su baja capacidad de conversión y su alta generación de productos de desecho. Paralelamente, debe priorizarse en el sector ganadero la aplicación generalizada e inmediata de tecnologías para reducir las emisiones de metano directamente en la fuente de emisión. El control de estas emisiones debe ser un tema de primordial atención, no solo debido a su aporte a la atenuación de los problemas generados por el cambio climático, sino también desde la perspectiva comercial, puesto que su reducción significa menores pérdidas de energía del alimento durante el proceso productivo y, consecuentemente, mayor eficiencia y rentabilidad para la operación ganadera. Se presentan algunas de las alternativas tecnológicas que han probado o están demostrando ser eficaces en el logro del objetivo que se persigue en el corto plazo.

**Palabras Clave:** cambio climático, GEI, metanogénesis, deforestación, ganado de carne.



## ABSTRACT

Driven by a strong demand of an emerging global middle class it has been predicted that continuing the current trend, the human diet will become increasingly diversified with greater involvement of foods of animal origin. As a result, the supply of these products, mainly beef, will have to grow significantly to meet this growing demand. In view of this fact, doubt on the availability of resources, including land and water, to support cattle growth of such magnitude without harming other sectors of agriculture, arises. Given the market pressure cattle numbers have increased rapidly and now livestock production competes for natural resources with other activities, while causing serious environmental impacts. In land use, cattle raising occupies more land area than any other activity and represents 26% of the planet surface and 70% of the agricultural area for food production. Additionally, in industrialized countries, a significant area of land is intended to crop production (mainly grain/corn) for livestock feed. Agriculture (including cattle production) is one of the largest greenhouse gas (GHG) emitters responsible for the warming of our planet and global climate disruption. Of all of these GHG emissions, 14.5 to 18% is estimated to be produced by livestock, 44% of which corresponds to methane gas. Herbivores are the largest emitters of anthropogenic methane, particularly ruminants, within which domestic cattle occupy the first place in the generation and expulsion to the atmosphere of this greenhouse gas resulting from fermentation of food in the rumen. Beef cattle raising, especially in the tropics, has also been linked to the depletion of natural forests to plant pastures, with the consequent increase in GHG emissions. Since beef cattle have promoted most of world deforestation with all its consequences and negative effects and since cattle are the largest emitters of anthropogenic methane, the solution to the environmental problem should aim to reduce animal numbers. However, rapidly acquiring the inventories of beef cattle on a global level would be a difficult goal, if not impossible, to meet at the present time. What it should be done immediately is to adopt a new global paradigm that combines environment conservation and human health benefits, rethinking our preferences and eating habits in order to gradually reduce beef consumption to someday stop consuming it almost entirely. There are good reasons for this: beef cattle are the least efficient animal species because of their high demand for resources, low conversion capacity and high generation of waste products. In parallel, it should be prioritized in the livestock sector the immediate application of technologies to reduce methane emissions at the source of emission. The control of these emissions should be a subject of paramount attention not only because of its contribution to mitigate the problems resulting from climate change but also from a business perspective, since its reduction means less feed energy losses during the production process and, consequently, greater efficiency and profitability for the livestock operation. Some of the alternative technologies that have proven or are proving to be effective in achieving the objective pursued in the short term are presented.

**Key Words:** climate change, GHG, methanogenesis, deforestation, livestock.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura es uno de los mayores emisores de los gases causantes del efecto invernadero (GEI) responsables del calentamiento de nuestro planeta y de la alteración climática global. Pese a aportar con algo más de 2% al PIB mundial, contribuye con el 25% de las emisiones de bióxido de carbono, 60% de las emisiones de gas metano y 80% del óxido nitroso [1]. El calentamiento global es un problema derivado principalmente de la acumulación de bióxido de carbono en la atmósfera, gas que atrapa el calor y causa el calentamiento de nuestro planeta. La quema de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón o el gas natural, lo mismo que la deforestación y la quema de vegetación para el establecimiento de pastizales y cultivos, resultan en una sobrecarga de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, agravada por la emisión de otros potentes gases como el metano y el óxido nitroso, provenientes de la aplicación de malas prácticas agrícolas y de ciertos tratamientos inapropiados de los desechos orgánicos. Todos estos gases reciben la denominación genérica de gases de efecto invernadero, o GEI.

La adopción de políticas, medidas y tecnologías que apunten a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y de los otros GEI en la atmósfera y a restringir y paliar sus efectos debe ser objeto de preocupación prioritaria a nivel mundial. En la problemática de los GEI no se puede restar importancia a las emisiones de metano, teniendo en cuenta que este gas es el contaminante atmosférico más abundante después del CO<sub>2</sub> y que su efecto invernadero es mucho más potente que el producido por el bióxido de carbono; por esta razón y dado su mayor potencial de mitigación, el control de las

emisiones de metano debe darse en forma paralela a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

A pesar de que los animales herbívoros son los mayores agentes emisores de metano antrópico, en particular los rumiantes, dentro de los que los bovinos domésticos ocupan lugar preponderante, el control de la generación y expulsión al ambiente de este GEI resultante de la fermentación ruminal del alimento (y en menor magnitud, de fermentación intestinal o entérica) no ha recibido la atención que amerita. La ganadería es una de las actividades de mayor crecimiento pese a tratarse de un sector ampliamente cuestionado, no solo por la emisión de GEI y su efecto sobre el calentamiento global y el cambio climático, sino por estar íntimamente ligada a la depredación de los bosques naturales, sobre todo de los trópicos, para el establecimiento de pastizales y cría de ganado de carne. No obstante, el consumo per cápita de carne y leche bovinas, lo mismo que la proporción de productos de origen animal en la dieta humana, siguen aumentando significativamente en todo el mundo, sin que se pueda predecir si existirán los recursos disponibles, incluidos tierra y agua, para soportar un crecimiento de la ganadería de tal magnitud, sin perjudicar a los demás sectores de la agricultura, y si sobrarán recursos para la producción de granos (cereales y leguminosas)



**Tabla 1.** Consumo de productos de origen animal (kg/capita/año)

GRUPO DE PAÍSES	CARNE		LECHE		HUEVOS	
	1980	2005	1980	2005	1980	2005
<b>Países desarrollados</b>	76.3	82.1	197.6	207.7	14.3	13.0
<b>Países en desarrollo</b>	14.1	30.9	33.9	50.5	2.5	8.0
<b>América Latina</b>	41.1	61.9	101.1	109.7	6.2	8.6
<b>Mundo</b>	30.0	41.2	75.7	82.1	5.5	9.0

Fuente: FAO, 2009. The State of Food and Agriculture: Livestock in the Balance

y de otros alimentos que requiere la humanidad y que, necesariamente, también deberá crecer. Todo parece indicar que la humanidad no advierte la amenaza que representa la explotación comercial de los bovinos de carne y el progresivo incremento del consumo de carne de res y, peor aún, que no le interesa atacar el problema y evitar que éste se vuelva incontrolable.

## LOS RUMIANTES PRINCIPALES EMISORES DE METANO

El proceso de fermentación microbiana que tiene lugar en el retículo-rumen de estos animales como parte del proceso de digestión de la celulosa (principal fuente de energía de los herbívoros), resulta en la producción de grandes cantidades de hidrógeno que deben ser eliminadas en forma de metano, gas que es expulsado durante todo el día mediante eructación. Los bovinos domésticos superan ampliamente a los ovinos, búfalos y caprinos en la emisión de metano y en conjunto son responsables de aproximadamente 14.5% de todas las emanaciones antrópicas de GEI, siendo el metano el gas que representa cerca de 44% del total de estas emisiones (con la porción restante dada por CO<sub>2</sub> proveniente del cambio de uso del suelo y N<sub>2</sub>O de la fertilización nitrogenada de los campos de cultivo y la descomposición del estiércol) [2,3].

La ganadería ocupa la mayor superficie en el uso del suelo que ninguna otra actividad: la superficie total dedicada al pastoreo representa el 26% de la superficie del planeta y un 70% del área

agrícola destinada a la producción de alimentos [4]. Adicionalmente, sobre todo en los países industrializados, la alimentación del ganado con productos cultivados compite con la producción de alimentos para consumo humano. El consumo de carne, leche y otros productos de origen animal sigue aumentando significativamente en los países en desarrollo como resultado de la rápida urbanización y de los mayores ingresos de la población, con la consiguiente mejora del nivel de vida, mientras el alto consumo en los países desarrollados también crece aunque en menor magnitud (Tabla 1).

## LA CRÍA DE GANADO DE CARNE Y LA DEFORESTACIÓN

La deforestación ha sido responsable en altísima medida del incremento de las emisiones de GEI a nivel mundial y, la ganadería, por su parte, responsable en gran parte de la deforestación [5, 6]. Solamente en la Amazonia brasileña se estima que durante el periodo comprendido entre los años 2000 y 2011 se talaron 190,000 kilómetros cuadrados, de bosque tropical para la siembra de potreros, una superficie equivalente a aproximadamente tres cuartas partes de nuestro territorio [7]. Esta deforestación para establecer pastizales y criar ganado de carne ha contribuido de algunas maneras a agravar el problema del calentamiento global: al eliminar el bosque nativo, sumidero natural de carbono, con enorme capacidad de reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> del aire; al aumentar las emanaciones de bióxido de carbono por las

quemadas de material vegetal previo al establecimiento del pasto; al incrementar las emisiones de gas metano producido por los bovinos criados en esas tierras; al generar desechos sólidos y líquidos que, una vez descompuestos, emiten metano y óxido nítrico. Especialmente en los trópicos, la deforestación para expansión de las áreas de pastoreo (y en menor escala para ampliación del área de cultivo de productos agrícolas) ha ocurrido a expensas del bosque nativo. Consecuentemente, una reducción de la demanda de carne de res en el mundo reduciría significativamente la deforestación tropical y las quemadas asociadas; ayudaría también a la regeneración de los bosques y de otras áreas de vegetación natural, trayendo como resultado un mayor secuestro de carbono del aire, tanto en la biomasa como en el suelo, con los consiguientes beneficios climáticos.

## ¿DEBE REDUCIRSE EL CONSUMO DE CARNE?

Abordar responsablemente el problema del cambio climático en el sector ganadero implica buscar soluciones radicales encaminadas a eliminar los agentes causales. Si la cría de ganado de carne ha promovido la mayor parte de la deforestación en el mundo, con todas sus consecuencias y efectos sobre el clima, y si los animales de la especie bovina son los mayores emisores de metano de origen antrópico, la solución debería, en consecuencia, atacar los dos componentes del problema, procurando, por una parte, disminuir el número de animales y, por otra, reducir las emisiones que estos causan. Intentar contraer rápidamente los inventarios del ganado destinado a la producción de carne a nivel planetario es una tarea sumamente compleja que requeriría de una gran decisión política y compromiso de gobernantes y gobernados, condiciones éstas difíciles, si no imposibles de conseguir en el momento actual; lo que sí podría hacerse es empezar por replantear nuestras preferencias y hábitos

alimenticios, todo con el objeto de reducir gradualmente del consumo de carne de res hasta llegar algún día a prescindir casi por completo de ella. De allí la necesidad de analizar concienzudamente la situación actual de la ganadería de carne, con sus pros y sus contras, y asumir una postura radical respecto a la conveniencia o no de persistir en este tipo de explotación pecuaria. Mientras tanto, la aplicación de medidas y tecnologías para reducir las emisiones de metano es algo que se puede realizar de inmediato, sin esperar cambios en las poblaciones de ganado, y para ello existe hoy en día una variada información sobre tecnologías de mitigación que apuntan al solo objetivo de limitar la actividad metanogénica en el aparato digestivo de los rumiantes.

Día a día crece la preocupación por este tema y es cada vez mayor el número de personas, incluidos connotados hombres de ciencia, que claman por que se reduzca el consumo de carne. Hay razones de peso para ello. De las especies de animales de granja, los bovinos son los menos ecoeficientes, seguidos por los cerdos y las aves, y, dentro de los bovinos, los animales destinados a la producción de carne resultan ser los más ineficientes por su alta demanda de recursos, su baja capacidad de conversión y su alta generación de productos de desecho [5, 8].

Reducir la demanda de carne de res partiendo de la adopción de un nuevo paradigma que conjugue la conservación ambiental global y los beneficios para la salud humana forzosamente resultará en la contracción progresiva de la actividad ganadera y en la paralela mitigación de todos sus impactos negativos sobre el clima de nuestro planeta. La reducción del número de rumiantes de carne traerá beneficios simultáneos a la seguridad alimentaria, salud humana y conservación del ambiente. Es hora, entonces, de emprender una masiva tarea de concienciación para que la gente de todas partes y de toda condición, comprenda la grave situación por la que atraviesa nuestro planeta y

la enorme contribución que podrían hacer reduciendo el consumo de carne, un sacrificio cuyo costo no puede, ni de lejos, equipararse al beneficio que recibirían las futuras generaciones.

Otros beneficios resultantes de la disminución del número de rumiantes domésticos, en general, y de ganado de carne, en particular, serían la menor degradación de las áreas de pastoreo en los ecosistemas de pradera sometidos a una excesiva presión, muchas de las cuales exhiben bajísimos contenidos de carbono en sus suelos y una alta propensión a la desertificación; menos efectos dañinos sobre la disponibilidad del agua y su calidad; menor destrucción de la biodiversidad a través de la deforestación, degradación del suelo e invasión de plantas exógenas [7]; menos competencia con especies animales de la vida silvestre cuya supervivencia se ve seriamente amenazada en incontables casos y, finalmente, mayores probabilidades de alcanzar seguridad alimentaria y mejoras para la salud humana, sobre todo de los habitantes de los países ricos como consecuencia de la disminución de riesgos de enfermedades coronarias, obesidad y cáncer colateral [9].

Destinamos el 30% de la producción agraria final y algo más del 50% de la superficie productiva del planeta a la cría de ganado para carne, cuyas existencias son excesivas en el mundo: tres cabezas de ganado por cada ser humano ([11]; según Diamond [12], por cada hectárea de tierra dedicada al consumo humano, en el año 2003 se dedicaban 20 a la alimentación del ganado, esto incluyendo las áreas de pastoreo y la superficie empleada en la producción de alimentos para los animales (principalmente cereales en los países desarrollados). De continuar el crecimiento de la población humana al mismo ritmo actual y de mantenerse la tendencia del consumo, se prevé para el año 2050 la duplicación de la demanda y consumo de carne con una declinación paralela de la producción de cultivos alimenticios, amén de la agudización de los problemas ambientales.

Con mucha razón Goodland y Anhang [13], proponen la sustitución de la carne y otros productos pecuarios con productos a base de soya como la mejor estrategia para revertir los efectos del cambio climático, y sostienen que "este enfoque tendría resultados mucho más rápidos sobre las emisiones de GEI y sus concentraciones atmosféricas que las acciones para sustituir los combustibles fósiles por energías renovables."

Otras razones para impulsar la reducción del consumo de carne de res se fundamentan en la baja ecoeficiencia de la explotación ganadera; como se lo ha mencionado en párrafos anteriores, los bovinos son los animales menos eficientes para convertir el alimento en carne y los que exhiben las demandas más altas de recursos, como lo ilustran las siguientes cifras y argumentos: su índice de conversión alimenticia es bajo (del orden de 7 a 10 kilos de alimento para obtener un kilo de carne o, expresado en otros términos, un alto consumo de energía digestible por gramo de carne producida); su rendimiento en canal (peso de la canal en relación al peso vivo) es igualmente bajo en comparación al de otras especies de animales monogástricos (cerdos, pollos) y el tiempo requerido para conseguir el producto consumible (dos años, como promedio) es apreciablemente mayor que el tiempo que toma producir carne de otras especies domésticas [5]; son, además, poco prolíficos frente a los cerdos y aves, con una cría por año en el mejor de los casos. Los animales de granja en general, y los vacunos de carne en particular, consumen más calorías que las que producen. Esto significa que las calorías animales (carne, leche) requieren más tierras y agua que las calorías vegetales (cereales, leguminosas).

Los requerimientos de agua constituyen un tema de fundamental importancia en el mundo actual, dada la escasez cada vez mayor de este recurso natural frente al progresivo crecimiento de la demanda y a la creciente competencia con otros sectores. La

**Tabla 2.** Cantidades de agua necesarias para producir carne o leche

Producto Animal	Cantidad (litros)
1 kg de carne de res	13.620
1 kg de carne de cabra	960
1 kg de carne de oveja	1.464
1 kg de carne de pollo	1.152
1 litro de leche de vaca	231,5

Fuente: National Geographic Soc. 2012.

producción de carne es un proceso de alto consumo de agua: para producir un kilo de trigo se necesitan 1.100 litros de agua, mientras que para producir un kilo de carne de res se requieren 13.600 litros. Para ilustrar de mejor manera el costo de producción en unidades de agua y la desventaja comparativa del ganado de carne en este respecto, basta ver la tabla 2 y apreciar la enorme diferencia existente.

De otra parte, la cría de ganado y el consumo de carne traen consigo otros riesgos relacionados con la salud humana. En primer lugar, el consumo de grasa de res ha sido considerado una de las principales causas para los problemas de aterosclerosis a consecuencia de los altos niveles de colesterol sanguíneo y de las enfermedades cardiovasculares que suelen sobrevenir. Así mismo, el apareamiento de enfermedades transmitidas por los bovinos al ser humano, como la encefalopatía espongiiforme bovina o “enfermedad de las vacas locas”, constituye otro motivo para acrecentar la preocupación en los consumidores que buscan alimentos saludables, inoocuos. Esta última, una enfermedad degenerativa del sistema nervioso causada por priones y transmisible a los humanos por consumo de carne de animales infectados fue diagnosticada por primera vez en el Reino Unido, en 1986, donde originó cuantiosas pérdidas, y posteriormente en otras partes de Europa, Asia y Norteamérica; ha sido identificada como responsable de la variante de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob que afecta a los seres humanos [14].

## CÓMO REDUCIR LAS EMISIONES DE METANO EN LA FUENTE

Si, como se ha señalado previamente, atacar el problema del cambio climático en el sector ganadero implica buscar soluciones tendientes a eliminar o reducir a su mínima expresión los mayores agentes causales del calentamiento global, el complemento al esfuerzo para limitar progresivamente los inventarios animales y dejar de consumir carne de res, debe ser la difusión y aplicación generalizada e inmediata de tecnologías para reducir las emisiones de metano directamente en la fuente de emisión, y mitigar sus efectos, sin descartar las tecnologías para el tratamiento de los desechos sólidos y líquidos resultantes de la explotación comercial.

Por esta razón, el control de las emisiones de metano por el ganado bovino debe ser un tema de primordial atención, no solo debido a su aporte a la atenuación de los problemas generados por el cambio climático, sino también desde la perspectiva comercial, puesto que su reducción significa menores pérdidas de energía del alimento durante el proceso productivo y, consecuentemente, mayor eficiencia y rentabilidad para la operación ganadera. Con este objetivo se ha desarrollado tecnologías encaminadas básicamente a optimizar las dietas alimenticias de los animales, a modificar la microbiota ruminal y a seleccionar genéticamente a los animales más eficientes.

Algunas de las alternativas tecnológicas desarrolladas para reducir las emisiones de

metano han probado ser eficaces en el logro del objetivo que se persigue; otras están mostrando alentadores resultados y también prometedoras posibilidades de éxito en el corto plazo.

**1.- Optimización de las dietas alimenticias:** Las características y el valor nutricional de la dieta, principalmente el consumo y la digestibilidad, determinan en gran medida la eficiencia del ecosistema ruminal y la consecuente magnitud de las pérdidas de energía consumida, en forma de metano. Cualquier factor que disminuya la tasa de degradación o incremente el tiempo de retención en el rumen contribuirá a aumentar la cantidad de metano producido por unidad de dieta consumida; por lo mismo, deben corregirse las deficiencias en la dieta y eliminarse cualquier agente que afecte negativamente el proceso de fermentación. La producción de metano por unidad de materia seca consumida es mayor a medida que el consumo aumenta, pero también cuando la dieta es rica en carbohidratos estructurales, como es el caso de los forrajes tropicales. Los pastos tropicales pertenecen al grupo fotosintético C4, caracterizado por la presencia en mayor proporción de tejidos de baja digestibilidad (alto contenido de carbohidratos estructurales y lignina) que resultan en una mayor emisión de metano que en animales mantenidos con especies C3 de clima templado, tanto por unidad de producto como por unidad de energía bruta consumida [15, 16]. Lo anterior sugiere que en los trópicos deben barajarse las opciones disponibles más apropiadas a fin de contrarrestar esta condición natural de las especies forrajeras de dichas zonas y disminuir la producción de metano ruminal.

**2.- Modificación de la microbiota ruminal:** Cualquier modificación de las características y calidad de los sustratos (dietas) trae consigo modificaciones de las poblaciones microbianas y con ellas, cambios en los patrones de fermentación ruminal. Vale la pena mencionar que los principales

microorganismos metanógenos son las arqueas, las cuales representan de 3 a 5 por ciento de la biomasa microbiana, e incluyen a los géneros predominantes *Methanobrevibacter* (*M. ruminantium*), *Methanosarcina* (*M. barkeri*, *M. mazei*), *Methanobacterium* (*M. formicicum*) y *Methanomicrobium* [17]. El crecimiento y desarrollo de las arqueas metanógenas depende de la presencia de poblaciones de bacterias celulolíticas responsables de la producción de hidrógeno, la materia prima del proceso de metanogénesis. Los organismos metanógenos, además, viven en estrecha asociación simbiótica con protozoarios en el rumen, por lo que su actividad ha sido correlacionada con las poblaciones presentes de estos últimos.

Dentro de esta opción se puede recurrir a varias tecnologías como las que a continuación se describen:

a)-Adición de levaduras a la dieta: ciertos cultivos de levaduras (forma de hongos) se utilizan como aditivos comerciales para mejorar la fermentación ruminal. Estos se designan como “microorganismos alimentados directamente” y se les asocia con capacidad fibrolítica o degradativa de paredes celulares (celulosa, hemicelulosa), siendo *Saccharomyces cerevisiae* y *Aspergillus oryzae* las levaduras más utilizadas para este propósito [18, 19]. Los resultados de varios estudios con aditivos a base de levaduras en vacas lecheras muestran incrementos de la producción de leche, mejor estado corporal y mayor tolerancia a altas temperaturas ambientales como consecuencia de la menor producción de metano y del aumento de la microbiota celulolítica que deriva lactato a ácido propiónico.

b)-Incorporación de ionóforos a la dieta: los ionóforos son pequeñas moléculas hidrofóbicas que se disuelven en la bicapa lipídica de la membrana y aumentan su permeabilidad a determinados iones. Algunos de estos compuestos ionóforos son agregados al alimento de los rumiantes para mejorar la eficiencia de la conversión de alimento mediante cambios en la fermentación ruminal.

Un ionóforo que ha sido empleado desde hace algunos años exitosamente es la monensina, producida por varias especies de *Streptomyces*, cuyo efecto es la alteración de las poblaciones microbianas, reduciendo especies metanogénicas gram negativas. El beneficio que se logra al disminuir la producción y emisión de metano al ambiente es complementado por el beneficio económico resultante del incremento de las cantidades de propionato en la fermentación, con el concurrente mejoramiento de la conversión alimenticia por la mayor disponibilidad de energía [20, 21]. La efectividad del empleo de ionóforos en el crecimiento y engorde de ganado de carne ha sido alta al igual que en las vacas lecheras.

c)- Aplicación de vacunas ruminales: En Australia, investigadores de la Organización para la Investigación Científica e Industrial de la Mancomunidad Británica (CSIRO, por sus siglas en inglés) desarrollaron una vacuna contra las arqueas que producen metano en el rumen de las vacas y ovejas. La vacuna, a base de tres especies de microbios inactivados, inicialmente redujo la emisión de metano en un 8%, pero se han desarrollado nuevas formulaciones de vacuna anti-metanogénica con mejores resultados, pues se ha logrado reducir la emisión hasta en un 23% [22]. Al reducirse la producción de metano se mejora el crecimiento del animal, ya que una buena parte de la ingesta de energía se pierde en forma de metano producido por los microbios ruminales; por ello, la vacuna permite al animal disponer de más hidrógeno para uso productivo. Las nuevas vacunas actúan estimulando el sistema inmunológico a efectos de que éste produzca los anticuerpos que reconocen a los organismos metanógenos y los destruyan; por esta razón, deben ser de amplio espectro de acción y producir altas cantidades de anticuerpos, capaces de controlar a todos los organismos metanogénicos del rumen y reducir su actividad [23].

d)- Aditivos alimenticios: dentro de esta categoría se cuentan: la incorporación de extractos de metabolitos secundarios de plantas a la dieta, de ciertas especies vegetales o incluso de determinados subproductos con capacidad de reducir las emisiones de metano vertidas a través de la eructación por los rumiantes, entre los que se destacan los defaunantes (anti protozoarios). Se conoce que en la microbiota ruminal los protozoarios desempeñan un papel importante como organismos metanogénicos, por lo que una reducción de sus poblaciones y el aumento correlativo de las poblaciones de bacterias celulolíticas contribuirá, sin la menor duda, a disminuir la producción de metano. La adición de sustancias naturales defaunantes anti metanogénicas como los taninos y las saponinas constituye una opción interesante que ha sido evaluada con resultados auspiciosos, tanto a nivel de laboratorio como a nivel de campo con animales. Un ejemplo de ello es la utilización de especies de leguminosas forrajeras ricas en taninos, como *Leucaena leucocephala*, leguminosa tropical arbustiva que, además de contribuir al suministro de nutrientes, al secuestro del carbono de la atmósfera, al mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo, provee taninos que resultan en una reducción de las emisiones de metano. Dietas a base de pastos tropicales suplementados con leguminosas ricas en taninos condensados, como *Calliandra calothyrsus* o *Flemingia macrophylla*, han logrado también reducir la producción de metano, aunque en unos casos disminuyendo la degradabilidad de la materia seca [24], y en otros sin afectar la digestibilidad ni la utilización de la energía por los animales [25, 26, 27]. La reducción de la metanogénesis parece ser resultado de la inhibición del crecimiento de metanógenos debido a la acción bacteriostática y bactericida de los taninos condensados, así como también a la reducción directa de las poblaciones de protozoarios [28]; no obstante, una generalización concluyente sobre la eficacia de los taninos para reducir la producción de metano no es posible por cuanto su efecto



depende de la clase y composición de estos compuesto, lo mismo que de la dosis empleada.

El otro componente vegetal antes nombrado es el de las saponinas (glucósidos de alto peso molecular). Algunas especies de plantas contienen saponinas, las mismas que disminuyen la producción de metano a través de su efecto sobre la membrana de los protozoarios, ocasionando su lisis [29]; su acción defaunante reduce las poblaciones de protozoarios y de las arqueas asociadas a estos, aun cuando se ha reportado también la disminución de actividad de los organismos metanógenos, aunque sin cambiar sus números. La fuente natural más rica en saponinas esteroideas es la planta del desierto *Yucca schindigera*, la cual administrada como aditivo anti metanogénico, en forma de polvo o extracto de los tallos, ha probado ser eficaz a nivel comercial [16]. Sin embargo, no todas las saponinas tienen, al parecer, el mismo efecto, como lo sugieren algunos estudios que no han logrado establecer una relación directa entre adición de saponinas, defaunación y reducción de metano [30, 31].

También amerita mención el uso de aditivos a base de aceites esenciales de origen vegetal; estas sustancias naturales, terpenoides o fenoles, que

contienen componentes aromáticos volátiles de variada composición química y de tamaño molecular diverso, exhiben un efecto antimicrobial derivado de su altísima afinidad con las membranas de los microbios metanógenos donde actúan perturbando el transporte de electrones y varias reacciones químicas, no siempre disminuyendo sus existencias sino alterando su distribución e inhibiendo el proceso de metanogénesis [32]. Algunos de los productos con los que más se ha experimentado bajo condiciones *in vitro* son los aceites de ajo, orégano, eucalipto, canela, menta, tomillo, limón, clavo, habiéndose obtenido reducciones de metano de más del 90% [33].

Por otra parte, una revisión sobre el uso de la leguminosa tropical *Gliricidia sepium* revela que ésta especie posee propiedades defaunantes debido a la presencia de polifenoles que atacan las paredes celulares de los protozoarios con la correspondiente disminución de emisiones de metano [34]. Con el mismo objetivo se han estudiado los efectos de agregar lúpulo (*Humulus lupulus*) y *Yucca schindigera* a la dieta. Estudios recientes sobre la adición de algunas variedades de lúpulo



reportan una mayor eficiencia en el uso de la energía en el rumen como consecuencia de cambios en las poblaciones microbianas y en los patrones de fermentación, habiéndose registrado una disminución notable de la metanogénesis debido a la reducción de las poblaciones de *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus albus* y *Streptococcus bovis* bajo condiciones *in vitro* [35]. Los extractos de lúpulo y de yucca tienen un efecto antimicrobiano muy similar al de la monensina, con disminuciones de metano y de la relación acético: propiónico y el consiguiente incremento de propionato [36]. Sin embargo, debido a la falta de información sobre estudios *in vivo*, no es posible extraer conclusiones definitivas, aunque los resultados obtenidos abren interesantes posibilidades de su aplicación a nivel comercial. Se ha documentado también el uso de ciertos subproductos que contienen compuestos que actúan como probióticos o “pronutrientes”, como la cáscara del marañón, *Anacardium occidentale*, con cuya adición se ha conseguido reducir en aproximadamente 20% la emisión de metano en vacas lecheras, sin efectos negativos sobre la producción o la calidad de la leche [37]. De igual forma, se ha investigado sobre la incorporación de ácidos orgánicos (aspártico, fumárico, málico) como aditivos de dietas de rumiantes, en reemplazo de antibióticos promotores de crecimiento, con resultados promisorios que lamentablemente no han trascendido mayormente [38].

e)- Incorporación de lípidos insaturados: siendo el rumen-retículo una eficiente maquinaria para saturar/hidrogenar lípidos (ácidos grasos) insaturados gracias a la disponibilidad de altas cantidades de hidrógeno, debe procurarse incluir en la dieta de los animales (vacas lecheras y novillos de engorde) los niveles máximos de lípidos, pero en forma de aceites poliinsaturados, con el objeto de consumir la mayor cantidad del hidrógeno presente en el proceso de saturación y restar, de este modo, la disponibilidad de este gas para la formación de metano [28, 39, 39, 40].

### 3.- Selección genética de los animales:

Otra forma de atacar el problema de la emisión de metano es mediante la selección de animales más eficientes [41]; por ejemplo, seleccionando los animales que exhiben un bajo índice de consumo de alimento residual CAR (Residual Feed Intake) [42]. CAR es la diferencia entre el consumo de energía metabolizable y los requerimientos para mantenimiento y ganancia de peso. Experiencias en Australia demuestran que los animales con bajo CAR registran la misma ganancia de peso que los animales con alto CAR, pero con un consumo de materia seca significativamente menor, una mayor eficiencia de conversión alimenticia y un marcada disminución de la emisión diaria de metano [42, 43]. La reducción de metano por unidad de producto animal (leche o carne) o por unidad de superficie debe merecer más atención porque este indicador relativo viene a ser una expresión de la eficiencia productiva que, a la postre, contribuye al logro del objetivo de interés. La mayor productividad hace que el número de animales requeridos para alcanzar un determinado nivel de producción sea menor, reduciendo así la presión sobre los recursos naturales y la emisión de metano por unidad de superficie. Aun cuando los animales eficientes alimentados con dietas de alta calidad emiten mayores cantidades de metano que sus similares alimentados con dietas de pobre valor nutricional, el balance final siempre les será favorable a los primeros, como lo demuestra un estudio en que se emplearon especies de pastos mejorados en reemplazo de especies nativas y se encontró que, pese al aumento de la cantidad de metano emitido por animal (tanto en vacas produciendo leche como en novillos para producir carne), la producción de leche y la ganancia de peso fueron tres veces mayores que en los animales mantenidos con especies nativas de menor calidad, lográndose así una significativa reducción de la producción de metano por unidad de leche y carne producidas [44]. Por lo mismo, los beneficios de la reducción de emisiones por selección de animales con bajo CAR deben complementarse con la selección de otros

caracteres de importancia económica, como potencial genético de producción, eficiencia reproductiva, longevidad, etc., y la aplicación de buenas prácticas de manejo, para que los animales eficientes mejoren la producción y la rentabilidad de las ganaderías, tanto en sistemas extensivos como intensivos.

## CONCLUSIONES

La seguridad alimentaria mundial depende de la agricultura y si la producción de alimentos se ve afectada por el cambio climático, el objetivo de incrementar la producción satisfacer las necesidades de la población se volvería inalcanzable. Todo parece indicar que la cría de vacunos de carne será una actividad insostenible en pocos años y que el consumo de carne de res en los niveles que predicen las estimaciones de la demanda para los próximos años es incompatible con la conservación del medio ambiente. En consecuencia, alcanzar la meta de reducir la demanda/consumo de carne de res implica en primer lugar el control del crecimiento demográfico a nivel mundial y por ello debe constituirse en el punto de partida de esta iniciativa. Paso a seguir debería ser el trabajo de educación y de crear conciencia en la población para que voluntariamente vaya cambiando sus hábitos alimenticios y gradualmente disminuya el consumo de este bien. La rapidez con que se consiga reducir el número de vacunos de carne dependerá del éxito en las dos tareas anteriores; mientras tanto, la mitigación del principal problema ambiental ocasionado por las emisiones de GEI del ganado bovino no debe admitir más demoras, siendo, por lo mismo, imperativo divulgar y aplicar las tecnologías que se ha desarrollado y se siguen desarrollando en procura del objetivo de reducir las metanogénesis en su fuente.

En los últimos años se han desarrollado otras alternativas como la producción *in vitro* de carne, un proceso basado en el cultivo de células musculares madre obtenidas de tejidos

de animales de graja mediante biopsia y mantenidas en un medio rico en nutrientes donde se dividen y multiplican antes de unirse a una estructura matriz para finalmente crecer en un biorreactor. El científico holandés Mark Post de la Universidad de Maastricht [45], presentó en agosto de 2013 en un laboratorio de Londres la primera hamburguesa de carne artificial elaborada con células madre de vaca, trabajo por el que fue honrado con el Premio Mundial de Tecnología por parte de la WTN (Red Mundial de Tecnología, por sus siglas en inglés) [46]; sin embargo, según su propio autor, esta opción no es todavía capaz de garantizar un producto que tenga la misma apariencia, la misma consistencia y el mismo sabor que la carne tradicional, aunque se la puede considerar como el primer paso hacia la producción sostenible de carne.

## REFERENCIAS

- [1] Thornton, P.K., y Cramer, L. 2012. Impacts of climate change on the agricultural and aquatic systems and natural resources within CGIAR's mandate. Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), working paper No. 23. Copenhagen, Denmark. Disponible en línea en: <http://www.ccafs.cgiar.org>. Fecha de consulta: 26 Mayo 2014.
- [2] Stainfeld, H., Gerber, P., Wassenar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options. FAO. Roma. Disponible en: <http://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0701e/a0701e00.pdf>. Fecha de consulta: 26 Mayo 2014.
- [3] Ripple, W.J., Smith, P., Haberl, H., Montzka, S: A., McAlpine, C., and Boucher, D.H. 2014. Ruminants, climate change and climate policy. *Nature Climate Change*, 4: 2.

- [4] FAO, 2011. World livestock 2011. Livestock in food security. Rome. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/014/i2373e/i2373e.pdf>. Fecha de consulta 5 Junio 2014.
- [5] McCarl, B. 2007, cited by Biello, D. 2007. Combating climate change: Farming out global warming solutions. Scientific American. Disponible en: <http://www.scientificamerican.com/article/combating-climate-change-farming-forestry>. Fecha de consulta 20 Mayo 2014.
- [6] Angelsen, A. 2010. Policies for reduced deforestation and their impact on agricultural production. Proceedings Natl. Acad. Sci. USA. 107: 46
- [7] INPE. 2012. Deforestación em Amazonia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Citado em: <http://www.20minutos.es/noticia/1242654/0/codigo-forestal/brasil/deforestacion-amazonia/>
- [8] UNEP. 2014. Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply. A Report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel.
- [9] Herrero, M, y Thornton, P.K. 2013. Livestock and global change: emerging issues for sustainable food systems. Proceedings Natl. Acad. Sci. USA. 110: 20878.
- [10] Araújo, J. 2000. Ecos...lógicos, para entender la Ecología. Editorial Maeva. Madrid.
- [11] Galindo, J. 2008. ¿Es compatible el crecimiento demográfico y la conservación del medio ambiente en condiciones aceptables para la vida humana? En: Salvemos Nuestro Planeta. Lulu.com. Editores.
- [12] Diamond, H. 2003. Fit for Life: Not Fat for Life. Health Communications, Inc. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=KWajAgAAQBAJ&lpg=PP1&ots=3iqULNBLwM&dq=Harvey%20Diamond%2C%20%20Your%20heart%2C%20your%20planet%20Fit%20for%20life&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>. Fecha de consulta: 28 Mayo 2014.
- [13] Goodland, R., and Anhang. J. 2009. Livestock and climate change. World Watch Magazine. Nov.-Dec. 2009. Pp. 10-19.
- [14] Heim, D, Gardner, I., Mumford, E. y Kihm, U. 2006. Determinación del riesgo y vigilancia de la encefalopatía espongiiforme bovina. Rev. Sci. Tech. Off. int. Epiz., Vol 25 (3), 937
- [15] Margan, D.E., Graham, N.M., Minson, D.J., and Searle, T.W. 1988. Energy and protein values of four forages, including a comparison of tropical and temperate species. Aust J Exp Agri, 28:729.
- [16] Waghorn, G.C., and Hegarty, R.S. 2011. Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. Anim Feed Sci Tech, 166-167:291.
- [17] Cieslak, A., Szumacher-Strabel, M., Stochmal, A., and Oleszek. 2013. Plant components with specific activities against rumen methanogens. Animal J. 7: 253.
- [18] Erasmus, L.J., Botha, P.M., and Kistner, A. 2009. Effect of yeast culture supplement on production, rumen fermentation, and duodenal nitrogen flow. J. Dairy Sci, 75: 3056.
- [19] Hubber, T. 1998. Yeast products help cows handle heat. Hoard's Dairyman. May, 1998.

- [20] Romanzin, M.L., Bailoni, L., Schiavon, S., and Brittante, G. 1997. Effect of menensin on milk production and efficiency of dairy cows fed two diets differing in forage to concentrate ratios. *J. Dairy Sci*, 80: 1136.
- [21] Grainger, M., Audist, M.J., Clarke, T., Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Hannah, M.H., Eckard, R.J., and Lowe, L.B. (2008). Use of menensin controlled-release capsules to reduce methane emissions and improve milk production in dairy cows offered pasture supplemented by grain. *J. Dairy Sci*, 91:1159.
- [22] Wright, A.D.G., Kennedy, P., O'Neill, C.J., Toovey, A.F., Popovski, S., Rea, S.M., Primm, C.L., and Klein, L. 2004. Reducing methane emissions in sheep by immunization against rumen methanogens. *Vaccine*, 22: 3976.
- [23] Wedlock, D.N., Janssen, P.H., Leahy S.C., Shu, D., and Buddle, B.M. 2013. Progress in the development of vaccines against rumen methanogens. *Anim Biosci Suppl*, 2:244.
- [24] Tiemman, T.T., Avila, P., Ramírez, G., Lascano, C.E., Kreuzer, and M. Hess, H.D. 2008. In vitro ruminal fermentation of tanniniferous plants: plant specific tannins effects and counteracting efficiency of PEG. *Animal Feed Sci. & Technol.* 146: 222.
- [25] Cortés, J.E., Moreno, B., Pabón, M.L., Avila, P., Kreuzer, M., Hess, H.D. and Carulla, J.E. 2009. Effects of purified condensed tannins extracted from *Calliandra*, *Flumigia* and *Leucaena* on ruminal and postruminal degradation of soybeanmeal as estimated in vitro. *Animal Feed Sci. & Technol.* 151: 175.
- [26] McSweeney, C.S., Palmer, B., Bunch, R., and Krause, D.O. 2001. Effect of the tropical forage *Calliandra* on microbial protein synthesis and ecology of the rumen. *J. Appl Microbiol*, 90:78.
- [27] Johnson, J.M.F., Franzluebbbers, A.J., Lachnicht, S., and Reicosky, D.C. 2007. Review: agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environ Pollut*, 150:107.
- [28] Patra, A.K., and Saxena, J. 2010. Review: A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71:1198.
- [29] Abreu, A., Carulla, J.E., Lascano, C.E., Díaz, T.E., Kreuzer, M., and Hess, H.D. 2004. Effects of *Sapindus saponaria* fruits on ruminal fermentation and duodenal nitrogen flow of sheep fed a tropical grass diet with and without legume. *J. Anim Sci*, 82: 1392.
- [30] Hess, H.D., Monsalve, L.M., Lascano, C.E., Carulla, J.E., Díaz, T.E., and Kreuzer, M. 2003. Supplementation of a tropical grass diet with forage legumes and *Sapindus saponia* fruits: effects on in vitro ruminal nitrogen turnover and methanogenesis. *Aust J. Agri Res.*, 54:703.
- [31] Bird, S.H., Hegarty, R.S., and Woodgate, R. Persistence of defaunation effects on digestion and methane production in ewes. *Aust J. Exp Agri*, 48:152.
- [32] Jouany, J.P., and Morgavi, D.P. 2007. Use of "natural" products as alternatives to antibiotic feed additives in ruminant production. *Animal J.* 1: 1443.
- [33] Macheboeuf, D., Morgavi, D.P., Papon, Y., Mousset, J. L., and Arturo-Schaan, M. 2008. Dose response effects of essential oils on in vitro fermentation activity of the rumen microbial population. *Anim Feed Sci and Technol*, 145: 335.

- [34] Cardozo, J.V. 2013. El matarratón (*Gliricidia sepium*) en la alimentación de rumiantes. Monografía para obtener el grado de especialización. Univ. Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de CC. Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente. Bogotá.
- [35] Narvaez, N., Wang, Y., Xu, Z., Alexander, T., Garden, S., and McAllister, T. 2013. Effects of hop varieties on ruminal fermentation and bacterial community in an artificial rumen (rusitec). *J Sci Food and Agriculture*, 93: 45
- [36] Narvaez, N., Wang, Y., and McAllister, T.A. 2013. Effects of extracts of *Humulus lupulus* (hops) and *Yucca schidigera* applied alone or in combination with monensin on rumen fermentation and microbial populations in vitro. *J Sci Food and Agri*, 93: 2517.
- [37] Osada, T. 2011. Greenhouse gases (GHGs) mitigation and climate change adaptation technologies for animal agriculture. NARO, National Agriculture and Food Research Organization. Japón. Disponible en: <http://www.naro.affrc.go.jp/english/research/210/030222.html>. Fecha de consulta: 5 Septiembre 2014.
- [38] Carro, M.D., and Ranilla, M.J. 2003. Influence of different concentrations of disodium fumarate on methane production and fermentation of concentrate by rumen micro-organisms in vitro. *British J. Nutr*, 90:617.
- [39] Johnson, K.A. and Johnson, D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *J Anim Sci*, 73:2483.
- [40] Giger-Reverdin, S., Morand-Fehr, and Tran, G. 2003. Literature survey of the influence of dietary fat composition on methane production in dairy cattle. *Livestock Prod Sci*, 82:73
- [41] Bell, M.J., Wall, E., Russell, G., Simm, G., and Stott, A.W. 2011. The effect of improving cow productivity, fertility and longevity on the global potential of dairy systems. *J. Dairy Sci*, 94:3662.
- [42] Hegarty, R.S., Goopy, J.P., Herd, R.M., and McCorkell, B. 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *J. Anim Sci*, 85:1479.
- [43] Ospina-Patiño. 2010. Desafíos socio-económicos y ambientales en los sistemas ganaderos del futuro. Disponible en línea en: <http://www.engormix.com>. Fecha de consulta: 3 Octubre 2014.
- [44] Thornton, P.K., and Herrero, M. 2010. Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management. *Proceedings Natl. Acad. Sci. USA.*, 107:19667.
- [45] Maastricht University. 2013. First-ever public tasting of lab-grown Cultured Beef burger. Disponible en: <http://www.maastrichtuniversity.nl/web/Main/Research/ResearchUM/FirsteverPublicTastingOfLabgrownCulturedBeefBurger.htm>
- [46] Maastricht University. 2013. Prof. Mark Post wins World Technology Award for cultured beef project. Disponible en: <http://www.maastrichtuniversity.nl/web/Main/Sitewide/News1/Prof.MarkPostWinsWorldTechnologyAwardForCulturedBeefProject.htm>

